

生活余暇空間とサイバースペース経済 シミュレーション分析

課題番号 10553001

平成10年度～平成12年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(1))

研究成果報告書

平成13年3月

研究代表者 氷 鉋 揚 四 郎
(筑波大学 農林工学系)

はしがき

本報告書は、科学研究費補助金（基盤研究（B）課題番号10553001 平成10-12年度）「生活余暇空間とサイバースペース経済のシミュレーション分析」の研究成果をまとめたものである。

現在、世界は産業革命以来の新しい潮流である、IT革命の波に直面している。IT革命は、サイバー空間（電脳空間、Cyberspace）という新たな空間を形成している。最近ではその意味が実感できる状況に近づきつつある。近い将来、人類が築きあげそして接してきた物理的な世界は、サイバー空間に広がる無限の仮想的な世界と、かつてない共生・融合を迫られることになる。情報技術のさらなる進展を基盤とした新たな社会を迎えるにあたり、仮想世界と現実世界を同時に生きてゆくことになる近未来を本格的に検討すべき時期にきている。サイバー空間は物理的空間と複雑に相互作用し、社会・経済活動に様々な影響をもたらしつつある。

このような背景のもと、本研究は、従来都市構造を説明する大きな要因であった規模・集積の効果に基づく都市の生産性、都市交通条件などの人的・物的流動施設の交通混雑現象に加えて、情報インフラ及び通信ソフトウェア技術による外部経済効及び情報・知識流動施設の情報混雑現象を明示的に考慮した数理的社会経済モデルを構築し、都市住民の労働環境、及び生活嗜好の変化をその説明要因として取り上げ、一国内複数都市システム、産業構造、都市構造、および消費、立地、就業、余暇などの生活行動に与える情報化の影響を理論的、数量的に解明することを目的として行われた。

3年間という限られた期間内に必ずしも、当初の目的が全て達成された訳ではないが、相当の成果をあげることができたといえよう。第2章では、我が国および海外における情報化政策を紹介し、IT革命が空間経済にもたらす影響についてまとめている。第3章では、集積の経済による外部経済性と交通混雑による外部不経済性を伴った情報発展都市の一般均衡モデルとピグー税・補助金の効果についてまとめている。第4章では、サイバー空間と物理的空間を考慮した都市経済モデルとそのシミュレーション結果についてまとめている。第5章では、単一都市モデルから複数都市モデルへの拡張がなされ、都市間の交通、情報流動が内生化されたもとでの都市システムの空間構造が示される。第6章では、移動体通信インフラの最適衛星軌道割当と最適周波数割当についてまとめている。第7章では、人的資本ストックを考慮した複数都市群システムモデルによる、都市経済成長と都市間距離との関係についてまとめている。

本研究を推進するにあたり、研究分担者ならびに研究協力者としてご協力頂いた方々に感謝します。

研究代表者 氷鉦揚四郎

研究組織

研究代表者：永鉤 揚四郎（筑波大学農林工学系教授）
研究分担者：宮田 譲（豊橋技術科学大学工学部教授）
研究分担者：洪澤 博幸（豊橋技術科学大学工学部助手）

研究経費

平成10年度	7,700千円
平成11年度	2,800千円
平成12年度	2,700千円
計	13,200千円

研究発表

（１）学会誌等

[1] Mao, H. and Y. Higano, Measurement of Concealed Unemployment in Shanghai, *International Regional Science Review*, vol.21, no.1, pp.59-78, 1998.

[2] Higano, Y. and G. Mao, Comparative Input-Output Analysis of The Information Industries of Shanghai and Tokyo, *Australasian Journal of Regional Science*, vol.4, no.2, pp.333-348, 1998.

[3] Higano, Y. and H. Shibusawa, Agglomeration Diseconomies of Traffic Congestion and Agglomeration Economies of Interaction in the Information-oriented City, *Journal of Regional Science*, vol.39, no.1, pp.21-49, 1999.

[4] Nozaki, H., and Y. Higano, Integrated Valuation of Natural Environment, 『地域学研究』 vol.28, no.1, pp.221-229, 1999.

[5] Higano, Y. and A. Yoneta, Economical Policies to Relieve Contamination of Lake Kasumigaura, 『地域学研究』 vol.29, no.3, pp.205-218, 2000.

[6] Mizunoya, T. and Y. Higano, A Study of the Optimal Tax Policy on the Air Pollutants Emission in Japan, 『地域学研究』 vol.29, no.3, pp.1-24, 2000.

[7] 宮田 譲, “廃棄物対策の評価,” 土木計画学ワンデーセミナーシリーズ15 「応用一般均衡モデルの公共投資評価への適用」, p.98-p.113, 1998

- [8]宮田 譲, “廃棄物対策の経済的影響分析 -CGEモデルアプローチ-,”『土木計画学研究・論文集』, Vol.15, p.305-p.316, 1998
- [9]宮田 譲, 洪澤博幸, 陳 自力, “中国エネルギー需給に関する多地域一般均衡分析,”『土木計画学研究・論文集』, Vol.15, p.359-p.368, 1998
- [10]宮田 譲, 厩 暁晋, “物質循環を考慮した環境経済一般均衡分析,”『土木計画学研究・論文集』, Vol.16, p.419-p.430, 1999
- [11]宮田 譲, 佐藤浩基, “二酸化炭素排出問題の動学一般均衡分析,”『土木計画学研究・論文集』, Vol.16, pp.431-442, 1999
- [12]厩 暁晋, 宮田 譲, 山口 誠, 洪澤博幸, “資源循環型生産システムに関する研究,”『日本産業経済学会研究論集』, 第21集, pp.31-39, 2000
- [13]厩 暁晋, 宮田 譲, “資源循環型生産システムの多目的最適化,”『土木計画学研究・論文集』, Vol.17, pp.439-448, 2000
- [14]宮田 譲, 厩 暁晋, “地域ゼロエミッションの可能性とその評価,”『土木計画学研究・論文集』, Vol.17, pp.449-460, 2000
- [15]宮田 譲, 厩暁晋, “A Computable General Equilibrium Analysis of Environmental and Economic System with Material Circulation,”『環境科学会誌』, Vol.13 No.5 pp.618-630, 2000
- [16]Shibusawa, H., “Optimal Recycling and the Location of Waste Facilities”,『地域学研究』Vol.30, No.1, 2000, pp.155-165
- [17]Shibusawa, H., “An Economic Analysis of Outer Space -Location of Telecommunications Satellites”,『地域学研究』,Vol.30, No.3, 2000 (in press).
- [18]Shibusawa, H., “Cyberspace and Physical Space in an Urban Economy”, *Papers in Regional Science*, Vol.79, No.3, 2000, pp.253-270.
- [19]Shibusawa, H., “Spatial Structure of Virtual Cities – Modeling of a System of Cities in Cyberspace and Physical Space-,”『地域学研究』,Vol.29, No.1, pp.147-157, 1999.

[20]Shibusawa, H., "Cyberspace vs. Physical Space in a Network City,"『地域学研究』,Vol.28, No.1, pp.15-28, 1998.

(2) 出版物

[21]Higano Y., Mao Guoping, On the Relation between Information Development and Economic Development: An Econometric Analysis, *Regional Cohesion and Competition in the Process of Globalization*, ed. H.Kohno, P.Nijkamp, and J.Poot, Edward Elgar Pub., June 2000, pp.328-342.

[22]Higano, Y., General Pigouvian Tax and Subsidy Scheme and the Optimal Income Redistribution in the Information-Oriented City with Traffic Congestion, *Theories of regional competition*, ed. John Roy and Wilfried Schulz, Nomos-Verlag, Baden-Baden, pp.224-283, 2000 (in print).

(3) 口頭発表

[23]水鉋揚四郎, "Reduction of the Greenhouse Gas and the Optimal Emission Taxes,"日本経済政策学会第55回大会, pp.1-31, 1998

[24]Higano, Y., "General Pigouvian Tax and Subsidy Scheme and the Optimal Income Re-distribution in the Information-Oriented City with Traffic Congestion,"*The 11th Advanced Summer Institute in Regional Science - Summer Institute 1998* -, University of the Federal Armed Forces Munich, August 14-22,, pp.1-64, 1998

[25]Higano, Y., "Dynamic Analysis of the Optimal Taxes on the Air Pollutants Emitted in Japan,"*The 38th European Regional Science Association Congress - 1998 August 28 - September 1 - Vienna - Austria*, pp.1-35, 1998

[26]Fakrul, I.MD, and Higano, Y., "A Report on an International Environmental Conflict between India and Bangladesh: Socio-economic and Environmental Status of the Tista River,"*The International Technical Workshop* organized by The Research Committee on the Public Investment Criterion of The Express Highway Research Foundation of Japan, The Foundation for Earth Environment, and The Secretariat of The PRSCO, United Nations University, pp.1-23, 1998

[27]水野谷剛, 水鉋揚四郎, "日本における大気環境汚染物質の最適制御に関する研究,"『日本地域学会第35回(1998年)年次大会論稿集』, pp.27-34, 1998

- [28]米田朗, 水鉋揚四郎, “霞ヶ浦における水質汚染改善のための経済政策,” 『日本地域学会第 35 回(1998 年)年次大会論稿集』, pp.35-40, 1998
- [29]Higano, Y., “Optimal Taxes and Impacts of the Technological Progress on the Emission of Air Pollutants in Japan,” *The 45th North American Meetings of the RSAI*, Santa Fe, pp.1-31, 1998
- [30]Higano, Y.,” Economical Policy to Relieve Contamination of lake Kasumigaura, Japan, “*5th Annual Meeting of the AMECIDER (Mexican Association of Science for Regional Development)*, Sonora, Mexico,, pp.1-20., 1999
- [31]Higano, Y.,”A Dynamic Analysis of Economical Policies to Relieve Contamination of Lake Kasumigaura and its Watershed,” *16th Pacific Regional Science Conference*, Seoul, pp.1-21, 1999
- [32]Higano, Y. and Mizunoya, T.,”A Dynamic Analysis of the Implementability of the Kyoto Protocol,” *39th European Congress*, Dublin, pp.1-20, 1999
- [33]Fakrul, I.MD and Higano, Y.,”International environmental issues between India and Bangladesh: environmental and socio-economic effects on the Teesta River area,” *39th European Congress*, Dublin, pp.1-20, 1999
- [34]Fakrul, I.MD and Higano, Y., “Degradation of the Socio-economic and Environmental Conditions of the Teesta River area in Bangladesh: Some Issues related to International aspects of water sharing,” 『日本環境共生学会 1999 年度学術大会』, pp.101-107, 1999
- [35]Shin, C. and Higano, Y.,”Optimal Transport Investments in Korea: Environmental Effects and Regional Disparity,” *11th International Symposium of the PRSCO Secretariat of the RSAI*, 1999, pp.1-23, 1999
- [36]Fakrul, I.MD and Higano, Y.,”Environmental and Socio-economic Issues in the Indian sub-continent: A Case Study of the Teesta River Area, Bangladesh,” 『日本地域学会第 36 回(1999 年)年次大会論稿集』, pp.33-40, 1999
- [37]西川迅速, 水鉋揚四郎, “環日本会における国際環境政策に関する研究,” 『日本地域学会第 36 回(1999 年)年次大会論稿集』, pp.41-46, 1999
- [38]広瀬史明, 水鉋揚四郎, “霞ヶ浦流域における流入汚染負荷削減のための環境政策,” 『日本地域学会第 36 回(1999 年)年次大会論稿集』, pp.56-62, 1999

- [39]中居大亮, 氷鮑揚四郎, “牛乳流通システムの環境影響評価,” 『日本地域学会第 36 回(1999 年)年次大会論稿集』, pp.258-264, 1999
- [40]藤沢航祥, 氷鮑揚四郎, “人為起源の亜酸化窒素の排出制御,” 『日本地域学会第 36 回(1999 年)年次大会論稿集』, pp.359-366, 1999
- [41]端保孝洋, 氷鮑揚四郎, “二酸化炭素排出抑制技術導入への炭素課税システムの利用,” 『日本地域学会第 36 回(1999 年)年次大会論稿集』, pp.367-374, 1999
- [42]水野谷剛, 氷鮑揚四郎, “日本における大気汚染物質削減と最適税政策,” 『日本地域学会第 36 回(1999 年)年次大会論稿集』, pp.375-382, 1999
- [43]Higano, Y. and Shin.C, “Dynamic Optimal Control of Greenhouse Effect Gases and Development in South Korea,” *46th North American Meetings of the Regional Science Association International*, Motreal, pp.1-19, 1999
- [44]Fakrul, I.MD and Higano, Y., “Transboundary environmental issues in the Indian sub-continent,” *RSAI International Symposium on Regional Development in South Africa*, Port Elizabeth, South Africa, 2000, pp.1-23, 2000
- [45] Fakrul, I.MD and Higano, Y., “Sharing of the Teesta River Water Resources: A Solution with the Efficient Utilization between India and Bangladesh,” *Proceedings of The 1st International Symposium on Trade and Environmental Risks in Regional and Global Systems*, The Science Council of Japan, Tokyo, pp.12-23, 2000
- [46] An Analysis of the Optimal Taxes on the Emission of Greenhouse Effect Gas: A Dual Input-Output Approach, *6th World Congress of the RSAI*, Lugano, May 16-20, 2000, pp.1-43.
- [47] Combined dual input-output analysis of the optimal emission taxes on the greenhouse gas in Japan, *6th Summer Institute of the PRSCO of the RSAI*, 13-16th June, 2000, pp.1-34.
- [48] 霞ヶ浦水質改善のための汚濁負荷削減技術評価と最適環境政策, 日本環境共生学会第 3 回(2000 年度)学術大会プログラム, 2000 年 10 月.
- [49]Shin, C. and 氷鮑揚四郎, “韓国における交通投資政策と環境影響評価,” 日本環境共生学会第 3 回(2000 年度)学術大会プログラム, 2000

- [50] Fakrul, LMD and Higano, Y., "Provision for Economic Benefits through Water Sharing of International Rivers: A solution with the Efficient Utilization of Teesta Water, "日本環境共生学会第3回(2000年度)学術大会プログラム, 2000
- [51]波田健二, 氷鮑揚四郎, "東京湾へ流入する汚濁負荷量を削減するための環境政策,"『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.54-61, 2000
- [52]Shin, C., 氷鮑揚四郎, "韓国における流域管理システムの研究,"『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.62-69, 2000
- [53] Fakrul, LMD and Higano, Y., "Environmental Problems and Water Resource Management in the Floodplain, "『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.70-76, 2000
- [54]曹喜亮, 氷鮑揚四郎, "環日本海地域における海洋汚染物質排出管理と経済発展政策,"『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.77-84, 2000
- [55]Akman, W. and Higano, Y., "Difference of Opinion among Experts on the Source of Arsenic Contamination in Ground Water in Bangladesh: Impact on Measures and Policy Prescriptions, "『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.242-248, 2000
- [56]Rimah, M. and Higano, Y., "Random Development and the Exacerbation of Water Resources Depletion Issue in Syria from Socioeconomic Point of View: Case Study in Barada Basin, "『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.249-254, 2000
- [57]李斌, 氷鮑揚四郎, "中国における最適交通投資の評価及び環境影響分析,"『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.255-262, 2000
- [58]水野谷剛, 氷鮑揚四郎, "大気汚染物質排出削減政策の日本経済への動学的影響分析,"『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.263-271, 2000
- [59]洪澤博幸, 氷鮑揚四郎, "海外における都市再開発政策に関する研究,"『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.361-368, 2000
- [60]高谷雅宏, 氷鮑揚四郎, "市街地再開発の社会経済的評価手法に関する研究,"『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.369-373, 2000
- [61]小林慎太郎, 氷鮑揚四郎, "私有人工林の整備政策に関する研究,"『日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集』, pp.418-424, 2000

[62]Higano, Y., "The Evaluation of technology and Environmental Policy to Reduce Pollutants from the Catchment Area of Lake Kasumigaura, "46th North American Meetings of the Regional Science Association International, Chicago, Nov., 2000, pp.1-23.

[63]宮田 譲, "An Intertemporal General Equilibrium Analysis of CO₂ Emissions in Japan,"The 11th European Advanced Studies Institute in Regional Science, Munich, Germany, 1998

[64]宮田 譲, "An Intertemporal General Equilibrium Analysis of the Waste-Economic Interaction, "The 11th European Advanced Studies Institute in Regional Science, Munich, Germany, 1998

[65]宮田 譲, 洪澤博幸, 陳 自力, "An Interregional General Equilibrium Analysis of Energy Demand/Supply in China, "The 11th European Advanced Studies Institute in Regional Science, Munich, Germany, 1998

[66]宮田 譲, "An Intertemporal General Equilibrium Analysis of CO₂ Emissions in Japan,"The 16th Pacific Regional Science Conference, Seoul, Korea, 1999

[67]龐 曉晉, 宮田 譲, 山口 誠, 洪澤博幸, "Multiobjective Optimization in Regional Manufacturing System with Recycling Activity, "The 16th Pacific Regional Science Conference, Seoul, Korea, 1999

[68]宮田 譲, 龐 曉晉, "A General Equilibrium Analysis of Environmental and Economic System with Material Balance, "The 20th European Regional Science Conference, Dublin, Ireland, 1999

[69]宮田 譲, 洪澤博幸, 陳 自力, "An Interregional General Equilibrium Analysis of Energy Demand/Supply in China, "The 20th European Regional Science Conference, Dublin, Ireland, 1999

[70]宮田 譲, 龐 曉晉, "A General Equilibrium Analysis of Environmental and Economic Interaction with Material Circulation, "The 6th Regional Science Association International World Congress, Lugano, Switzerland, 2000

[71]宮田 譲, "Integrated Environmental and Economic Accounting with Ecological Interaction - A Theoretical Framework -, "The 6th Pacific Regional Science Association International, Summer Institute, Mexico City, Mexico, 2000

[72]宮田 譲, "Economic Evaluation of a Zero Emissions Based Society, "German-Japanese

- [73]宮田 譲, 厩暁晋, "物質循環を考慮した環境経済一般均衡分析,"『土木計画学研究・講演集』, Vol.21, p.665-p.668, 1998
- [74]宮田 譲, 佐藤浩基, "二酸化炭素排出問題の動学一般均衡分析,"『土木計画学研究・講演集』, Vol.21, p.673-p.676, 1998
- [75]宮田 譲, "成長論から見た地域動学,"『土木計画学研究会講演集』, Vol.21, p.615, 1998
- [76]厩 暁晋, 宮田 譲, "資源循環型生産システムの多目的最適化,"『土木計画学研究・講演集』, Vol.22, p.785-p.788, 1999
- [77]宮田 譲, 厩 暁晋, "地域ゼロエミッションの可能性とその評価,"『土木計画学研究・講演集』, Vol.22, p.789-p.792, 1999
- [78]趙 大江, 宮田 譲, 洪澤博幸, "人的資本と都市群成長,"『日本都市計画学会中部支部研究発表会論文・報告集』, pp.53-56, 2000
- [79]李 愛軍, 宮田 譲, "Sulfur Dioxide Emissions Problem in China: Its Situation, Treatment, and Prospect,"『日本環境共生学会 2000年度学術大会発表論文集』, pp.112-116, 2000
- [80]宮田 譲, 厩 暁晋, 物質循環型地域の経済評価」
平成12年11月 日本地域学会第37回(2000年)年次大会学術発表論文集 pp.464-465
- [81]宮田 譲, 李 愛軍, "Integrated Environmental and Economic Accounting with Ecological Interaction,"『日本地域学会第37回年次大会学術発表論文集』, pp.472-479, 2000
- [82]宮田 譲, 李 愛軍, "社会的最適成長, 環境・経済統合勘定, および生態系評価,"『土木計画学研究・講演集』, Vol.23 No.2, pp.47-50, 2000
- [83] Shibusawa, H. "A System of Cities and Cyberspace", the 16th Pacific Regional Science Conference, Seoul, Korea, pp.1-22, 1999
- [84] Shibusawa, H., "Optimal Location of Telecommunications Satellites in Outer Space", the 6th World Congress of the RSAI, Lugano, Switzerland, pp.1-20, 2000

- [85] Shibusawa, H., "Waste Facilities and Recycling in a Community", the 6th Summer Institute of PRSCO, Mexico City, Mexico, pp.1-12, 2000
- [86] Shibusawa, H. "Optimal Location of Telecommunications Satellites in Outer Space", Western Regional Science Association, the 40th Annual Meeting, Palm Springs, pp.1-20, 2001
- [87] 山口誠, 洪澤博幸, "豊橋市の計量経済学的分析,"『日本地域学会第35回年次大会論稿集』, pp.17-24, 1998
- [88] Shibusawa, H., "Cyberspace in a System of Cities,"『日本地域学会第35回年次大会論稿集』, pp.263-270, 1998
- [89] Shibusawa, H., "Optimal Recycling and Location of Waste Facilities,"『日本地域学会第36回年次大会論稿集』, pp.216-223, 1999
- [90] 洪澤博幸, "サイバースペース、宇宙空間と混雑,"『日本地域学会第36回年次大会論稿集』, pp.289-296, 1999
- [91] 山口誠, 洪澤博幸, "東三河地域の計量経済学的分析,"『日本地域学会第37回年次大会学術発表論文集』, pp.320-327, 2000

生活余暇空間とサイバースペース経済のシミュレーション分析

目次

第1章 序論

1. 1 研究の目的	1
1. 2 関連する国内外の研究状況	2
1. 3 本書の構成	2
参考文献	3

第2章 IT革命、サイバースペースと地域経済

2. 1 はじめに	4
2. 2 IT革命と空間	4
2. 3 情報ネットワークと交通ネットワーク	6
2. 4 情報化と地域	7
2. 4. 1 地域の情報化	7
2. 4. 2 情報化と地域開発	8
2. 5 おわりに	12
参考文献	12

第3章 Agglomeration Diseconomies of Traffic Congestion and Agglomeration Economies of Interaction in the Information-oriented City

3. 1 Introduction	14
3. 2 The Model	16
3. 3 The Socially Efficient Resource Allocation	26
3. 4 A Numerical Model	27
3. 5 Results	29
3. 6 Conclusion	32
References	34
Appendix 1	37
Appendix 2	40
Appendix 3	41

第4章 Cyberspace and Physical Space in an Urban Economy

4. 1	Introduction	49
4. 2	Cyberspace and Physical Space	50
4. 3	The Model	52
4. 4	Networks	57
4. 5	Equilibrium Conditions	60
4. 6	A Simulation Model	61
4. 7	Simulation Results	62
4. 8	Conclusion	65
	References	66

第5章 A System of Cities and Cyberspace

5. 1	Introduction	68
5. 2	Cyberspace vs. Physical Space	70
5. 3	The Model	72
5. 3. 1	Workers	75
5. 3. 2	Industries	77
5. 4	Networks	80
5. 5	Equilibrium Conditions	81
5. 6	Simulation	83
5. 7	Conclusion	86
	References	87

第6章 移動体通信インフラの構造解析—サイバースペース、宇宙空間と混雑—

6. 1	はじめに	91
6. 2	通信衛星の立地	91
6. 2. 1	軌道	91
6. 2. 2	電波	92
6. 2. 3	スペースデブリ	92
6. 3	モデル	93
6. 3. 1	家計と通信サービス	95
6. 3. 2	社会的最適配分	95
6. 4	モデル分析	96
6. 4. 1	伝搬損失と可視領域を考慮した情報サービスの場合	96
6. 4. 2	合成財投入を考慮する場合	98
6. 4. 3	情報サービスの公共性を考慮する場合	101

6. 4. 4 加入者数を考慮する場合	103
6. 4. 5 可視領域に関する外部性を考慮する場合	105
参考文献	107

第7章 人的資本と都市群成長

7. 1 はじめに	108
7. 2 人的資本と都市成長モデル	108
7. 2. 1 世帯と人的資本	109
7. 2. 2 タイプ1都市群	111
7. 2. 3 都市内通勤	112
7. 2. 4 都市開発公社	113
7. 2. 5 タイプ2都市群	117
7. 2. 6 投資と人口移動の意思決定	119
7. 2. 7 国内の市場均衡	122
7. 2. 8 都市成長	125
7. 2. 9 経済成長	127
7. 3 都市群間距離を考慮した人的資本と都市成長モデル	131
7. 3. 1 タイプ2都市群の構造	132
7. 3. 2 国内の市場均衡	135
7. 3. 3 都市成長	138
7. 3. 4 経済成長	138
7. 4 おわりに	139
参考文献	140

第8章 結論

8. 1 研究から得られた知見	141
8. 2 今後の課題	142

表目次

第2章

表2-1 サイバー空間と物理的空間	5
表2-2 地域情報化.....	8
表2-3 情報産業による地域開発	10

第3章

Table 3-1 Simulation Cases	29
Table 3-2 Comparison with Monocentric Models with Traffic Congestion..	33

第5章

Table 5-1 Cyberspace vs. Physical Space	71
---	----

第6章

表6-1 衛星軌道の特徴	92
表6-2 スペースデブリの数の推定値	93
表6-3 比較静学1	98
表6-4 比較静学2	101
表6-5 比較静学3	103
表6-6 比較静学4	105
表6-7 比較静学5	107

図目次

第3章

Figure 3-1 Agglomeration Economies and Wage Rates	45
Figure 3-2 Traffic Congestion	45
Figure 3-3 Land Rent	46
Figure 3-4 Office and Housing Space	46
Figure 3-5 Home Work	47
Figure 3-6 Office Work	47
Figure 3-7 Land Assignment for Transportation	48
Figure 3-8 Infrastructure of Transportation	48

第4章

Fig.4-1 Cyberspace and Physical Space	51
Fig.4-2 Linear City	53
Fig.4-3 Information Services	58
Fig.4-4 Transportation Services	59
Fig.4-5 Land Assignment	63
Fig.4-6 Infrastructure of Telecommunications Network	63
Fig.4-7 Allocation of Time	63
Fig.4-8 Land Rent	64
Fig.4-9 Home and Office Work	64
Fig.4-10 Virtual Goods	64
Fig.4-11 Physical Goods	64
Fig.4-12 Knowledge and Home Office Space	65
Fig.4-13 Home Goods	65

第5章

Figure 5-1 Cyberspace and Physical Space	72
Figure 5-2 Virtual and Physical Goods	72
Figure 5-3 Land and Outer Space	74
Figure 5-4-1 Information Network	80
Figure 5-4-2 Transportation Network	81
Figure 5-5-1 Land Rent on Earth	82
Figure 5-5-2 Land Rent on Earth	83
Figure 5-6-1 Land Assignment	83

Figure 5-6-2 Land Assignment	84
Figure 5-7-1 Space Rent	85
Figure 5-7-2 Space Rent	85
Figure 5-8-1 Space Assignment	85
Figure 5-8-2 Space Assignment	85
Figure 5-9-1 Information Flows	85
Figure 5-9-2 Information Flows	85
Figure 5-10-1 Housing Space	85
Figure 5-10-2 Housing Space	85
Figure 5-11-1 Agricultural Goods	86
Figure 5-11-2 Agricultural Goods	86
Figure 5-12-1 Physical Goods1	86
Figure 5-12-2 Physical Goods1	86
Figure 5-13-1 Physical Goods2	86
Figure 5-13-2 Physical Goods2	86
Figure 5-14-1 Physical Goods3	86
Figure 5-14-2 Physical Goods3	86
Figure 5-15-1 Virtual Goods	86
Figure 5-15-2 Virtual Goods	86

第 6 章

図 6 - 1 可視領域	93
図 6 - 2 空間	94
図 6 - 3 衛星と地上波局の可視領域	96
図 6 - 4 最適高度	99
図 6 - 5 物理的な軌道制約を考慮した最適立地	100

第 7 章

図 7 - 2 - 1 都市内地代と距離の関係	113
図 7 - 3 - 2 人的資本を考慮した都市群システム	132

第1章

序論

1.1 研究の目的

地球的規模で拡大し発展を続けている情報ネットワークは、社会経済活動の新たな相互作用としての場（空間）であるサイバースペースを形成しつつある。テレワーク、S O H O (Small Office and Home Office)、バーチャルファクトリ、テレコミュニティなどの普及により、都市住民の労働環境は劇的な変化を向かえており、また、電子ショッピング、サイバーモールなどの出現は生活・消費スタイルにも影響を与え、都市経済の空間構造にも影響を及ぼしつつある。情報ネットワークインフラストラクチャの新しいハードシステムの技術的基礎となる、広帯域I S D N (B-I S D N) による光ケーブルに通信網、そしてそれに適応した新交換方式A T M (Asynchronous Transfer Mode) が整備されつつある。また、情報ネットワークの新たなソフトウェアシステムの基礎となる、インターネット、バーチャルリアリティ技術、人工知能及び知識システムが実用レベルに達している。情報インフラと新技術の融合は、交通インフラとの相互作用により、代替・補完関係を強め、都市内の産業構造、人口分布、地価等、さらに都市生活者の立地、就業行動、労働供給の機会費用としての余暇活動にも影響を与えている。このような大都市の変貌は一国内で見た複数都市システムの構造に影響を与え、ひいては一国全体の産業構造、就業構造にも影響を及ぼすといえる。

本研究では、従来都市構造を説明する大きな要因であった規模・集積の効果に基づく都市の生産性、都市交通条件などの人的・物的流動施設の交通混雑現象に加えて、情報インフラ及び通信ソフトウェア技術による外部経済効及び情報・知識流動施設の情報混雑現象を明示的に考慮した数理的社会経済モデルを構築する。都市住民の労働環境、生活嗜好及び国際経済環境の変化をその説明要因として取り上げ、一国内複数都市システム、産業構造、都市構造、および消費、立地、就業、余暇などの生活行動に与える情報化の影響を理論的、数量的に解明する。

本研究は、数理的社会経済モデルに依拠した理論モデル分析と数値シミュレーションによる感度分析に基づいているが、単一のモデルのみによる評価ではなく、複眼的視点を強調するため複数の異なるモデルを用いて、情報化が都市空間構造、都市経済成長に与える多様な影響を解明するアプローチを採用した。都市家計の立地、消費、就業、余暇行動を

モデル化し、所得、余暇時間が内生化した状況で都市家計の貨幣所得獲得、スペース確保および余暇時間確保に対するインセンティブがどのように変化するかを分析した。情報・知識流動及び人的・物的流動を考慮した一都市内生産・立地モデルを構築し、労務管理、企業・家計の立地行動を検討した。情報・交通インフラ及び情報・輸送サービスを提供する産業部門をモデル化し、情報化の進展が、都市成長、都市システムへのインパクトや所得分配に与える影響等を分析することを試みた。さらに、交通混雑による外部不経済効果を内生化させ、一都市内における生産、消費の変貌を、都市規模、地価、人口分布、付加価値などに焦点をあてて、シミュレーションにより明らかにした。人的資本ストックを考慮した都市群システムモデルを構築し、人的資本ストック、都市成長、及び都市間輸送システムとの関係を理論的に検討した。

1. 2 関連する内外の研究

この研究に関連する内外の研究状況としては、労働供給を内生的に考慮した家計の行動モデルについては、Becker G.S.(1965)以来多数見られるが、これを市場均衡モデルに発展させ、さらに土地市場との同時均衡モデルに展開し、都市家計の行動を分析している研究はない。高度情報化によって労働市場が空間的に分化していくことを想定し、家計の消費・立地・余暇行動がどのように変貌していくかをモデル化して分析した研究はほとんど見られない。複数都市システムは、J.V.Henderson(1974)以来、新都市経済学における重要な課題であるが、その後継続されている研究も定性的な分析にとどまり、また情報と交通混雑現象、情報の外部性、規模・集積の効果の分析に踏み込んでいない。

通信技術の社会的・経済的影響に関する理論的・実証的研究としては、Brothie J., Newton P., Hall P. and Nijkamp P.編(1985)、U.S. Department of Commerce(1973)がある。情報ネットワークの外部性と空間経済に関する研究としては、Capello.R(1994)などがある。日本でも、鬼木甫(1996)などのような研究があるが、本研究のような意図でのものは見あたらない。また、Orishimo I., Hewings G.J.D., Nijkamp P.編(1987)は本研究にとって示唆に富むものが収録されているが、情報インフラとネットワークの外部性、情報混雑などを都市経済モデルに適用し数値解析による分析は本研究が始めてである。最近では、Janelle D.G. and Hodge D.C.(2000)などサイバースペースのもつ空間的インプリケーションについて検討している文献もみられるが、記述的分析にとどまっている。

1. 3 本書の構成

第2章では、我が国および海外における情報化政策を紹介し、IT革命が空間経済にもたらす影響について検討している。産業革命以降の交通ネットワークシステムとIT革命時代における情報ネットワークの特徴と役割を対比しながら解説している。第3章では、集積の経済による外部経済性と交通混雑による外部不経済性を伴った情報発展都市の一般均衡モデルを構築する。2種類の外部性を内部化するピグー税・補助金

を導出し、市場均衡解と社会的最適解を数値シミュレーションにより導出し、ピグー税・補助金の効果を分析する。第4章では、サイバー空間と物理的空間を考慮した都市経済モデルが開発される。線形都市を基礎として、情報ネットワークと交通ネットワークのインフラ構造、情報財と物的財のフロー、バーチャル企業の構造などがシミュレーションにより分析される。第5章では、単一都市モデルから複数都市モデルへの拡張がなされる。都市間の交通、情報流動が内生化され、都市間交通インフラと情報インフラの空間構造、バーチャル都市の空間構造が解明される。第6章では、サイバー空間を形成する移動体通信インフラ構造の解明を行う。地上波局と通信衛星局による無線通信インフラの最適構造と最適周波数割り当てが分析される。第7章では、人的資本ストックを考慮した複数都市群システムについて検討する。人的資本ストックと都市成長、及び都市間距離の関係が分析される。

参考文献

- Becker, G.S.(1965), "A Theory of the Allocation of Time, *Economic Journal*, pp.493-517.
- Brothie, J., Newton, P., Hall, P., and Nijkamp, P.(1985), "Technological Change and Urban Form, Crown Helm Ltd.
- Capello, R.(1994), *Spatial Economic Analysis of Telecommunications Network Externalities*, Avebury.
- Henderson, J.V.(1974), "The Sizes and Types of Cities, *American Economic Review*, pp.640-656.
- Janelle, D.G. and Hodge, D.C.(2000), *Information, Place and Cyberspace -Issues in Accessibility-*, Springer Verlag.
- 鬼木甫(1996), 『情報ハイウェイ建設のエコノミクス』, 日本評論社.
- Orishimo, I., Hewings, G.J.D., and Nijkamp, P.(1987), *Information Technology: Social and Spatial Perspectives*, Springer Verlag.
- U.S. Department of Commerce(1973), *Office of Telecommunication, in Telecommunication Substitute for Travel*, G.P.O.

第 2 章

I T 革命、サイバースペースと地域経済

筑波大学 氷 鮑 揚 四 郎

豊橋技術科学大学 波 澤 博 幸

2. 1 はじめに

現在、世界は産業革命以来の新しい潮流である、IT 革命の波に直面している。アルビン・トフラーの第三の波が、企業の生産活動のみならず、家庭の生活環境にも影響を及ぼしており、その革命の余波を実感しつつある。我々は、やがて襲い掛かる革命的変革に対応し、新たな情報空間を形成してゆかなければならない。

米国では、1980 年代の深刻な経済不況を乗り越え、現在もなお経済成長が好調であるのは、IT 産業の成長が強く寄与しているとしている[11]。インターネット・コマースが米国の消費生活にも大きな影響を与えていることは明白な事実として認識されている。ここ数年、我が国における IT 産業の成長も目覚しく、経済成長への貢献も期待されているが、情報インフラと通信料金については、必ずしも IT 先進国と同水準とはいえず、早急な対策が必要とされている。

本稿では、IT 革命が地域や交通システムに及ぼす影響を検討する。基本的な分析的枠組みを示すとともに、IT 産業と地域政策の最近の動向について解説する。

2. 2 IT 革命と空間

IT 革命に関連する最近の議論の多くは、情報技術による取引費用の削減、不確実性の減少による生産性あるいは効率性向上の効果に焦点が当てられている。前者は、インターネット・コマース (EC) を、後者は ITS (Intelligent Transport System) を例としてあげることができる。IT 革命は、産業革命あるいは交通革命が築いてきた物理的システムにも多大な影響を与えつつあり、経済社会システム全体を見下ろす視点が必要となる。

IT 革命は、サイバー空間 (電脳空間、Cyberspace) という新たな空間を形成している。サイバー空間という言葉は小説で初めて使われたものであるが[5]、最近ではその意味が実感できる状況に近づきつつある。近い将来、我々が築きそして接してきた物理的な世界は、サイバー空間に広がる無限の仮想的な世界と、かつてない共生・融合を迫られることになる。情報技術のさらなる進展を基盤とした新たな社会を迎えるにあたり、仮想世界と現実

世界を同時に生きてゆくことになる近未来を本格的に検討すべき時期にきている。サイバー空間は物理的空間と複雑に相互作用し、社会・経済活動に様々な影響をもたらしつつある。

(1) サイバー空間と物理的空間

サイバー空間と物理的空間の特徴を表2-1に整理する。便宜上、ここでは両空間を分けて解説する。産業革命以降、世界の社会経済活動は、交通ネットワークにより形成される物理的空間上で発展を遂げてきた。交通ネットワークは人類の歴史とともに、運河、鉄道、道路、航空機と進化してきた。情報ネットワークは、郵便、電報、電話、インターネットと進化している。インターネットはサイバー空間を形成し、現在その発展に限界は見えない。情報ネットワークと交通ネットワークの大きな違いのひとつは、ネットワークの形態にある。「ドア・ツウ・ドア」の言葉に示されるように、交通ネットワークは、その発地と着地の多くは固定的である。一方、情報ネットワークは、移動体通信の普及にみられるように、情報の発地と着地は移動しており、「パーソン・ツウ・パーソン」のサービスが必要である。時、場所を選ばずに、情報が供給されそして需要されなければならない。両ネットワークのもう一つの違いはその進化の速度にある。交通では、新たな技術革新としてはリニア新幹線が期待されているが、その実現には長い時間を必要とする。一方、情報ネットワークは依然としてその潜在的能力は計り知れず、その技術進歩は他に類をみない速度で進んでいる。

表2-1 サイバー空間と物理的空間

	サイバー空間	物理的空間
ネットワーク	情報通信ネットワーク	交通ネットワーク
財	情報財、バーチャル財、知識	物的財、資本
企業	バーチャル企業	物理的企業
労働	在宅勤務、テレワーク、SOHO	オフィス勤務
コミュニティ	バーチャルコミュニティ、バーチャルシティ	国家、地域、都市
教育	バーチャルユニバーシティ	小学校、中学校、高校、大学
政府	電子政府（広域ネットワーク）	中央政府、地方政府
福祉	遠隔医療	看護、医療
環境	バーチャル環境、情報汚染	生態系、自然環境汚染
希少性	時間	資源

(2) 情報財とバーチャル財

物理的空間では、物的財と人が移動を生む。サイバー空間では情報が移動する。情報には様々な定義や考え方があるが、ここでは情報財とバーチャル財という言葉を使う。情報

財は、取引費用の減少や不確実性を低下させる特性をもっている。情報財は、VICS(Vehicle Information and Communication System)にみられるような物理的空間での移動の効率性、安全性に貢献する。最近の IT 革命は、この情報財の影響が強く表面化してきたものである。一方、バーチャル財とは、物理的財を仮想的に消費できる特性をもつ財を意味する[2,20]。これは、仮想現実技術(VRT: Virtual Reality Technology)により生産され、21世紀の重要な技術として注目を浴びている。物理空間上の多くの財は私的財として取引されなければならないが、サイバー空間上で取引される財は本来的に公共財の性質を備えている。現在は、知的財産権の保護により多くの情報財は私的財として供給されている。今後、バーチャル財が物的財と代替関係をもてば、物的空間の資源制約にも影響を与える可能性があるだろう。

(3) 集積の経済

物理空間上に生まれた階層的都市システム・地域システムは、企業による集積の経済によるプラスの効果と輸送費用によるマイナスの効果がバランスして生じているものである。都市内の交通システムは都心への通勤のアクセシビリティを上昇させ、集積の経済を高める役目を果たしてきた。都市間交通システムは都市システム全体としての生産性向上に貢献してきた。

最近では、サイバー空間を利用した在宅勤務、テレワーク、SOHO (Small Office and Home Office)、バーチャル企業、バーチャルコミュニティなど新しい労働形態や組織が生まれている。これは、都市内の通勤行動や労働形態を変化させ、都市間輸送、そして都市システムの空間構造にも影響を与えつつある。ここでは、「仮想的な集積の経済」が生じていると考えられる。サイバー空間上における仮想的な多様な組織の出現は、物理空間上の組織の構造にも影響を与えつつある。物理的空間の「集積の経済」とサイバー空間上の「仮想的な集積の経済」が複雑に相互作用し、両空間が新しい構造に進化すると考えられる。

(4) 環境と資源

物理的空間では、我々は生態系の環境に取り囲まれている。バーチャル空間では、想的な環境が提供される。生態系における環境問題と同様に、サイバー空間上でも情報汚染のような環境問題が表面化してきている。

物理的空間では、資源に希少性があり、資源をいかに効率的に配分するかが本質的問題である。サイバー空間では、将来、大量の情報が無限に蓄積され、情報そのものには希少性は生まれず、膨大な情報からいかに有効な情報を効率的に消費できるかが重要となってくる。サイバー空間の進展は、より一層我々の時間価値を高めるであろう。

2. 3 情報ネットワークと交通ネットワーク

情報・交通ネットワークは移動サービスを提供する。情報ネットワークでは、電子化された情報、サービスが、交通ネットワークでは人、財が行き交う。情報化は交通に様々な影響を与える。情報が交通に与える影響については、1970年代より研究が進められている。

交通と情報の代替・補完関係に注目する研究がいくつか見られる[18,19]。我が国では、1980年代前半に交通と情報の代替・補完関係についてのアンケート調査が行われ[5]、交通と情報は将来代替関係のみならず補完関係も生じることが報告されている。情報通信手段の発展が交通量の拡大をもたらすとする補完関係を強調する成果もみられる[6]。1990年代では、情報と交通の具体的なモデル化が行われ、理論・実証の両面から研究が行われている[5]。在宅勤務(telecommuting)が交通に与える影響についての分析も行われている[13,14]。

交通ネットワークでは情報技術の導入が進められているが、この分野でも多くの研究成果をみることができる。不確実性を伴った経路選択問題や、ITS、VICSの導入の経済学的な評価が理論的、実証的に検討されている[3,15]。ここでは、渋滞の緩和や最短経路走行による省エネ効果も考慮されている。また、電子式料金システムによる混雑緩和と外部不経済の内部化についても、数多くの基礎的研究がみられるが、すでに実用段階に入っている。交通におけるIT革命も始まったばかりである。情報サービスの多様化してゆくなかで、交通と情報は複雑な依存関係をもつと考えられ、今後の研究が期待される。

2. 4 情報化と地域

情報は、万人が平等にその恩恵を享受しなければならない。そして、その情報はより効率的に生み出されなければならない。地域における情報化政策には、大きく二つの流れがある。ひとつは、地域間の情報格差を是正、地域社会の活性化を目的に1980年代より始められたの地域情報化政策である。郵政省のテレトピア構想では、国内181地域(1999年11月)が指定され、多様な情報化政策が実施されている。もう一つの流れが、IT産業集積による地域開発政策である。我が国では、沖縄のマルチメディアアイランド構想、岐阜のスイートバレーがあげられる。海外では、米国のシリコンバレー、マレーシアのマルチメディア・スーパー・コリドーが有名である。

2. 4. 1 地域の情報化

郵政省を主導に、テレトピア構想を中心とした、地域情報化政策が実施されている。わが国の先進的事例としては、北海道石見沢市、山形県米沢市、石川県金沢市、岐阜県大垣市、岡山県などがあげられる。これらの地域では、情報化により地域生活の快適性を向上させる試みがなされている(表2-2)。

大店舗法施行後、中心市街地の衰退が表面化しており、情報化を市街地再開発の一手段として利用する地域もみられる。市街地再開発では、官民連携による運営組織作りや合意形成プロセスが重要な成功要因となっている。インターネット上に情報を公開し、議論の場を提供するなど、市街地再開発の運営や合意形成に役立てようとする試みもみられる。

現在、地域における情報化は、我が国の社会・経済状況を考慮した形での新たな展開を必要としている。郵政省は、「次世代地域情報化ビジョン」のなかで、少子化・高齢化への対応、地方分権の促進、地域経済活性化、環境、地域連携・交流空間の創造を含めた上で

の地域情報化を掲げている。

表 2-2 地域情報化

日本の事例	
北海道石見市	情報通信インフラ整備（光ファイバ）、ネットワークセンター、遠隔学習システム開発、テレワークセンター
山形県米沢市	地域イントラネット（CATV）、情報センター、行政・医療・福祉などの各種アプリケーションの提供
石川県金沢市	高齢者・障害者のための情報通信利用環境整備、生きがい情報作業センター
富山県八尾町他	県境を越えた広域ネットワーク、各町村の福祉・観光・環境情報の相互利用
岡山県	岡山県情報ハイウェイ構想、情報インフラ整備、遠隔医療、効率図書館ネットワーク
高知県	官民連携のプロジェクト、道の駅の情報化、高知工科大学との連携
海外の事例	
ノースカロライナ州（米国）	情報通信による地域活性化（都心部と田園部の格差縮小）情報通信インフラ整備、官民連携、遠隔教育・医療・行政事務
シリコンバレー（米国）	IT 関連企業の集積地、電子政府（行政情報の提供、遠隔行政手続）、行政サービスの向上
ブラスパスパーク（米国）	産学民連携の電子コミュニティ構築、行政サービス、遠隔教育
ピットリフ州(豪州国)	電子公共サービス（7つの公共機関、銀行、郵便公社間の情報ネットワーク）
クロフトン（英国）	電子政府（行政サービス）、公共施設間ネットワーク

2. 4. 2 情報化と地域開発

米国スーパーハイウェイ構想の成功以来、情報産業を地域開発に利用する地域がみられる。海外では、米国のシリコンバレー、マレーシアのマルチメディア・スーパー・コリドー、インドのバンガロー、アイルランドのダブリンがその例である。わが国では、沖縄のマルチメディア構想、岐阜のスイートバレー、渋谷のビットバレーなどがあげられる。これらの地域が現在の IT 革命を作り上げている（表 2-3）。

（1）日本の事例

沖縄では、製造業を中心とした企業誘致による地域開発政策の限界に直面し、新たな産業の高度集積をいかに実現してゆくかが課題となっていた。IT 関連産業は、他産業に比較し立地要因の制限が少なく、小規模の資本で事業化できる長所をもっている。1998 年の郵政省主導のマルチメディアアイランド構想に基づきが情報化政策が実施されている。これ

は、アジア・太平洋地域の情報通信ハブ機能の強化もそのねらいとなっている。同構想の実現のためには、情報通信産業の集積、先進的アプリケーションの集積、人材育成・研究開発の促進、情報通信基盤の整備が必要とされている。初期の段階から、沖縄に情報通信関連の全部門の集積を期待するのは困難であることから、コンテンツ制作、ソフトウェア開発、情報サービスを重点分野としている。最近、沖縄はコールセンターの集積地となりつつあり、良好な成果を出しつつある。

岐阜県ではソフトピアジャパン（大垣市）を核に、県の南部地域をスイートバレーと命名し、IT 関連産業の集積を高める構想を立てている。ソフトピアジャパン、VR テクノジャパン、美濃テクノパーク、関テクノハイランドなどを中心に、IT 産業集積や高度情報通信網の整備を行い社会基盤を充実させ、人材育成や、大学連携による技術開発を行うことを検討している。同構想はマルチメディアによる都市活性化にも焦点を当てている。

東京・渋谷地区は、ビットバレーと呼ばれ、IT 関連企業が集積している。首都圏白書[12]によれば、東京 23 区内に本社があるネット関連企業の 37%（436 社）が渋谷・青山・初台周辺に集積している。その理由として、渋谷周辺がネット企業を担う若者にとって魅力的な地域であることがあげられている。

（２）海外の事例

米国のシリコンバレーでは、スタンフォード大学を中核として先端的な研究開発を行う電子情報産業が集積している。研究開発が主導であり、技術的専門職の集積地となっている。大企業、ベンチャー企業、大学、研究機関が融合し、情報サービス企業、コンピュータ企業が集積している。

ニューヨーク市のシリコンアレー地区は、ハイテク企業の集積地である。この地区では、不動産税、電気料金の免税措置がとられている。シリコンアレーに集積する企業は、約 1600 社あり、そのほとんどが、ニューヨークの既存の新聞、テレビ、出版、広告などメディア産業を反映した、ウェブサイト、コンテンツ開発に関連する企業である。シリコンアレーの成功要因は、マルチメディアを必要とする既存産業の集積、豊富な人材、低賃賃オフィス、ニューヨークの都市アメニティ、近隣大学との良好な関係にある。しかし、最近では、オフィス賃賃料が上昇したことにより企業の参入意欲が低下しており、また技術系エンジニアの人材確保に困難が生じている[17]。

マレーシアでは国家レベルの大プロジェクトである、マルチメディア・スーパー・コリドア（MSC: Multimedia Super Corridor）構想が実施されている。1995 年にマハティール首相が MSC 構想を発表して以来、1997 年には電子署名法などのサイバー法が成立し、1999 年に開発の拠点となるサイバージャヤ(Cyberjaya)がオープンしている。この特別区は、サイバージャヤ(Cyberjaya)を中心に、南北 50 k m 幅 15 k m の広範囲な空間をもち、新行政都市プラジャヤ(Putrajaya)、クアランブール新国際空港を含む行政主導の大規模地域開発プロジェクトである。産業誘致に関しては、マルチメディア開発公社(MDC: Multimedia

Development Corporation)が総合的な管理を行っている。サイバー法は、コンピュータ犯罪や知的財産権の保護にも対応している。MSCに参入する企業にはMSCステータス(MSC Status)という資格を与え、法人税免除、外資全額出資の認可、外国人雇用の自由化を図るなど、企業立地への有利条件を与えている。2000年7月で、MSCステータスを受けている企業は347社あり、主な内訳は、コンテンツ開発(57社)、ソフトウェア・アプリケーション開発(53社)、システムインテグレーション(33社)、Eコマースサービス(28社)、教育・トレーニング(23社)となっている。数ギガビットの大容量情報インフラ整備、電子政府、電子医療、電子取引などを積極的に進めている。

表2-3 情報産業による地域開発

日本の事例	
渋谷ビットバレー	コンテンツ開発、若年層
岐阜スイートバレー	ソフトピアジャパン、VRテクノジャパン
沖縄マルチメディアアイランド構想	コールセンター、アジア・太平洋地区の情報ハブ
海外の事例	
米国シリコンバレー	スタンフォード大学、研究主導型、ハードウェア、システム開発
米国シリコンアレー	ニューヨーク大学、コンテンツ開発
米国マルチメディアガイア	サンフランシスコ、コンテンツ開発、芸術系専門職の労働市場
マレーシアMSC	サイバー法、サイバージャヤ、行政主導
インドバンガロール	ソフトウェア開発、受注発展
シンガポールONE	インテリジェント・アイランド
アイルランドダブリン	ソフトウェア大国、コールセンター

インドのバンガロールでも、IT関連産業が集積している。インド政府が、米国のIT関連産業の就業経験者をバンガロール地域に集め、米国の関係企業からソフト開発を受託している。また、バンガロール地域に企業集積エリアを創設し、高速データ通信サービスの料金低減、コンピュータや周辺機器等の輸入税の免除、創業資金融資、輸出収益の所得税免除などの優遇措置を適用している。バンガロールの成功要因は、高等教育を受けた優秀な人材が豊富であること、衛星やマイクロ波による高速データ通信サービスの良好なアクセス条件、都市における生活の質の高さなどがあげられる[3]。

シンガポールでは、1998年に国内全土に高速光ケーブルネットワークを敷設し、国家レベルでシンガポールをインテリジェント・アイランド化する構想を立てている。政策的に通信サービスの低価格化などを図るなどアジア地域の情報ハブとしての機能強化を進めている。また、2000年「インフォコム21」より、国内のデジタルデバイドを解消するた

めに、低所得層への情報機器の配布などを行っている。

アイルランドは、ソフト輸出額が33億ドル(1998年)世界第一位のソフト大国である。ダブリンには、語学に堪能な人材が集積しており、安価な人件費など条件に加え、税制優遇制度などを産業施策により、ヨーロッパのコールセンターとなっている。

我が国のIT産業集積地域が、先進的国のIT産業集積地域と対等に競争できるようにするためには、税制面の特別措置、規制緩和や各プロジェクト間の複合的な政策が必要不可欠である。コンテンツ開発を中心とするIT企業には、質の高い生活環境、労働環境を整える必要がある。

(3) IT関連産業と集積

IT産業を起爆剤とする地域開発では、IT産業の業種が重要となる。IT産業の業務は、ハードウェアかソフトウェアかに大別される。また、ソフトウェアは、システム開発かコンテンツ開発かに分けられる。シリコンバレーに集積している企業は、主にハードウェア・システム開発中心のIT企業であり、技術的専門職の人材の集中が、集積の経済を生み出している。ここでは地域特化の経済が有効に機能している。このため比較的に郊外での集積が実現している。

インターネットの爆発的な普及に伴い、最近ではアプリケーションソフトの開発、特にインターネット関連のコンテンツ開発の成長が著しい伸びを見せている。コンテンツ開発が中心となるIT企業では、技術的専門職に加えて、芸術・人文系の文化的な素養を備えた人材が必要となる[9]。このような文化的な人材を確保できるのは、多様な文化遺産が点在し、長い歴史をもつ都市である。このため、コンテンツ開発を中心とするIT企業は、既存の都市に集積する傾向を見せている。渋谷のビットバレーもこれに当てはまる。

コンテンツ開発中心のIT企業の集積には、都市化の経済が働いている。これは、現在もお情報通信を利用した仮想的なコミュニケーションよりも、フェイス・トゥ・フェイスによる物理空間でのコミュニケーションが重要であることを示している。

これらの動向とは異なり、テレワーク、SOHOなど通信を利用した在宅勤務による勤務形態も普及の兆しをみせている。都心のオフィスの一部が、郊外の自宅内に分散化する傾向である。単独業務については、自宅での勤務が十分に可能である。在宅勤務は、オフィススペースの節約、通勤時の混雑緩和、および環境負荷からみても、多くの利点を持っており、今後の発展が期待される労働形態である。

情報の供給者は3つの空間的变化を見せている。ハードウェア・システム開発を主とするIT企業は郊外に集積し、ソフトウェア・コンテンツ開発を主とするIT企業は既存都市へ集積する傾向を見せている。単独作業が可能なソフトウェア開発については、職場が郊外の自宅に分散化している。その一方で、情報の需要側者、モバイルでかつより広域的な市場領域を求めている。IT革命は、物理空間に集中化と分散化の両方の効果をもたらしている。この動きに対応した柔軟な交通システム・ネットワークが必要とされているのであ

る。

(4) 政府の役割

IT 革命を支える政府の役割が注目されている。多くの国が、製造業中心の産業構造を知識情報産業中心の構造に転換しようとしている。情報化社会における新たな国家間・地域間競争が展開するなかで、情報化社会に対応できる効率的な政府の存在が求められている。我が国では、2003 年までに世界最高水準の電子政府の実現を目指すプロジェクトが実施されている。広域的な電子政府の構築に加えて、既存の中央政府と地方政府の再構築が望まれる。

2. 5 おわりに

産業革命以降、我々人類は物理的な人工物による資本の蓄積による大都市の形成と、人と物の移動を交通システムにより効率化させることで、大量生産、大量消費、大量廃棄のシステムを構成し、反映を続けてきた。しかし、同時に、地球温暖化現象にみられるように、地球という物理的空間もその限界をみせている。我々は新たな空間を必要としている。サイバー空間は広大な新大陸となる可能性を秘めている。IT 産業は、従来の物理システム、都市システム、そして交通システムに順応しながら、新たな集積あるいは分散化の進化形態を見せている。これに対応して、既存の物理システムも変貌してゆかなければならない。サイバー空間と物理的空間をいかにして最適に編成すべきかが、IT 革命時代に取り組まなければならない重要課題である。

参考文献

- [1]Divieti, L. (1997), "Transportation and telecommunications: Potential interactions between physical and immaterial [virtual] travel", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 31(1), 72
- [2]Emmerink, R.H.M., Verhoef, E.T., Nijkamp, P. and Rietveld, P.(1998), 'Information policy in road transport with elastic demand: Some welfare economic considerations', *European Economic Review*, 42(1), 71-96
- [3]ギータ・メタ(2000),"バンガロールにおける都市開発とソフトウェア産業", 『地域開発』, Vol.327, pp.35-42
- [4]Gibson, W.(1984), *Neuromancer*, Ace Books
- [5]氷鮑揚四郎, 渋澤博幸(1994), 『情報発展都市の一般均衡分析』, 多賀出版
- [6]原田昇(1985),"通信ニューメディアによる交通の代替可能性", 『運輸と経済』, 第 45 巻 3 号
- [7]小長谷一之(1999),"情報産業による市街地活性化—アメリカのマルチメディア革命—", 『都市問題研究』, 第 51 巻第 5 号, pp.76-91

- [8]小長谷一之(1999),”アメリカ都市再生の情報産業モデル”,『季刊経済研究』,第 22 巻第 1 号,pp.73-96
- [9]国際安全協会 633 プロジェクトチーム(1982,1983,1984),「交通と通信の代替・補完関係」,『国際交通安全協会学会誌』
- [10]国土庁計画・調整局総合交通課編(1997),『マルチメディア社会の交通を読む－高度情報化社会における交通に関する調査－』
- [11]国商務省(1999),デジタル・エコノミー II (米国商務省レポート),東洋経済新報社
- [12]国土庁(2000),『首都圏白書』
- [13]Mokhtarian, P.L. (1998), 'Synthetic Approach to Estimating the Impacts of Telecommuting on Travel', *Urban Studies*, 35(2), 215-41.
- [14]三友仁志,実積冬志也(1997),”テレコミュニケーションが都市交通の混雑緩和に及ぼす効果”,『高速道路と自動車』,第 40 巻第 2 号
- [15]Nijkamp, P. and Pepping, G. (1996), 'The relevance and use of information and telecommunication networks as strategic tools in the transport sector: A Dutch case study', *Annals of Regional Science*, 30(1), 111-134.
- [16]郵政省(1999),次世代地域情報化ビジョン～ICAN21 構想～
- [17]青山公三(2000),”ニューヨーク・シリコンアレイに見るマルチメディア産業集積”,『地域開発』,Vol.327, pp.23-27.
- [18]Salomon, I. (1985), 'Telecommunications and Travel: Substitution or Modified Mobility?', *Journal of Transport Economics Policy*, 19(3), 219-35.
- [19]Schuler, R.E. (1992), 'Transportation and Telecommunications Networks: Planning Urban Structure for the 21st Century', *Urban Studies*, 29(2), 297-310.
- [20] Shibusawa, H.(1998), "Cyberspace vs. Physical Space in a Network City",『地域学研究』,Vol.28, No.1,1998, pp.15-28.

Chapter 3

Agglomeration Diseconomies of Traffic Congestion and Agglomeration Economies of Interaction in the Information-oriented City

Yoshiro HIGANO

University of Tsukuba, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba 305 JAPAN

Hiroyuki SHIBUSAWA

Toyohashi University of Technology, Hibarigaoka 1-1, Tempaku, Toyohashi 441 JAPAN

ABSTRACT This paper presents a partial equilibrium model of land, labor and transportation markets in an information-oriented city with traffic congestion of commuting and agglomeration economies of interaction. We derive the equilibria by numerical computations using specific utility, production and congestion functions. The laissez-faire equilibrium is compared with the optimum. Contrary to the results of most previous papers, the CBD will become compact and the city will be more suburbanized than the laissez-faire equilibrium. We also analyze the effects of the system of Pigouvian taxes and subsidies on the spatial structure in the city.

1. INTRODUCTION

A concentration of people and economic activities in a big city has both agglomeration economies and diseconomies. The size of the city is determined by the trade-off between those effects. Most previous papers on urban structure consider that the interaction among firms in the CBD will generate agglomeration economies in production,

and have analyzed the configuration of firm location. On the other hand, the agglomeration diseconomies of traffic congestion in the commuting rush hour is a most important phenomenon to be analyzed in the new urban economics.

The spatial effects of congestion externalities were analyzed in previous studies (e.g., Solow and Vickrey(1971), Mills and de Ferranti(1971), Sheshinski(1973), Livesey(1973), Oron, Pines and Sheshinski(1973), Dixit(1973), Kanemoto(1980), and Sullivan(1983)). They derived the market equilibrium and the optimum equilibrium. It was shown that the optimum city is less suburbanized than the market equilibrium. They also derived the optimal land assignment for transportation in the city. In their papers, the decision on the allocation of land for transportation is based on cost-benefit criterion using market rent. In these studies, the importance of the time allocation between leisure and work is ignored. The income which all the identical households earn and the value of time which measures the opportunity costs of the time consumed in the congested community are exogenously given. Also, in these studies, the agglomeration economies of the interaction between the firms in the CBD are neglected.

Ogawa and Fujita(1980) constructed an equilibrium model of a nonmonocentric city in which agglomeration economies of interaction among the firms exists. Ota and Fujita (1993) analyzed the impacts of telecommunication technologies on the spatial organization of office activities in the city. These studies assumed that the distributions of the spatial interaction among the firms are of the exponential type. Higano and Orishimo(1990) and Higano(1991b) took account of the impact of telecommunication development on the labor market in the city, especially by the development of telecommuting-work at home using telecommunication services. They also analyzed the impact of spatially separated work places on urban residential location, consumption, and working-hour allocation behavior of the coming information oriented-society when there are two possible work places (an office in the CBD and a home in the suburbs) and the wages for office and home work are endogenously determined. Higano(1991a) and Shibusawa and Higano (1993) analyzed the impact of telecommuting on the spatial structure in the city

with traffic congestion. They compared a city in a laissez-faire equilibrium with a city in an optimum. These analyses were confined to the spatial structure in the suburbs. Shibusawa(1993) analyzed the spatial configuration of firms and the land assignment for transportation in the CBD. However, his analysis was focused on the laissez-faire equilibrium.

This paper presents a partial equilibrium model of the land and labor markets in a city in which there are both agglomeration diseconomies of traffic congestion among commuters and agglomeration economies of the interaction among firms in the CBD. The fundamentals of the model in this paper are based on the Higano-Orishimo model(1990). Both residential and employment locations are endogenously determined, however. We compare a city in a laissez-faire equilibrium with the city in a Pareto optimum equilibrium sustained by Pigouvian taxes and subsidies which control both the agglomeration economies and diseconomies.

The main purpose of this paper is to compare the laissez-faire equilibrium with the social optimum of the model when there are both agglomeration economies and diseconomies. At the laissez-faire equilibrium, transportation services are supplied based on the principle of the marginal cost pricing and the allocation of land for transportation is determined so as to satisfy the marginal productivity condition. The focus of the analysis is especially on the trade-off between agglomeration economies and diseconomies. Another focus is on the spatial impact of Pigouvian prescriptions in the city.

In section 2, we present a partial equilibrium model of the closed city with agglomeration economies and diseconomies. We construct a system of Pigouvian taxes and subsidies which attain the socially efficient resource allocation in section 3. Assuming specific utility, production, congestion and agglomeration functions, the equilibria are derived by numerical computations in section 4. In section 5, a laissez-faire equilibrium is compared with the social optimum. In the final section we discuss some implications of the analysis.

2. THE MODEL

Basic Assumptions

A von Thünen-Alonso type monocentric city is assumed. The city has communications and transportation network. The model is closed in the sense that the number of households in the suburbs and the number of firms in the CBD are both fixed. Households living in the suburbs commute to the office of the firms in the CBD by the transportation network and/or work at their own homes by the telecommunication network. We assume two types of telecommunication services. TYPE 1 affects the labor productivity at home and TYPE 2 affects that in the office. Instances of the former are the local area network(LAN) of computers in the office, and the international data base network via communication satellites. The latter are given by facsimile services, computer-networking telecommunications, and optical fiber wide area networks(WAN). The firms of the goods sector are located in the CBD and maximize their profit. The prices of the composite good, and TYPE 1 and TYPE 2 telecommunication services are determined in the open market, and, hence, taken as given. The transportation sector meets the demand of the commuters in both the CBD and the suburbs. It maximizes aggregate profit. It is regulated by a public authority. The regulation is based on the principle of marginal cost pricing. The real estate sector leases land in the whole city from absentee landowners at an agricultural land rent, and in turn, leases land back to households, firms and transportation sectors at market land rent. The profits are shared equally by all the suburban households. Losses are, if any, covered through the assessment of an equal lump sum tax on each suburban household.

Households live in the suburbs and go to the office of the firms in the CBD. Each household has one wage earner and maximizes utility subject to the constraints on time and the budget. Both the monetary and time costs of commuting in the city are borne by the commuters. All costs of the input of telecommunication services are borne by the employers. Commuting speed depends on traffic congestion. Land rents and wage rates for home and office work are endogenously determined by the market equilibrium. The public authority collects taxes, and pays subsidies of the Pigouvian type in order to

correct the inefficiency of resource allocation caused by the economies and diseconomies of the agglomeration. The tax revenue is evenly re-distributed over the suburban households in the city in the form of a lump sum. Or, the subsidy is financed by an equal lump sum tax charged to all households.

Behavior of Households

The household optimization behavior is formulated as follows (cf. Higano et al.(1990)):

$$\max_{\{\ell, T_L, T_h, T_o, x, r, z\}} U(\ell, T_L, T_h, T_o, x) \quad (1)$$

$$\text{subject to:} \quad T - T_L - T_1 - T_2 - T_o = 0, \quad (2)$$

$$bT_1 - T_h = 0, \quad (3)$$

$$(2cT_2)T_c(z, r) - T_o = 0, \quad (4)$$

$$w_1T_1 + [w_2(z, r) - 2cp_t(z, r) - T_{T_2}(z, r)]T_2 + d_v + D_t - p_\ell(r)\ell - p_0x \geq 0, \quad (5)$$

$$\eta \geq r \geq \varepsilon_c \geq z \geq 0, \quad (6)$$

$$\ell, T_L, T_h, T_o, T_1, T_2, x \geq 0. \quad (7)$$

Function $U(\cdot)$ is a given utility function, which positively depends on the amount of land (ℓ), leisure time (T_L), the utility-augmenting part of home work (T_h), commuting time (T_o), and the amount of consumption of a composite good (x). A residential location variable r and an office-work location variable z both represent the distance to the CBD center. Parameter T is the total available time spent working, commuting, or in leisure activities per period. Variable T_1 is the time spent in home work. Variable T_2 is the time spent in office work. Variable T_o is the time spent in commuting between the residential location, $r(\varepsilon_c \leq r \leq \eta)$, and the location of office work, $z(0 \leq z \leq \varepsilon_c)$. We assume that no cross-commuting occurs (Ogawa and Fujita 1980) and all the households residing at the infinitesimal residential location ring r in the suburbs go to the office of the firms located at the infinitesimal production ring z . Parameters η and ε_c are the city and the CBD

boundaries, respectively, and both are determined through the market equilibrium. The pattern of commuting is also endogenously determined.

An exogenous parameter 'c' is the reciprocal of the average time spent in office work per one commuting trip. It is closely related to the flexibility of the office employment environment. Parameter $T_c(z, r)$ is the commuting time per one commuting trip. It depends on residential location r ($\varepsilon_c \leq r \leq \eta$) and office-work location z ($0 \leq z \leq \varepsilon_c$), and is a function of commuting velocity $v(\xi)$ at location ξ ($z \leq \xi \leq r$), that is calculated as follows:

$$T_c(z, r) = \int_z^r 1/v(\xi) d\xi \quad (0 \leq z \leq \varepsilon_c \leq r \leq \eta).$$

Parameter 'b' is a fraction which defines the utility-augmenting hours of home work. Parameter w_1 is wage rate for home work. Parameter $w_2(z, r)$ is wage rate for office work and depends on the residential location r and the office-work location z . Parameter $T_{T2}(z, r)$ is the rate of the Pigouvian tax charged on the supply of office work¹. Parameter D_t is an equal re-distribution of the surplus of tax revenue over subsidy payments when it is positive. Or otherwise, it is a lump sum tax in order to supplement the excess of payments over revenues. Dividends of profits by the firms, $d_v(> 0)$, are additional sources of household income other than wages. Supplementations of losses of firms, $d_v(< 0)$, are lump sum taxes on the household income. Parameter $p_t(z, r)$ is the commuting cost per person one-way between the residential location r and the office-work location z . Parameter $p_t(r)$ is the land rent at location r . Parameter p_0 is the price of the composite good.

The bid rent function for the land and the wage offer function for office work are derived by the following land market arbitrage condition:

$$U(\ell[*_1], T_L[*_1], T_h[*_1], T_o[*_1], x[*_1]) = \bar{U} \quad (\varepsilon_c \leq r \leq \eta),$$

in which, symbol $[*_1]$ means vector of exogenous parameters and variables, $[p_0, p_t(r), p_t(z, r), w_1, w_2(z, r), T_c(z, r), d_v, T_{T2}(z, r); r]$. Variables with symbol $[*_1]$ represent the solutions for the above household optimization problem, Equations (1)-(7), provided that residential

location and office-work location , r and z , are temporarily given. Variable \bar{U} is the level of the equilibrium utility of the households. At the equilibrium, all the households attain the same level of utility irrespective of their residential location and office-work location. The solution at a laissez-faire equilibrium is obtained when $T_{T2}(z, r)$ and D_t are equal to zero.

The first derivative of the bid rent function with respect to r , provided that office-work location z is temporarily constant, is given as follows:

$$\frac{dp_t(r)}{dr} = \frac{T_2}{\ell} \left[-2c \frac{\nu(r)}{v(r)} + \frac{dw_2(z, r)}{dr} - 2c \frac{dp_t(z, r)}{dr} - \frac{dT_{T2}(z, r)}{dr} \right] (\varepsilon_c \leq r \leq \eta),$$

in which $\nu(r) = (U_2 - U_4)/\lambda$. Variable $U_m (m = 2, 4)$ is the first derivative of $U(\cdot)$ with respect to the m -th argument. U_2 and U_4 refer to the marginal utility of leisure and the marginal utility of commuting time, respectively. Variable λ is the Lagrangean multiplier associated with Equation (2) and refers to the marginal utility of income. The first derivative of the wage offer function for office work with respect to z , provided that residential location r is temporarily constant, is given as follows:

$$\frac{dw_2(z, r)}{dz} = \left[-2c \frac{\nu(r)}{v(z)} - 2c \frac{dp_t(z, r)}{dz} - \frac{dT_{T2}(z, r)}{dz} \right] T_2(r) (0 \leq z \leq \varepsilon_c).$$

Assuming no cross-commuting, the market wage function of office work at the equilibrium is given as follows ² :

$$w_2(z, r) = w_2(\varepsilon_c, \eta) + \left[2c\nu(r) \int_z^{\varepsilon_c} \frac{1}{v(u)} du + 2cp_t(z, \varepsilon_c) + T_{T2}(z, \varepsilon_c) \right] T_2(r) \\ (0 \leq z \leq \varepsilon_c \leq r \leq \eta). \quad (8)$$

The first term on the right side is the wage rate of office work which is paid to workers at city boundary η by the firm at CBD boundary ε_c . The second and third terms represent the monetary cost of commuting time and the commuting cost from office-work location z to CBD boundary ε_c , respectively. The fourth term represents the congestion tax within the CBD which is charged on households at location r . Therefore, the latter three terms refer to the total commuting cost within the CBD which include the externalities of congestion.

Equation(8) implies that the total commuting cost within the CBD is paid by the employer since the market differentiation between the wage of the office-worker of the firm at the CBD boundary and the wage of the office-worker of the firm at z , closer to the CBD center is just equal to it. Also, note that the same wage is substantially paid for identical labor service of office work since the difference in the wage is to be canceled by the commuting cost within the CBD. The difference in the commuting cost in the suburbs is, of course, compensated by the difference in the land rent. Here note that the wage of office-worker of the firm at the CBD boundary ϵ_c does not depend on where the office-worker resides in the suburbs of the city, i.e., $w_2(\epsilon_c, r) = w_2(\epsilon_c, \eta)$ for all r such that $\epsilon_c \leq r \leq \eta$.

Parameters $p_l(r)$, $p_t(z, r)$, w_1 , $w_2(z, r)$, $T_{T2}(z, r)$, d_v , D_t , and $T_c(z, r)$ are exogenously given, and taken as constants by the household at its subjective optimization. They are determined in the urban system through the market equilibrium.

Behavior of Firms

(1) Goods Sector

Assuming that a firm which produces the composite good is temporarily located at z ($0 \leq z \leq \epsilon_c$), we formulate its optimization behavior as follows (cf. Higano ,et al.(1990)):

$$\begin{aligned} \max_{\{\ell_0, y_s, t_1, t_2\}} \Pi_0(z) = & p_0 \Gamma F_0[f_1(y_1, t_1), f_2(y_2, t_2), \ell_0] \\ & - \sum_{s=1}^2 p_s y_s - w_1 t_1 - [w_2(z, r) - S_{t2}(z)] t_2 - p_l(z) \ell_0. \end{aligned} \quad (9)$$

The firm maximizes profit ($\Pi_0(z)$). The profit is revenue minus production costs. The revenue is a function of the labor inputs of home and office work in efficiency units, $f_1(\cdot)$ and $f_2(\cdot)$ respectively, and the land input for office space (ℓ_0). The labor input of home work in efficiency units depends on the inputs of TYPE 1 communication services (y_1) and home work in hours (t_1). The labor input of office work in efficiency units depends on TYPE 2 communication services (y_2) and office work in hours (t_2). Parameter $S_{t2}(z)$

is the subsidy paid for the input of office work³. Parameter p_k is the depreciation cost of one unit of capital stock. It is the product of the depreciation rate for the capital stock and the total price of the capital commodities which constitute the capital stock. The capital commodities are traded in the open market where the competition is perfect. We assume that the firms operate decreasing returns to scale and the number of firms is fixed, which assures that the profit can be positive.

The revenue also depends on the productive factor of agglomeration economies, $\Gamma(z)$, which is external to the individual firm and internal to the whole composite good sector in Marshall's sense. We assume a locational potential for the interaction among firms. Using polar coordinates, we specify the factor of agglomeration economies at the location (z, θ_z) ($0 \leq z \leq \varepsilon_c, 0 \leq \theta_z \leq 2\pi$), in the CBD as follows (ref. Fujita and Ogawa 1982):

$$\Gamma(z, \theta_z) = A_\Gamma \int_0^{\varepsilon_c} \int_0^{2\pi} t_2(r, \theta_r) e(r, \theta_r) e^{-\alpha_\Gamma d[(z, \theta_z), (r, \theta_r)]} d\theta_r dr,$$

in which, $t_2(r, \theta_r)$ is the employment of office work and $e(r, \theta_r)$ is the density of the firms located at location (r, θ_r) . A_Γ is a parameter rating productivity of the interaction benefits among firms, and α_Γ is a parameter reflecting the rate of decay in the interaction benefits with increasing distance. $d[(z, \theta_z), (r, \theta_r)]$ is distance between the firms locating at (z, θ_z) and (r, θ_r) , and is defined as : $d[(z, \theta_z), (r, \theta_r)] = [z^2 + r^2 - 2zr \cdot \cos(\theta_z - \theta_r)]^{1/2}$. It is assumed that $\Gamma(z, \theta_z)$ is independent on θ_z .

The bid rent function for the land in the CBD is derived by the following land market arbitrage condition:

$$\Pi_0(y_1[*_2], t_1[*_2], y_2[*_2], t_2[*_2], \ell_0[*_2]) = \bar{\Pi}_0 \quad (0 \leq z \leq \varepsilon_c),$$

in which, symbol $[*_2]$ refers to the vector of parameters, $[*_2] = [p_1, p_2, p_t(z), w_1, w_2(z, r), S_{t2}(z); z]$. Variables with symbol $[*_2]$ represent the solutions for the above firm optimization problem, Equation (9), provided that residential location and office-work location, r and z , are temporarily given. Variable $\bar{\Pi}_0$ is the amount of the equilibrium profit of the

firms. At the equilibrium, all the firms acquire the same amount of profits irrespective of their work place and employment locations. The solutions at a laissez-faire equilibrium is obtained when $S_t(z)$ is equal to zero. The first derivative of the bid rent function in the CBD with respect to z , provided that residential location r is constant, is given as follows:

$$\frac{dp_t(z)}{dz} = \frac{1}{\ell_0} \left[p_0 F_0 \frac{d\Gamma}{dz} - t_2 \frac{dw_2(z, r)}{dz} + t_2 \frac{dS_{t2}(z)}{dz} \right] \quad (0 \leq z \leq \varepsilon_c).$$

(2) Transportation Sector

The firm of the transportation sector, which is a monopolist in the market, is regulated by the public authority as if it were a price-taker, namely it prices transportation services at the marginal cost. The optimization behavior is formulated as follows:

$$\begin{aligned} \max_{\{\Psi_t, k_3\}} \Pi_3 = & \int_0^\eta p_3(r) F_3(r) [\Psi_t(r), k_3(r)] \\ & - \{[p_t(r) - S_{\Psi_t}(r)] \Psi_t(r) + [p_k - S_{k_3}(r)] k_3(r)\} dr. \end{aligned}$$

It maximizes an aggregate profit (Π_3). Its output at location r , ($F_3(r)$), is a function of the land, ($\Psi_t(r)$) and capital, ($k_3(r)$) at location r . In the optimization behavior, there is no constraint on the commuting velocity. Therefore, the firm of transportation sector can not control the commuting velocity. Parameters $S_{\Psi_t}(r)$ is the subsidy paid on the input of land⁴. Parameter $S_{k_3}(r)$ is the subsidy paid on capital. Parameter $p_3(r)$ is the regulated price of transportation services at location r . The one-way price of the transportation service per person from residential location r to office-work location z is calculated as follows: $p_t(z, r) = \int_z^r p_3(\xi) d\xi$ ($0 \leq z \leq \varepsilon_c \leq r \leq \eta$).

The solutions of the above optimization behavior, provided that location r temporarily given, is represented by, $\Psi_t(r)[*_3]$, and $k_3(r)[*_3]$. Symbol $[_*_3]$ refers to the vector of parameters $[p_t(r), p_3(r), S_{\Psi_t}(r), S_{k_3}(r)]$. The solution at a laissez-faire equilibrium is obtained when $S_{\Psi_t}(r)$ and $S_{k_3}(r)$ are equal to zero.

(3) Commuting Speed

The commuting speed at location r , $v(r)$, depends on both the infrastructure of transportation and the number of commuting trips at location r , and is defined as

(ref.Small 1992): $v(r) = V[\Theta(\Psi_t(r), k_3(r)), M(r)]$ ($0 \leq r \leq \eta$). $\Theta(\Psi_t(r), k_3(r))$ is a production function of the infrastructure. It depends on the inputs of land and capital for transportation. We assume $\partial(1/v)/\partial\Theta(r) > 0$ and $\partial(1/v)/\partial M(r) < 0$. It is assumed that the function of infrastructure, $\Theta(\cdot)$, is different from that of transportation services⁵, $F_3(\cdot)$. going through the infinitesimal ring at location r . $M(r)$ is calculated as follows:

$$M(r) = \begin{cases} \int_0^r 2ct_2[*_2]e(\xi)d\xi & (0 \leq r \leq \varepsilon_c); \\ \int_r^\eta 2cT_2[*_1]e(\xi)d\xi & (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \end{cases}$$

in which variable $e(r)$ is the number of households residing at location r in the suburbs or the number of firms of the composite good sector located at location r in the CBD. $e(r)$ is calculated as follows:

$$e(r) = \begin{cases} \Psi(r)/\ell_0[*_2] & (0 \leq r \leq \varepsilon_c); \\ \Psi(r)/\ell[*_1] & (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \end{cases}$$

in which variable $\Psi(r)$ is the residential zone area of the infinitesimal ring at location r in the suburbs ($\varepsilon_c \leq r \leq \eta$) or the office zone area at location r in the CBD ($0 \leq r \leq \varepsilon_c$). We define the level of traffic congestion, $G(r)$, as $G(r) = M(r)/\Theta(\Psi_t(r), k_3(r))$ ($0 \leq r \leq \eta$).

(4) Real Estate Sector

We assume that the leasing costs of the real estate sector are negligibly small. The profit(Π_4) is calculated as follows: $\Pi_4 = \int_0^\eta \{p_t(r) - R_A\} 2\pi r dr$, in which R_A is an opportunity land rent of agricultural land use.

Equilibrium Conditions

The laissez-faire equilibrium is simulated when $T_{T2}(z, r)$, $S_{\Psi_t}(r)$, $S_{k_3}(r)$, $S_{t_2}(r)$, and D_t are equal to zero for all r . The conditions for the laissez-faire equilibrium are stated as follows⁶:

(i)arbitrage conditions in the land markets

$$U(\ell[*_1], T_L[*_1], T_h[*_1], T_o[*_1], x[*_1]) = \bar{U} \quad (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \quad (10)$$

$$\Pi_0(y_1[*_2], t_1[*_2], y_2[*_2], t_2[*_2], \ell_0[*_2]) = \bar{\Pi}_0 \quad (0 \leq r \leq \varepsilon_c), \quad (11)$$

(ii)equilibrium conditions in the land leasing markets

$$p_t(r) = \max\{p_t(r), R_A\} \quad (0 \leq r \leq \eta), \quad (12)$$

$$p_t(\eta) = R_A, \quad (13)$$

$$\Psi_t[*_2] + \Psi(r) = 2\pi r \quad (0 \leq r \leq \eta), \quad (14)$$

(iii)equilibrium conditions in the labor markets

$$\int_0^{\varepsilon_c} t_i[*_2]e(r)dr = \int_{\varepsilon_c}^{\eta} T_i[*_1]e(r)dr \quad (i = 1, 2), \quad (15)$$

$$\int_0^{z(r)} t_2[*_2]e(\xi)d\xi = \int_{\varepsilon_c}^r T_2[*_1]e(\xi)d\xi \quad (0 \leq z \leq \varepsilon_c \leq r \leq \eta), \quad (16)$$

(iv)equilibrium condition in the markets of transportation services

$$M(r) = F_3(r)[\Psi_t(r)[*_3], k_3(r)[*_3]] \quad (0 \leq r \leq \eta),$$

(v)conditions of the closed city

$$\begin{aligned} \bar{P} &= \int_{\varepsilon_c}^{\eta} e(r)dr, \\ \bar{N}_0 &= \int_0^{\varepsilon_c} e(r)dr, \end{aligned}$$

(vi)dividend of profits

$$d_v = (\bar{\Pi}_0 \bar{N}_0 + \sum_{j=3}^4 \Pi_j) / \bar{P},$$

(vii)commuting conditions

$$\begin{aligned} p_t(z, r) &= \int_z^r p_3(\xi)d\xi \quad (0 \leq z \leq \varepsilon_c \leq r \leq \eta), \\ T_c(z, r) &= \int_z^r 1/v(u)du \quad (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \\ v(r) &= V[\Theta(\Psi_t[*_3], k_3[*_3]), M(r)] \quad (0 \leq r \leq \eta), \\ M(r) &= \begin{cases} \int_0^r 2ct_2[*_2]e(\xi)d\xi & (0 \leq r \leq \varepsilon_c); \\ \int_{\varepsilon_c}^r 2cT_2[*_1]e(\xi)d\xi & (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \end{cases} \\ e(r) &= \begin{cases} \Psi(r)/\ell_0[*_2] & (0 \leq r \leq \varepsilon_c); \\ \Psi(r)/\ell[*_1] & (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \end{cases} \end{aligned} \quad (17)$$

Equation (12) defines the market rent curve in the city. Equation (13) is a boundary condition for the bid rent function in the suburbs. Both conditions simultaneously define the CBD boundary ε_c and the outer boundary of the city η . Equation (14) means that the total amount of the land devoted to transportation, housing, or offices has to be equated with the amount of the land available at location r ($0 \leq r \leq \eta$). In Equation (15), it is assumed that the demand and supply conditions of home work at each location are not influenced by the commuting pattern. This implies that the households can offer their labor of home work to the firms of which they don't commute. Equation (16) means that the sum of the supply of office work by the households residing at a distance r from the CBD boundary is equal to the sum of the demand for office work by the firms located at a distance z from the CBD boundary. This means that there is no cross-commuting.

3. THE SOCIALLY EFFICIENT RESOURCE ALLOCATION

We examine the Pareto-efficient allocation of resources. To obtain the criteria for the socially efficient resource allocation in the city, we consider the maximization of the sum of the utility subject to the arbitrage condition and the constraints on the allocation of time, land, population, labor, goods, and services. The socially efficient resource allocation is attained by the following system of taxes and subsidies ⁷ (see Appendix 1).

$$T_{T2}(z, r) = \int_{\varepsilon_c}^r H(t) \int_{z(t)}^t \frac{-2c}{v(u)^2} v_M(u) du dt + \int_r^\eta H(t) \int_{z(r)}^r \frac{-2c}{v(u)^2} v_M(u) du dt$$

$$(0 \leq z \leq \varepsilon_c \leq r \leq \eta), \quad (18)$$

$$S_{\Psi t}(r) = \begin{cases} \frac{v_{\Psi}(z)}{v(z)^2} \int_{\varepsilon_c}^{r(z)} H(t) dt & (0 \leq z \leq \varepsilon_c); \\ \frac{v_{\Psi}(r)}{v(r)^2} \int_r^\eta H(t) dt & (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \end{cases} \quad (19)$$

$$S_{k3}(r) = \begin{cases} \frac{v_{k3}(z)}{v(z)^2} \int_{\varepsilon_c}^{r(z)} H(t) dt & (0 \leq z \leq \varepsilon_c); \\ \frac{v_{k3}(r)}{v(r)^2} \int_r^\eta H(t) dt & (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \end{cases} \quad (20)$$

$$S_{t2}(r) = (1/e(r)) \int_0^{\varepsilon_c} p_0 F^0(t) e(t) \frac{\partial \Gamma(t)}{\partial t_2(r)} dt \quad (0 \leq r \leq \varepsilon_c), \quad (21)$$

$$D_t = (1/\bar{P}) \left[\int_{\bar{e}_c}^{\bar{\eta}} T_{T2}(z, r) T_2(r) e(r) dr - \int_0^{\bar{\eta}} S_{\Psi t}(r) \Psi_t(r) + S_{k3}(r) k_3(r) dr - \int_0^{\bar{e}_c} S_{t2}(r) t_2(r) e(r) dr \right], \quad (22)$$

in which $H(t) = \nu(t) 2c T_2(t) e(t)$, $v_M(u) = \partial v(u) / \partial M(u)$, $v_{\Psi}(r) = (\partial v(r) / \partial \Theta(r)) (\partial \Theta(r) / \partial \Psi_t(r))$, and $v_{k3}(r) = (\partial v(r) / \partial \Theta(r)) (\partial \Theta(r) / \partial k_3(r))$. Equation (18) is the congestion tax imposed on the supply of office work by the household residing at location r (cf. Higano 1991a). This is the sum of the incremental social costs which are caused by commuting to the office and externalized onto the non-causing households. The first term represents those costs which are externalized onto the households residing nearer to the CBD than the causing households. The second are those spilling over to the households located farther from the CBD than the causing households. Equations (19) and (20) are the congestion subsidies paid on the inputs of land and capital in the transportation sector, respectively. They are the incremental benefits due to increases in the inputs of land and capital in the transportation sector at location r . Equation (21) is the subsidy paid on the employment of office work by the composite good sector at location r . This is the total benefit which is due to an increase in the employment and externalized on all the firms of the composite sector good in the CBD.

4. A NUMERICAL MODEL

A set of spatially consecutive infinitesimal location rings is approximated by discrete location rings.

the i -th ring \equiv set of all the infinitesimal location rings whose ray distance to the CBD center ranges from d_{i-1} to d_i ($i = 1, \dots, \bar{e}_c, \bar{e}_c + 1, \dots, \bar{\eta}$).

Parameters \bar{e}_c and $\bar{\eta}$ are the numbers of the rings representing of the boundaries of the CBD and the city, respectively. The number of discrete rings in the CBD, \bar{e}_c , is equal to that of the suburbs, $\bar{\eta} - \bar{e}_c$. Variable d_i ($i = 1, \dots, \bar{\eta}$) is the distance from the city

center and satisfies the following equations: $\pi(d_i^2 - d_{i-1}^2) = A_\Delta(i)$ ($i = 1, \dots, \bar{\eta}$). Variable $A_\Delta(i)$ ($i = \bar{\varepsilon}_c + 1, \bar{\varepsilon}_c + 2, \dots, \bar{\eta}$) is the area of each discrete ring in the suburbs and is specified in the simulation as follows: $A_\Delta(i) = 2\pi(\eta^2 - \varepsilon_c^2)/(\bar{\eta} - \bar{\varepsilon}_c)$. On the other hand, variable $A_\Delta(i)$ ($i = 1, \dots, \bar{\varepsilon}_c$) is the area of each discrete ring in the CBD, and is endogenously determined so as to satisfy Equation (16). The i -th production ring in the CBD is endogenously associated with the $(\bar{\eta} - i + 1)$ -th residential ring in the suburbs ($i = 1, \dots, \bar{\varepsilon}_c$) by the assumed absence of cross-commuting. Variable $d_{\bar{\varepsilon}_c}$ is the distance from the city center to the CBD boundary, i.e. $d_{\bar{\varepsilon}_c} = \varepsilon_c$ by the definition. Hence, variable $d_{\bar{\eta}}$ satisfies that $p_t(d_{\bar{\eta}}) = R_A$.

We specify that the utility, labor efficiency, and production functions are all of the constant elasticity of substitution (CES) form.

Utility Function

$$U(\ell, T_L, T_h, T_o, x) = \log\{A[\alpha_0 \ell^{-\rho} + \alpha_1 T_L^{-\rho} + \alpha_2 T_h^{-\rho} + \alpha_3 T_o^{-\rho} + \alpha_4 x^{-\rho}]^{-1/\rho}\}$$

$$(A, \alpha_m > 0, \rho > -1; m = 0, 1, 2, 3, 4).$$

Labor Efficiency Functions

$$f_m(y_m, t_m) = B_m[\beta_{0m} y_m^{-\rho_{m0}} + \beta_{1m} t_m^{-\rho_{m0}}]^{-1/\rho_{m0s}}$$

$$(B_m, \beta_{0m}, \beta_{1m} > 0, \rho_{m0}, \rho_{m0s} > -1; m = 1, 2).$$

Production Functions

$$F_0[f_1, f_2, \ell_0] = C_0[\gamma_1(f_1)^{-\rho_0} + \gamma_2(f_2)^{-\rho_0} + \gamma_3 \ell_0^{-\rho_0}]^{-1/\rho_{0s}}$$

$$(C_0, \gamma_m > 0, \rho_0, \rho_{0s} > -1; m = 1, 2, 3),$$

$$F_3(i)[y_{03}, \Psi_t, k_3] = C_3[\gamma_4 \Psi_t^{-\rho_3} + \gamma_5 k_3^{-\rho_3}]^{-1/\rho_{3s}}$$

$$(C_3, \gamma_3, \gamma_4 > 0, \rho_3, \rho_{3s} > -1; i = 1, \dots, \bar{\eta}).$$

Agglomeration Economies

We specify the factor of agglomeration economies as follows:

$$\Gamma(i) = A_\Gamma \sum_{j=\bar{\varepsilon}_c}^{\bar{\eta}} t_2(j) \frac{e(j)}{\bar{\theta}_j} \sum_{k=1}^{\bar{\theta}_j} \exp\{-\alpha_\Gamma d[(d_i, 0), (d_j, 2\pi k/\bar{\theta}_j)]\} \quad (A_\Gamma, \alpha_\Gamma, \bar{\theta}_j > 0; i = 1, \dots, \bar{\varepsilon}_c),$$

in which, $e(j)/\bar{\theta}_j$ is the number of the firms located at a lot with an area of $\Psi(j)/\bar{\theta}_j$ in the j -th ring. Parameter $\bar{\theta}_j$ is the number of lots at j -th ring. Variable $d[(d_i, 0), (d_j, 2\pi k/\bar{\theta}_j)]$ is the distance between the firms locating at $(d_i, 0)$ and $(d_j, 2\pi k/\bar{\theta}_j)$ on the polar coordinates plane, and is defined as : $d[(d_i, 0), (d_j, 2\pi k/\bar{\theta}_j)] = [d_i^2 + d_j^2 - 2d_i d_j \cdot \cos(0 - 2\pi k/\bar{\theta}_j)]^{1/2}$.

Commuting Speed

The function of the commuting speed is of the Vickrey (1965) type.

$$v(i) = \theta_0 + \theta_1(M(i)/\Theta(i))^{-\theta_2} \quad (\theta_0, \theta_1 > 0, \theta_2 > 1; i = 1, \dots, \bar{\eta}),$$

$$\Theta(i) = \Psi_i(i)^{\xi_1} k_3(i)^{\xi_2} \quad (\xi_1, \xi_2 > 0; i = 1, \dots, \bar{\eta}).$$

Simulation Cases

In order to analyze the effects of Pigouvian taxes and subsidies, we define three equilibria taking account of the feasibility of each prescription (Table 3-1). The equilibrium of Case 1 is the laissez-faire equilibrium. Case 3 is to be the Pareto optimum. By comparing Case 1 and Case 2, we can analyze the effects of the agglomeration diseconomies of traffic congestion. Especially, Case 2 shows whether the office work (the home work) increases or decreases by the congestion taxes and subsidies. Moreover, the comparison between Case 2 and Case 3 shows the effects of the agglomeration economies of interaction of firms clearly. The values of parameters of the simulation are listed in Appendix 2⁸.

TABLE 3-1: Simulation Cases

	$T_{T2}(z, r)$	$S_{\Psi i}(r)$	$S_{k3}(r)$	$S_{t2}(r)$	
Case 1:	0	0	0	0	(laissez-faire)
Case 2:	Eq.(18)	Eq.(19)	Eq.(20)	0	
Case 3:	Eq.(18)	Eq.(19)	Eq.(20)	Eq.(21)	(optimum)

5. RESULTS

The results of the simulation are summarized in Figures 3-1 to 3-8. In all figures, solid lines depict Case 1 and one dash lines depict Case 2. Double dash lines depict Case 3.

(a) [Case 1 vs. Case 2] The laissez-faire equilibrium is compared with the equilibrium in which only congestion taxes and subsidies are effective. By the congestion

subsidies, the infrastructure of transportation increases everywhere (Figure 3-8). Due to the increase in the infrastructure of transportation, the traffic congestion decreases everywhere (Figure 3-2) and the commuting time of the household decreases everywhere. Somewhat surprisingly, the supply of office workers increases everywhere in the suburbs although the congestion tax is charged on the supply of office workers (Figure 3-6). This is attributable to the decreased traffic congestion. Therefore, the input of office work by the firm also increases everywhere in the CBD. Although office work increases, leisure time of the households increases everywhere, since the commuting time decreases everywhere. By the increase in the input of office work, agglomeration economies increase everywhere in the CBD (Figure 3-1). This increases the profits of the firms. Also the disposable income of households increases everywhere in the suburbs. By the reduction in the traffic congestion, the number of the commuting trips increases everywhere in the city and the cost of transportation decreases everywhere in the city.

The land rent at the outer rings of the CBD is a decreasing function with distance from the city center. On the other hand, the land rent at the inner rings in the CBD is an increasing function. This is due to the composite effect of the decreasing total commuting cost in the CBD which are substantially paid by the employers through the market differentiation in the wage of office-worker (see Equation(8)) and the agglomeration effects of interaction among the firms: locations in the middle of the CBD are closer on average to other firms and thus the external effects are most enjoyed by the employers located in the middle. Hence, the wage rate for office work is a decreasing function with distance from the city center (Figure 3-1). The bid rent in the CBD with taxes and subsidies becomes steeper than the bid rent curve in the laissez-faire equilibrium. On the other hand, the bid rent curve in the suburbs becomes flatter. The office space decreases at the inner rings in the CBD and increases at the outer rings in the CBD. This implies that the firms locating near the center of the CBD move toward the city center. On the other hand, the firms located near the CBD boundary move toward the suburbs. As a results, the CBD boundary decreases ⁹. The housing space increases everywhere (Figure

3-4) and the city becomes more suburbanized than the laissez-faire equilibrium. Of course, the level of equilibrium utility increases everywhere in the suburbs.

The congestion tax imposed on the households has a tendency to reduce the supply of office work and the city becomes less suburbanized. Conversely, the congestion subsidies paid to the transportation sector have a tendency to increase the supply of office work, due to the reduction in the traffic congestion, and the city becomes more suburbanized. As a result, in Case 2, office work increases and the city becomes more suburbanized than the laissez-faire equilibrium. The expansion of the CBD pushes the suburban area farther out. This also means that the impact of the congestion tax on the labor supply and, hence, on the traffic congestion is smaller than that of the congestion subsidies on the traffic congestion and, hence, on the labor supply. Through the increase in office work in the CBD, the agglomeration economies of the firms increase. This means that the congestion taxes and subsidies would make a contribution to the increase in the productivity of the whole city and, hence, the equilibrium utility level increases.

(c) [Case 1 vs. Case 3]

The laissez-faire equilibrium is compared with the optimum equilibrium which is sustained by the Pigouvian taxes and subsidies. By the subsidies paid on the inputs of office work, the inputs of office work increase everywhere and the inputs of home work decrease everywhere in the CBD. The subsidies have a tendency to increase the traffic congestion, which in turn generates increases in the congestion taxes and subsidies. By the congestion taxes and subsidies, the land assignment for transportation increases everywhere and the traffic congestion decreases everywhere (Figures 3-2,3-7). The reduction in the congestion generates an increase in office work and, hence, home work decreases everywhere in the suburbs. Since agglomeration economies increase by the increase in office work (Figure 3-1), the dividends of the firms increase and the disposable income of the households increases. The office space decreases at the inner rings of the CBD and increases at the outer rings of the CBD (Figure 3-4). As a result, the CBD boundary decreases. The housing space increases everywhere (Figure 3-4) and the optimal city is

more suburbanized than the laissez-faire city. The household expends more money and lives in more spacious housing with more consumption of goods. The level of welfare in the city increases.

The optimal land assignment for transportation is a convex and a concave function of the distance from the city center in the CBD and in the suburbs, respectively (Figure 3-7). This result confirms the results of Sheshinski(1973) and Livesey(1973).

To sum up, in Case 2, although office work increases everywhere in the city by the congestion tax and subsidies, the traffic congestion decreases in the city due to the increase in the land assignment for transportation. At the optimum equilibrium of Case 3, the subsidies paid for office work employment have a tendency to increase office work and traffic congestion. Although office work increases, the traffic congestion decreases by the congestion subsidies on the land assignment for transportation. Also, by the increase in office work, the externality of agglomeration economies increases and, hence, the productivity of the whole city increases. This implies that the trade-off between the economies of agglomeration and the diseconomies of traffic congestion, both of which are caused by the agglomeration of firms in the CBD, are controllable by the Pigouvian taxes and subsidies so as to compatibly enjoy an easing of traffic congestion and an increase in the productivity enhancing agglomeration economies. Hence, the level of welfare in the city increases. The CBD becomes compact and the city is more suburbanized than the laissez-faire equilibrium city.

6. CONCLUSION

In this paper, we constructed an information-oriented urban model with traffic congestion and agglomeration economies of interaction. We assume that the transportation services are supplied based on the marginal cost pricing, while the analysis of most previous papers is based on the average cost pricing. We have derived the Pigouvian taxes and subsidies which can support the Pareto optimality of the agglomeration economies and diseconomies in the city. By numerical computations, we have derived the laissez-

faire equilibrium and the optimum, and compared them with each other. Contrary to the results of most previous papers, although our model has some different specifications from the previous one (see Table 3-2), in the optimum the CBD will become compact and the city will be more suburbanized than the laissez-faire equilibrium. We have also analyzed the effects of the system of Pigouvian taxes and subsidies on the spatial structure of the city. The congestion taxes and subsidies would increase office work and decrease the traffic congestion effectively. The subsidies paid on the employment of office work which generate the agglomeration economies would also have a tendency to increase office work and the roads would become more congested. At the optimum equilibrium in which both the congestion and the agglomeration prescriptions are implemented, the traffic congestion decreases compared with the laissez-faire equilibrium and, on the other hand, office work increases.

TABLE 3-2: Comparison with Monocentric Models with Traffic Congestion

		our model	Mills and Ferranti (1971)	Sollow and Vickrey (1971)	Livesey, Sheshinski (1973)	Oron, etc. (1973) Kanemoto (1980)	Dixit (1973)	Sullivan (1983)
M	residential location	endog.	endog.	-	endog.	endog.	endog.	endog.
	firm location	endog.	-	endog.	-	-	-	endog.
O	congestion	endog.	endog.	endog.	endog.	endog.	endog.	endog.
D	agglomeration	endog.	-	-	-	-	-	-
	market solution	endog.	-	endog.	-	endog.	-	endog.
E	optimum solution	endog.	endog.	endog.	endog.	endog.	endog.	endog.
L	transportation services	marginal cost pricing	-	cost benefit	-	cost benefit		cost benefit
	land for transportation	endog.	endog.	endog.	endog.	endog.	endog.	endog.
	telecommuting	endog.	-	-	-	-	-	-
O	CBD boundary	decreases	-	-	-	-	-	increases
P								
T	city boundary	increases	-	decreases	-	decreases	-	decreases
I								
M	road width	wider	-	narrow	-	narrow	-	narrow
U								
M								

This means that, contrary to one's first intuition, to optimise to reduce the diseconomies of the traffic congestion and to further enjoy the agglomeration economies in the CBD can be consistent scenarios with each other rather than mutually exclusive ones. The productivity of the whole city increases and the level of welfare in the city increases by the Pigouvian prescriptions.

REFERENCES

- Arnott, Richard J. 1979. "Optimal City Size in a Spatial Economy, " *Journal of Urban Economics*, 6, 65-89.
- Aumann, Robert J. 1964. "Markets with Continuum of Traders, " *Econometrica*, 32, 39-50.
- Chipman, John S. 1970. "External Economies of Scale and Competitive Equilibrium, " *Quarterly Journal of Economics*, 86, 347-385.
- Dixit, Avinash. 1973. "The Optimum Factory Town, " *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, 2, 637-651.
- Fujita, Masahisa. and Hideki Ogawa. 1982. "Multiple Equilibria and Structural Transition of Non-monocentric Urban Configurations, " *Regional Science and Urban Economics*, 12, 161-196.
- Henderson, J.Vernon. 1974. "The Sizes and Types of Cities, " *American Economic Review*, 64, 640-656.
- Higano, Yoshiro. 1991a. "Land and Labor Markets in a Closed City with Congestion: Equilibrium vs. Optimum, " *Studies in Regional Science*, 21, 271-304.
- Higano, Yoshiro. 1991b. "Numerical Analysis of the Land and Labour Markets in the City, " *Papers in Regional Science*, 70, 439-59.
- Higano, Yoshiro. and Isao.Orishimo. 1990. "Impacts of Spatially Separated Work Places on Urban Residential Location,Consumption and Time Allocation, " *PAPERS of RSA*, 68, 9-21.
- Kanemoto, Yoshitsugu. 1980. *Externalities in a Spatial Economy*, Amsterdam: North-Holland.

- Livesey, D.A. 1973. "Optimum City Size: A Minimum Congestion Cost Approach," *Journal of Economic Theory*, 6, 144-161.
- Mills, Edwin S. and David M. de Ferranti. 1971. "Market Choices and Optimum City Size," *American Economic Review*, 61, 2, 340-5.
- Ogawa, Hideki and Masahisa Fujita. 1980. "Equilibrium Land Use in a Non-Monocentric City," *Journal of Regional Science*, 20, 455-75.
- Oron, Yitzhak, David Pines, and Eytan Sheshinski. 1973. "Optimum vs. Equilibrium Land Use Pattern and Congestion Toll," *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, 619-36.
- Ota, Mitsuru. and Masahisa Fujita. 1993. "Communication Technologies and Spatial Organization of Multi-Unit Firms in Metropolitan Areas," *Regional Science and Urban Economics*, 23, 695-729.
- Richardson, Harry W. 1971. *Urban Economics*, Harmondsworth, England: Penguin.
- Segal, David. and Thomas L. Steinmier. 1982. "Location in a Congested City," *Regional Science and Urban Economics*, 12, 405-23.
- Sheshinski, Eytan. 1973. "Congestion and the Optimum City Size," *American Economic Review*, 63, 2, pp.61-66.
- Shibusawa, Hiroyuki and Yoshiro Higano. 1993. "Optimal Land Assignment for the Transportation and the Equilibrium vs. Social Optima in the Telecommuting City," *Studies in Regional Science*, 23, 1, 185-208.
- Shibusawa, Hiroyuki. 1993. "Agglomeration of the Firms and the Allocation of Land to the Transportation in the Information-oriented City," *Studies in Regional Science*, 23, 1, 37-61.
- Small, Kenneth A. 1992. *Urban Transportation economics*, Chur, Switzerland, Harwood Academic Publishers.
- Solow, Robert M., and William Vickrey. 1971. "Land Use in a Long Narrow City," *Journal of Economic Theory*, 3, 430-47.
- Straszheim, Mahlon. 1987. "The Theory of Urban Residential Location," in *Handbook of Regional and Urban Economics*, ed. E.S. Mills, vol.2, 717-57.

- Strotz, Robert.H. 1965. "Urban Transportation Parables, "in *Public Economy of Urban Communities*, ed. by J.Margolis. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 127-69.
- Sullivan, Arthur M. 1983. "The General Equilibrium Effects of Congestion Externalities, " *Journal of Urban Economics*, 14, 80-104.
- Vickrey, William. 1965. "Pricing as a Tool in Coordination of Local Transportation, "in *Transportation Economics*, ed. J.Meyer, National Bureau of Economics Research, New York, 275-296.

Appendix 1

We examine the system of taxes and subsidies which attains a socially efficient resource allocation.

Necessary Condition for Households

Eliminating the variables, T_1, T_2 and T_o , by Equations (2)-(5) and assuming that the residential location variable and work place variable, r and z , are temporarily constant, we formulate the Lagrangean function for the maximization problem of household as follows:

$$\begin{aligned} L = & U[\ell, T - T_1 - T_2 - 2cT_2T_c(z, r), bT_1, 2cT_2T_c(z, r), x] \\ & + \lambda(r)\{D_t + d_v + w_1T_1 + [w_2(z, r) - T_{T_2}(z, r) - 2p_t(z, r)c]T_2 - p_t(r)\ell - p_0x\}, \end{aligned}$$

in which $\lambda(r)$ is the Lagrangean multiplier associated with the budget constraint. We assumed that: $U(\cdot)$ is a regular twice continuously differentiable quasi-concave function of ℓ, T_L, T_h, T_o and x ; and the above problem, Equations (1)-(7), has a proper maximum. The first-order necessary condition for an interior solution is given by the following equations:

$$\partial L / \partial \ell = U_1 - \lambda p_t = 0, \quad (23)$$

$$\partial L / \partial T_1 = -U_2 + bU_3 + \lambda w_1 = 0, \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \partial L / \partial T_2 = & -2cT_c(z, r)U_2 + (2cT_c(z, r) - 1)U_4 \\ & + \lambda\{w_2(z, r) - 2cp_t(z, r) - T_{T_2}(z, r)\} = 0, \end{aligned} \quad (25)$$

$$\partial L / \partial x = U_5 - \lambda p_0 = 0, \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \partial L / \partial \lambda = & D_t + d_v + w_1T_1 + [w_2(z, r) - 2cp_t(z, r) - T_{T_2}(z, r)]T_2 \\ & - p_t(r)\ell - p_0x = 0, \end{aligned} \quad (27)$$

in which $U_m (m = 1, 2, 3, 4, 5)$ is the first derivative of $U(\cdot)$ with respect to the m -th argument. We assume an atomless household (ref. Aumann 1964). Each household regards the impact of its decision on the commuting condition as negligibly small, i.e., $\partial T_c(z, r) / \partial T_2(r) \approx 0 (\varepsilon_c \leq r \leq \eta)$.

Necessary Condition of Firms

Assuming a proper maximum, the first-order necessary condition of the composite good sector for an interior solution is given as follows:

$$\partial \Pi_0 / \partial y_m = p_0 \Gamma F_{0(m+1)} f_{m1} - p_m = 0 \quad (m = 1, 2), \quad (28)$$

$$\partial \Pi_0 / \partial t_1 = p_0 \Gamma F_{02} f_{12} - w_1 = 0, \quad (29)$$

$$\partial \Pi_0 / \partial t_2 = p_0 \Gamma F_{03} f_{22} - [w_2(z, r) - S_{t2}(z)] = 0, \quad (30)$$

$$\partial \Pi_0 / \partial \ell_0 = p_0 \Gamma F_{04} - p_t(z) = 0, \quad (31)$$

in which $F_{0m}(m = 1, 2, 3, 4)$ is the first derivative of $F_0(\cdot)$ with respect to its m -th argument, and $f_{im}(i = 1, 2; m = 1, 2)$ is the first derivative of f_i with respect to its m -th argument. We assume that: $F_0(\cdot)$ is a regular concave function of y_0, f_i ($i = 1, 2$), ℓ_0 and k_0 , and $f_i(\cdot)$ are regular concave functions of y_i and t_i ($i = 1, 2$). The firm can not control the externality of agglomeration economies at its subjective optimization, i.e., $\partial \Gamma(z) / \partial t_2(r) \approx 0$ ($0 \leq r \leq \varepsilon_c$)

Assuming a proper maximum, the first-order necessary condition of the transportation sector for an interior solution at location r is given as follows:

$$\partial \Pi_3 / \partial \Psi_t(r) = p_3(r) F_{31}(r) - [p_t(r) - S_{\Psi_t}(r)] = 0, \quad (32)$$

$$\partial \Pi_3 / \partial k_3(r) = p_3(r) F_{32}(r) - [p_k(r) - S_{k3}(r)] = 0, \quad (33)$$

in which $F_{3m}(m = 1, 2)$ is the first derivative of $F_3(\cdot)$ with respect to its m -th argument. We assumed that $F^3(\cdot)$ is a regular concave function of $\Psi_t(\cdot)$ and $k_3(\cdot)$.

Necessary Condition of Social Optimum

We formulate the Lagrangean function for a socially efficient resource allocation as follows ¹⁰ :

$$J = (\bar{\phi} \bar{P}) \bar{U} + \int_{\varepsilon_c}^n \bar{\lambda}(t) [U(\ell(t), T - T_1(t) - T_2(t) - 2cT_2(t)T_c(z, t), bT_1(t), 2cT_2(t)T_c(z, t), x(t)) - \bar{U}] e(t) dt$$

$$\begin{aligned}
& + \int_0^{\varepsilon_c} \tilde{p}_t(r) [2\pi t - \Psi_t(t) - e(t)\ell_0(t)] dt + \int_{\varepsilon_c}^{\eta} \tilde{p}_t(t) [2\pi t - \Psi_t(t) - e(t)\ell(t)] dt \\
& + \int_0^{\eta} \tilde{p}_3(t) [F_3(t)[\Psi_t(t), k_3(t)] - M(t)] dt \\
& + \tilde{d}_1 \left[\bar{N}_0 - \int_0^{\varepsilon_c} e(t) dt \right] + \tilde{d}_2 \left[\int_{\varepsilon_c}^{\eta} e(t) dt - \bar{P} \right] + \tilde{w}_1 \left[\int_{\varepsilon_c}^{\eta} T_1(t)e(t) dt - \int_0^{\varepsilon_c} t_1(t)e(t) dt \right] \\
& + \int_{\varepsilon_c}^{\eta} \tilde{w}_2(z(t), t) [T_2(t)e(t) - t_2(t)e(t)] dt \\
& + \tilde{p}_0 \left[\bar{F}_0 + \int_0^{\varepsilon_c} \Gamma F_0[y_1(t), y_2(t), t_1(t), t_2(t), \ell_0(t)]e(t) dt - \int_{\varepsilon_c}^{\eta} x(t)e(t) dt \right] \\
& + \sum_{k=1}^2 \tilde{p}_k \left[\bar{F}_k - \int_0^{\varepsilon_c} y_{k0}(t)e(t) dt \right] + \tilde{p}_k \left[\bar{K} - \int_0^{\eta} k_3(t) dt \right],
\end{aligned}$$

in which, $\bar{\phi}, \bar{\lambda}(r), \tilde{p}_t(r), \tilde{p}_k, \tilde{p}_3(r), \tilde{d}_i, \tilde{w}_i (i = 1, 2)$ and $\tilde{p}_i (i = 0, 1, 2)$ are the Lagrangean multipliers. $\bar{F}_i (i = 0, 1, 2)$ and \bar{K} are auxiliary variables for the formulation of the Lagrangean function. The first-order necessary conditions which define the efficient resource allocation are given as follows:

$$\partial J / \partial \ell(r) = \{ \bar{\lambda}(r)U_1 - \tilde{p}_t(r) \} e(r) = 0 \quad (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \quad (34)$$

$$\partial J / \partial T_1(r) = \{ -\bar{\lambda}(r)U_2 + \bar{\lambda}(r)bU_3 + \tilde{w}_1 \} e(r) = 0 \quad (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \quad (35)$$

$$\begin{aligned}
\partial J / \partial T_2(r) &= \{ -\bar{\lambda}(r)(1 + 2cT_c)U_2 + \bar{\lambda}(r)2cT_cU_4 + \tilde{w}_2(z, r) \\
&\quad - 2c \int_{\varepsilon_c}^r \tilde{p}_3(\xi) d\xi - T_{T2}(z, r) \} e(r) \\
&= 0 \quad (\varepsilon_c \leq r \leq \eta),
\end{aligned} \quad (36)$$

$$\partial J / \partial x(r) = \{ \bar{\lambda}(r)U_5 - \tilde{p}_0 \} e(r) = 0 \quad (\varepsilon_c \leq r \leq \eta), \quad (37)$$

$$\partial J / \partial y_m(r) = \{ \tilde{p}_0 \Gamma F_{0(m+1)} f_{m1} - \tilde{p}_m \} e(r) = 0 \quad (m = 1, 2; 0 \leq r \leq \varepsilon_c), \quad (38)$$

$$\partial J / \partial t_1(r) = \{ \tilde{p}_0 \Gamma F_{02} f_{12} - \tilde{w}_1 \} e(r) = 0 \quad (0 \leq r \leq \varepsilon_c), \quad (39)$$

$$\partial J / \partial t_2(r) = \{ \tilde{p}_0 \Gamma F_{03} f_{22} - \tilde{w}_2(z, r) + S_{i2}(r)(r) \} e(r) = 0 \quad (0 \leq r \leq \varepsilon_c), \quad (40)$$

$$\partial J / \partial \ell_0(r) = \{ \tilde{p}_0 \Gamma F_{04} - \tilde{p}_t(r) \} e(r) = 0 \quad (0 \leq r \leq \varepsilon_c), \quad (41)$$

$$\partial J / \partial \Psi_t(r) = \tilde{p}_3(r)F_{31} - \tilde{p}_t(r) + S_{\Psi t}(r) = 0 \quad (0 \leq r \leq \varepsilon_c), \quad (42)$$

$$\partial J / \partial k_3(r) = \tilde{p}_3(r)F_{32} - \tilde{p}_k + S_{k3}(r) = 0 \quad (0 \leq r \leq \varepsilon_c), \quad (43)$$

$$\begin{aligned}\partial J/\partial e(r) &= \tilde{w}_1 T_1(r) + [\tilde{w}_2(z, r) - 2c \int_z^r \tilde{p}_3(\xi) d\xi - T_{T2}(z, r)] T_2(r) + \tilde{d}_2 \\ &\quad - \tilde{p}_t(r) \ell(r) - \tilde{p}_0 x(r) = 0 \quad (\varepsilon_c \leq r \leq \eta),\end{aligned}\tag{44}$$

$$\begin{aligned}\partial J/\partial e(r) &= -\tilde{d}_1 + \tilde{p}_0 \Gamma(r) F_0[y_1(r), y_2(r), t_1(r), t_2(r), \ell_0(r)] \\ &\quad - \sum_{s=1}^2 \tilde{p}_s y_s(r) - \tilde{w}_1 t_1(r) - [\tilde{w}_2(z, r) + S_{t2}(r)] t_2(r) \\ &\quad - \tilde{p}_t(r) \ell_0(r) = 0 \quad (0 \leq r \leq \varepsilon_c).\end{aligned}\tag{45}$$

Let $1/\tilde{\lambda}(r) = \lambda(r)$, $\tilde{p}_i = p_i$ ($i = 0, 1, 2$), $\tilde{w}_i = w_i$ ($i = 1, 2$), $\tilde{p}_k = p_k$, $\tilde{p}_t(r) = p_t(r)$, $\tilde{p}_3(r) = p_3(r)$, $\tilde{d}_1 = \bar{\Pi}_0$, and $\tilde{d}_2 = d_v + D_t$. Then, Equations (34)-(45) are guaranteed by Equations (23)-(33), (10), (11) and (18)-(22), respectively. This means that the socially efficient resource allocation can be supported through a market equilibrium by the system of tax and subsidies.

Appendix 2

Values of the parameters are as follows:

Household

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.28; & \beta &= 0.514; & \gamma &= 0.004; & \delta &= 0.002; & \varepsilon &= 0.2; & \rho &= 0.8; & \bar{A} &= 10; \\ b &= 0.2; & c &= 0.125; & T &= 120; & p_0 &= 10; & R_A &= 10; & \bar{P} &= 200; & \bar{\varepsilon}_c &= \bar{\eta}/2 = 25;\end{aligned}$$

Firm

$$\begin{aligned}C_0 &= 200; & \gamma_1 &= 0.27; & \gamma_2 &= 0.43; & \gamma_3 &= 0.30; \\ \rho_0 &= -0.34; & \rho_{0s} &= -0.35; \\ B_1 &= 1.0; & \beta_{01} &= 0.3; & \beta_{11} &= 0.7; & \rho_{10} &= 0.1; & \rho_{10s} &= 0.11; \\ B_2 &= 4.0; & \beta_{02} &= 0.3; & \beta_{12} &= 0.7; & \rho_{20} &= -0.2; & \rho_{20s} &= -0.21; \\ C_3 &= 60.0; & \gamma_4 &= 0.5; & \gamma_5 &= 0.5; \\ \rho_3 &= -0.2; & \rho_{3s} &= -0.2; & \alpha_\Gamma &= 0.01; & A_\Gamma &= 1/150000; \\ p_1 &= 20 & p_2 &= 20 & p_k &= 10.0; & \bar{N}_0 &= 2; & \bar{\theta}_r &= 100.\end{aligned}$$

Commuting Speed

$$\theta_0 = 10; \quad \theta_1 = 10000; \quad \theta_2 = 2; \quad \xi_1 = 1.0; \quad \xi_2 = 0.3.$$

Appendix 3

The simulation algorithm is summarized as follows:

- Step 0: Start the simulation.
- Step 1: Give values of exogenous parameters (e.g., \bar{P} , \bar{N}_0 , p_0 , p_1 , p_2 , p_k , R_A , c , etc), and temporarily give (initial) values of endogenous variables (e.g., \bar{U} , $\bar{\Pi}_0$, $\bar{\epsilon}_c$, $\bar{\eta}$, d_v , \mathbf{W} , \mathbf{I} , Γ , $\Psi_t(i)$, $\Psi(i)$, $v(i)$ ($i = 1, \dots, \bar{\eta}$)),
- Step 2: Solve the optimization problem of the firm in the composite good sector at every discrete production ring by the gradient method. Calculate the number of firms. If it is larger or smaller than \bar{N}_0 , then slightly increase or decrease the temporary equilibrium profit level, respectively.
- Step 3: Given the bid rent in the CBD, solve the optimization problems of the transportation sector at every discrete ring in the CBD by the gradient method. If the demand is equal to the supply in all the markets of land and transportation services in the CBD, then go to Step 4. If not, equilibrate the demand and supply in those markets by changing the (temporary) prices of transportation services in the CBD based on the tatonnement process. Go to Step 2.
- Step 4: Solve the optimization problem of the household in every discrete residential ring by the gradient method. Calculate the population in the city. If it is larger or smaller than \bar{P} , then slightly increase or decrease the temporary equilibrium utility level, respectively.
- Step 5: Given the land rent in the suburbs, solve the optimization problem of the transportation sector in every discrete ring by the gradient method. If the demand is equal to the supply in all the markets of land and transportation services in the suburbs, then go to Step 6. If not, equilibrate the demand and supply in those markets by changing the prices of transportation services in the suburbs based on the tatonnement process. Go to Step 4.
- Step 6: If the demand is equal to the supply in the two labor markets, then go to Step 7. If not, equilibrate the demand and supply in those markets by changing the wage rates based on the tatonnement process. Go to Step 2.
- Step 7: If the calculated traffic congestion is equal to the temporally given traffic congestion at every discrete ring, go to Step 8. If not, substitute the calculated congestion for the temporary traffic congestion and go to Step 2.

- Step 8: If the temporary CBD and city boundaries both satisfy the boundary condition for the land rent function, then go to Step 9. If not, change the temporary boundaries and go to Step 2.
- Step 9: If the calculated extent of the agglomeration economies is equal to the temporary extent of the agglomeration economies, then go to Step 10. If not, substitute the calculated for the temporary and go to Step 2.
- Step 10: Go to Step 12 when a laissez-faire equilibrium is simulated. Otherwise, go to Step 11.
- Step 11: Calculate the taxes and subsidies. If the taxes and subsidies are equal to the temporarily given, go to Step 12 (an optimal solution is obtained). If not, substitute the calculated taxes and subsidies for the temporarily given and go to Step 2.
- Step 12: Terminate the simulation

The computer used for the simulation was a DECstation 3000/300AXP. The program was written in the C language, and compiled for RISC.

Endnotes

1. The commuting frequency depends on the supply of office work by the household. See Equation (4). Therefore, the congestion tax of the Pigouvian type could be charged on the office work as we can expect the commuting frequency is decreased by the tax. Such tax is proved to be of the Pigouvian type in Section 3 and the Appendix.
2. In order to sustain the same equilibrium utility level when the firm location is changed, it is necessary to adjust the transport cost and the congestion tax within CBD by the wage rate of office work. Here, optimal commuting pattern is not derived. It is a future subject of research.
3. Due to the agglomeration economies of interaction in the CBD, the agglomeration of the office work in the CBD could be subsidized in order that the market equilibrium leads to an optimum. cf. footnote 1.
4. The input of land decreases the level of traffic congestion since the commuting speed depends on it. See Equation (17). Such additional effects are not paid in the laissez-faire equilibrium. The input of capital decreases the level of congestion, too.
5. In the optimization behavior of the transportation sector, there is no condition of commuting speed. The transportation sector doesn't consider the commuting speed. Note that the traffic congestion doesn't occur when $\Theta(\cdot)$ is equal to $F_3(\cdot)$.
6. We assume that the capital and the intermediate inputs are traded in the open markets in the CBD, and shipped out into the suburbs at no cost. So, there is no equilibrium condition for the capital and the intermediate inputs.
7. In most previous papers, there is no congestion subsidy paid on the transportation sector. Because the decision on the allocation of land for transportation is made exogenously based on the cost-benefit criterion using market rent. In our model, it is cause of the externality which relieves or intensifies traffic congestion that the production function of transportation sector $F_3(\cdot)$ is different from the infrastructure function for transportation services $\Theta(\cdot)$. Therefore, in order to internalize the externality on the traffic congestion, our model needs the system of congestion tax and the subsidy in the transportation sector.

8. In the specification of the values of parameters, we assume as follows : The composite goods services and the telecommunication services are increasing marginal cost firms. The homogeneity of the production function of the transportation services is one. The infrastructure function of transportation is increasing returns to scale.
9. The changes in the CBD boundary depend on the strength of the agglomeration economies. When the effect of agglomeration economies is strong, an increase in the office work increases the productivity of the firm. In this case, the decrease in the office space at the inner rings is greater than the increase in the office space at the outer rings. Therefore the CBD boundary decreases.
10. The formulation as a calculus problem assumes no cross commuting. Because the commute flows can be adjusted independently of the residential and firm location patterns in our model, an optimal control problem is not necessarily formulated while the usual analysis of urban models with traffic congestion requires it. In order to determine the commuting pattern endogenously, we need to apply the optimal control theory to the analysis.

Agglomeration Economies $\Gamma \times 80$ and Wage Rate w_2

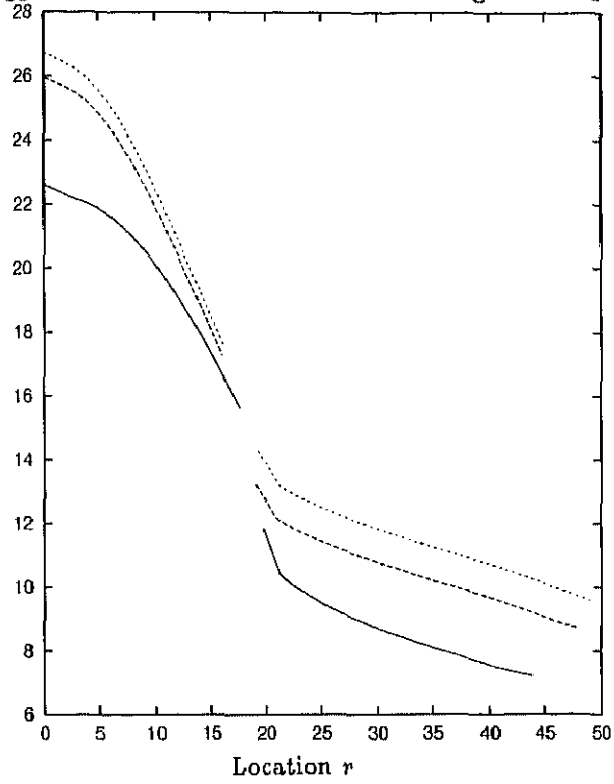


FIGURE 3-1: Agglomeration Economies and Wage Rate

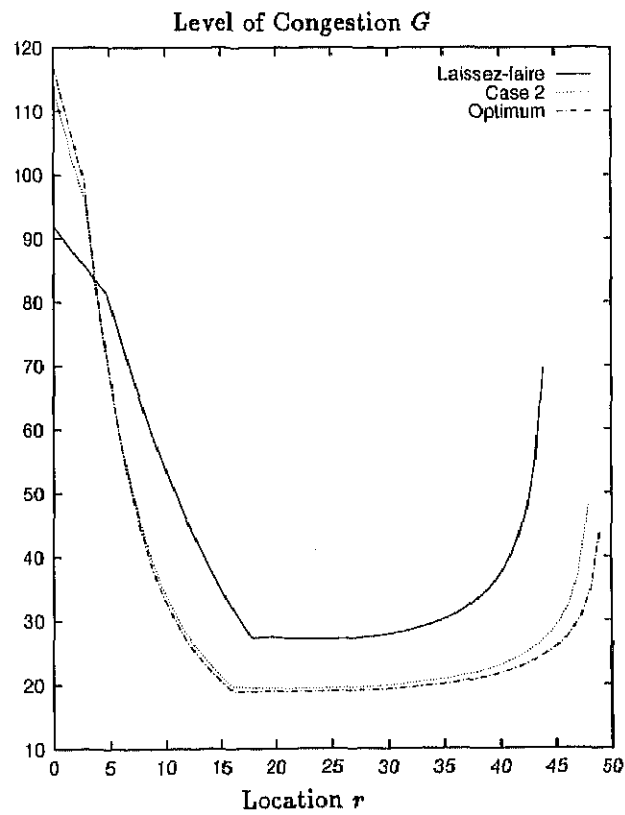


FIGURE 3-2: Traffic Congestion

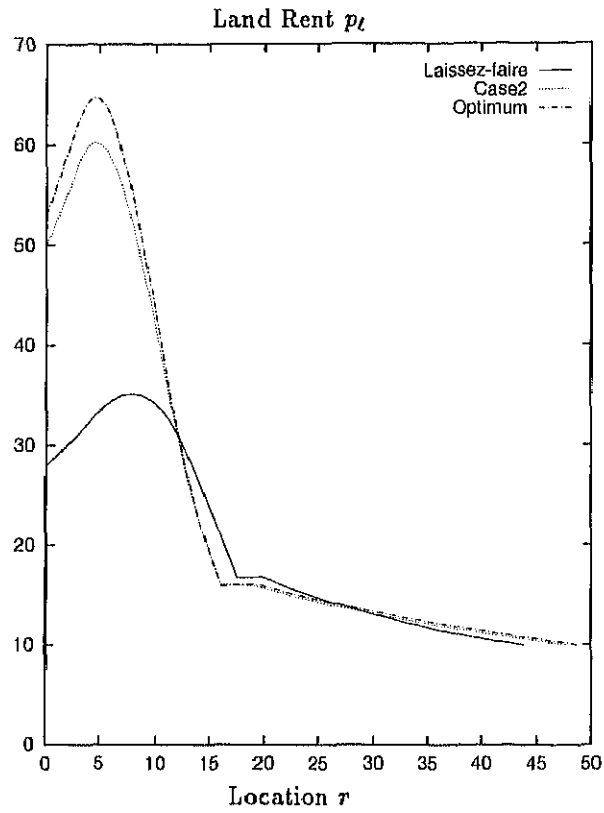


FIGURE 3-3: Land Rent

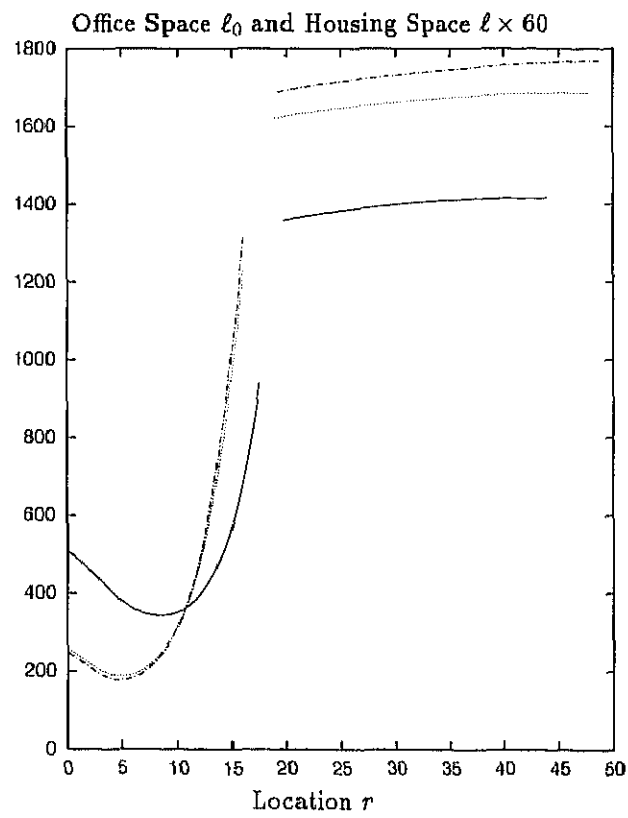


FIGURE 3-4: Office and Housing Space

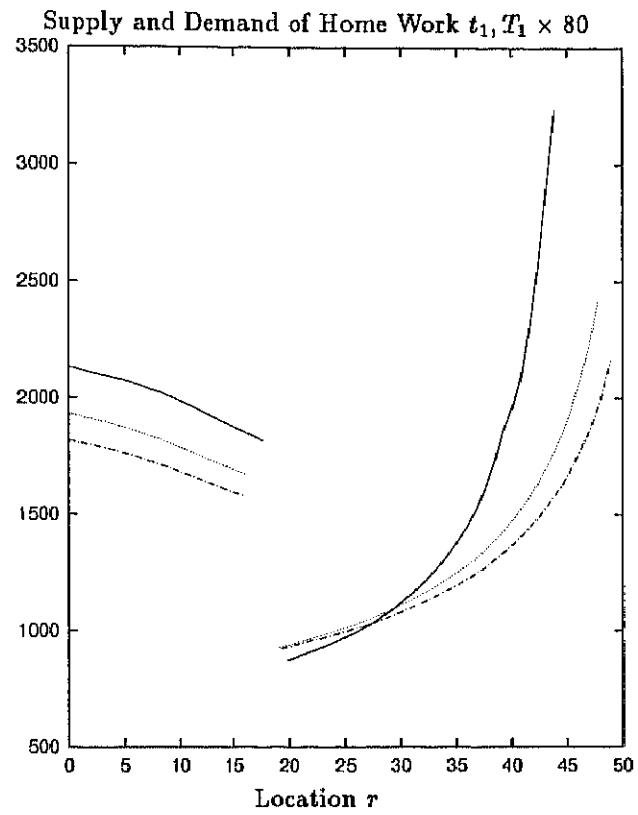


FIGURE 3-5: Home Work

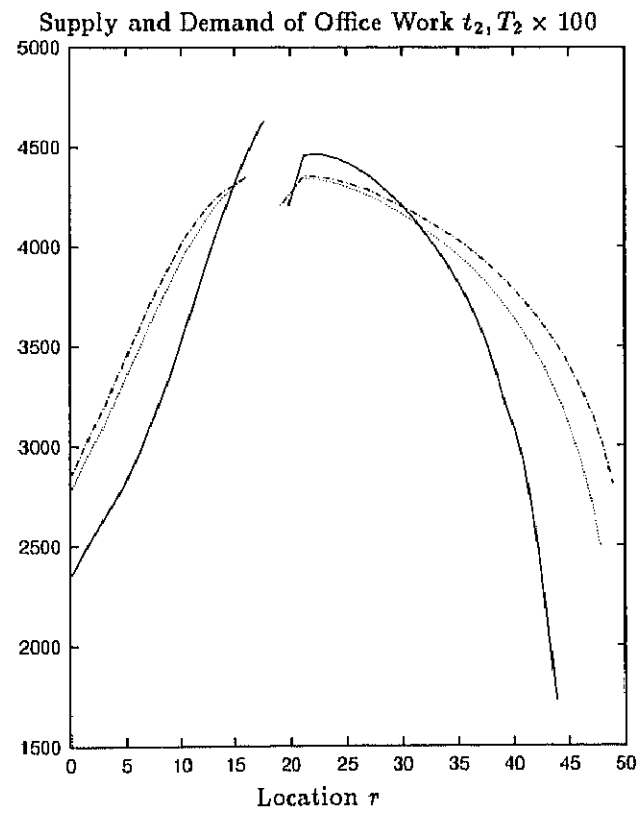


FIGURE 3-6: Office Work

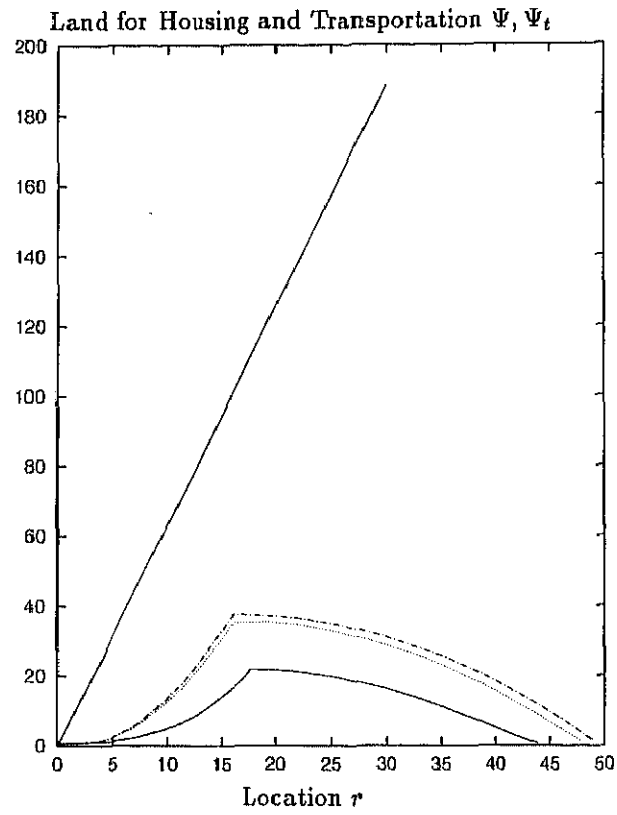


FIGURE 3-7: Land Assignment for Transportation

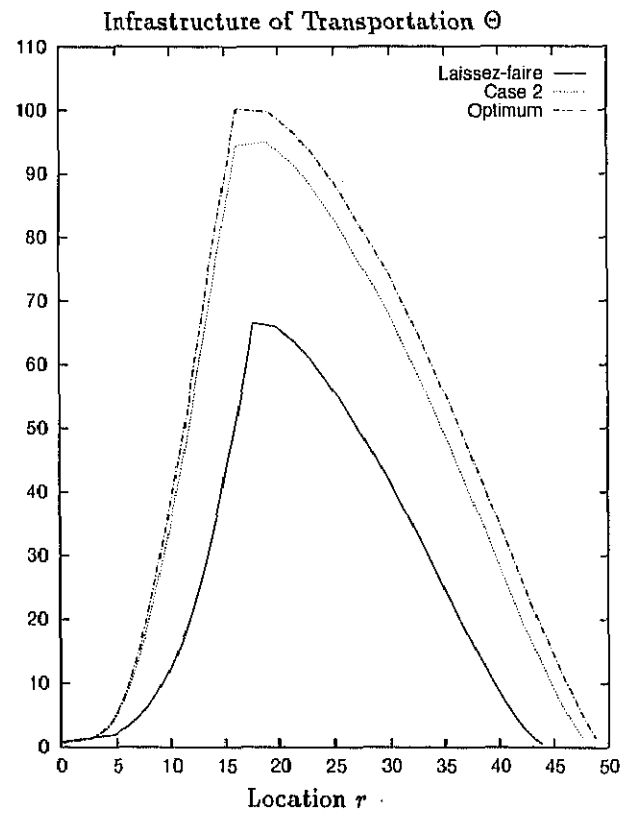


FIGURE 3-8: Infrastructure of Transportation

Chapter 4

Cyberspace and physical space in an urban economy

Hiroyuki SHIBUSAWA

Faculty of Engineering, Toyohashi University of Technology

Abstract. In this paper, we construct a general equilibrium urban model with cyberspace and physical space. In cyberspace, there is a virtual production sector and it produces virtual goods. On the other hand, in physical space, a physical production sector is located in the CBD and it produces physical goods. The behaviors of home and office workers are considered. A Solow and Vickrey type linear city is assumed. We derive the market equilibrium of the city by numerical simulation using specific utility and production functions. The land use pattern and the time allocation of the workers are shown. We also show the spatial structure of telecommunications and transportation networks.

JEL classification: L20,L86,L91,L96,R14,R41

Key words: Cyberspace, virtual firm, transportation and telecommunications networks, urban modeling

4.1 Introduction

The information network is rapidly growing throughout the world. The development of the information network creates a new space, cyberspace. Cyberspace gives birth to new systems, such as telecommuting, SOHO (Small Office and Home Office), virtual factories, electronic commerce and virtual malls. Gibson (1984) proposed the idea of cyberspace. Although it is said that cyberspace is a space (e.g., Micheal (1991)), few attempts have been made at determining the meaning of cyberspace in spatial economics.

In this paper, we construct a general equilibrium urban model with cyberspace

and physical space. In cyberspace, there is a virtual production sector and it produces virtual goods. On the other hand, in physical space, a physical production sector is located in the CBD and it produces physical goods. The main interest is the relationship between cyberspace and physical space in an information-oriented city. The spatial structure of telecommunications and transportation networks in the city is also considered. We derive the market equilibrium of the city by numerical simulation using specific utility and production functions.

A large number of studies have been made on the information-oriented society. Machlup (1962) and Porat (1977) defined the information and knowledge industry. Ogawa and Fujita (1980) and Higano and Orishimo (1990) examined the impacts of information technology on the urban spatial structure. Mokhtarian and Salomon (1994) presented a conceptual model of the individual choice process of telecommuting. Katz and Shapiro (1985) analyzed the externalities of networks and Capello (1996) studied the effects of the telecommunications network externalities on the spatial economy. Schuler (1992) analyzed the economic efficiency of transportation and telecommunications infrastructure systems. A recent survey of the transportation economic literature in physical space by Small (1992) can be found. In this study, cyberspace is explicitly introduced into the traditional urban model that was developed by Alonso (1964) to investigate the spatial structure of an information-oriented city. The main focus of this paper is to consider the relationship between cyberspace and physical space. The dynamic knowledge accumulation that was discussed by Lucas (1988), Romer (1990) and Zhang (1993) is an important subject. Knowledge has the characteristics of partially public goods. However this is irrelevant to the main subject of this paper.

4.2 Cyberspace and physical space

The essence of theoretical models in urban economics is the existence of physical space. This paper tries to incorporate cyberspace into a monocentric urban model (Figure 4-1). General assumptions are described as follows.

Assumption 1: there are two kinds of space: cyberspace and physical space.

Physical space is characterized by physical space. There is no real distance or space in cyberspace. However, urban residences can virtually experience physical space in cyberspace by using highly developed virtual reality technology. Cyberspace is interpreted as some commercial part of the Internet, whereby consumers buy virtual reality experiences on their home computer, which are produced by home production and supplied by Internet firms. In cyberspace, the residents would be able to walk

through the streets and stop at virtual stores, or other virtual buildings.

Assumption 2: there are two kinds of networks: telecommunications and transportation networks.

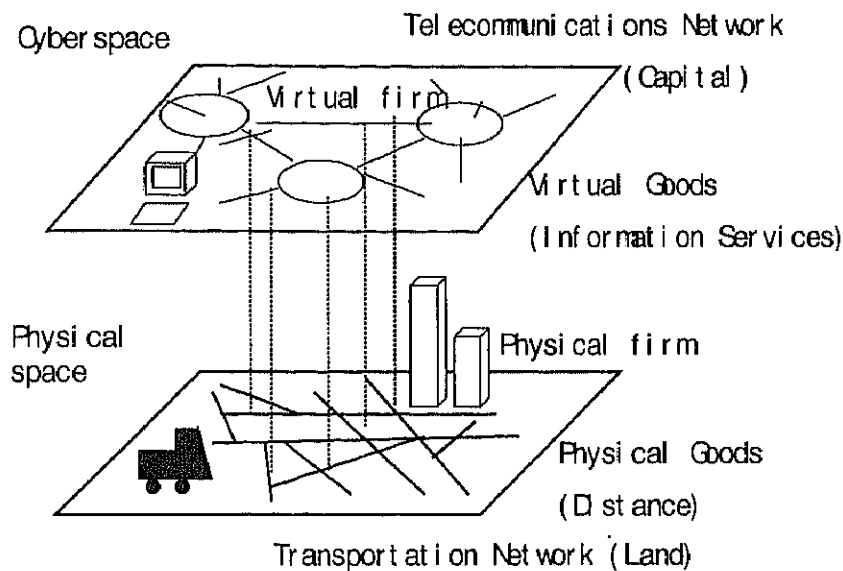


Fig. 4-1 Cyberspace and physical space

In cyberspace, labor, goods and services are transformed into electronic information and they are traded through the telecommunications network. In physical space, those goods are transported through the transportation network.

Assumption 3: there are two kinds of firms: virtual and physical firms.

We assume that all firms are identical and that there are constant returns to scale in both markets. The virtual production sector exists in cyberspace. This sector produces information goods such as software and data using information technology¹. The only input is labor. The physical sector is located in physical space.

Assumption 4: there are two kinds of goods: virtual and physical goods.

In the city, the urban residents consume the physical goods (P-goods) in physical space. They can buy them at virtual malls in cyberspace. Then P-goods are delivered to the residences in the suburbs through the transportation network. P-goods have length, volume and weight. In cyberspace, the virtual goods (V-goods) imitate most of the P-goods by using virtual reality technology.

¹ A typical example is a company that supplies database and searching functions on the Internet.

For example, virtual goods include software, data and TV and radio programs. In general, the virtual goods include a lot of potential goods that do not exist in the physical world. The variety of the V-goods is greater than that of the P-goods. While it might be easy to substitute the V-goods for the P-goods, the opposite relation might not be easy. However, this paper doesn't consider these characteristics. In numerical simulation, since the Cobb-Dagulas utility function is specified, the V-goods and P-goods are substitutes in both directions and the elasticity of substitution is one. The relationship between these goods is an important subject.

4.3 The model

We considered a general equilibrium urban model with cyberspace and physical space. There are seven sectors in the city: household, virtual production, physical production, telecommunications, transportation, real estate, and absentee landowner sectors. The households located in the suburbs work at either the virtual sector in cyberspace or the physical sector in the CBD. The households consist of two types, home and office workers. Each home worker who works at the virtual sector has a home production function. The inputs are land, labor and knowledge. The production activities are performed in their homes using a personal computer linked with the telecommunications network. The costs of telecommunications are borne by the home workers. The virtual sector produces V-goods using the home goods. The office workers who work at the physical sector commute from their homes to the CBD. The transportation costs for commuting are borne by the home workers.

Each worker has time, physical capital and knowledge. The knowledge of each home worker is different from that of each office worker. This knowledge is owned by workers and/or electronically stored in their computer systems. For simplicity, it is assumed that the knowledge is treated as normal consumer goods and is traded in the competitive market where the competition is perfect. Therefore, the knowledge is rival and excludable goods. In this paper, knowledge is interpreted as software and data in the computer systems. It is differentiated and protected by a patent system. However, this may be a strong assumption. Most of the knowledge is public goods and re-producible without prohibitive costs. It should be relaxed as public goods in a future study. These goods are sold under full licensing, so that everyone pays a price which is equal to the marginal cost of supply. Each worker maximizes its utility subject to time and budget constraints. The utility depends on housing space, leisure, the consumption of V-goods and P-goods. At the equilibrium, each worker attains the same equilibrium utility level irrespective of its location.

The physical sector is located in the CBD and produces the P-goods using land, labor and knowledge. Spatial structure of the firm's location in the CBD hasn't been considered in this paper. The transportation cost in the CBD is ignored. However, the CBD boundary is endogenously determined through the equilibrium of the land market. The virtual sector is located in cyberspace and produces V-goods using the home goods. Each sector maximizes its profit.

The telecommunications and transportation sectors construct their networks and provide services respectively. A public authority regulates the telecommunications and transportation sectors. The regulation is based on the principle of marginal cost pricing. The real estate sector leases land in the whole city from absentee landowners at an agricultural land rent level, and in turn, leases land back to workers, firms and transportation sectors at market land rent level. All the suburban workers share the profits equally.

We consider a Solow and Vickrey type (1971) linear city in a one-dimensional space (Figure 4-2). The land is homogenous and the density is one. Variables η and ε are the city boundary and the CBD boundary respectively. Symbol $X_C = \{x \mid -\varepsilon \leq x \leq \varepsilon\}$ represents a set of distances from each location in the CBD to the city center. Symbol $X_S = \{x \mid -\eta \leq x \leq -\varepsilon, \varepsilon \leq x \leq \eta\}$ represents a set of distances from each location in the suburbs to the city center. An open city is assumed and two distinct (not necessarily different) equilibrium utility levels are exogenously given.

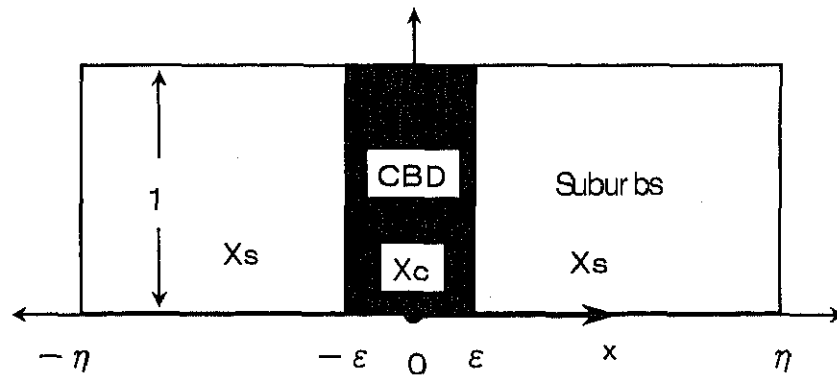


Fig. 4-2 Linear city

Behavior of Workers

(1) Formulation

We consider two types of workers. All the workers in the city have identical utility

functions and time constraints, but they have different budget constraints and different knowledge². We formulate the optimization behavior of a home worker as follows:

$$\begin{aligned}
& \max_{\{l_{H1}, l_0, L_1, C_1, S, V_1, Z_1\}} U(l_{H1}(x), L_1(x), V_1(x), Z_1(x)), \\
& \text{subject to} \\
& T - L_1(x) - C_1(x) = 0, \\
& p_{s1}(x)\bar{S}_1 + p_k\bar{K} + d_v + p_0F_0(l_0(x), C_1(x), S(x)) - p_l(x)(l_{H1}(x) + l_0(x)) \\
& - (p_{s1} + p_c)S(x) - (p_l + p_c)V_1(x) - (p_2 + p_l(x))Z_1(x) \geq 0.
\end{aligned}$$

The optimization behavior of an office worker is given as follows:

$$\begin{aligned}
& \max_{\{l_{H2}, l_2, C_2, V_2, Z_2\}} U(l_{H2}(x), L_2(x), V_2(x), Z_2(x)), \\
& \text{subject to} \\
& T - L_2(x) - C_2(x) = 0, \\
& p_{s2}(x)\bar{S}_2 + p_k\bar{K} + d_v + (w - p_l(x))C_2(x) \\
& - p_l(x)l_{H2}(x) - (p_l + p_c)V_1(x) - (p_2 + p_l(x))Z_2(x) \geq 0.
\end{aligned}$$

The utility function $U(\cdot)$ is a function of housing space $l_{H1}(x)$, leisure $L_1(x)$, the amount of consumption of V-goods $V_1(x)$, and the amount of consumption of P-goods $Z_1(x)$ ($i=1,2$). Each worker has time T , capital \bar{K} and knowledge \bar{S}_i ($i=1,2$). In this paper, accumulation of knowledge is not considered. Physical capital is used for constructing the telecommunications network. The available time consists of leisure and labor. A worker location variable $x(x \in X_s)$ represents the distance from the city center.

The home workers work at their homes and produce the home goods. The home production function $F_0(\cdot)$, depends on office space in home $l_0(x)$, labor $C_1(x)$, and input of knowledge $S(x)$. We assume that each home worker contacts all the home workers in the suburbs and gets the common amount of knowledge from the home workers through the telecommunications network. For simplicity, it is assumed that the demand for one unit of P-goods requires one unit of transportation services and the demand for one unit of knowledge requires one unit of information services. Parameter p_0 is the price of the home goods. Parameters p_{s1} and p_{s2} are the prices of the knowledge of home and office workers. Parameters p_l and p_c are the prices

² We can interpret the knowledge of the office workers as general skills and the knowledge of home workers as special skills.

of V-goods and information services respectively. Parameters p_2 and $p_t(x)$ are the prices of P-goods and transportation services respectively. Parameter $p_t(x)$ is the transportation cost from location $x \in X_s$ to the CBD boundary ε per one trip. Parameter p_k is the depreciation cost of one unit of capital stock. Parameter $p_l(x)$ is the land rent at location x . Parameter d_v is an equal dividend of profits or an equal share of the losses of the sectors.

The office worker provides the supply of labor $C_2(x)$ to the physical sector in the CBD. Since it is assumed that one unit of labor requires one commuting trip, $C_2(x)$ also implies commuting frequency per period. Parameter w is the wage rate of the physical sector. $p_o, p_1, p_2, p_c, p_l(x), p_t(x), p_{s1}, p_{s2}, p_k, w$, and d_v are parameters in what sense the workers take them as given although they are endogenously determined in the urban system through the market equilibrium.

(2) Bid rent functions

The bid rent functions for the land are derived by the following land market arbitrage conditions.

$$U(l_{H1}(x), L_i(x), V_i(x), Z_i(x)) = \bar{U}_i \quad (x \in X_s; i = 1, 2),$$

where parameters \bar{U}_1 and \bar{U}_2 are the levels of the equilibrium utility of all the home workers and all the office workers in the city. At the equilibrium, all the workers of type $i (i = 1, 2)$ attain the same level of the utility irrespective of their residential locations. The first derivatives of the bid rent functions for the workers with respect to x are given as

$$\begin{aligned} \frac{dp_{H1}(x)}{dx} &= \frac{1}{l_{H1}(x) + l_0(x)} \left(-Z_2(x) \frac{dp_t(x)}{dx} + p_0 \frac{dF_0}{dx} \right), \\ \frac{dp_{I2}(x)}{dx} &= \frac{1}{l_{H1}(x)} \left(-C_2(x) \frac{dp_t(x)}{dx} \right), \end{aligned}$$

where $p_{H1}(x)$ and $p_{I2}(x)$ are the bid rent functions for the home and office workers. Location zones for two types of workers are ranked by the distance from the city center in the order of steepness of their bid rent functions.

Behavior of production sectors

(1) Virtual sector

The virtual sector produces V-goods. It has no physical substance and consists of electronic information only. Its input is the home goods. The production activity does not need physical office space, or the office space of the virtual sector is negligibly

small. It is assumed that the virtual sector exists on the telecommunications network in the CBD and the location is specified at the center of the CBD. Given the location of the sector, its optimization behavior is formulated as

$$\max_{\{h\}} \pi_1 = p_1 F_1(h) - (p_0 + p_c)h,$$

where $F_1(\cdot)$ is a production function for the virtual sector. Variable h is the input of the home goods that are traded through the telecommunications network. p_0 is the price of the home goods and p_c is the telecommunications cost per one unit. Variable π_1 is its profit.

(2) Physical sector

The physical sector produces the P-goods in the CBD. Its inputs are land, labor, and knowledge. The P-goods are transported through the transportation network. We formulate its optimization behavior as

$$\max_{\{l_2, c, s\}} \pi_2 = p_2 F_2(l_2, c, s) - p_{lc} l_2 - wc - (p_{s2} + p_c)s,$$

where $F_2(\cdot)$ is a production function for the physical sector. Variable l_2 is the office space in the CBD and variable c is the input of office work. Variable s is the input of knowledge and is carried with the office workers through the transportation network. Therefore s is supplied and traded in the CBD through the telecommunications network. Parameter p_{lc} is the land rent in the CBD. Variable π_2 is its profit.

(3) Telecommunications sector

This sector constructs the telecommunications network and provides information services for workers and sectors. It has two production functions. One is information services, $F_3(v)$, and the other is the information infrastructure, $\Theta(k)$. Variables v and k are the inputs of V-goods and capital respectively. Just as in a real telecommunications network, the capacity of several bottlenecks in the network is decisive. It is assumed that the capacity of the bottlenecks is proportional to the total supply. A public authority regulates the price of information services p_c based on marginal cost pricing. The information services are supplied so as to satisfy the aggregate demand for information services, I_T . The information infrastructure is constructed so as to satisfy the total information flow in the city, I_N . The cost for infrastructure, $p_k k$, is borne equally by all the workers through its negative profit. We formulate its optimization behavior as follows:

$$\min_{\{v, k\}} (p_1 + p_c)v + p_k k \quad \text{subject to } F_3(v) \geq I_T \quad \text{and} \quad \Theta(k) \geq I_N.$$

An aggregate profit π_3 is calculated as $\pi_3 = p_c F_3(v) - (p_1 + p_c)v - p_k k$.

(4) Transportation sector

The public authority also regulates the transportation sector, which is a monopolist in the market, as if it were a price-taker. Namely it prices transportation services at the marginal cost. The transportation sector provides a supply of its services at each location in the suburbs. The optimization behavior is formulated as follows:

$$\min_{\{l_4(x)\}} p_t(x)l_4(x) \text{ subject to } F_4(l_4(x)) \geq M(x).$$

Its output at location x , $F_4(\cdot)$, is a function of the input of land $l_4(x)$. $l_4(x)$ means the land assignment for transportation in the suburbs. Therefore, the one-way price of the transportation services per person from location $x \in X_s$ to the CBD boundary ε is calculated as

$$p_t(x) = \int_{\varepsilon}^x p_4(\xi) d\xi,$$

where $p_4(\xi)$ is the regulated price of transportation services at location ξ . An aggregate profit π_4 is calculated as

$$\pi_4 = \int_{X_s} p_4(x)F_4(l_4(x)) - p_t(x)l_4(x)dx.$$

(5) Real estate sector and absentee landowner sector

The real estate sector intermediately leases all the land in the suburbs from the absentee landowners at an opportunity agricultural rate, and leases it out to workers and sectors at market rates. The leasing costs are negligibly small. Its profit π_5 is calculated as

$$\pi_5 = l_2 p_{le} + \int_{X_s} (p_t(x) - R_A)dx,$$

where parameter R_A is the opportunity cost of land. The absentee landowners are paid in terms of V-goods³.

4.4 Networks

Telecommunications Network

Assuming that the demands of one unit of V-goods, knowledge and home goods require one unit of information services, the amount of the information services through location $x \in X_s$ in the suburbs, $I(x)$, is calculated as (see Figure 4-3)

³ It is possible to pay in terms of P-goods. As for this model, the substance of the results is independent from the assumption.

$$I(x) = g_l(x) \int_{-\eta}^{\eta} S(\xi) e_1(\xi) d\xi + g_r(x) \int_{-\eta}^x S(\xi) e_1(\xi) d\xi + \int_{|x|}^{\eta} \left\{ \sum_{i=1}^2 Z_{li}(\xi) + F_0(\xi) \right\} e_1(\xi) d\xi \quad (x \in X_s).$$

The first term on the R.H.S. represents the amount of information services through x from the left area of x . $g_l(x)$ is defined as

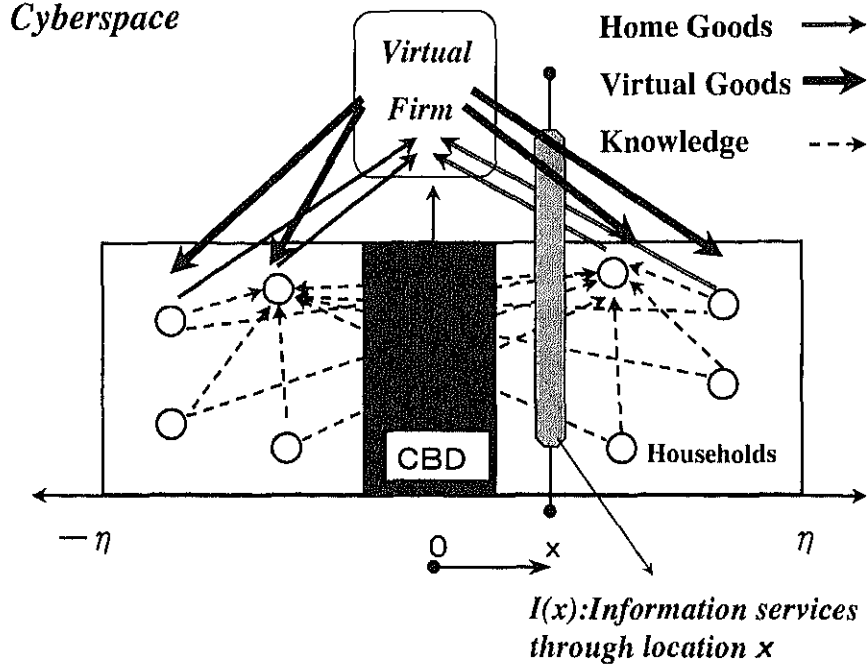


Fig.4-3 Information services

$$g_l(x) = \int_{-\eta}^x e_1(\xi) d\xi / \int_{-\eta}^{\eta} e_1(\xi) d\xi.$$

It means the ratio of the number of home workers at the left of x to that of all the home workers in the city. Variable $e_1(\xi)$ is the number of the home workers at location ξ . The second term on the R.H.S. represents the amount of information services through x from the right area of x . $g_r(x)$ is defined as

$$g_r(x) = \int_x^{\eta} e_1(\xi) d\xi / \int_{-\eta}^{\eta} e_1(\xi) d\xi.$$

It means the ratio of the number of home workers at the right of x to that of all the home workers in the city. The third term on the R.H.S. represents the amount of information services through x which is derived from the demands for V-goods and home goods. On the other hand, the amount of information services through $x \in X_c$ in

the CBD, is calculated as

$$I(x) = s + \int_{\xi}^{\eta} S(\xi) e_1(\xi) d\xi \quad (x \in X_C).$$

The first term on the R.H.S. represents the knowledge that is used as inputs of the physical sector in the CBD. The second term on the R.H.S. represents the information services derived from the knowledge of the home workers through the CBD. It is assumed that the amount of information services at each location in the CBD depends on the input of knowledge s . Thus the total amount of information services in the city, I_N , is calculated as

$$I_N = \int_{X_S} I(x) dx.$$

Physical Space

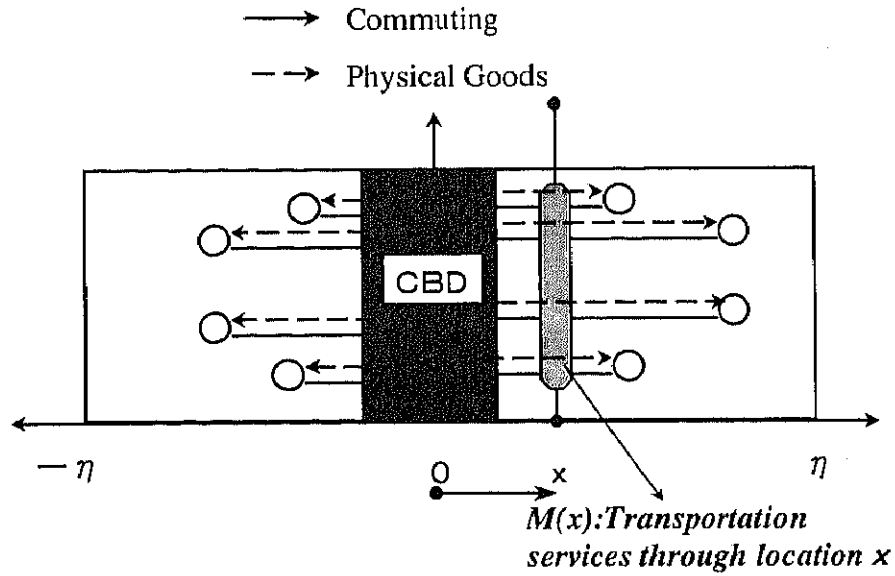


Fig. 4-4 Transportation services

Transportation Network

Assuming that one unit of office work and one unit of P-goods requires one unit of transportation services respectively, the amount of the transportation services (trips) through location $x \in X_S$ is calculated as (Figure 4-4)

$$M(x) = \int_{-η}^η \sum_{i=1}^2 Z_i(\xi) e_i(\xi) + C_2(\xi) e_2(\xi) d\xi \quad (x \in X_S).$$

Variable $e_2(\xi)$ is the number of the office workers at location ξ . Thus the total transportation trips in the city, M_N , is calculated as

$$M_N = \int_{X_S} M(x) dx.$$

4.5 Equilibrium conditions

The conditions of the market equilibrium are stated as follows.

(1) Land arbitrage conditions

$$U(l_{ii}(x), L_i(x), V_i(x), Z_i(x)) = \bar{U}_i \quad (x \in X_i; i = 1, 2)$$

(2) Market rent and boundary conditions

$$\text{Market rent} \quad p_l(x) = \max[p_{l1}(x), p_{l2}(x), p_{le}, R_A] \quad (x \in X),$$

$$\text{City boundary} \quad p_l(\eta) = R_A.$$

These conditions define the market land rent in the city. The market rent curve $p_l(x)$ is the upper envelope of the equilibrium bid rent curves, $p_{l1}(x), p_{l2}(x), p_{le}$, and the agricultural rent R_A . Both conditions simultaneously define the CBD boundary ε and the outer boundary of the city η .

(3) Equilibrium conditions of labor, goods, capital and knowledge

Cyberspace

$$\text{Home goods} \quad h = \int_{X_S} F_0(l_0(x), C_1(x), S(x)) e_1(x) dx,$$

$$\text{Virtual goods} \quad v + \sum_{i=1}^2 \int_{X_S} V_i(x) e_i(x) dx + 2\eta(R_A / p_l) = F_1(h),$$

$$\text{Information services} \quad s + v + h + \int_{X_S} S(x) e_1(x) dx + \sum_{i=1}^2 \int_{X_S} V_i(x) e_i(x) dx = F_3(v),$$

$$\text{Telecommunications network} \quad I_N = \Theta(k),$$

$$\text{Knowledge (home worker)} \quad \int_{X_S} S(x) e_1(x) dx = \bar{S}_1 \int_{X_S} e_1(x) dx,$$

$$\text{Knowledge (office worker)} \quad s = \bar{S}_2 \int_{X_S} e_2(x) dx.$$

Physical Space

$$\text{Land (suburbs)} \quad 1 = l_{ii}(x) \sum_{i=1}^2 e_i(x) + l_0(x) e_1(x) + l_4(x) \quad (x \in X_S),$$

$$\text{Land (CBD)} \quad 2\varepsilon = l_2 \quad (x \in X_C),$$

$$\begin{aligned}
\text{Labor} \quad c &= \int_{X_s} C_2(x) e_2(x) dx, \\
\text{Physical goods} \quad \sum_{i=1}^2 \int_{X_s} Z_i(x) e_i(x) dx &= F_2(l_2, c, s), \\
\text{Transportation services} \quad M(x) &= F_4(l_4(x)) \quad (x \in X_s), \\
\text{Capital} \quad k &= \bar{K} \sum_{i=1}^2 \int_{X_s} e_i(x) dx.
\end{aligned}$$

(4) Dividend of profits

$$d_v = \sum_{i=1}^5 \pi_i / \left(\sum_{i=1}^2 \int_{X_s} e_i(x) dx \right).$$

The numbers of the home and office workers, $E_i (i=1,2)$, are calculated as

$E_i = \int_{X_s} e_i(x) dx$. The above equilibrium conditions constitute a system. Since the system is homogenous of degree zero in prices, only relative prices or prices in terms of a chosen numeraire can be determined, provided that an equilibrium exists. Due to the validity of Walras' law, one market equilibrium condition is redundant. I have chosen the rental price of capital as the numeraire.

4.6 A simulation model

A continuous space is approximated by discrete blocks. The number of blocks is exogenously given as N_B . However, the width of each block is adjusted to endogenously determine the city boundary. We specify that the utility and production functions are all of the Cobb-Douglas form.

$$U(l_{hk}, L_k, V_k, Z_k) = A_U l_{hk}^{\alpha_1} L_k^{\alpha_2} V_k^{\alpha_3} Z_k^{\alpha_4} \quad (A_U > 0, \sum_{j=1}^4 \alpha_j = 1, k=1,2),$$

$$F_0(l_0, C_1, S) = A_0 l_0^{\beta_{01}} C_1^{\beta_{02}} S^{\beta_{03}} \quad (A_0 > 0, \sum_{j=1}^3 \beta_{0j} \leq 1),$$

$$F_1(h) = A_1 h^{\beta_{10}} \quad (A_1 > 0, \beta_{10} \leq 1),$$

$$F_2(l_2, c, s) = A_2 l_2^{\beta_{21}} c^{\beta_{22}} s^{\beta_{23}} \quad (A_2 > 0, \sum_{j=1}^3 \beta_{2j} \leq 1),$$

$$F_3(v) = A_3 v^{\beta_{31}} \quad (A_3 > 0, \beta_{31} \leq 1),$$

$$F_4(l_4) = A_4 l_4^{\beta_{41}} \quad (A_4 > 0, \beta_{41} \leq 1),$$

$$\Theta(k) = A_5 k^{\beta_{51}} \quad (A_5 > 0, \beta_{51} \leq 1).$$

Based on the nonlinear optimization programming method and tatonnement process⁴, we derive the market equilibrium. The values of parameters of the simulation are given as follows:

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 = 20, \bar{U}_2 = 20, R_A = 10, T = 30, p_k = 20, A_U = 1.0, \alpha_1 = 0.2, \alpha_2 = 0.2, \alpha_3 = 0.15, \\ \alpha_4 = 0.45, A_0 = 3.5, \beta_{01} = 0.1, \beta_{02} = 0.45, \beta_{03} = 0.45, A_1 = 15.0, \beta_{10} = 1.0, A_2 = 8.0, \\ \beta_{21} = 0.4, \beta_{22} = 0.15, \beta_{23} = 0.45, A_3 = 2.0, \beta_{31} = 1.0, A_4 = 400.0, \beta_{41} = 1.0, A_5 = 200.0, \\ \beta_{51} = 1.0, \bar{S} = 20, \bar{K} = 10. \end{aligned}$$

A one-month model is assumed. The households work 30 days a month. The weight of the utility function referring to changes in Z_i (α_3) is small as compared with those for changes in V_i (α_4). Each production sector has a constant returns production function. Thus, the elasticity of substitution of the production function is one. The weight of distribution parameter β_{22} is small as compared with that of β_{23} . It means that home workers use knowledge from other workers rather than working time.

4.7 Simulation results

The main results of the simulation are depicted in Figures 4-5 to 4-13. Figure 4-5 shows the spatial allocation of land in the city. The land in the CBD is used for the office space of the physical sector. The land in the suburbs is used for housing space (l_{hi} ($i = 1, 2$)), land assignment for transportation (l_4), and home office space (l_0). The land near the CBD in the suburb is used for housing space and the land assignment for transportation. The land near the city boundary in the suburbs is used for housing space, transportation and home office space. In Figure 4-5, ν represents the location boundary between the home and office workers. The home workers reside from ν to the city boundary η . They work at their homes and are connected with the virtual sector through the telecommunications network. On the other hand, the office workers reside from the CBD boundary ε to ν and commute from their homes to the physical sector in the CBD.

⁴ The program is written in C language. It has about 2000 steps. The computer used for the simulation is DEC Personal Workstation 500au. To get the equilibrium, we need about 10 minutes although it depends on the initial values.

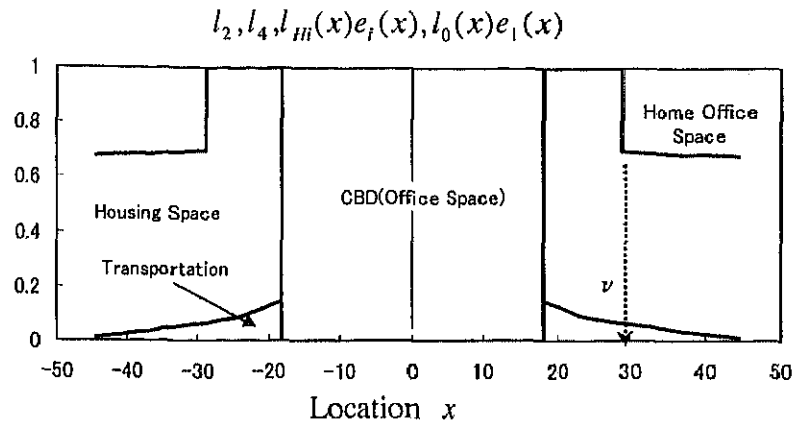


Fig. 4-5 Land assignment

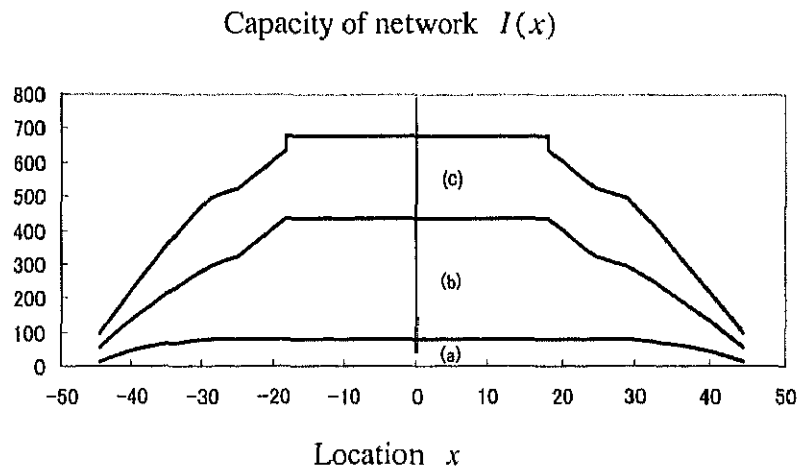


Fig. 4-6 Infrastructure of telecommunications network

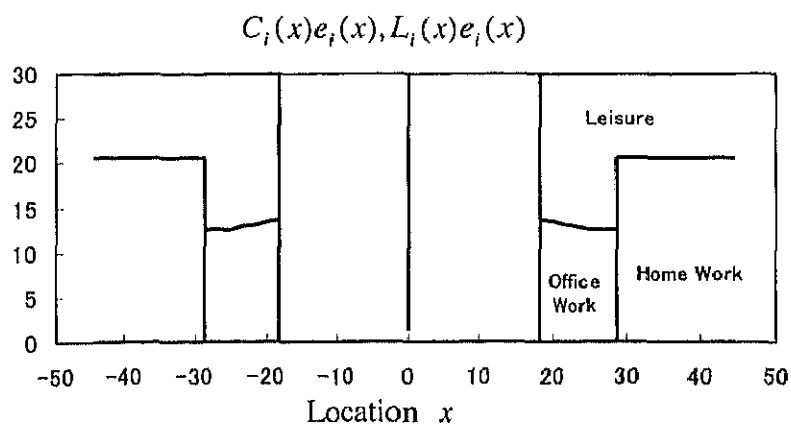


Fig. 4-7 Allocation of time

Figure 4-6 shows the spatial structure of the infrastructure of the

telecommunications network. It consists of (a) information flows that are derived from the knowledge of home workers, (b) information flows that are derived from V-goods, and (c) information flows that are derived from the home production goods of home workers and the knowledge of office workers. The telecommunications infrastructure is a decreasing function from the city center. This means that the telecommunications network has a large capacity near the city center. Figure 4-7 shows the time allocation of the worker in the suburbs. The available time of the home worker consists of the home working time and leisure and that of the office worker consists of the office working time and leisure. The office working time is a decreasing function from the city center. The home working time is almost constant everywhere in the suburbs.

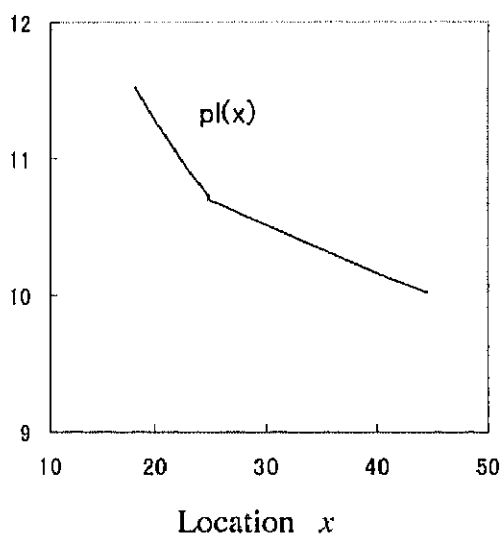


Fig. 4-8 Land rent

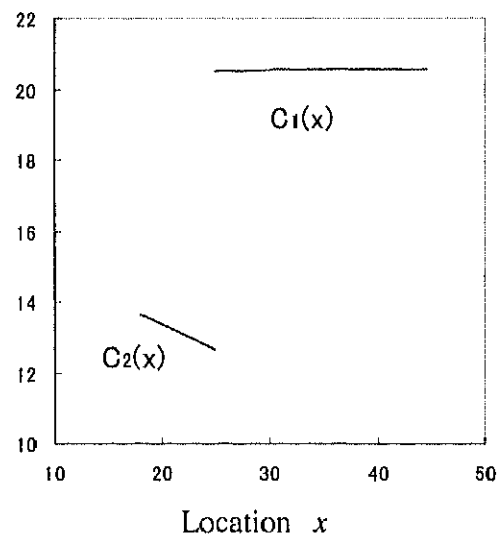


Fig. 4-9 Home and office work

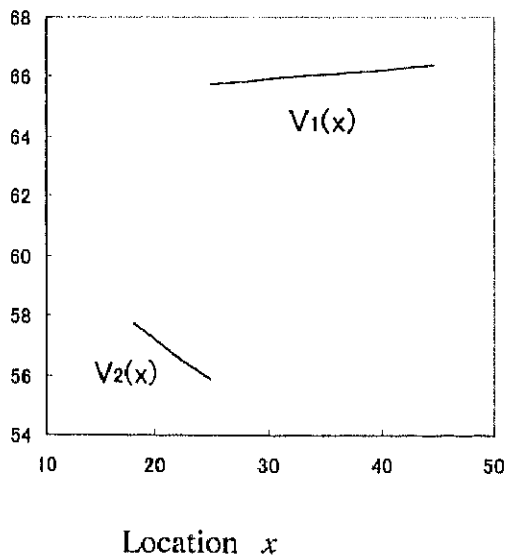


Fig. 4-10 Virtual goods

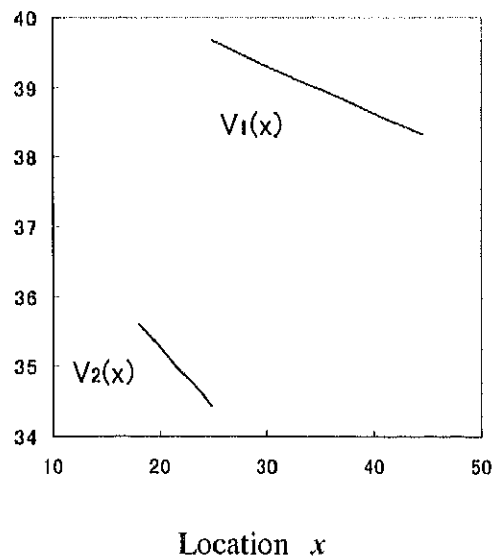


Fig. 4-11 Physical goods

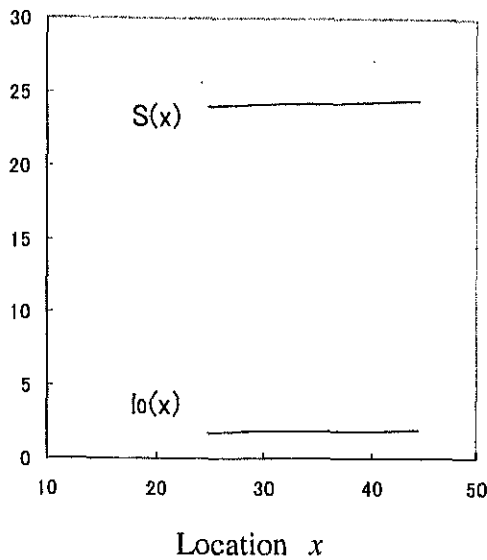


Fig. 4-12 Knowledge and home office space

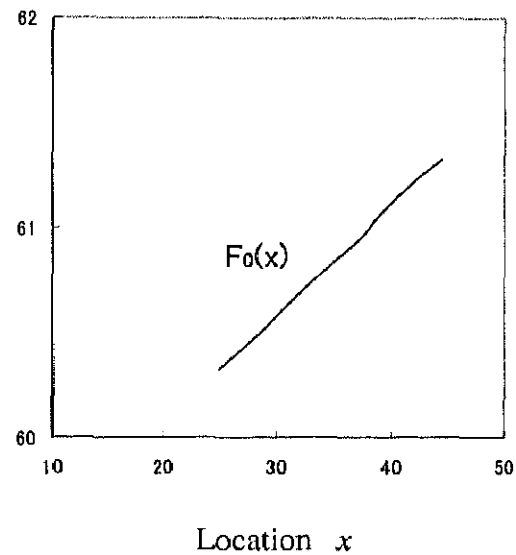


Fig. 4-13 Home goods

The following results are observed in general. The land rent is a decreasing function from the city center and the housing space is opposite to that of the land rent (Figure 4-8). The office work time per worker is a decreasing function and the home work time per worker is an increasing function from the city center (Figure 4-9). The leisure is opposite to that of the office and home working time. The consumption of V-goods per home worker is a decreasing function and that of the office worker is an increasing function from the city center (Figure 4-10). The consumption of physical goods per worker is a decreasing function from the city center (Figure 4-11). The production of home production goods is an increasing function from the city center (Figure 4-13). Therefore, the home office space and knowledge are also increasing with the distance from the city center (Figure 4-12).

4.8 Conclusion

In this paper, we constructed the information-oriented city with cyberspace and physical space. Given specific utility and production functions, the equilibrium is derived by numerical simulation. We showed the spatial structure of the city. Giving the location of the virtual sector, we derived the spatial structure of the telecommunications infrastructure in cyberspace. It is shown that the infrastructure has a large capacity near the city center.

In physical space, the production locations separate two areas, the CBD and the suburbs (home office space). The transportation infrastructure has a large capacity near the CBD boundary. This confirms the traditional result shown by Mills and de Ferranti

(1971).

The virtual sector in the CBD is connected with the home workers using the home production goods through the telecommunications network. On the other hand, each home worker in the suburb is connected with other workers using information through the telecommunications network. Therefore, in this model, the virtual sector is an organization that is connected with the decentralized home productions of the home workers.

There remain many aspects to this paper which require further examination. First, several basic assumptions should be relaxed; for example, the location of the virtual sector, homogeneous goods and knowledge. Second, there is a project to vary the values of parameters in order to examine the generality of the simulation results. Third, there are interesting subjects such as network externalities vs. agglomeration economies, information congestion vs. traffic congestion, and information pollution vs. physical pollution that require further discussion.

References

- Alonso W (1964) *Location and land use - toward a general theory of land rent*. Cambridge, MA:Harvard University Press
- Capello R (1996) *Spatial economics analysis of telecommunications network externalities*. Avebury England
- Gibson W (1984) *Neuromancer*, Ace Books.
- Higano Y, Orishimo I (1990) Impacts of spatially separated work places on urban residential location, consumption and time allocation. *PAPERS of RSA* 68: 9-21
- Katz, M.L ,Shapiro C (1985) Network externalities, competition, and compatibility. *American Economic Review* 75(3) : 424-440
- Lucas, R.E (1988) On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics* 22: 3-42
- Machlup F (1962) *The Production and distribution of knowledge in the united states*. Princeton University Press, New York
- Michael B (1991) *Cyberspace: First steps*. MIT Press
- Mills E.S , de Derranti D.M (1971) Market choices and optimum city size. *American Economic Review* 61(2): 340-345
- Mokhtarian P.L, Salomon I (1994) Modeling the choice of telecommuting: Setting the context. *Environment and Planning A* 26: 749-766
- Ogawa H and Fujita M (1980) Equilibrium land use of in a non-monocentric city: *Journal of Regional Science* 20: 455-475

- Porat M (1977) *The information economy: Definition and measurement, special publications 77.22* (1). Office of telecommunications, US Department of commerce, Washington D.C
- Romer P.M (1990) Endogenous technological change. *Journal of Political Economy* 98: 71-102
- Small K.A (1992) *Urban transportation economics*. Harwood Academic Publishers
- Schuler R.E (1992) Transportation and telecommunications networks: Planning urban infrastructure for the 21st century. *Urban Studies* 39(2): 297-310
- Solow R.M, Vickrey W.S (1971) Land use in a long narrow city. *Journal of Economic Theory* 3: 430-447
- Zhang W.B (1993) An urban pattern dynamics with capital and knowledge accumulation. *Environment Planning A* 25: 357-370

Chapter 5

A System of Cities and Cyberspace

Hiroyuki SHIBUSAWA

Toyohashi University of Technology

Abstract.

In this paper, we construct an equilibrium model of a system of cities in cyberspace and physical space. There are two kinds of cities, physical and virtual cities. Each type of city specializes in the production of a different traded goods. In a physical city, a physical industry is located in the CBD and it produces physical goods. Virtual cities don't have the CBD. The locations of virtual cities are endogenously determined. Cyber workers work at their homes and produce the information goods through the telecommunications network. A virtual industry produces virtual goods using the labor of cyber workers in cyberspace. This study shows that the spatial configuration of virtual cities by numerical simulation. We also derive the spatial distributions of the information infrastructure in outer space and the transportation infrastructure on earth.

Key words: cyberspace, virtual industry, telecommunications network, outer space

5.1 Introduction

The human race faces an unprecedented symbiosis between physical world and the other-dimensional worlds of cyberspace generated by information. As our modern society becomes increasingly dependent upon the development of information technology, we must investigate inhabitants of these simultaneous "virtual" and "physical (actual)" worlds for their possibilities in the near future.

In this paper, we try to examine a system of cities in cyberspace and physical space. There are two kinds of cities, physical and virtual cities. Each type of the physical city specializes in the production of a different traded goods. In the physical city, physical firms are located in the CBD and they produce physical goods. Virtual

cities don't have the CBD. Cyber workers work at their homes and produce the information goods through telecommunications network. A virtual industry produces virtual goods using the labor of workers in cyberspace.

A large number of studies have been made on the information-oriented society. The information and knowledge industry was defined by Machlup(1962) and Porat(1977). The development of the information technology creates a new space, cyberspace. Gibson(1984) proposed an idea of cyberspace. Cyberspace gradually gained popularity. Cyberspace gives birth to a new system. For example, there are telecommuting, SOHO (Small Office and Home Office), virtual factories, virtual malls, virtual schools, virtual communities, virtual governments and virtual cities¹.

Many authors reported on the trend of social and economic activities in cyberspace (see for example, Elkins(1997), Barnatt(1998), Franco(1998), Sui(1998) and Hagel(1999)). Romm, et al.(1997) analyzed the individual behavior in virtual communities.

In the field of regional science and urban economics, many urban models have been developed. The models strongly depend on the mobility in physical space and the interaction of knowledge in the CBD. Henderson(1977,1987) and others have developed models to explain the size of each physical city in the system of cities. The effects of transportation costs among cities on the system of cities were analyzed by Adbel-Rahaman(1996) and Mun(1997). Most of the models of the system of cities have assumed that the location of each city is exogenously given. Fujita et al.(1999) have developed a model that the endogenous formation of a hierarchical urban system occurs in an economy. However, those models have not considered the telecommunication systems among cities. Gaspar and Glaeser(1998) examined a model how changes in telecommunication technology will alter the use of face-to-face interactions and the size of cities. Sandler and Schulze(1981) and Harvey(1992) considered the efficiency of market for satellite telecommunications network. But so far the study of telecommunications system at the inter-city level has been superficial.

The worldwide network system was formed by the rapid development of transportation and information technologies. The worldwide megalopolis was born.

¹ Planet9 has a three dimensional models of virtual cities. The models, which include sections of San Francisco, New Orleans, Tokyo, Austin, New York and 10 other cities, have been used for advertising, commerce, information and project development. Planet9 vice president of marketing said the firm envisions the cities eventually becoming true representations of real cities. For example, a visitor to the virtual cities would be able to walk through the streets and stop at stores or other buildings (see *Civil Engineering*, Vol.98(4), p.28).

Friedmann et al.(1982) proposed a concept of a world city. Sassen(1991) also defined such a city as a global city. Hall(1997) emphasized the necessity of modelling a post-industrial city and explained the emergence of a new kind of city: a globalized informationized polycentric city. He also examined a question of how we can adapt the urban and transportation models to the post-industrial city. Schuler(1992) and Rimmer(1998) pointed out the importance of the relationship between transportation and telecommunication systems.

Cyberspace has become a new kind of social terrain. I tried to construct an urban model in physical space and cyberspace and considered the role of cyberspace in a city(Shibusawa (1997)). However, the study was focused on a monocentric city. In this study, cyberspace is explicitly introduced into a system of cities to investigate the formation of cities. To achieve the purpose, I consider two spaces, physical space and cyberspace. Cyberspace is a very close imitation of physical space. They are substitutes or complements. The characteristics of cyberspace become clear by comparing it with physical space. As a matter fact, there is a great deal of complexity about the relationship between two spaces. In this study, as the first step, I dissociated two spaces. Since the problem of cyberspace is of very wide area, this paper focuses on the physical spatial structure of virtual cities.

The organization of this paper is as follows. Section 2 explains general characteristics of cyberspace and physical space. Section 3 describes the assumptions of a model of a system of cities in cyberspace and physical space. Section 4 states the equilibrium conditions of the model. Section 5 describes the simulation results. Finally, Section6 presents the conclusion.

5.2 Cyberspace vs. physical space

Most of the theoretical urban models strongly depend on the existence of physical space. This paper tries to incorporate cyberspace into a model of the system of cities in physical space (Figure 1 and Table 1). General assumptions are described as follows.

Assumption 1: there are two kinds of space: cyberspace and physical space.

Physical space is characterized by physical distance. In cyberspace, there is no real distance or space. Society has a highly developed virtual reality technology. Thus people could virtually experience and feel physical distance and space in cyberspace.

Assumption 2: there are two kinds of networks: telecommunications and transportation networks.

In cyberspace, the labor, goods and services are transformed into electronic information

and they are carried through the telecommunications network. On the other hand, in physical space, those goods are transported through the transportation network.

Assumption 3: there are two kinds of firms: virtual and physical firms.

Virtual firms exist in cyberspace. Physical firms are located in physical space.

Assumption 4: there are two kinds of goods: virtual and physical goods.

In the economy, the urban residences consume the physical goods in physical space. They can buy them not only at the CBD but also at the virtual mall in cyberspace. The physical goods are delivered to the residences through the transportation network. The physical goods have length, volume and weight. In cyberspace, the virtual goods imitate most of the physical goods using virtual reality technology. The virtual goods also include a lot of potential goods, which do not exist in physical world. In general, the variety of virtual goods is greater than that of the physical goods. While it might be easy to substitute the virtual goods for the physical goods, the opposite relation might not be easy (see Figure 2).

Assumption 5: there are two kinds of workers : cyber and physical workers.

Cyber workers work at virtual firms in cyberspace using the telecommunications network. Physical workers commute to physical firms located in physical space.

In physical space, most important constraint is physical resource. In cyberspace, that is time (see Becker (1965)). Externalities such as pollution exist in both spaces.

Table 5-1 Cyberspace vs. Physical Space

	Cyberspace	Physical Space
City	Virtual City	Physical City
Network	Telecommunications Network	Transportation Network
Goods	Virtual Goods – Knowledge	Physical Goods – Capital
Firm	Virtual Firm	Physical Firm
Worker	Cyber Worker (Home Worker)	Physical Worker (Office Worker)
Constraint	Time	Physical Resource
Environment	Virtual Environment (Information Pollution)	Ecosystem (Physical Pollution)

Here, to clear my study area, I described the extensive assumptions. So, this paper doesn't handle all assumptions. In the next section, the specific situation is described.

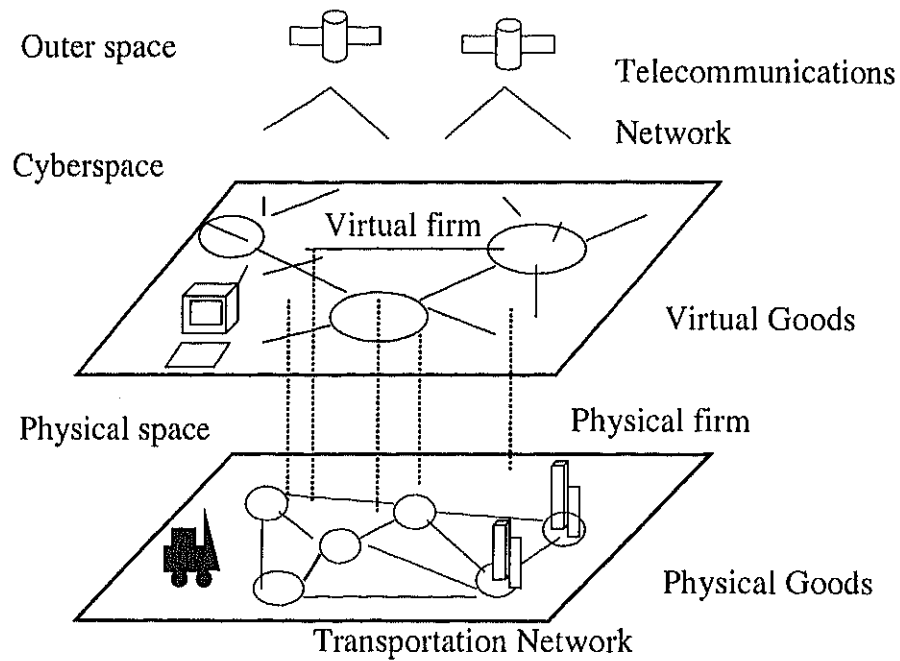


Figure 5-1 Cyberspace and Physical Space

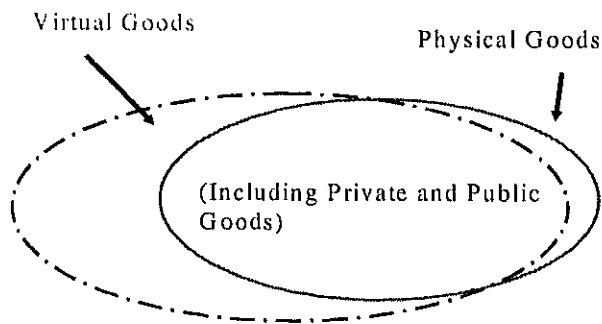


Figure 5-2 Virtual and Physical Goods

5.3 The model

This is a model of a system of cities in cyberspace and physical space. An equilibrium model of a static system of cities described where all resources are ubiquitous and cities in the economy are situated on a flat featureless plain. It is assumed that the economy endowments of capital and labor are fixed and they are perfectly mobile among cities. Workers choose a city to live from existing physical cities and potential virtual cities in the economy. In choosing a city, workers examine

the income, commuting costs, transportation costs for traded goods, and the housing price associated with different cities.

I consider two kinds of spaces, cyberspace and physical space. Cyberspace is formed in the telecommunication systems. It strongly depends on virtual reality technology. In cyberspace, there are virtual firms. The virtual industry specializes in the production of virtual goods (non-material goods). Virtual goods have no physical substance and consist of information only. They are traded in cyberspace through telecommunications network. Cyber workers can live everywhere in the economy because they have no the duty of commuting. The virtual city has no physical production activities in physical space.

In the physical space, there are physical cities and the economic activities are linked by the transportation system. Each type of the physical city specializes in the production of a different traded goods. A physical industry produces the specialized physical goods in the physical city. These are traded among cities through the transportation network. The transportation costs depend on both the physical distance among cities and the amount of transported goods. The physical industry is located in the CBD and produces the physical goods using labor and capital. For simplicity, the physical firm uses no space. The CBD is treated as a point and the location is given.

Workers in the economy are assumed to have identical preferences. Each worker is endowed with one unit of labor. Workers are perfectly mobile among physical cities and virtual cities. It is also assumed that each worker owns an equal share of the land rent generated in the city and profits of firms. Each worker can only reside at one location and can choose a job that requires commuting to the CBD (physical workers) or a job that requires communication with virtual firm through cyberspace (cyber workers). As workers choose a job of the virtual firm, their production activities are performed in their houses using computer systems linked with the telecommunications network. Each worker maximizes its utility subject to the budget constraint. Physical workers commute from their houses to the CBD of the physical city. The transportation costs for commuting are borne by physical workers. On the other hand, cyber workers communicate with the virtual firm in cyberspace and the telecommunication costs are borne by them.

The economy has two kinds of networks. As for the telecommunications network, in general, there are two kinds of networks, wireless and cable. In this paper, we focus on the wireless telecommunication such as a satellite communications system in outer space. It is assumed that the telecommunications network is constructed by only capital in outer space and the movements of the virtual goods include any costs for

information services. On the other hand, the transportation network is constructed using only land and the movements of people and goods come with any costs. An agricultural sector produces the agricultural goods in the farmland. The farmer carries the agricultural goods to a physical city. The transportation costs are borne by them. In virtual cities, farmers produce the agricultural goods using land.

θ_i :the location of a physical city(given)

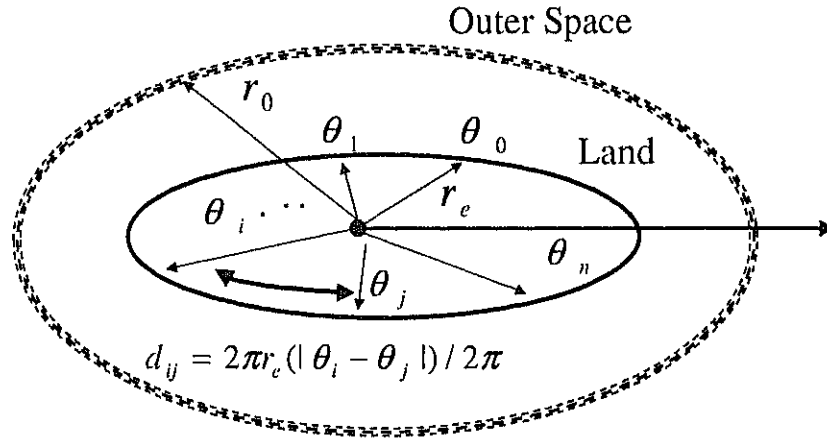


Figure 5-3 Land and Outer Space

Consider an economy of a system of cities spreading over a flat, featureless plane. The economy has population \bar{N} and capital \bar{K} . Let $I_p = \{1, 2, \dots, I_{pn}\}$ denote an index set over physical cities. I_p also represents an index set over physical goods because physical goods are differentiated and the city produces one kind of goods. Let $I_v = \{1, 2, \dots, I_{vn}\}$ denote an index set over virtual cities. Although the number of physical cities I_{pn} and the location of each city are specified exogenously, the number of virtual cities I_{vn} and the location of each virtual city are endogenously determined. As shown in Figure 5-3, the locations of economic agents in the economy are considered in the circumference of a circle with the density 1 ($x \in R_e$). Locations of physical cities are exogenously given as $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{pn})$ using polar coordinates. The distance between city i and city j is defined as

$$(x_i, x_j) = \begin{cases} 2\pi r_e (|\theta_i - \theta_j| / 2\pi) & \text{if } |\theta_i - \theta_j| \leq \pi \\ 2\pi r_e ((|\theta_i - \theta_j| - \pi) / 2\pi) & \text{otherwise} \end{cases}$$

where r_e is the given radius of the circular economy. We also examine locations of

satellites in outer space. A satellite communications system in outer space lies on the circumference of a circle with the density 1 ($y \in R_o$). The radius of the circle is given as r_o . The circumference is calculated as $2\pi r_o$.

5.3.1 Workers

All workers in the economy are assumed to have an identical utility function:

$$U(H^i, A^i, X_1^i, X_2^i, \Lambda, X_{hpn}^i, Z^i) \quad (i \in I_p \cup I_v)$$

where H^i is the housing space and A^i is the quantity of agricultural goods at a city i . X_j^i is the quantity of physical goods j produced in city $j \in I_p$ and Z^i is the quantity of virtual goods of worker. The traded physical goods are transported into the CBD from other cities. The agricultural goods are transported from rural area around the city. It is assumed that the physical workers purchase the traded goods when commuting to work in the CBD. The transportation costs for the traded goods and agricultural products don't occur in the physical city. However the transportation costs for the traded goods among cities and the costs for commuting in the city occur. We specify the budget constraint facing a physical worker residing at location x in a physical city $i \in I_p$,

$$Y^i - t_c d_{hi} - H^i P_h(x) - P_a^i A^i - \sum_{j \in I_p} P_j X_j^i - P_v Z^i = 0 \quad (i \in I_p).$$

Y^i is the income. $P_h(x)$ is the land rent at location x . P_a^i is the price of agricultural goods. t_c is the cost of commuting a unit distance. d_{hi} is the distance between the location of worker and the CBD of city i . P_j is the price of the physical goods j including the transportation costs between a city i and a city j and is defined as

$$P_j = q_j + p_i(x_i, x_j) \quad (i, j \in I_p).$$

The above equation states that when the trade occurs between physical cities $i \in I_p$ and $j \in I_p$, P_j is equal to the price of goods, q_j , plus the transportation cost, $p_i(x_i, x_j)$. $p_i(x_i, x_j)$ is the transportation cost between center of a city $i \in I_p$ and that of a city $j \in I_p$. The locations of physical cities are specified exogenously. Note that $p_i(x_i, x_i) = 0$. P_v is the price of virtual goods including the telecommunications cost and is defined as

$$P_v = q_v + p_c.$$

q_v is the price of virtual goods and p_c is the telecommunications cost per one unit. The worker purchases the virtual goods through the telecommunications network. We have chosen the price of virtual goods as the numeraire.

A cyber worker faces the following budget constraint.

$$Y^i - p_c - t_g d_{hi} - H^i P_{ii}(x) - P_a^i A^i - \sum_{j \in I_p} P_j X_j^i - P_v Z^i = 0 \quad (i \in I_v).$$

Since the cyber worker has no opportunity for commuting to the CBD, it has no transportation costs for commuting, but transportation costs for the traded physical goods and agricultural goods occur. Cyber workers go shopping to the nearest physical city. Or, those goods are delivered to their homes. The transportation costs in the city is calculated as $t_g d_{hi}$. d_{hi} is the distance between the location of cyber worker and the center of the physical city i . t_g is the transportation cost per distance. Labor is used as input of the virtual industry through the telecommunications network using the virtual reality technology. Cyber workers have to pay the telecommunications cost p_c for one unit of labor supply.

There are \bar{N} workers in the economy. Let N_i denote the number of workers in a city $i \in I_p \cup I_v$. We assume that the economy has a public ownership. Workers own equal shares of the land rent on earth and the rent of outer space. Thus the income is given by

$$Y^i = W_i + (ALR_i + \pi_i) / N_i + (ASR + \pi_c + \pi_t + \pi_a) / \bar{N} \quad (i \in I_p \cup I_v)$$

where W_i is the wage rate and ALR_i is the aggregate land rent in the city i . π_i is the profit of firm and it is shared equally by workers. ASR is the aggregate space rent of outer space. π_c, π_t and π_a are the profits of the telecommunications, transportation and agricultural sectors, respectively. (π_i / \bar{N}) means the lump-sum access fee of the telecommunications network. The number of workers in the city i is calculated as

$$N_i = \int_{R_{ei}} e^i(x) dx \quad (i \in I_p \cup I_v)$$

where $e^i(x)$ is the number of workers residing at location x . R_{ei} is the a set of locations of workers and is defined as $(R_{ei} = \{x \in R_e \mid p_{ei}(x) > P_{ij}(x) > P_{ia}(x) (i \neq j)\})$ $(i, j \in I_p \cup I_v)$. $P_{ii}(x)$ is the bid rent of a city i and $P_{ia}(x)$ is the bid rent of the agricultural area. We can obtain the aggregate land rent and the aggregate rent of outer space as

$$ALR_i = \int_{R_{ei}} P_i(x) dx \quad (i \in I_p \cup I_v),$$

$$ASR = \int_{R_o} p_{io}(y) dy.$$

5.3.2 Industries

Virtual Industry

The virtual industry produces virtual goods which consists of electronic information only. In the production process, it uses no physical space. The virtual industry exists on the telecommunications network in the economy. However it is difficult to observe the physical location of virtual industry. The optimization behavior is

$$\max_{(N_v)} \quad \pi_v = q_v \Gamma_v(\tilde{N}_v) F_v(N_v) - W_v N_v,$$

where $F_v(\cdot)$ is a production function and is a regular concave function of N_v . N_v is the input of labor and is calculated as

$$N_v = \sum_{j \in I_v} N_j.$$

The labor is supplied from cyber workers in virtual cities through telecommunications network. q_v is the price of virtual goods. $\Gamma_v(\cdot)$ is a function which represents agglomeration economies in cyberspace. \tilde{N}_v is the total cyber workers in the economy. There are positive effects so $\partial \Gamma_v(\tilde{N}_v) / \partial \tilde{N}_v > 0$. Assuming a proper maximum, the first-order necessary condition is given as

$$q_v \Gamma_v(\tilde{N}_v) (\partial F_v(N_v) / \partial N_v) = W_v.$$

Physical Industry

Physical industries produce physical goods in physical cities. The physical goods are traded among cities through the transportation network. We formulate its optimization behavior as

$$\max_{(N_i, K_i)} \quad \pi_i = q_i \Gamma_i(\tilde{N}_i) F_i(N_i, K_i) - (W_i N_i + r K_i) \quad (i \in I_p),$$

where $F_i(\cdot)$ is a production function of physical goods i in the city i . We assume that $F_i(\cdot)$ is a regular concave function. N_i is the input of labor. K_i is the input of capital. q_i is the price of goods i . r is the rental price of capital. Note that the rental price of capital is the same among cities since capital moves freely within the economy. On the other hand, wages are different among cities. \tilde{N}_i is the total local workers or employment in the physical city i . $\Gamma_i(\cdot)$ is a function which represents agglomeration economies and has positive effects so $\partial \Gamma_i(\tilde{N}_i) / \partial \tilde{N}_i > 0$. Assuming a proper maximum, the first-order necessary conditions are given as

$$q_i \Gamma_i(\tilde{N}_i) (\partial F_i(N_i, K_i) / \partial N_i) = W_i,$$

$$q_i \Gamma_i(\tilde{N}_i)(\partial F_i(N_i, K_i) / \partial K_i) = r.$$

Agricultural Sector

The sector produces the agricultural goods using land only. The agricultural goods are delivered to the CBD of physical cities. The behavior of the agricultural sector is given as

$$\max_{\{l_a(x), i\}} \pi_a = \int_{R_e} P_a^i (1 - d_{xi} t_a) F_a(l_a(x)) - P_{la}(x) l_a(x) dx \quad (i \in I_p),$$

where $F_a(\cdot)$ is a production function of agricultural goods at location x and a regular concave function. d_{xi} is the distance between location x and the CBD of a physical city i . The farmer chooses the nearest physical city where the price of agricultural goods is the highest. t_a is the transportation cost for agricultural goods. $l_a(x)$ is the land input at location x . The transportation costs are borne by the farmers. P_a^i is the price of agricultural goods at the CBD of the physical city i . Assuming that a proper maximum, the first-order necessary condition is given as

$$P_a^i (1 - d_{xi} t_a) (\partial F_a(l_a(x)) / \partial l_a(x)) = P_{la}(x) \quad (x \in R_e),$$

Telecommunications Sector

Here we focus on a satellite system in outer space. All virtual goods and telecommunications for telecommuting are traded through the satellite telecommunications system. This sector constructs the telecommunications network and provides information services. It has two production functions. One is the information services, $F_c(v)$ and the other is the telecommunications infrastructure in outer space, $\Theta(S_o(y), K_o(y)) (y \in R_o)$. Variable v is input of virtual goods. $S_o(y)$ and $K_o(y)$ are inputs of space and capital in outer space, respectively. The price of information services, p_c , is regulated by a public authority based on the marginal cost pricing. Information services are supplied so as to satisfy to an aggregate demand of information services in the economy, I_s . The information infrastructure is constructed so as to satisfy to total information flows at each location, $I_N(x)$. The cost for infrastructure is equally borne by all the households through its negative profit. It means a lump-sum access fee. The behavior of the telecommunications sector is formulated as

$$\min_{\{v, S_o(y), K_o(y)\}} P_v v + \int_{R_o} p_{lo}(y) S_o(y) + r K_o(y) dy$$

subject to

$$F_c(v) \geq I_s$$

$$\Theta(S_o(y), K_o(y)) \geq I_N(y) \quad (y \in R_o)$$

The profit is calculated as

$$\pi_c = p_c F_c(v) - (q_v + p_c)v - \int_{R_o} p_{lo}(y) S_o(y) + r K_o(y) dy.$$

We formulate the Lagrangian function as

$$\begin{aligned} L = & -P_v v - \int_{R_o} p_{lo}(y) S_o(y) + r K_o(y) dy \\ & + \tilde{p}_c (F_c(v) - I_N) + \int_{R_o} \tilde{p}_o(y) \{\Theta(S_o(y), K_o(y)) - I_N(y)\} dy, \end{aligned}$$

where \tilde{p}_c and $\tilde{p}_o(y)$ are the Lagrangian multipliers. We assume that $F_c(v)$ and $\Theta(S_o(y), K_o(y))$ are regular concave functions. The first-order conditions are given as

$$\begin{aligned} p_v &= \tilde{p}_c (\partial F_c(v) / \partial v), \\ P_{lo}(y) &= \tilde{p}_o(y) \partial \Theta(S_o(y), K_o(y)) / \partial S_o(y) \quad (y \in R_o), \\ r &= \tilde{p}_o(y) \partial \Theta(S_o(y), K_o(y)) / \partial K_o(y) \quad (y \in R_o). \end{aligned}$$

Transportation Sector

The public authority also regulates the transportation sector, which is a monopolist in the economy, as if it were a price-taker, namely it prices transportation services at the marginal cost. The transportation sector provides a supply of its services at each location in physical space. The optimization behavior is formulated as

$$\min_{\{l_i(x)\}} \int_{R_e} P_l(x) l_i(x) dx \quad \text{subject to} \quad F_l(l_i(x)) \geq M(x) \quad (x \in R_e).$$

The output $F_l(\cdot)$ is a function of land input $l_i(x)$. $l_i(x)$ represents the land assignment for transportation at location x in the economy. $M(x)$ is the demand of transportation services at location x . The profit is calculated as

$$\pi_t = \int_{R_e} \tilde{p}_t(x) F_l(l_i(x)) - P_l(x) l_i(x) dx$$

where $\tilde{p}_t(x)$ is the regulated price of transportation services at location x . We formulate the Lagrangian function as

$$L = - \int_{R_e} P_l(x) l_i(x) dx + \int_{R_e} \tilde{p}_t(x) \{F_l(l_i(x)) - M(x)\} dx$$

where $\tilde{p}_t(x)$ is the Lagrangian multiplier. We assume that $F_l(\cdot)$ is a regular concave function. The first-order condition is given as

$$P_l(x) = \tilde{p}_t(x) (\partial F_l(l_i(x)) / \partial l_i(x)) \quad (x \in R_e).$$

The transportation cost between locations x_i and x_j is calculated as

$$p_i(x_i, x_j) = \int_{x_i}^{x_j} \tilde{p}_i(\xi) d\xi \quad (x_i, x_j \in R_v)$$

5.4. Networks

Telecommunications Network

Assuming that one unit of virtual goods and one unit of labor from cyber worker require one unit of information services, the total amount of the information services, I_S , is calculated as follows (see Figure 5-4-1):

$$I_S = \sum_{i \in I_p \cup I_v} \int_{R_{ei}} Z^i(x) e^i(x) dx + \sum_{i \in I_v} \int_{R_{ei}} e^i(x) dx.$$

The total amount of information flows in the economy, I_N , is calculated as

$$I_N = \int_{R_{ei}} I_N(x) dx = \sum_{i \in I_p \cup I_v} \int_{R_{ei}} Z^i(x) e^i(x) H^i(x) dx + \sum_{i \in I_v} \int_{R_{ei}} e^i(x) H^i(x) dx.$$

The first term on the R.H.S. represents the amount of information services derived from the consumption of virtual goods. The last term represents that of labor supplies from cyber workers. As for the satellite communications system, the amount of demand of infrastructure depends on the service area.

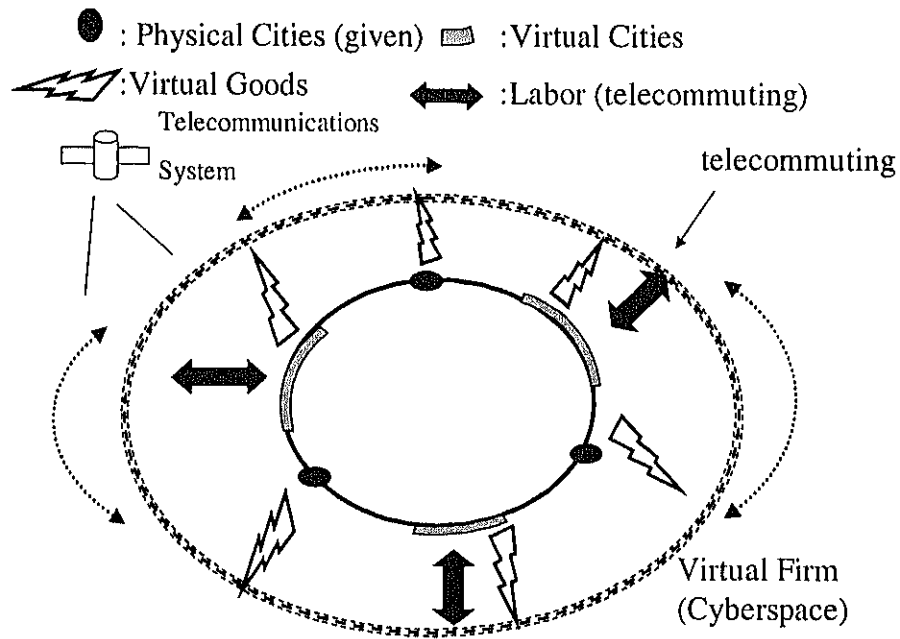


Figure 5-4-1 Information Network

Transportation Network

Assuming that one unit of the physical goods requires one unit of the transportation services respectively, the amount of the transportation services through location x is calculated as follows (Figure 5-4-2):

$$M(x) = \sum_{i \in I_p \cup I_v, j \in I_p, i \neq j} \int_{R_i} \delta_j^i(x, \xi) X_j^i(\xi) e^i(\xi) d\xi$$

where if the physical goods $X_j^i(\xi)$ at location ξ passes the location x then $\delta_j^i(x, \xi) = 1$, otherwise $\delta_j^i(x, \xi) = 0$.

● : Physical Cities (given) → : Physical Goods
 ■ : Virtual Cities

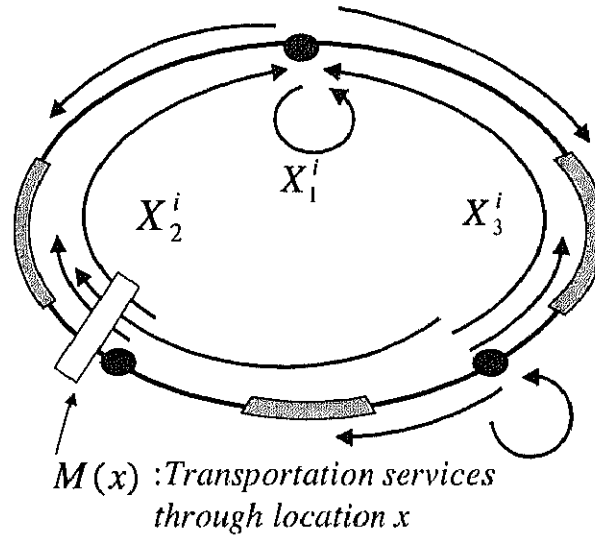


Figure 5-4-2 Transportation Network

5.5 Equilibrium Conditions

The market equilibrium of the economy is described.

Cyberspace

Virtual goods $\sum_{i \in I_p \cup I_v} \int_{R_i} Z^i(x) e^i(x) dx = \Gamma_v(N_v) F_v(N_v)$

Telecommunications services $I_s = F_v(v)$

Telecommunications network $I_N(y) = \Theta(S_n(y), K_n(y)) \quad (y \in R_n)$

Physical Space

$$\text{Physical goods} \quad \sum_{i \in I_p \cup I_v} \int_{R_e} X_j^i(x) e^i(x) dx = \Gamma_j(N_j) F_j(N_j, K_j)$$

$$(j \in I_p)$$

$$\text{Transportation services} \quad M(x) = F_t(l_t(x)) \quad (x \in R_e)$$

$$\text{Agricultural goods} \quad \int_{R_a} A^i(x) e^i(x) dx = \int_{R_a} (1 - t_a d_{ai}) F_a(l_a(x)) dx \quad (i \in I_p \cup I_v)$$

$$(R_a = \{x \in R_e \mid P_{ia}(x) > P_{it}(x), i \in I_p \cup I_v\})$$

$$\text{Land} \quad H^i(x) e^i(x) + l_a(x) + l_t(x) = 1 \quad (x \in R_e, i \in I_p \cup I_v)$$

$$\text{Labor} \quad \sum_{i \in I_p} N_i + \sum_{j \in I_v} N_j = \bar{N}$$

$$\text{Capital} \quad \sum_{i \in I_p} K_i + \int_{R_o} K_o(y) dy = \bar{K}$$

Outer Space

$$\text{Space} \quad S_o(y) = 1 \quad (I_N(y) > 0; y \in R_o).$$

Equilibrium location of worker is determined that they have no incentive to change the location. The condition is represented as

$$U(H^i, A^i, X_1^i, X_2^i, \Lambda, X_{I_{pn}}^i, Z^i) = \bar{U} \quad (i \in I_p \cup I_v)$$

where \bar{U} is the equilibrium utility level. The market rent in the economy is defined as

$$P_t(x) = \max_{i \in I_p \cup I_v} [P_{it}(x), P_{ia}(x)] \quad (x \in R_e).$$

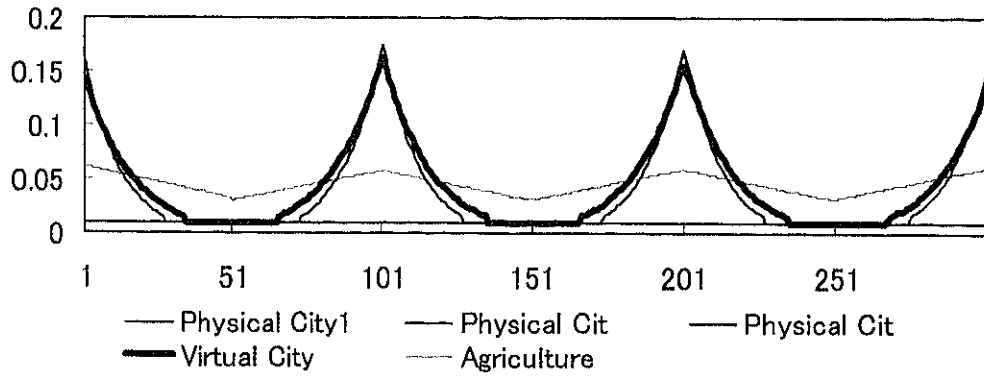


Figure 5-5-1 Land Rent on Earth

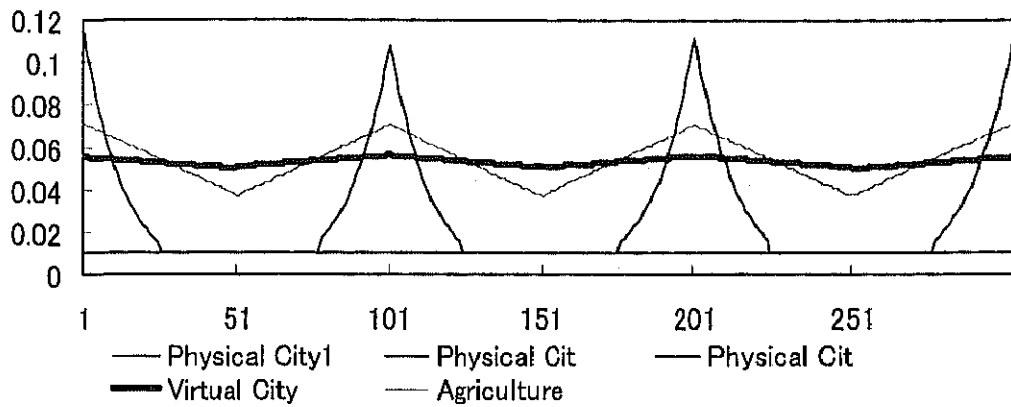


Figure 5-5-2 Land Rent on Earth

5.6 Simulation

To perform numerical simulations, utility, production and agglomeration economies functions are specified (see Appendix). A continuous space is divided by discrete block. A finite number of individuals reside on 300 discrete blocks. In the simulation, the economy consists of three physical cities and unknown virtual cities. The transportation and telecommunications networks connect them to each other. Though the location of each physical city is given with equal length, that of virtual city is endogenously determined. There are three types of physical goods and one type of virtual goods in the economy. The values of parameters are listed in the Appendix. Based on the nonlinear optimization programming and tatonnement process, the equilibrium solutions are derived.

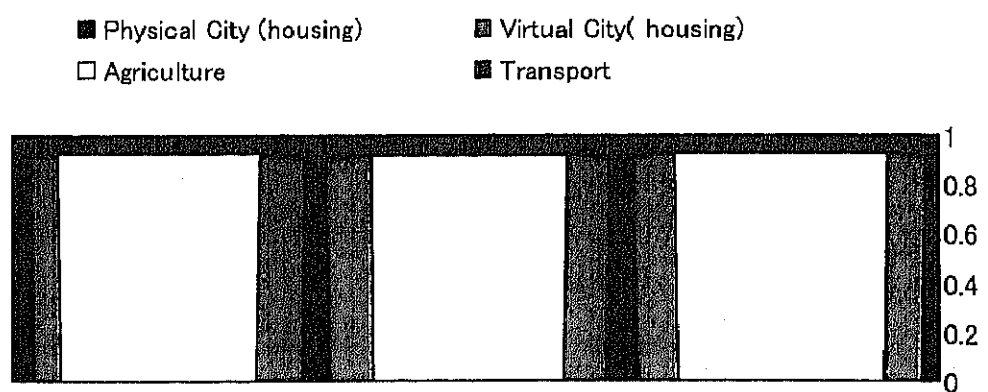


Figure 5-6-1 Land Assignment

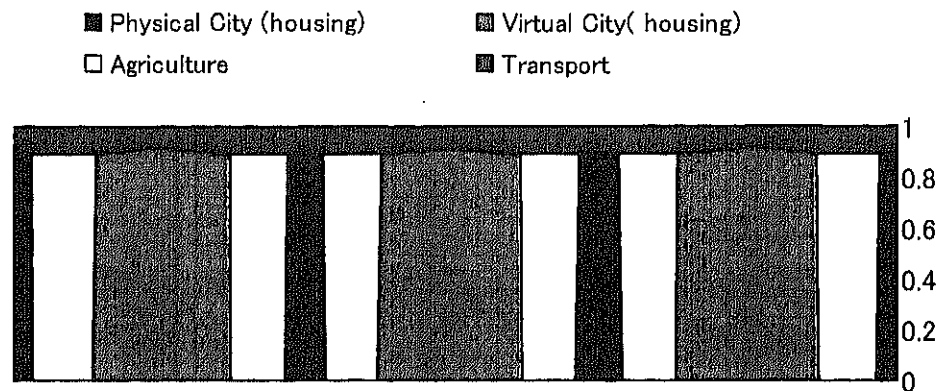


Figure 5-6-2 Land Assignment

The main results of the simulation are depicted in Figures 5-5 to 5-18. In numerical simulations, two different patterns are derived depending on parameters. Case 1 means that there are the higher transportation costs among cities. In Case 2, the lower transportation costs among cities are adopted into the model. In these figures, the figure numbers with "-1" ("-2") means Case 1 (Case 2). The locations of virtual cities are transformed depending on transportation costs among cities. Figures 5-5-1 and 5-5-2 show the land rent in the economy. In Case 1, the cyber workers are located in surroundings of physical cities. Although cyber workers work at near physical cities, the virtual firm links their production activities through telecommunications network.

In Case 2, the isolated virtual cities appear among the physical cities. Three isolated virtual cities appear in physical space, due to the low transportation costs for physical goods among cities. The cyber workers can work at their homes far from the physical cities. In Case 2, it is interesting that the land rents at the center of virtual cities are the lowest though those of physical cities are the highest.

Figures 5-6-1 and 5-6-2 show the spatial allocation of land for housing, transportation, and agriculture. The spatial distributions of housing and farmland in Case 1 are remarkable different that of Case 2. Figures 7-1 and 7-2 show the space rent in outer space. The distribution strongly depends on the specification of the satellite systems. Figures 8 and 9 show the space assignment and the spatial distribution of information infrastructure in outer space. It is shown that the economy needs the widespread information infrastructure in Case 2.

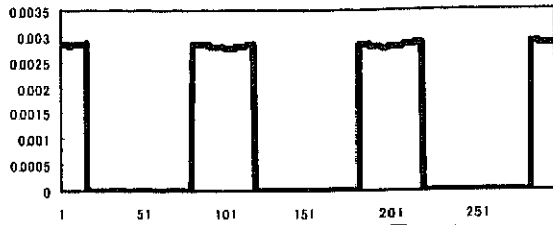


Figure 5-7-1 Space Rent

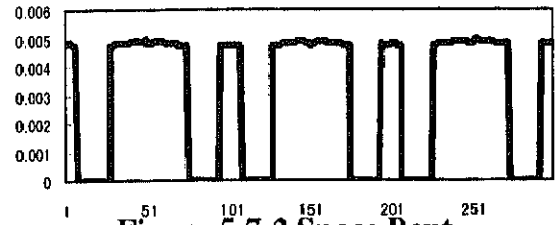


Figure 5-7-2 Space Rent

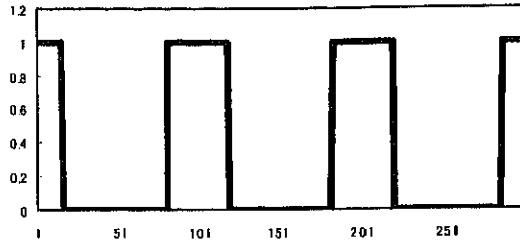


Figure 5-8-1 Space Assignment

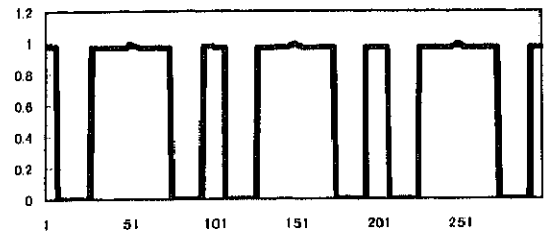


Figure 5-8-2 Space Assignment

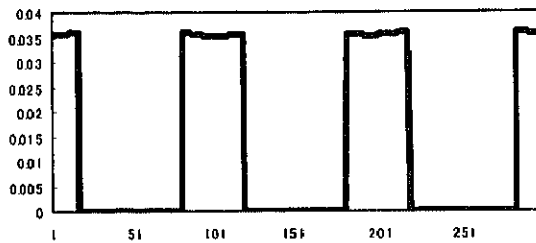


Figure 5-9-1 Information Flows

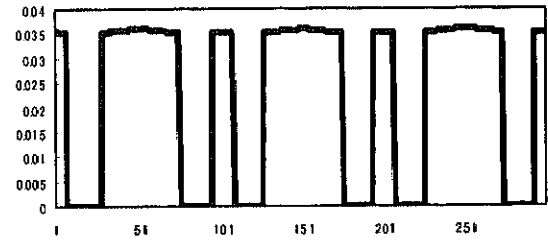


Figure 5-9-2 Information Flows

Figures 5-10, 5-11, 5-12, 5-13, 5-14 and 5-15 show the spatial distributions of the housing space, the agricultural goods, the physical goods, the virtual goods per worker. In Case 2, in the virtual cities, the housing space is flatter than that of physical cities. While the demands for physical goods depend on the physical location due to the transportation cost among cities, the spatial distributions of the virtual goods and agricultural goods are flat.

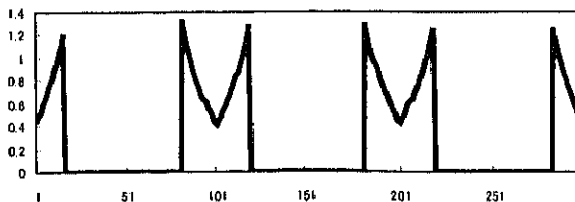


Figure 5-10-1 Housing Space

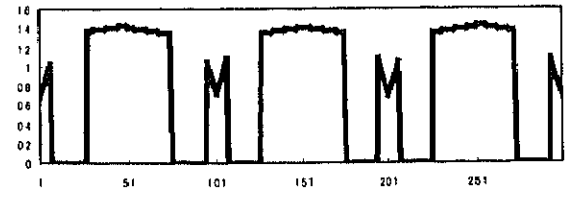


Figure 5-10-2 Housing Space



Figure 5-11-1 Agricultural Goods

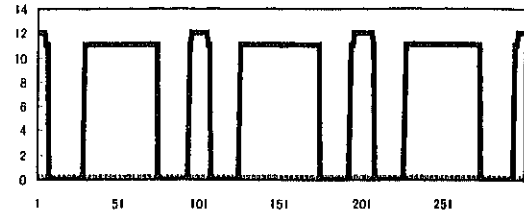


Figure 5-11-2 Agricultural Goods

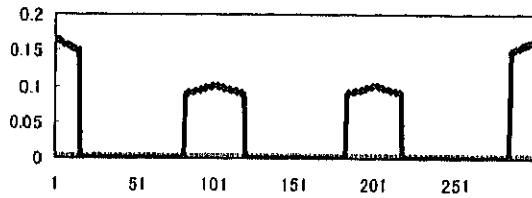


Figure 5-12-1 Physical Goods1

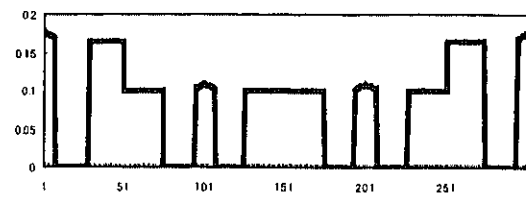


Figure 5-12-2 Physical Goods1



Figure 5-13-1 Physical Goods2

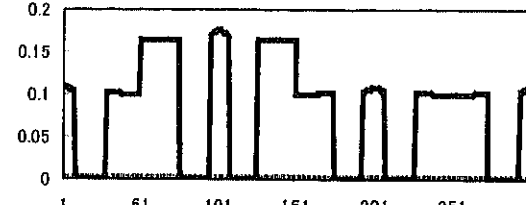


Figure 5-13-2 Physical Goods2

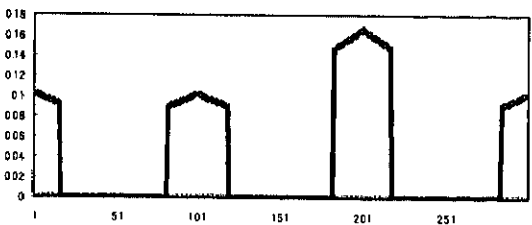


Figure 5-14-1 Physical Goods3

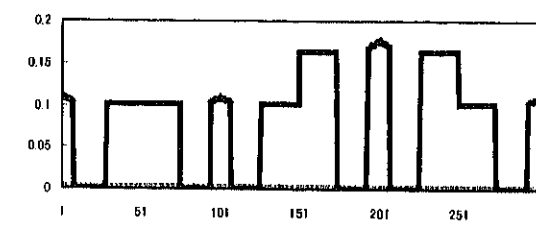


Figure 5-14-2 Physical Goods3

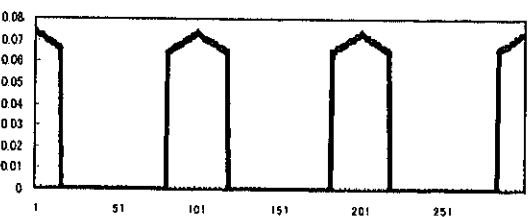


Figure 5-15-1 Virtual Goods

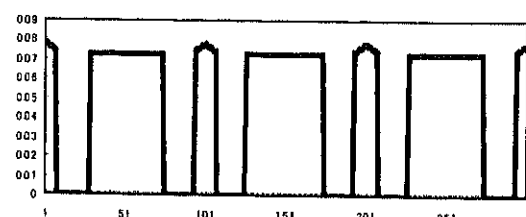


Figure 5-15-2 Virtual Goods

5.7 Conclusion

In this paper, I constructed an equilibrium model of a system of cities with cyberspace. The model determines endogenously the spatial structure of virtual cities. I examined the formation and emergence of virtual cities. The model shows two different spatial configurations. Equilibrium distribution of cities depends on the transportation

cost. When the transportation costs among cities are low, isolated virtual cities emerge in physical space. Cyber workers would enjoy their life at countryside without paying high land rent. On the other hand, when the transportation costs are high, the virtual cities, which adhere to the physical cities, appear in physical space. Though the cyber workers reside in the dispersed virtual cities, they can work at a virtual firm connected through the telecommunication networks.

Cyberspace shows a tendency to increase itself. Actually, the inhabitants in virtual cities reside in physical cities all over the world although they have not gained in popularity yet. This situation is corresponding to the simulation results. The decentralization of telecommuting center or resort offices might be one of examples.

We will construct various virtual cities in cyberspace in the near future. The inhabitants of virtual cities spread all over the world and they form organizations such as virtual firms and virtual communities in cyberspace. However, we will be not able to see the physical spatial structure of virtual cities. Because the inhabitants will construct new virtual cities and will destroy old virtual cities in cyberspace one after another. The connections of virtual cities will change rapidly. Since the model proposed here is a static model, it only shows one side of virtual cities. To explain such a phenomenon, we need dynamic models in which ever-changing situations can be analyzed.

There also remain many aspects to this paper. Interesting topics are the behavior of virtual multi-firms, the congestion and pollution on spaces, the specification of virtual goods, and the worldwide land use pattern with an ecosystem.

References

- Abdel-Rahman, H.M.(1996), When Do Cities Specialize in Production, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.26, 1-22.
- Anderson, W.T.(1999), Communities in a World of Open Systems, *Futures*, Vol.31(5), 457-463.
- Barnatt, C.(1998), Virtual Communities and Financial Services - On-line Business Potentials and Strategic Choice, *International Journal of Bank Marketing*, Vol.16, 161-169.
- Becker, G.S.(1965), A Theory of the Allocation of Time, *The Economic Journal*, Vol.75, 493-517.
- Elkins, D.J.(1997), Globalization, Telecommunication, and Virtual Ethnic Communities, *International Political Science Review*, Vol.18, 139-152.
- Fujita, M, P.Krugman, and T. Mori(1999), On the Evolution of Hierarchical Urban Systems, *European Economic Review*, Vol.43, No.2, 209-252.

- Franco, J.(1998), Urban Geographies and Postmodern Space - Virtual Cities, *Contennial Review*, Vol.42, No.3, 419-436.
- Friedmann, J. and Wolff, G.(1982), World City Formation: An Agenda for Research and Action, *International Journal for Urban and Regional Research*, Vol.6, no.3, 309-344.
- Gaspar, J. and E.L.Glaeser(1998), Information Technology and the Future of Cities, *Journal of Urban Economics*, Vol.43, 136-156.
- Garreau, J.(1991), *Edge City*, Doubleday, New York.
- Gibson, W.(1984), *Neuromancer*, Ace Books.
- Hall, P.(1997), Modelling the Post-Industrial City, *Futures*, Vol.29, 311-322.
- Hagel, J.(1999), Marketplace: Net Gain: Expanding Markets Through Virtual Communities, *Journal of Interactive Marketing*, Vol.13, No.1, 55-65.
- Harvey, J.L.(1992), Trading Orbit Spectrum Assignments in the Space Satellite Industry , *American Economic Review*, Vol.82, 42-45.
- Henderson, J.V.(1974), The Sizes and Types of Cities , *American Economic Review*, Vol.64, 640-656.
- Henderson, J.V.(1987), Systems of Cities and Inter-City Trade, *System of Cities and Facility Location*, Harwood Academic Publishers, 71-119.
- Henderson, J.V.(1977), *Economic Theory and the Cities*, Academic Press.
- Howard, E.(1902), *Garden Cities of Tomorrow*, London, Faber and Faber (reprinted 1960 with pref. by F.J. Osborn and introductory essay by L.Mumford).
- Knox, P.L. and Taylor, P.J.(1995), *World Cities in a World System*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Machlup, F.(1962), *The Production and Distribution of Knowledge in the United States*, Princeton University Press, New York.
- Moulaert, F. and Djellal, F.(1995), Information Technology Consultancy Firms: Economies of Agglomeration from a Wide-Area Perspective, *Urban Studies*, Vol.32, No.1, 105-122.
- Mun, S.(1997), Transportation Network and System of Cities, *Journal of Urban Economics*, Vol.42, 205-221.
- Porat, M.(1977), *The Information Economy: Definition and Measurement*, *Special Publications* 77.22 (1), Office of Telecommunications, US Department of Commerce, Washington D.C.
- Rimmer, P.J.(1998), The Challenge of Urban Government: Transport and Communications, Agglomeration and Urban Land Use Planning in Southeast Asia-World Development Report 1999/2000, Entering the 21st Century Development Imperatives, *Singapore Workshop*, 1998, 1-25.

- Romm, C., Pliskin, N. and Clarke, R.(1998), Virtual Communities and Society: Toward an Integrative Three Phase Model, *International Journal of Information Management*, Vol.17(4), 261-270.
- Sander, T. and W.Schulze(1981), The Economics of Outer Space, *Natural Resources Journal*, Vol.21, 371-393.
- Sassen, S.(1991), *The Global City: New York, London Tokyo*, Princeton University Press.
- Schuler, R.E.(1992), Transportation and Telecommunications Networks: Planning Urban Infrastructure for the 21st Century , *Urban Studies*, Vol.39, No.2, 297-310.
- Shibusawa,H.(1998), Cyberspace and Physical Space in a Network City, *Studies in Regional Science*, Vol.28, No.1, 15-28.
- Smith, D.A. (1995), Conceptualizing and Mapping the Structure of the World System's City System , *Urban Studies*, Vol.32, No.5, 287-302.
- Sui, D.Z. (1998), Progress Report - Deconstructing Virtual Cities: From Unreality to Hyperreality, *Urban Geography*, Vol.19, No.3, 419-436.
- Spar, D.L. (1999), The Public Face of Cyberspace,ed. Kaul, I, Gaunberg, I, Stern, M.A., *Global Public Goods*, Oxford University Press.

Appendix

Utility, Production and Agglomeration Functions

$$U(H^i, A^i, X_1^i, \Lambda, X_{I_p}^i, Z^i) = (H^i)^{\alpha_H} (A^i)^{\alpha_A} \prod_{j \in I_p} (X_j^i)^{\alpha_j} (Z^i)^{\alpha_z}$$

$$(i \in I_p \cup I_v; \alpha_H + \alpha_A + \sum_{j \in I_p} \alpha_j + \alpha_z = 1)$$

$$F_i(N_i, K_i) = B_i N_i^{\beta_{i1}} K_i^{\beta_{i2}} \quad (i \in I_p; B_i > 0, 0 < \beta_{i1} + \beta_{i2} \leq 1)$$

$$F_v(N_v) = B_v N_v^{\beta_v} \quad (B_v > 0, 0 < \beta_v \leq 1)$$

$$F_a(l_a(x)) = B_a l_a(x)^{\beta_a} \quad (B_a > 0, 0 < \beta_a \leq 1)$$

$$F_l(l_l(x)) = B_l l_l(x)^{\beta_l} \quad (B_l > 0, 0 < \beta_l \leq 1)$$

$$F_c(v) = B_c v^{\beta_c} \quad (B_c > 0, 0 < \beta_c \leq 1)$$

$$\Theta(S_o(y), K_o(y)) = B_\Theta S_o(y)^{\beta_{\Theta 1}} K_o(y)^{\beta_{\Theta 2}} \quad (B_\Theta > 0, 0 < \beta_{\Theta 1} + \beta_{\Theta 2} \leq 1)$$

$$\Gamma_i(N_i) = N_i^{\gamma_i} \quad (i \in I_p \text{ and } i = v; \gamma_i > 0).$$

Parameters

$$\alpha_H = 0.1, \alpha_A = 0.2, \alpha_i = 0.2 (i = 1, 2, 3), \alpha_z = 0.1$$

$$B_i = 1 (i = 1, 2, 3), \beta_{i1} = 0.5 (i = 1, 2, 3), \beta_{i2} = 0.45 (i = 1, 2, 3), \gamma_i = 0.07 (i = 1, 2, 3)$$

$$q_v = 1.0, B_v = 1, \beta_v = 0.95, B_a = 5.5, \beta_a = 1.0, \beta_t = 1.0, B_c = 1.0, \beta_c = 1.0$$

$$B_\Theta = 1.0, \beta_{\Theta i} = 0.5 (i = 1, 2)$$

$$t_c = 0.08, \bar{N} = 10, \bar{K} = 10, I_{pm} = 3, \theta_i = (2\pi / 3) (i = 1, 2, 3).$$

$$\text{Case 1 } t_g = 0.06$$

$$\text{Case 2 } t_g = 0.002$$

第 6 章

移動体通信インフラの構造解析

ーサイバースペース、宇宙空間と混雑ー

渋谷博幸

豊橋技術科学大学

6. 1 はじめに

近年の通信衛星システムの進展は、世界規模のサイバースペースの拡大に貢献をしてきた。通信衛星のメリットは、同報性とサービスエリアの広域性にある。また、移動体通信については、光ファイバー等による有線通信の供給は不可能である。交通システムの進展による移動範囲の拡大や移動時間の増加、地球環境情報の収集及び防災時における情報ネットワークの迅速な確保等を考慮すると、今後衛星通信を用いた移動体通信の役割はより重要になると思われる。本稿では、通信衛星の立地と周波数に関する問題を取り扱う。

通信衛星には二つの資源制約が存在する。一つは通信衛星の軌道であり、もう一つは周波数である。周波数の配分については、ITU(International Telecommunication Union)が無線通信規約を定めており、全ての加盟国はこれに従っている。これらの資源の配分については、市場メカニズムによる配分がなされておらず、今後世界規模の情報ネットワークの拡大・普及を考えると、その厚生損失は無視できないものになると考えられる。本稿の目的は、通信衛星システムの現況及び問題点について解説し、周波数割当と混雑現象を考慮にいれた衛星立地モデルの構築を試みることにある。通信衛星の最適立地についてモデルを用いた分析を行う。

6. 2 通信衛星の立地

6. 2. 1 軌道

通信衛星の軌道は大きく分けると 4 種類存在する。静止衛星軌道(GEO: Geostationary Earth Orbit)、低高度軌道(LEO: Low Earth Orbit)、中高度軌道(MEO: Medium Earth Orbit)、及び長楕円軌道(HEO: Highly Elliptical Orbit)である。各軌道の特徴を表 6-1 に示す。

静止衛星軌道上の通信衛星は、赤道上約 35786km で地球の自転と同一の方向で周回しており、地球上からみると静止しているように見える。この軌道上には現在約 200 個の衛星が存在している。従来は衛星を 4 度間隔で配置していたが、衛星数の増加に伴い、衛星間隔を 2 度に変更するなどして対応しているが、新規衛星設置が困難な状況となっている

(Harvey 1992)。LEO,MEO,HEO の衛星は地球を周回し、通常約 200～数千 km と静止衛星より低い軌道を飛ぶ。円軌道上での周回周期は次式で計算される。

$$\text{周回周期} = 314.7 \{ (\text{地球の半径}) + (\text{高度}) \}^{3/2} \quad [\text{秒}]$$

ただし、半径、高度の単位は 1,000km である。周回衛星の最も短い周期は約 1 時間 24 分である。衛星を介して交信できる最も離れた二つの地球局間の距離は図 6-1 のようになる。したがって、周回衛星の高度が低くなれば、衛星の可視領域は狭まる。また、周回衛星は地球を周回するため、一つの衛星で同一地域に連続的なサービスを提供することは不可能で、同高度に複数の衛星を配置させる必要がある。

表 6-1 衛星軌道の特徴

衛星	特徴	衛星例
静止衛星軌道 (GEO)	高度：赤道上約 35,786km 北極・南極へのサービスは困難	INTELSAT CS-3,BS-3
低高度軌道 (LEO)	高度：500～数千 km(ほとんどが 1,000km 付近) 周期：約 1 時間 45 分(高度 1,000km) 全地球の連続サービス：数 10 機の衛星が必要	IRIDIUM (米) GLOBALSAR (米) ORBCOMM(米)
中高度軌道 (MEO)	高度：数千から 20,000km 周期：約 5～6 時間(高度 10,000km) 全地球の連続サービス：10 数機の衛星が必要	ODYSSEY(米) Inmarsat-P
長楕円軌道 (HEO)	高度：約 40,000km(遠地点) 周期：約 12～24 時間 全地球の連続サービス：数機の衛星が必要	MOLNIYA(ロ) ARCHIMEDES(RSA)

6. 2. 2 電波

通信衛星に利用される電波は、三つの ITU 地域ごとに行われている。第一地域は、ヨーロッパ、アメリカ、旧ソ連東欧圏、第二地域は南北アメリカ大陸、第三地域はアジア、オセアニア地域である。日本は第三地域に含まれる。固定衛星業務の周波数は 1～52GHz に割当てられている。実際に多用されているのはこのうち 1～10GHz の範囲であり、この範囲は宇宙雑音が小さくかつ大気圏での雨や空気分子による減衰も小さく、「電波の窓」呼ばれる。周波数に関して、通信衛星が関わる問題は、通信衛星間の電波による干渉である。同じ周波数を利用する通信衛星がある場合に干渉が生じる。また、距離と周波数に依存した伝搬損失が発生する。

6. 2. 3 スペースデブリ

宇宙空間上の環境問題として、スペースデブリ(space debris)がある。スペースデブリは、

人類が宇宙空間に打ち出したロケット、衛星などの残骸の存在である。スペースデブリの発生源には次のようなものがある (V.A.Chobotov, 1991: Orbital Mechanics, AIAA)。 (1) ロケット及び人口衛星の打ち上げに伴うもの (特に個体ロケットモータ燃焼生成物)、 (2) 軌道上の人工衛星の劣化に伴うもの、 (3) 人工衛星の軌道上での破壊に伴うもの、 (4) 軌道上での衝突 (hypervelocity Collision) に伴うものである。米国の会計検査院 (GAO: Government Accounting Office) の報告 (GAO Report, 1990: Space Debris, A Potential Threat to Space Station and Shuttle) によると、1988 年のスペースデブリの状況は表 6-2 に示す通りである。スペースデブリは、年々、増加傾向にある。

表 6-2 スペースデブリの数の推定値 (GAO, 1990)

大きさ	数	% (数)	総質量(g)	% (質量)
10cm 以上	7,000	0.2	2.999×10^9	99
1~10cm	17,500	0.5	1.000×10^6	{
1cm 以下	3,500,000	99.3	-	
総計	3,524,500	100.0	3.000×10^9	100

スペースデブリは、高度 1,000km 以下の低軌道、高度約 36000km の静止軌道周辺に多く分布している。1988 年のデータを用いた場合、正面面積 $5,000 m^2$ の宇宙ステーションに 1cm 以上の大きさのデブリが衝突する確率は、20 年に 1 回と推定しているが、2010 年のデータを用いると 2.5 年に 1 回が推定値となる。

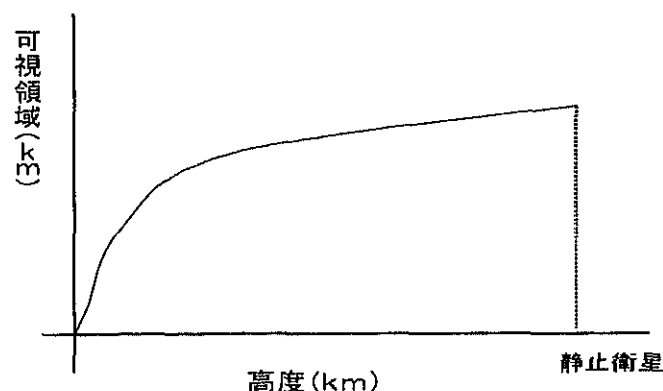


図 6-1 可視領域

6. 3 モデル

通信衛星と宇宙空間に関する経済学的分析は数少ない。Sandler and Schulze(1981)は、通信衛星サービスをクラブ財として捉え、静止衛星軌道上の通信衛星の周波数と軌道割当ての

パレート最適条件を導出している。Macauley(1986)は、静止衛星軌道の価値を推計している。Macauley は Mills and Hamilton(1984)の空間立地のモデルに基づき、現行の静止衛星軌道の価値と衛星を最適配置した場合の静止衛星軌道の価値を推定し比較検討している。Biggs(1982)は、放送衛星通信システムの開発、運用等の費用及び経済的方法に関する諸要因について検討している。Harvy(1992)は、通信衛星の軌道割当ての問題を指摘し、市場メカニズム導入の可能性を検討している。Shibusawa(1999)は、複数都市システムの枠組みの中で、静止衛星軌道の付け値を導出するモデルの構築を試みている。本稿では、Sandler and Schulze (1981)による衛星通信モデルの枠組みをもとに、周回衛星軌道の衛星立地、周波数割当、衛星可視領域、混雑を考慮にしたモデルの構築を試みる。

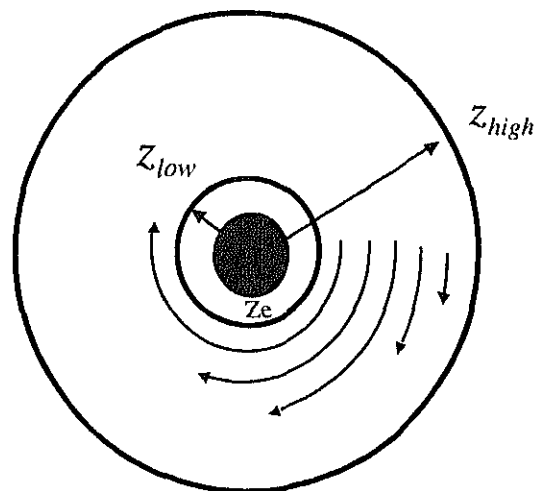


図 6 - 2 空間

図 6 - 2 のようなドーナツ型の二次元空間を考える。これは地上と衛星が立地可能な空間を概略的に表現したものである。地上空間は、半径を z_e とする円周 $2\pi z_e$ で与えられる。衛星の立地空間は半径（高度） z_{low} から z_{high} の領域である。

ここでは、通信衛星の立地空間と周波数の割当てが問題とされる。周波数は 2 種類からなる。一つは地上波であり、もう一つは通信衛星に利用される電波である。高度 z における通信衛星軌道の空間は円周 $2\pi z$ となる。衛星は 2 種類の混雑外部性を伴う。一つは通信衛星の可視領域から生じる負の外部性であり、もう一つは通信衛星の近接またはスペースデブリを原因とする衝突による負の外部性である。地上には地上波局が存在し、可視領域に関する負の外部性が生じるとする。

本稿では、分析を 5 ケースに分ける。ケース 1：基本モデル（伝搬損失、可視領域を考慮した情報サービスの場合）、ケース 2：合成財投入を考慮する場合、ケース 3：情報サービスの公共性を考慮する場合、ケース 4：衛星サービスと地上波サービスの利用者数を考慮する場合、ケース 5：可視領域に関する混雑（サービスカバー率）が生じる場合である。

6. 3. 1 家計と通信サービス

地上に均一に分布する同質な家計を想定しているが、ここでは家計の立地を考慮しないため単一の効用関数 $u = u(x_1, x_2, s)$ を考える。ここで、 $\partial u / \partial x_1 > 0, \partial u / \partial x_2 > 0, \partial u / \partial s < 0$ とする。 x_1 は通信衛星による情報サービスである。 x_2 は地上波による情報サービスである。 s は通信衛星の近接やスペースデブリを原因とする衝突による負の外部性を表す。高度 z における通信衛星 1 機の生産関数が $X_1(b_1)$ で与えられるとする。ここで、 b_1 はこの衛星に割り当てられる周波数帯域である。 X_1 は情報サービス量である。高度 z に通信衛星が N 機存在するとすれば、この通信衛星システムから供給される情報サービスは $NX_1(b_1)$ となる。高度 z の軌道長は $2\pi z$ であり、この軌道に衛星を等間隔に配置すると仮定すれば、衛星間の距離は $l = 2\pi z / N$ と計算できる。ここで、 N は高度 z に立地する衛星数である。

高度 z に立地する衛星から供給される情報サービスの伝搬損失関数 $A(z)$ と可視領域関数 $v(z)$ を次のように仮定する。

$$\frac{\partial A(z)}{\partial z} < 0, \frac{\partial^2 A(z)}{\partial z^2} \geq 0 \quad \frac{\partial v(z)}{\partial z} > 0, \frac{\partial^2 v(z)}{\partial z^2} \leq 0$$

これは物理的特性と一致している。 $A(z)$ は伝搬損失による効率低下を、 $v(z)$ は可視領域(距離)であり、衛星 1 機が供給可能なサービスエリアを表す。これは、衛星のサービスエリアが衛星の立地点に依存することを示している。衛星の立地点が高ければ、衛星 1 機当たりの可視領域は拡大するが、その一方で伝搬損失が増加する。高度 z に立地する衛星が、伝搬損失を考慮してサービスを供給したとすれば、地上での情報サービスの供給量は $A(z)X_1(b_1)$ となる。

地上 z_e における一つの地上波局の生産関数を $X_2(b_2)$ とする。ここで、 b_2 は周波数帯域である。 X_2 は地上波による情報サービス量である。地上 z_e の地上波局数を M 個とすれば、地上 z_e の地上波システムが供給する情報サービスは $MX_2(b_2)$ となる。地上局の可視領域を v_e とすれば、地球全土にサービスを供給するためには、 $M = E / v_e$ の地上波局数が必要となる。ここで、 $E = 2\pi z_e$ であり、地球の表面積を表す。

6. 3. 2 社会的最適配分

社会的最適配分を次のように定式化する。

$$\max U(x_1, x_2, s) \quad (1)$$

subject to

$$NA(z)X_1(b_1) \geq x_1 \quad (2)$$

$$MX_2(b_2) \geq x_2 \quad (3)$$

$$2\pi z = Nl \quad (4)$$

$$Nv(z) \geq E \quad (5)$$

$$Mv_e \geq E \quad (6)$$

$$\bar{b} \geq b_1 + b_2 \quad (7)$$

$$s = s(l) \quad (8)$$

(2)式は衛星による情報サービスの需給条件である。ここでは、伝搬損失が考慮されている。
 (3)式は地上波による情報サービスの需給条件である。(4)式は、衛星1機当たりの空間利用量（衛星間距離）を定義する。(5)(6)式は衛星及び地上波の可視領域条件である。(7)式は周波数需給条件である。 \bar{b} は所与の周波数供給量である。(8)式は、通信衛星の近接と宇宙デブリの衝突を原因とする負の外部性である。これは、衛星1機当たりの空間利用量に依存し、 $\partial s / \partial l < 0$ とする。

6. 4 モデル分析

6. 4. 1 伝搬損失と可視領域を考慮した情報サービスの場合

高度 z の衛星が地球全土にサービスを供給している状況を考える。このケースでは、地球全土にサービスを供給しているため、衛星の可視領域が地球全土をカバーできないことから生じる外部性は存在しない。このとき、高度 z における衛星数は $N = E / v(z)$ となる。 N 機の衛星が伝搬損失を考慮して情報サービスを提供した場合には、これらの衛星が供給する情報サービス量は $NA(z)X_1(b_1)$ となる。ここでは可視領域が拡大することによる伝搬損失は生じないものとする（図6-3）。これは、可視領域内では $A(z)X_1(b_1)$ の情報サービスが供給されることを意味する。地上波の情報サービスについても、地球全土にサービスを供給しているものとする。 v_e を地上局の可視領域とすれば、地上波局数は $M = E / v_e$ となる。

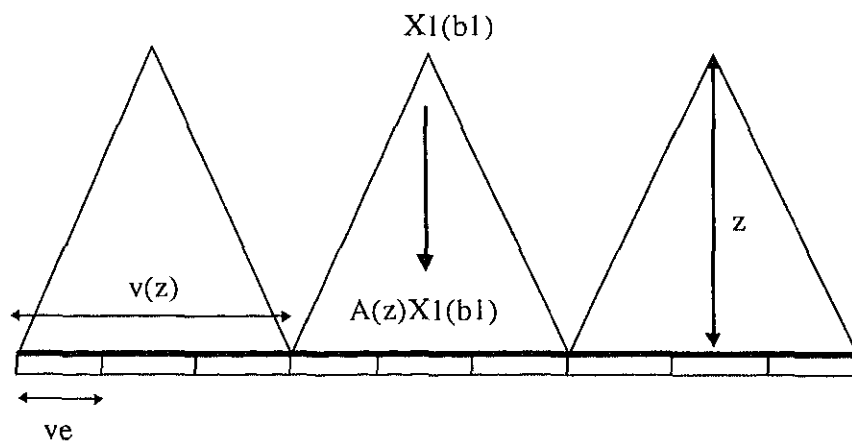


図6-3 衛星と地上波局の可視領域

衛星の立地点 z を所与とすれば、最適化問題は次のように書き換えられる。

$$\max_{\{x_1, x_2, l, b_1, b_2\}} U(x_1, x_2, s(l))$$

$$\begin{aligned} \text{subject to} \quad & \frac{E}{v(z)} A(z) X_1(b_1) \geq x_1 & \frac{E}{v_e} X_2(b_2) \geq x_2 \\ & 2\pi z = \frac{E}{v(z)} l & \bar{b} \geq b_1 + b_2 \end{aligned}$$

ラグランジュ関数は

$$\begin{aligned} L = & U(x_1, x_2, s(1/l)) + p_{c1}[E(A(z)/v(z))X_1(b_1) - x_1] + p_{c2}[(E/v_e)X_2(b_2) - x_2] \\ & + p_l[2\pi z - El/v(z)] + p_b[\bar{b} - b_1 - b_2] \end{aligned}$$

となる。ここで、 p_{c1}, p_{c2}, p_l, p_b はラグランジュ乗数である。ここで、効用関数、生産関数、伝搬損失関数、可視領域関数及び混雑関数を以下のように特定化する。

$$\begin{aligned} \text{効用関数} \quad & U(x_1, x_2, s(l)) = x_1^\alpha x_2^\beta (1/l)^{-\gamma} = x_1^\alpha x_2^\beta l^\gamma \quad (\alpha + \beta + \gamma = 1) \\ \text{生産関数} \quad & X_1 = b_1 \quad X_2 = b_2 \\ \text{伝搬損失関数} \quad & A(z) = z^{-\varepsilon} \quad (\varepsilon \geq 1) \\ \text{可視領域関数} \quad & v(z) = z^\delta \quad (0 < \delta \leq 1) \\ \text{混雑関数} \quad & s(l) = 1/l \end{aligned}$$

(工学的な実証値より、 $\varepsilon \approx 2$ 、 $\delta \approx 1/4$ である。)

一階の必要条件と制約条件より次の解を得る。

$$p_{c1} = \alpha U / x_1 \quad p_{c2} = \beta U / x_2 \quad p_l = \gamma U / (2\pi z) \quad p_b = U(\alpha + \beta) / \bar{b}$$

$$x_1 = E b_1 z^{-(\varepsilon + \delta)} \quad x_2 = (E / v_e) b_2 \quad l = 2\pi z^{1 + \delta} / E$$

$$b_1 = \bar{b} \alpha / (\alpha + \beta) \quad b_2 = \bar{b} \beta / (\alpha + \beta)$$

これらを効用関数に代入すると、高度 z に関する関数を得ることができる。

$$U(z) = \bar{A} z^\Phi \quad \text{ここで} \quad \bar{A} = \left(\frac{\bar{b} E}{\alpha + \beta} \right)^{\alpha + \beta} \alpha^\alpha (\beta / v_e)^\beta (2\pi / E)^\gamma$$

$$\Phi = [\gamma(1 + \delta) - \alpha(\varepsilon + \delta)]$$

衛星の最適の立地点を求める。効用関数を立地点（高度） z に関して微分すると

$$\frac{dU(z)}{dz} = \Phi \bar{A} z^{\Phi - 1}$$

を得る。これは衛星の最適立地点は Φ の符号に依存することを意味する。

特性 1

$\gamma(1+\delta)/\alpha(\varepsilon+\delta) > 1$ ならば、衛星の最適立地は最も高い高度 z_{high} である。

$\gamma(1+\delta)/\alpha(\varepsilon+\delta) = 1$ ならば、衛星の最適立地は任意である。

$\gamma(1+\delta)/\alpha(\varepsilon+\delta) < 1$ ならば、衛星の最適立地は最も低い高度 z_{low} である。

工学的実証値から、 $(1+\delta)/(\varepsilon+\delta) \approx 5/9$ である。これから、 $\gamma(1+\delta)/\alpha(\varepsilon+\delta) \approx 5\gamma/9\alpha$ であり、 $\gamma < \alpha$ を仮定すれば、衛星の最適立地点は最も低い高度となる。

表 6-3 比較静学 1

	α	β	γ	ε	δ	v_e	\bar{b}	E	z
x_1	+	-		-	-		+	+	-
x_2	-	+				-	+	+	
l					+			-	+
b_1	+	-					+		
b_2	-	+					+		
z_{opt}	-		+	-	?				

6. 4. 2 合成財投入を考慮する場合

通信衛星の設置には、ロケット打ち上げなどに多くの合成財投入を伴う。ここでは、衛星 1 機当たり h_1 の固定的な合成財の投入を伴うとする。また、同様に地上波局についても、1 局当たり h_2 の固定的な合成財投入を伴う。したがって、これらの投入財は情報サービスの生産量に依存しないものとする。また、家計も合成財の消費を行う。このときの最適化問題を次のように定式化する。

$$\begin{aligned}
 & \max_{\{x_1, x_2, l, y, b_1, b_2\}} U(x_1, x_2, s(l), y) \\
 & \text{subject to} \quad NA(z)X_1(b_1) \geq x_1 \\
 & \quad \quad \quad MX_2(b_2) \geq x_2 \\
 & \quad \quad \quad 2\pi z = Nl \\
 & \quad \quad \quad \bar{b} \geq b_1 + b_2 \\
 & \quad \quad \quad Y \geq Nh_1 + Mh_2 + y \\
 & \quad \quad \quad (9)
 \end{aligned}$$

ここで、(9)式は合成財に関する制約式であり、 Y は所与の供給量である。 $N = E/v(z)$ 、 $M = E/v_e$ を考慮すると、ラグランジュ関数は次式となる。

$$\begin{aligned}
 L = & U(x_1, x_2, s(l), y) + p_{c1}[E(A(z)/v(z))X_1(b_1) - x_1] \\
 & + p_{c2}[(E/v_e)X_2(b_2) - x_2] \\
 & + p_l[2\pi z - El/v(z)] + p_b[\bar{b} - b_1 - b_2] + p[Y - (E/v(z))h_1 - (E/v_e)h_2 - y]
 \end{aligned}$$

ここで、 $p_{c1}, p_{c2}, p_l, p_b, p$ はラグランジュ乗数である。効用関数を次のように特定化する。

$$U(x_1, x_2, s(l), y) = x_1^\alpha x_2^\beta l^\gamma y^\theta \quad (\alpha + \beta + \gamma + \theta = 1)$$

上節と同様にして、最適解を求める。

$$p_{c1} = \alpha U / x_1 \quad p_{c2} = \beta U / x_2 \quad p_l = \gamma U / (2\pi z)$$

$$p = \theta U / (Y - Eh_1 z^{-\delta} - Eh_2 / v_e) \quad p_b = U(\alpha + \beta) / \bar{b}$$

$$x_1 = Eb_1 z^{-(\epsilon+\delta)} \quad x_2 = (E / v_e) b_2 \quad l = 2\pi z^{1+\delta} / E$$

$$y = (Y - Eh_2 / v_e) - Eh_1 z^{-\delta} \quad b_1 = \bar{b} \alpha / (\alpha + \beta)$$

$$b_2 = \bar{b} \beta / (\alpha + \beta)$$

これらを効用関数に代入すれば、

$$U(z) = \bar{A} z^\Phi [Y_d - Eh_1 z^{-\delta}]^\theta$$

$$\text{ここで、} \quad \Phi = [\gamma(1+\delta) - \alpha(\epsilon+\delta)]$$

$$\bar{A} = (2\pi)^\gamma \alpha^\alpha (\beta / v_e)^\beta \left(\frac{\bar{b}}{\alpha + \beta} \right)^{\alpha+\beta} E^{\alpha+\beta-\gamma}$$

$$Y_d = Y - Eh_2 / v_e$$

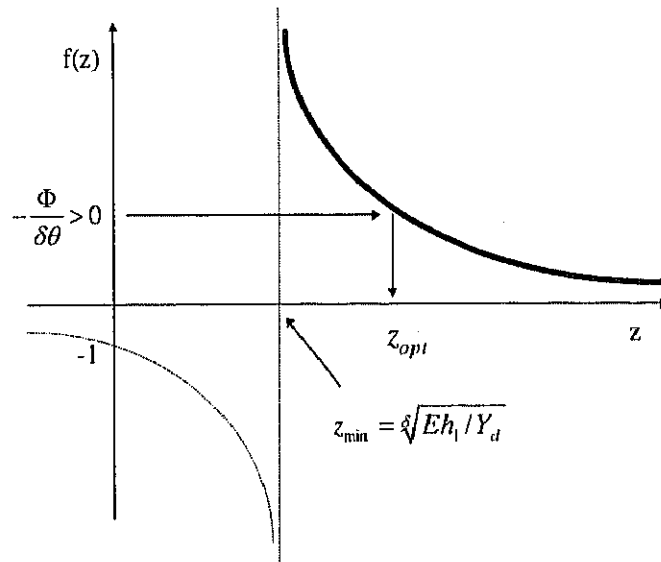


図 6 - 4 最適高度

衛星の最適な立地点を求める。

$$\frac{dU(z)}{dz} = \frac{U\delta\theta}{z} \left(\frac{\Phi}{\delta\theta} + \frac{Eh_1}{Y_d z^\delta - Eh_1} \right) = \frac{U\delta\theta}{z} \left(\frac{\Phi}{\delta\theta} + \frac{Eh_1 z^{-\delta}}{Y_d - Eh_1 z^{-\delta}} \right)$$

ここで、 $Y_d - Eh_1 z^{-\delta} = y > 0, E > 0, h_1 > 0$ から、括弧の中の第2項は正である。これを $f(z)$ としよう。

$$f(z) = \frac{Eh_1}{Y_d z^\delta - Eh_1} > 0$$

上式が成立するためには、

$$z > z_{\min} = \sqrt[\delta]{Eh_1/Y_d}$$

を満たす必要がある。ここで、 Φ の符号を検討する。

(a) Φ の符号がプラスの場合

$dU(z)/dz > 0$ から、 $z_{opt} = z_{high}$ である。

(b) Φ の符号がマイナスの場合

一階の条件より、

$$-\Phi/\delta\theta = f(z) > 0$$

が成立する。 $f(z)$ の形状を図6-4に示す。図から明らかのように、 $\Phi < 0$ のときには次式が最適立地点を示すことになる。一階の条件より、 z について解けば、

$$z_{opt} = \sqrt[\delta]{\frac{Eh_1}{Y - Eh_2/v_e} \left(1 - \frac{\delta\theta}{\Phi} \right)} = \sqrt[\delta]{\frac{Eh_1}{Y - Eh_2/v_e} \left(1 + \frac{\delta\theta}{\alpha(\varepsilon + \delta) - \gamma(1 + \delta)} \right)}$$

ただし、高度に関する物理的制約 z_{low}, z_{high} から図6-5に示すようなパターンが生じる。

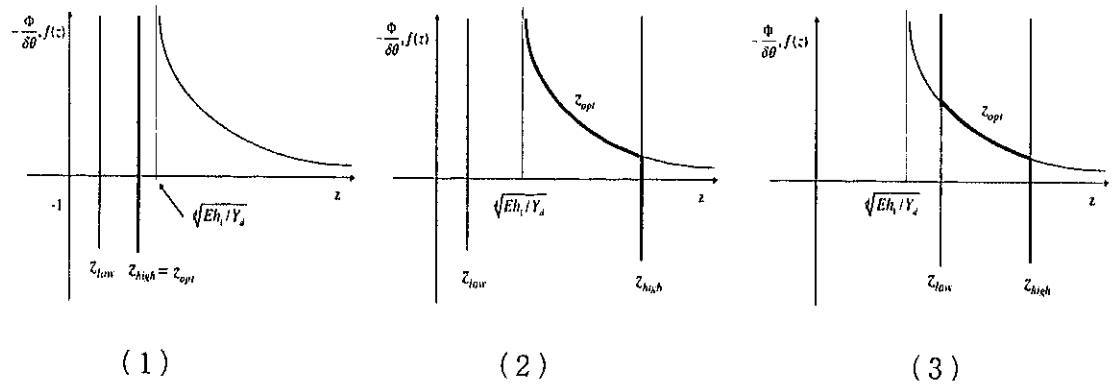


図6-5 物理的な軌道制約を考慮した最適立地

しかしながら、実際は、(1)(2) $z_{low} < z_{min}$ のようなケースが生じる可能性は低いと思われるので、(3) が妥当な結果である。

表 6-4 比較静学 2

	α	β	γ	θ	ε	δ	v_e	\bar{b}	E	h_1	h_2	z
x_1	+	-			-	-		+	+			-
x_2	-	+					-	+	+			
l						+			-			+
y						+	+		-	-	-	+
b_1	+	-						+				
b_2	-	+						+				
z_{opt}	-		+	+	-	?	+		+	+	+	

特性 2

もし、 $\Phi \geq 0$ ならば、衛星の最適立地点は最も高い高度となる。

もし、 $\Phi < 0$ ならば、衛星の最適高度は内点解をもつ。ただし、物理的な軌道条件により端点解も生じうる。内点解をもつ場合、最適立地点は、次の性質を伴う。

$$\partial z_{opt} / \partial \alpha < 0, \partial z_{opt} / \partial \gamma > 0, \partial z_{opt} / \partial \theta > 0, \partial z_{opt} / \partial v_e > 0$$

$$\partial z_{opt} / \partial E > 0, \partial z_{opt} / \partial h_1 > 0, \partial z_{opt} / \partial h_2 > 0$$

衛星、地上局の固定的投入財が増加すれば、衛星の最適高度は高くなる。

6. 4. 3 情報サービスの公共性を考慮した場合

情報サービスが公共性を伴う場合を検討する。同質な家計数を S とする。最適化問題は次のように表すことができる。

$$\max_{\{x_1, x_2, l, y, b_1, b_2\}} W = SU(x_1, x_2, s(l), y)$$

$$\text{subject to} \quad N^{\rho_1} A(z) X_1(b_1) \geq S^{\rho_1} x_1 \quad (0 \leq \rho_1 \leq 1)$$

(10)

$$M^{\rho_2} X_2(b_2) \geq S^{\rho_2} x_2 \quad (0 \leq \rho_2 \leq 1)$$

(11)

$$2\pi z = Nl$$

$$Y \geq N h_1 + M h_2 + S y$$

$$\bar{b} \geq b_1 + b_2$$

ここで、 W は厚生関数である。情報サービスの制約式(10)(11)式において、 $\rho_i (i=1,2)$ は情報サービス財の性質を表すパラメータである。 $\rho_i = 1$ は情報サービスが私的財であること

を表し、 $\rho_i = 0$ は情報サービスが公共財であることを表す。上節と同様に、効用関数、生産関数等を特定化し、問題を解けば次の結果を与える。

$$p_{c1} = \alpha W / S^{\rho_1} x_1 \quad p_{c2} = \beta W / S^{\rho_2} x_2 \quad p_l = \gamma W / (2\pi z)$$

$$p = \theta W / (Y - Nh_1 - Mh_2) \quad p_b = W(\alpha + \beta) / \bar{b}$$

$$x_1 = b_1 z^{-\varepsilon} (N / S)^{\rho_1} \quad x_2 = b_2 (N / S)^{\rho_2} \quad l = 2\pi z / N$$

$$y = \frac{Y - Nh_1 - Mh_2}{S} \quad b_1 = \bar{b} \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad b_2 = \bar{b} \frac{\beta}{\alpha + \beta}$$

$$N = E / z^{\delta} \quad M = E / v_e$$

以上の結果を厚生関数に代入する。

$$W(z) = \bar{A}_s z^{\Phi_s} (Y_d - Eh_1 z^{-\delta})^{\theta}$$

$$\text{ここで } \Phi_s = \gamma(1 + \delta) - \alpha(\varepsilon + \delta\rho_1)$$

$$\bar{A}_s = (2\pi)^{\gamma} \alpha^{\alpha} (\beta / v_e^{\rho_2})^{\beta} \left(\frac{\bar{b}}{\alpha + \beta} \right)^{\alpha + \beta} E^{\alpha\rho_1 + \beta\rho_2 - \gamma} S^{(1 - \alpha\rho_1 - \beta\rho_2 - \theta)}$$

$$Y_d = Y - Eh_2 / v_e$$

衛星の最適立地点を求める。

$$\frac{dW(z)}{dz} = \frac{W\delta\theta}{z} \left(\frac{\Phi_s}{\delta\theta} + \frac{Eh_1}{Y_d z^{\delta} - Eh_1} \right)$$

前節と同様に、 $\Phi_s < 0$ のときには次式が最適立地点を示すことになる。

$$z_{opt} = \sqrt[\delta]{\frac{Eh_1}{(Y - Eh_2 / v_e)} \left(1 + \frac{\delta\theta}{\alpha(\varepsilon + \delta\rho_1) - \gamma(1 + \delta)} \right)}$$

また、 $dz_{opt} / d\rho_1 < 0$ である。したがって、次の結果を与える。

特性 3 公共的な情報サービスを提供する衛星は、高い高度に立地する。

宇宙空間のシャドウプライスについて検討しよう。宇宙空間のシャドウプライスは

$$p_l = \frac{\gamma W}{2\pi z} = (\gamma / 2\pi) \bar{A}_s z^{\Psi_s - 1} (Y_d - Eh_1 z^{-\delta})^{\theta}$$

である。これを z に関して微分する。

$$\frac{dp_l}{dz} = \frac{\gamma W \delta \theta}{2\pi z} \left(\frac{\Phi_s - 1}{\delta \theta} + \frac{E h_1}{Y_d z^\delta - E h_1} \right)$$

p_l の傾きは上式の符号に依存する。最適解の近傍では、 $\Phi_s / \delta \theta + E h_1 (Y_d z^\delta - E h_1) = 0$ が成立していることから、 p_l の傾きは高度 z に関して負となる。これから次の特性を得る。

特性 4 宇宙空間のシャドウプライスは高度 z に関して負の傾きをもつ。

表 6-5 比較静学 3

	α	β	γ	θ	ε	δ	v_e	\bar{b}	E	h_1	h_2	ρ_1	ρ_2	z
x_1	+	-			-	-		+	+			+		-
x_2	-	+					-	+	+				+	
l						+			-					+
y						+	+		-	-	-			+
b_1	+	-						+						
b_2	-	+						+						
z_{opt}	-		+	+	-	?	+		+	+	+	+		

6. 4. 4 加入者数を考慮する場合

地上波と衛星通信の加入者を考慮したケースを検討する。通信衛星を利用する家計数を S_1 とし、その効用を U_1 とする。また、地上波を利用する家計数を S_2 とし、その効用を U_2 とする。全家計数は S とする。最適化問題を次のように定式化する。

$$\begin{aligned} & \max_{\{x_1, x_2, l, y_1, y_2, b_1, b_2, S_1, S_2\}} \max W[S_1 U_1(x_1, l, y_1), S_2 U_2(x_2, y_2)] \\ & \text{subject to} \quad N^{\rho_1} A(z) X_1(b_1) \geq x_1 S_1^{\rho_1} \quad (0 \leq \rho_1 \leq 1) \\ & \quad \quad \quad M^{\rho_2} X_2(b_2) \geq x_2 S_2^{\rho_2} \quad (0 \leq \rho_2 \leq 1) \\ & \quad \quad \quad 2\pi z = Nl \\ & \quad \quad \quad Y \geq N h_1 + M h_2 + S_1 y_1 + S_2 y_2 \\ & \quad \quad \quad \bar{b} \geq b_1 + b_2 \\ & \quad \quad \quad S = S_1 + S_2 \end{aligned}$$

ここで、 $W[\cdot]$ は厚生関数である。厚生関数と効用関数を次のように特定化する。

$$\begin{aligned} W(S_1 U_1, S_2 U_2) &= [S_1 U_1(x_1, l, y_1)]^\alpha [S_2 U_2(x_2, y_2)]^{(1-\alpha)} \\ U_1(x_1, l, y_1) &= x_1^\alpha l^\gamma y_1^\theta \\ U_2(x_2, y_2) &= x_2^{\alpha_2} y_2^{\theta_2} \end{aligned}$$

前節と同様に最適化問題をとけば次の結果をえる。

$$\begin{aligned}
p_{c1} &= \frac{\alpha_1 \Omega W z^\varepsilon}{N^{\rho_1} b_1} & p_{c2} &= \frac{\alpha_2 (1 - \Omega) W}{M^{\rho_2} b_2} & p_l &= \frac{\gamma \Omega W}{2\pi z} \\
p &= \frac{[\theta_1 \Omega + \theta_2 (1 - \Omega)] W}{Y - N h_1 - M h_2} & p_b &= \frac{[\alpha_1 \Omega + \alpha_2 (1 - \Omega)] W}{\bar{b}} \\
x_1 &= b_1 z^{-(\varepsilon + \delta)} \left(\frac{E}{S} \right)^{\rho_1} & x_2 &= b_2 \left(\frac{E / v_e}{S} \right)^{\rho_2} & l &= \frac{2\pi z^{1+\delta}}{E}, \\
y_i &= \frac{\theta_i \Omega}{[\theta_1 \Omega + \theta_2 (1 - \Omega)] S_i} [(Y - E h_2 / v_e) - E h_1 z^{-\delta}] \quad (i = 1, 2), \\
b_i &= \bar{b} \frac{\alpha_i \Omega}{(\alpha_1 \Omega + \alpha_2 (1 - \Omega))} \quad (i = 1, 2) \\
S_i &= \frac{\Omega (1 - \alpha_i \rho_i - \theta_i)}{\Omega (1 - \alpha_1 \rho_1 - \theta_1) + (1 - \Omega) (1 - \alpha_2 \rho_2 - \theta_2)} \quad (i = 1, 2)
\end{aligned}$$

以上の結果を厚生関数に代入すると

$$W(z) = \bar{A}_S z^{\Phi'} (Y_d - E h_1 z^{-\delta})^{\theta_1 \Omega + \theta_2 (1 - \Omega)}$$

ここで

$$\Phi' = [\gamma (1 + \delta) - \alpha_1 (\varepsilon + \rho_1 \delta)] \Omega$$

$$\bar{A}_S = S_1^{\Omega(1 - \alpha_1 \rho_1)} S_2^{(1 - \Omega)(1 - \alpha_2 \rho_2)} b_1^{\Omega \alpha_1} b_2^{(1 - \Omega) \alpha_2} (2\pi)^\gamma$$

$$\times (\Omega \theta_1)^{\Omega \theta_1} ((1 - \Omega) \theta_2)^{(1 - \Omega) \theta_2} \left(\frac{\theta_1 \Omega}{\theta_1 \Omega + \theta_2 (1 - \Omega)} \right)^{\Omega \theta_1 + (1 - \Omega) \theta_2} E^{\alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2 - \gamma} (1 / v_e)^{\alpha_1 \rho_1}$$

衛星の最適立地点を求める。

$$\frac{dW(z)}{dz} = W \left(\frac{\Phi'}{z} + \frac{\theta_1 \Omega + \theta_2 (1 - \Omega) \delta E h_1 z^{-\delta-1}}{(Y_d - E h_1 z^{-\delta})} \right) = 0$$

これから $\Phi' < 0$ のとき、衛星の最適高度は次のように求まる。

$$z_{opt} = \sqrt[\delta]{\frac{E h_1}{(Y - E h_2 / v_e)} \left(1 + \frac{\delta [\theta_1 \Omega + \theta_2 (1 - \Omega)]}{\alpha_1 (\varepsilon + \delta \rho_1) - \gamma (1 + \delta)} \right)}$$

衛星通信サービスの加入者と地上波サービスの加入者の比を求める。

$$\kappa = \frac{S_1}{S_2} = \frac{1 - \alpha_1 \rho_1 - \theta_1}{1 - \alpha_2 \rho_2 - \theta_2}$$

特性 5

衛星通信による情報サービスの公共性が高ければ、衛星通信の加入者は増加し、地上波による情報サービスの公共性が高ければ、通信衛星の加入者は減少する。加入者数は衛星の立地点に依存しない。

表6-6 比較静学4

	α_1	α_2	γ	θ_1	θ_2	ε	δ	v_e	\bar{b}	E	h_1	h_2	ρ_1	ρ_2	z
x_1	+	-				-	-		+	+			+		-
x_2	-	+						-	+	+				+	
l							+			-					-
y								+		-	-	-			+
b_1	+	-							+						
b_2	-	+							+						
κ	-	+		-	+								-	+	
z_{opt}	-		+	+	+	-	?	+		+	+	+	+		

6. 4. 5 領域による外部性を考慮する場合

4. 3 のモデルで、可視領域のカバー率を考慮した場合を検討する。ここでは、衛星数 N と地上波局 M が内生変数となる。

$$\max_{\{x_1, x_2, l, y, b_1, b_2, N, M\}} W = SU(x_1 e_1, x_2 e_2, s(l), y)$$

$$\begin{aligned} \text{subject to} \quad & N^{\rho_1} A(z) X_1(b_1) \geq S^{\rho_1} x_1 \quad (0 \leq \rho_1 \leq 1) \\ & M^{\rho_2} X_2(b_2) \geq S^{\rho_2} x_2 \quad (0 \leq \rho_2 \leq 1) \\ & 2\pi z = Nl \\ & Y \geq Nh_1 + Mh_2 + Sy \\ & \bar{b} \geq b_1 + b_2 \end{aligned}$$

ここで

$$e_1 = [Nv(z)/E]^{k_1} \quad (k_1 \geq 0)$$

$$e_2 = [Mv_e/E]^{k_2} \quad (k_2 \geq 0)$$

$e_i (i=1,2)$ は情報サービスの混雑度(サービスエリアのカバー率)を表す。ここでの混雑は、通信サービスが全市場領域を満たさないことにより発生する。 e_1, e_2 を厚生関数に代入して、上述と同様に最適化問題を解けば次の結果を得る。

$$\begin{aligned} p_{c1} &= \frac{\alpha SU z^\varepsilon}{b_1 N^{\rho_1}} & p_{c2} &= \frac{\beta SU}{b_2 M^{\rho_2}} \\ p_l &= \frac{\gamma SU}{Nl} & p &= \frac{S\theta U}{Y - Nh_1 - Mh_2} & p_b &= (\alpha + \beta) SU / \bar{b} \\ x_1 &= b_1 z^{-\varepsilon} \left(\frac{N}{S}\right)^{\rho_1} & x_2 &= b_2 \left(\frac{M}{S}\right)^{\rho_2} & l &= \frac{2\pi z}{N} & y &= \frac{Y - Nh_1 - Mh_2}{S} \\ b_1 &= \bar{b} \frac{\alpha}{\alpha + \beta} & b_2 &= \bar{b} \frac{\beta}{\alpha + \beta} \end{aligned}$$

$$N = \frac{\Theta_1 Y}{(\Theta_1 + \Theta_2 + \theta) h_1} \quad \Theta_1 = \alpha(k_1 + \rho_1) - \gamma$$

$$M = \frac{\Theta_2 Y}{(\Theta_1 + \Theta_2 + \theta) h_2} \quad \Theta_2 = \beta(k_2 + \rho_2)$$

これらを厚生関数に代入する。

$$W(z) = \bar{A}_\epsilon z^{\Phi_\epsilon}$$

ここで、

$$\Phi_\epsilon = \gamma + \alpha(k_1 \delta - \epsilon)$$

$$\bar{A}_\epsilon = (2\pi)^\gamma \alpha^\alpha \beta^\beta \left(\frac{\bar{b}}{\alpha + \beta} \right)^{\alpha + \beta} E^{-\alpha k_1 - \beta k_2} N^{\alpha(k_1 + \rho_1) - \gamma} M^{\beta(k_2 + \rho_2)} (Y - N h_1 - M h_2)^\theta S^{1 - \alpha \rho_1 - \beta \rho_2 - \theta}$$

最適な衛星の立地点を検討する。

$$\frac{dW(z)}{dz} = W \frac{\Phi_\epsilon}{z}$$

したがって、立地点は Φ_ϵ の符号のみに依存する。この符号は k_1 と ϵ/δ の大小関係に依存する。これから、次の結果を得る。

特性 6

$\gamma + \alpha(k_1 \delta - \epsilon) > 0$ ならば、衛星の最適立地は最も高い高度である。

$\gamma + \alpha(k_1 \delta - \epsilon) = 0$ ならば、衛星の最適立地は任意である。

$\gamma + \alpha(k_1 \delta - \epsilon) < 0$ ならば、衛星の最適立地は最も低い高度である。

また計画者が混雑を考慮しない場合（市場解）は $k_1 = 0$ の状況に相当する。このとき、

$$\Phi_\epsilon' = \gamma - \alpha \epsilon$$

となる。計画者が可視領域による外部性を考慮しない場合、特性 6 は以下のように修正される。

特性 6' 可視領域に関する外部性を考慮しない場合

$\gamma > \alpha \epsilon$ ならば、衛星は最も高い高度に立地する。

$\gamma = \alpha \epsilon$ ならば、衛星の最適立地は任意である。

$\gamma < \alpha \epsilon$ ならば、衛星は最も低い高度に立地する。

また、 $\Phi_\epsilon = \gamma + \alpha(k_1 \delta - \epsilon) > \Phi_\epsilon' = \gamma - \alpha \epsilon$ である。これから次の特性を得る。

特性 7

可視領域に関する外部性を考慮しない場合、衛星の最適立地は低くなる傾向がある。
衛星数と地上波局数の比は次式で与えられる。

$$\kappa_{N/M} = \frac{\alpha(k_1 + \rho_1) - \gamma h_2}{\beta(k_2 + \rho_2)} \frac{h_2}{h_1}$$

表 6-7 比較静学 5

	α	β	γ	θ	ε	δ	ν_e	\bar{b}	E	h_1	h_2	ρ_1	ρ_2	k_1	k_2	z
x_1	+	-	-	-	-			+	+	-		+	-	+	-	-
x_2	-	+		-				+	+		-	-	+	-	+	
l	-	+	+	+						+		-	+	-	+	+
y	-	-	+	+								-	-			
b_1	+	-						+								
b_2	-	+						+								
N	+	-	-	-						-		+	-	+	-	
M	-	+		-							-	-	+	-	+	
$\kappa_{N/M}$	+	-	-							-	+	+	-	+	-	
z_{opt}	+		+		-	+								+		

参考文献

- 野坂, 村谷(1994). 「衛星通信入門」, オーム社
- 富田(1996). 「宇宙システム入門」, 東京大学出版会
- 郵政省通信制作局(1999). 「衛星通信年報」, KDD Engineering and Consultant
- Biggs, P.D. (1982). "The Costs and Economics of Broadcast Satellite Systems," *Aeronaut Journal* 86, No.854: 127-131
- Mills, E.S. and Hamilton, B.W (1984), *Urban Economics*, Glenview, Ill, Scott, Foresman 'Co.
- Harvey, J.L.(1992). "Trading Orbit Spectrum Assignments in the Space Satellite Industry," *American Economic Review* 82, 42-45
- Macauley, M.K. (1986). "Out of Space? Regulation and Technical Change in Communications Satellites," *Papers and Proceedings of the American Economic Review* 76, No.2: 280-84
- Macauley, M.K.(1998). "Allocation of Orbit and Spectrum Resources for Regional Communications: What's at Stake?," *Journal of Law and Economics*, XLI: 737-64
- Sandler, T. and Schulze, W.(1981). "The Economics of Outer Space," *Natural Resources Journal* 21, No.2: 371-93
- Shibusawa, H.(1999), "A System of Cities and Cyberspace," The 16th PRSCO, Seoul, Korea: 1-25
- Whitborg, C.G and Wijkamp, P.M(1981). "Outer Space Resources in Efficient and Equitable Use: New Frontiers for Old Principles," *Journal of Law and Economics* 24: 23-43

第7章

人的資本と都市群成長

豊橋技術科学大学 趙 大江・宮田 譲・渋谷 博幸

7. 1 はじめに

本研究の目的は、人的資本を考慮した都市群システムの中で、どのような都市形成がなされるのかを検討することにある。このような研究方向は Henderson and Black¹⁾ によって初めて考察された。彼らは生産形態が異なる2つの都市群から構成される、一国経済モデルを想定した。

そして人口移動を考慮しながら、両都市群への効率的な人的資本配分から、両都市群住民の効用均等化、効用最大化の条件、都市群の成長パターンを検討している。

しかし彼らは都市内の距離は考慮しているものの、都市間の距離を考えていない難点がある。本研究では Henderson and Black モデルを拡張し、都市間距離の役割について解析的に明らかにすることを目的とする。7. 2 節では Henderson-Black モデルについて解説する。7. 3 節では、都市間距離の役割についての分析結果について示す。

7. 2 人的資本と都市成長モデル

都市経済学の発達には主として静学的分析を中心に行われ、動学的分析が豊富にあるとは言えない。また本研究で目指すような都市群システムでは、都市間距離が重要なパラメータとなり、静学的分析ですらその解析的アプローチは著しく難しくなる傾向がある。

こうした中、Henderson と Black は都市間距離を無視しつつも、2つの都市群からなるシステムを対象として、その動学的分析を行い、都市群システムへの新たな展望を開いている。本章では我々が独自に展開するモデル分析の準備として、Henderson と Black による研究を紹介する。ただし本章ではただ単に彼らの研究を紹介するのではなく、彼らの論文で省略されている議論をできる限り再現し、さらに筆者自身の解釈も新たに付け加えるものである。

Henderson と Black の研究は、基本的に内生的な経済成長と、外生的な人口成長を伴う経済において、都市化が都市成長プロセスの効率性に与える影響と、その成長が都市化のパターンに与える影響という2つのテーマを取り扱ったものである。地域内情報スピルオーバーは集積を促進し、人的資本蓄積は内生的成長を助長する。個々の都市規模は地域の人的資本蓄積と知識スピルオーバーとともに成長し、一般的に都市の数は増加する。

地方政府は動学的かつ地域的な外部性を、効率的に内部化するように行動する。さらに、どのような成長が都市間の実質所得の格差をもたらすのか、またどのような都市化が所得の不均等化をもたらすのかも分析対象となる。

彼らの都市経済成長モデルは2つの要素から成る。第1は生産と人口の空間的編成を記述する都市構造である。この経済には土地開発公社、あるいは自治権のある地方政府のいずれかが存在し、国内土地市場における都市形成プロセスが存在している。ここで経済が2つの都市タイプのみから構成されるとしよう。それぞれ異なる機能を有し、異なる均衡サイズ、異なる人的資本および労働者所得を持つとする。各タイプには多くの都市が存在している。研究対象を2つのタイプに限定することより、限られた都市規模分布が導かれることになるが、基本的な原理を説明するには、これで十分である。この経済のタイプ1都市群は、原材料や処分可能な機械などの中間投入財(これはニューメレール財とされる)の生産に特化し、タイプ2都市群の企業はそれを購入する。タイプ2都市群の企業は、その経済で価格 P の消費財の生産に特化している。

都市間交易で輸送コストのかからない交易財の生産に絶対特化する都市を想定することは、現実にある多様な巨大都市の存在を無視するものかも知れない。しかし地域内の多様性が重要であっても、より緩い分類に基づく都市間交易財の特化が見られるのである。たとえ非常に大きな多様性が存在するとしても、金融、情報、流通業などが中心である東京の産業構造は、大阪のそれとは著しく異なっているのではなかろうか。この若干強い単純化は、都市成長の基本的原理を確立するのに役立つのである。

7. 2. 1 世帯と人的資本

本章の都市成長モデルにおける第2の要素は、世帯移動と人的投資決定である。各労働者は時間的に無限存続する世帯のメンバーである。各世帯は1人当たり同一量の人的資本を初期条件として、各世帯の規模は同一の比率 g で成長する。各世帯は将来を比率 ρ で割り引く。ここで、経済学的に意味のある解を得るため、 $\rho > g$ を仮定する。各時点において、世帯は総所得をどの程度消費 c に割り当て、また世帯の人的資本ストックをどの程度増加させたらいのかを決定する。世帯は各タイプの都市に彼らのメンバーを配分し、彼らが居住する都市タイプに依存しながら、一人当たりの人的資本投資を決定する。この研究では、人的資本に関するフォーマルな市場が存在しない状況のもとで、分権的に人的資本蓄積が決定される。

さて代表的世帯について、一人当たりの消費 c に関する異時点間効用関数を用いて、世帯の最適化問題は次式で表される。

$$\max_{c, h_1, h_2, z} \int_0^{\infty} \left(\frac{c^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \right) e^{-(\rho-g)t} dt, \quad \sigma > 0, \rho > g \quad (2.1)$$

$$\text{subject to} \quad PH = ze^{st}I_1 + (1-z)e^{st}I_2 - Pce^{st} \quad (2.2)$$

$$H = ze^{st}h_1 + (1-z)e^{st}h_2 \quad (2.3)$$

$$\dot{H} \geq 0, \quad \frac{\dot{h}_1}{h_1} + g \geq 0, \quad \frac{\dot{h}_2}{h_2} + g \geq 0 \quad (2.4)$$

(2.1)式において、代表的世帯の初期サイズを1とすれば、時間 t における世帯サイズは e^{st} である。 H は世帯の人的資本を表す。世帯構成員の内、 z の割合がタイプ1都市群に割り当てられ、 $1-z$ がタイプ2都市群に割り当てられる。 I_1 と I_2 の項は、それぞれタイプ1都市群とタイプ2都市群に居住する労働者の純所得を表す。 h_1 と h_2 は彼らの人的資本水準を表す。

制約条件(2.2)は運動方程式であり、世帯の人的資本成長(PH)の価値は、世帯総所得 $ze^{st}I_1 + [1-z]e^{st}I_2$ と消費の価値 Pce^{st} の差であることを示している。(2.2)式では、人的資本はタイプ2都市群で生産され、価格 P で販売される消費財を変換したものとして形成されることが仮定されている。制約条件(2.3)は、世帯の総人的資本はタイプ1都市群 ze^{st} とタイプ2都市群 $[1-z]e^{st}$ におけるメンバーの個々の人的資本 h_1 と h_2 の合計であることを示している。

(2.1)式の異時点間効用最大化問題では、人的資本の移動性を制限する2つの重要な仮定が置かれている。特に(2.4)式の最初の制約条件 $\dot{H} \geq 0$ は、世帯が自らの人的資本を貸すことも、消費することもできないことを示している。すなわち消費財から人的資本への変換は、逆向きに行うことはできないのである。(2.4)式の第2の制約は、いったん身に付いた人的資本でも、同じ都市内の新生児だけには移転可能であることを示している。制約 $(\dot{h}_i/h_i) + g \geq 0$ は、ある都市内の1人当り人的資本の最大減少率が、彼らの子供の成長率を越えないことを示している。しかしながら後に示すように、これらの制約は均衡では縛られないことが証明される。この結果は、人的資本が都市および産業に特定のであり、都市間人口移動が完全にできないとする追加的な制約とも整合的である。

第2に、世帯のメンバーが一般的に都市タイプごとに異なる所得 I_1 と I_2 を得るとすれば、1人当たり消費 c の均等を維持するために、都市間の世帯移動が生じるであろう。多くの国では、大都市の住民が小さな町の親戚へ送る所得移転が、世帯所得の10%に達している事実がある。現代経済でも、世帯構成員間の所得移転の事実があるのにもかかわらず、一般的にはこれらをそれほど明示的には考えていないようである。

この若干厳しい定式化は、いくつかの方法で和らげることができる。第1に、世帯構成員間の所得移転を考えるのではなく、高い人的資本都市の人的資本に形式的に投資をし、適切な返済を受けている低い人的資本都市の個人を考えることができる。第2に、分離されたメンバーが同一の1人当たり人的資本ストック H/e^{st} からスタートする限りにおいて、世帯は分離することができる。第3は第1のものに従うが、他のタイプ都市の人的資本を借りて、投資することにより、各世帯あるいは世帯の分離は一つのタイプの都市あるいは他の都市に居住できる。

(2.1)式の最適化問題を解くために、世帯メンバーがタイプ1都市とタイプ2都市で得ることができる実質純所得 I_1 と I_2 について、その解析的表現を求める必要がある。地域内知識あるいは人的資本スピルオーバーの性質を詳しく検討するのと同様に、これらを解くために、まず都市での生産の分析、都市規模の決定を行う。そしてこれは人的資本投資への収益に影響を与える。この分析を行った後に、世帯の投資と人口移動の意思決定の研究するために(2.1)式の問題に戻ることにする。それらはこの経済全体の人的資本レベルの成長、都市形成と成長、そして都市の規模分布を決定する。

同時発生的な都市形成とその規模の決定には、都市規模を変える便益と費用の間にトレードオフが生じる。ある都市での生産は“地域特化”の規模の経済、すなわち自産業の外部的な規模の経済のもとにあると仮定する。各企業の同時発生的な効率性は、都市の生産活動に新たな企業が参入することにより、さらに高められる。企業はどのような生産要素を誰から購入するのか、どの生産ラインを強化するのか、あるいは生産の組織化の方法についてコミュニケーションする。

コミュニケーションモデルの定式化には、外生的なスピルオーバー、あるいは内生的な情報交換によるものがある。企業の効率性と都市の拡大に伴う便益は、地域内人的資本蓄積とスピルオーバーによって高められる。瞬時的な均衡都市規模が達成されるとき、規模の経済は巨大都市を支える都市内部の一人当たりの通勤（と潜在的な混雑と環境悪化）費用とトレードオフとなる。以下ではタイプ1都市群の構造から検討することにしよう。

7. 2. 2 タイプ1都市群

タイプ1都市群の代表的都市を考えよう。この都市の各企業は1人の労働者を投入して生産を行う。各時点において、労働者はどの程度生産し、どの程度私的な人的資本蓄積に投資を行うのかを決定する。単一労働者による企業を仮定するため、人的資本スピルオーバーは企業間のみに発生し、企業内では生じない。タイプ1都市群で生産される財 X_i は、タイプ2都市群の中間財となる。タイプ1都市の第 i 企業の生産量 X_{ii} は次式で与えられる。

$$X_{ii} = D_1(n_1^{\delta_1} h_1^{\psi_1}) h_i^{\theta_1} \quad (2.5)$$

そしてこの企業では労働者1人の人的資本のみを生産要素とすることから、生産量がそのまま実質賃金となる。

$$W_{ii} = X_{ii} \quad (2.6)$$

(2.5)式において、 m_1 はこの都市の全産業における雇用者数を表す。 h_1 はこの都市の労働者の平均的な人的資本水準である。 h_{1i} は企業 i の人的資本である。 δ_1 は人口 m_1 の間でなされる、地域内コミュニケーションによる規模の経済を表す。またこれは企業自身の投入を固定するとき、企業生産量の地域総雇用量に関する弾力性も表している。生産量に対する都市の平均的人的資本の弾力性は ψ_1 であり、これは都市全体の人的資本のスピルオーバー便益であり、知識蓄積の直接的影響を表している。規模の経済は既に $n_1^{\delta_1}$ 項により捉えられ

ているので、人的資本の地域総量より、むしろ平均的人的資本を用いることに特徴がある。

このモデルでは、情報スピルオーバーは一つの都市内だけに留まると仮定するため、 h_i^w は情報スピルオーバー $n_i^{\delta_i}$ の“質的重要性”を表すものとも見なせる。最後に上にも述べたように、(2.6)式はタイプ1都市のある都市のある労働者 i の私的な所得は、単純にその労働者の生産量であることを示している。

全ての労働者を同質的とすれば、後に示される対称均衡のもとで、タイプ1都市で $h_i = h_1$ が成立する。そのとき都市の総生産量は $n_1 X_1$ であり、都市全体の生産量は以下のように表される。

$$X_1 = D_1 n_1^{1+\delta_1} h_1^{\theta_1 + \psi_1} \quad (2.7)$$

生産技術の定式化において、人的資本スピルオーバーと規模の外部性は、完全に都市内に留まると仮定されている。さらに、規模の外部性は企業自身にあり、これはその場所での異なる産業の存在は X_1 産業には何ら便益をもたらさないことを意味している。以下の分析では、都市へ集まる人々には通勤費用がかかるが、各都市をマネジメントする開発公社を想定し、それが地域特化の経済による都市を形成する。同じ人口と通勤費用に関して、より大きな産業規模を持つ特化した都市は、規模が小さく、多数の産業を持つ分散化都市より、より大きな労働生産性をもたらす。

7. 2. 3 都市内通勤

ある都市の全ての生産は、中央業務地区(CBD)の一点で行われる。CBD は円形の住宅地により取り囲まれ、各居住者は単一規模のロットに居住し、CBD に通勤する。その費用は単位距離当たり一定で r とし、これはタイプ1都市の生産物によって支払われる。

この研究ではインフラ投資、混雑、汚染などは、分析を簡略化するために考慮されていない。また取り扱いを容易にするため、一般性を失うことなく、都市内空間構造には最も単純な形式を用いる。すなわち土地市場の均衡により各地点の地代が特徴づけられ、CBD から都市境界に向かって直線的に減少する。

都市境界の地代はゼロとなる。都市人口が拡大すると都市の空間的サイズ、平均通勤距離と地代の傾きが上昇する。都市経済学の標準的な分析により、都市人口に関する総都市通勤費用と総地代が命題 2-1 のように得られる。

命題 2-1 総都市通勤費用と総地代は以下で与えられる。

証明

住宅市場の均衡は、等しいロットサイズに居住している全ての住民が、CBD からの距離 u に関係なく、地代 $R(u)$ と通勤費用 ru の合計が同一の支出になることを必要とする。消費者は残った所得を他の財や投資に支出する。都市境界 u_1 では地代 $R(u_1)=0$ であるため、地代と通勤費用の合計は ru_1 となる。都市境界以外では $R(u)+ru$ である。任意の立地点でこ

の支出が同一となるため、地代曲線は次式で表される。

$$R(u) = r(u_1 - u) \quad (2.8)$$

これより、この都市の総地代は次式で表される。

$$\int_0^{u_1} 2\pi u R(u) du = \frac{1}{3} r \pi u_1^3 \quad (2.9)$$

また総通勤費用は以下となる。

$$\int_0^{u_1} 2\pi u (ru) du = \frac{2}{3} u_1^3 r \pi \quad (2.10)$$

単位ロットサイズと都市人口 n_1 を所与とすれば、

$$n_1 = r u_1^2 \quad (2.11)$$

あるいは、

$$u_1 = \pi^{-1/2} n_1^{1/2} \quad (2.12)$$

が成立する。これより(2.13)式と(2.14)式を得る。

$$\text{総通勤費用} = b n_1^{3/2} \quad (2.13)$$

$$\text{総地代} = \frac{1}{2} b n_1^{3/2} \quad (2.14)$$

$$b \equiv \frac{2}{3} \pi^{-1/2} r$$

(2.13)式は都市活動における最重要な費用であり、平均通勤費用($b n_1^{1/2}$)は都市規模とともに1/2の弾力性で上昇する。これは都市規模を制限する力ともなる。(2.14)式は都市開発公社の総レンタル所得を表す。

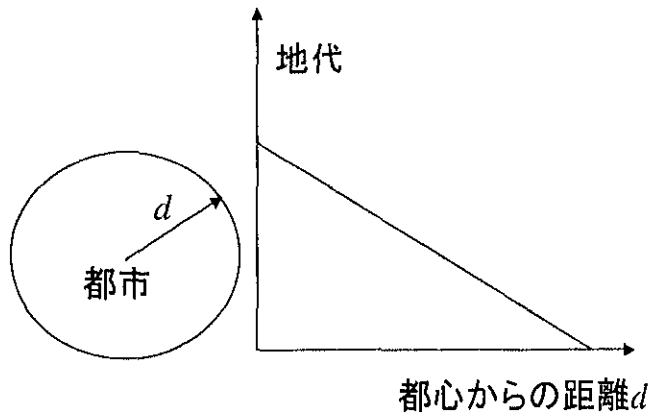


図7-2-1 都市内地代と距離の関係

7. 2. 4 都市開発公社

タイプ1都市群には同じタイプ多数の都市が存在し、競争的条件のもとで各都市は形成されている。各都市は開発公社により運営されると仮定される。開発公社は都市の土地レ

ンタルを徴収し、企業に対しその都市へ立地するインセンティブを与え、(均衡時には人々は自由に移動できるが) 都市人口を決定する。

この経済には複数の多くの都市が形成しうる同質的な用地が十分あり、各開発公社は一つの都市のみをコントロールする。これは伝統的な定式化であるが、得られる結果は別の方法によっても得られる。

Henderson and Becker(1998)は静学的なアプローチにおいて、(2.2)式は現存都市が自律的な地方政府によって統治される“自己組織化”を伴うモデルからも得られることを示している。本研究のような動学的な文脈において、既存研究と等価な定式化は、都市開発公社が新都市を新たに建設するために利潤を最大化することである。現存の都市は居住者により形成され、自律的な地方政府により統治される。

代表的な都市において、開発公社の最適化問題を、利潤最大化問題として特定化する。形式的にこの仮定は、このモデルには私的な人的資本のみ存在するという特定化をもたらす(再び、これは縛られることのない制約である)。後に開発公社が地域的な知識スピルオーバーを内部化するために、人的資本投資を行うという制度的な特定化を考慮する。

そこで利潤最大化を行う都市開発公社を考える。ある開発公社の瞬時的な利潤は、住宅の地代から各企業への移転支出 T_1 を控除したものである。都市開発公社は個人の居住地の自由選択に直面しているため、各労働者の地代・通勤費用控除後の純所得は、他のタイプ 1 都市群の純所得 I_1 に等しくなる。都市開発公社は都市タイプを公表し、現在の利潤を最大にするよう、都市人口 n_1 と移転支出 T_1 を選択する。この行動は以下のように定式化される。

$$\max_{n_1, T_1} \Pi_1 = 1/2 b n_1^{3/2} - T_1 n_1 \quad (2.15)$$

$$\text{subject to} \quad W_1 + T_1 - \frac{3}{2} b n_1^{1/2} = I_1 \quad (2.16)$$

ここで都市の対称性を所与とすれば、(2.5)式と(2.6)式から(2.17)式が得られる。

$$W_1 = D_1 n_1^{\delta_1} h_1^{\theta_1 + \psi_1} \quad (2.17)$$

制約式の第 1 項は 1 企業当たりの私的な所得であり、第 3 項は住民当たりの地代プラス通勤費用である。ここでこの都市においては、(2.13)式と(2.14)式より、左辺全体はその都市で得られる実質純所得を示す。(2.16)式を解き、 T_1 を Π_1 に代入し、国内土地市場における開発公社の都市建設への自由参入のフォーク定理から $\Pi_1 = 0$ と置いて、この都市経済の基本的な性質を得ることができる。

命題 2-2 タイプ 1 都市における企業への所得移転 T_1 と都市の最適人口 n_1 は以下で与えられる。

$$T_1 = \frac{1}{2} b n_1^{1/2} \quad (2.18)$$

$$n_1 = (\delta_1 2b^{-1} D_1)^{2/(1-2\delta_1)} h_1^{2\varepsilon_1} \quad (2.19)$$

証明

タイプ1都市の開発公社の利潤を、 n_1 の関数として表すことができる。

$$1/2bn_1^{3/2} - T_1n_1 = 0$$

$$T_1 = \frac{1}{2}bn_1^{1/2}$$

$$\Pi_1 = \frac{1}{2}bn_1^{3/2} + W_1n_1 - \frac{3}{2}bn_1^{3/2} - I_1n_1 \quad (2.20)$$

$$= \frac{1}{2}bn_1^{3/2} + D_1n_1^{\delta_1+1}h_1^{\theta_1+\Psi_1} - \frac{3}{2}bn_1^{3/2} - I_1n_1$$

$$= -bn_1^{3/2} + D_1n_1^{\delta_1+1}h_1^{\theta_1+\Psi_1} - I_1n_1$$

一階の条件から(2.21)式を得る。

$$\frac{\partial \Pi_1}{\partial n_1} = -\frac{3}{2}bn_1^{1/2} + (\delta_1 + 1)D_1n_1^{\delta_1}h_1^{\theta_1+\Psi_1} - I_1 = 0 \quad (2.21)$$

また長期参入条件から次式が成り立つ。

$$\Pi_1 = -bn_1^{3/2} + D_1n_1^{\delta_1+1}h_1^{\theta_1+\Psi_1} - I_1n_1 = 0 \quad (2.22)$$

これより(2.23)式を得る。

$$-bn_1^{1/2} + D_1n_1^{\delta_1}h_1^{\theta_1+\Psi_1} = I_1 \quad (2.23)$$

これを一階の条件に代入すると、

$$\frac{\partial \Pi_1}{\partial n_1} = -\frac{3}{2}bn_1^{1/2} + (\delta_1 + 1)D_1n_1^{\delta_1}h_1^{\theta_1+\Psi_1} + bn_1^{1/2} - D_1n_1^{\delta_1}h_1^{\theta_1+\Psi_1} \quad (2.24)$$

$$= -\frac{1}{2}bn_1^{1/2} + \delta_1 D_1n_1^{\delta_1}h_1^{\theta_1+\Psi_1} = 0$$

となり整理すれば、(2.19)式を得る。

$$n_1^{(1-2\delta_1)/2} = 2b^{-1}\delta_1 D_1 h_1^{\theta_1+\Psi_1} \quad (2.25)$$

$$n_1 = (\delta_1 2b^{-1} D_1)^{2/(1-2\delta_1)} h_1^{2\varepsilon_1} \quad (2.19)$$

$$\varepsilon_1 \equiv \phi_1 + \frac{\Psi_1}{1-2\delta_1}, \quad \phi_1 \equiv \frac{\theta_1}{1-2\delta_1} < 1 \quad (2.26)$$

(2.18)式の第1の結果はヘンリー・ジョージ原理を反映している。企業への総移転(T_1n_1)は都市の総地代($1/2bn_1^{3/2}$)に等しい。ここで企業への所得移転は、ある企業がある都市に参入する時に、高められた規模の便益による私的な限界生産物と社会的限界生産物の差に厳密に等しく、そのギャップは $\delta_1 W_1$ である。

都市開発公社あるいは地方政府が、都市の社会的外部経済便益を内部化することは、その都市への参入を促進するインセンティブの存在を意味する。(2.19)式の第2の結果は、均衡都市規模は規模と他のパラメータの関数であることを示している。それはまた、労働者1人当たりの人的資本の関数でもある。2階の条件と(2.19)式はパラメータ制約 $\delta_1 > 1/2$ を

意味しており、この経済において複数のタイプ1都市が存在するために必要とされる。

(2.13)式より、都市の拡大の通勤費用への弾力性は $1/2$ である。(2.19)式は規模の弾力性 δ_1 が上昇すると、都市規模は拡大することを示している。 $\delta_1 > 1/2$ では、常に都市規模が拡大することによる社会的限界便益が、限界費用より優ることになるので、タイプ1都市は一つとなってしまふ。また、(2.19)式が制約式(2.15)式のもとで成立するとすれば、都市規模は“自己促進”することになる。

世帯は別のタイプ1、あるいはタイプ2都市から離れて、ある人をタイプ1都市へ移動することにより利得を得ることはできない。それゆえ、均衡は自由移動のもとで達成される。この結果は以下の(2.63)式の解でも見ることができる。

都市規模と人的資本の関係を見ると、労働者1人当たりの人的資本に関する都市規模の弾力性は $2\epsilon_1$ である。これは人的資本に関する私的な生産性の弾力性 θ_1 と、外部的な生産性の弾力性 Ψ_1 に関して増加する。 ϵ_1 の項は私的な人的資本への収益 θ_1 と外部的なそれ Ψ_1 に応じて、私的な収益の部分 ϕ_1 と外部的な収益の部分 $\Psi_1/(1-2\delta_1)$ に分かれる。

均衡解の正規性のためには $\phi_1 < 1$ が必要となる。規模の経済の程度 δ_1 が、通勤費用弾力性の $1/2$ まで上昇するとき ϵ_1 の値は上昇する。社会的便益は人的資本収益を増大させる。次の(2.27)式で見るように、 ϵ_1 は平均的な人的資本水準に関するある都市の純所得の弾力性でもある。人的資本蓄積を伴う場合、所得が上昇するばかりでなく、都市規模も同様に拡大する。

後で利用するが、ここでは都市の生産量 X_1 と同様に、(2.18)式と(2.19)式を(2.14)式と(2.5)式に代入することによって、命題2-3を求めておく。

命題2-3 タイプ1都市における純所得は以下で与えられる。

$$I_1 = (1 - 2\delta_1)W_1 = Q_1 h_1^{\epsilon_1} \quad (2.27)$$

証明

(2.15)式の制約式に(2.18)式を代入して、以下を得る。

$$I_1 = W_1 + T_1 - \frac{3}{2}bn_1^{1/2} = W_1 + \frac{1}{2}bn_1^{1/2} - \frac{3}{2}bn_1^{1/2} = W_1 - bn_1^{1/2} \quad (2.28)$$

また W_1 と n_1 は以下のように表現される。

$$W_1 = D_1 n_1^{\delta_1} h_1^{\theta_1 + \Psi_1} \quad (2.29)$$

$$n_1 = (\delta_1 2b^{-1} D_1)^{2/(1-2\delta_1)} h_1^{2\epsilon_1} = (\delta_1 2b^{-1} D_1)^{2/(1-2\delta_1)} h_1^{2/(1-2\delta_1) \times (\theta_1 + \Psi_1)} \quad (2.30)$$

この2つの式を組み合わせると、以下の式を得る。

$$n_1^{(1-2\delta_1)/2} = \delta_1 2b^{-1} (D_1 h_1^{\theta_1 + \Psi_1}) \quad (2.31)$$

$$bn_1^{1/2} n_1^{-\delta_1} = 2\delta_1 W_1 n_1^{-\delta_1} \quad (2.32)$$

$$bn_1^{1/2} = 2\delta_1 W_1 \quad (2.33)$$

これを I_1 の式に代入して、純所得が求まる。

$$I_1 = W_1 - bn_1^{1/2} = (1 - 2\delta_1)W_1 \quad (2.34)$$

さらに I_1 の計算を進めよう。

$$I_1 = (1 - 2\delta_1)W_1 = (1 - 2\delta_1)D_1(\delta_1 2b^{-1}D_1)^{2\delta_1/(1-2\delta_1)} h_1^{2\epsilon_1\delta_1} h_1^{\theta_1 + \Psi_1} \quad (2.35)$$

ここで h_1 のべき乗の項を計算する。

$$2\epsilon_1\delta_1 + (\theta_1 + \Psi_1) = 2\delta_1 \frac{\theta_1 + \Psi_1}{1 - 2\delta_1} + (1 - 2\delta_1) \frac{\theta_1 + \Psi_1}{1 - 2\delta_1} = \frac{\theta_1 + \Psi_1}{1 - 2\delta_1} = \epsilon_1 \quad (2.36)$$

$$\frac{2\delta_1}{1 - 2\delta_1} = \frac{1}{1 - 2\delta_1} - \frac{1 - 2\delta_1}{1 - 2\delta_1} = \frac{1}{1 - 2\delta_1} - 1 \quad (2.37)$$

これより I_1 の別な形が求まる。

$$I_1 = (1 - 2\delta_1)D_1(\delta_1 2b^{-1}D_1)^{1/(1-2\delta_1)} b(2\delta_1 D_1)^{-1} h_1^{\epsilon_1} \quad (2.38)$$

したがって(2.39)式が成立する。

$$I_1 = Q_1 h_1^{\epsilon_1} \quad (2.39)$$

これより(2.27)式が得られる。ここでパラメータ Q は以下である。

$$Q_1 \equiv (\delta_1 2b^{-1}D_1)^{1/(1-2\delta_1)} b(2\delta_1)^{-1} (1 - 2\delta_1) \quad (2.40)$$

これを用いて生産量 X_1 は(2.41)式のように表現される。

$$X_1 = \{[Q_1 / (1 - 2\delta_1)]^{(1+\delta_1)/\delta_1} D_1^{-\delta_1}\} h_1^{3\epsilon} \quad (2.41)$$

7. 2. 5 タイプ2都市群

タイプ2都市群は、この経済の消費財を生産することに特化している。この財は価格 P で、競争的な国内市場のもとで取引される。タイプ2都市群においても、各企業は1人の労働者のみを雇用して生産を行い、その技術は以下で表される。

$$X_{2j} = D_2(n_2^{\delta_2} h_2^{\Psi_2}) h_{2j}^{\theta_2} x_{1j}^{1-\alpha} \quad (2.42)$$

(2.5)式の X_{1i} と比べて見れば、外部的な規模の経済は $(n_2^{\delta_2})$ であり、人的資本スピルオーバーは $(h_2^{\Psi_2})$ である。 h_{2j} は労働者 j の人的資本、 x_{1j} は第 j 企業がタイプ1都市からの購入した中間投入財である。この企業の利潤は以下となる。

$$PX_{2j} - x_{1j} \quad (2.43)$$

利潤(2.43)を x_{1j} に関して最大化し、整理することにより、この企業の残余利益を得る。

$$W_2 = \alpha(1 - \alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} D_2^{1/\alpha} P^{1/\alpha} (n_2^{\delta_2} h_2^{\Psi_2})^{1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (2.44)$$

タイプ2都市群についても、都市をコントロールする都市開発公社の存在を仮定する。都市開発公社は都市のタイプを公表し、利潤を最大化するように企業への所得移転 T_2 と人口 n_2 を選択する。都市開発公社の最適化行動は以下のようである。

$$\begin{aligned} \max \Pi_2 &= 1/2bn_2^{3/2} - T_2 n_2 \\ \text{with respect to } T_2 \text{ and } n_2 \end{aligned} \quad (2.45)$$

$$\text{subject to } W_2 + T_2 - \frac{3}{2}bn_2^{1/2} = I_2 \quad (2.46)$$

都市内部での対称性を仮定すれば、(2.44)式の W_2 項は(2.47)式となる。

$$h_{2j} = h_2 \quad (2.47)$$

そして代表的なタイプ2都市の通勤と地代についても、タイプ1都市群と同様に計算される。ここでも通勤費用と地代は X_1 の合成財により支払われると仮定する。タイプ1都市と同様に、 Π_2 を最大化し $\Pi_2=0$ と置いて、(2.48)式が得られる。

簡単な計算を行うことにより、(2.19)式、(2.27)式と同様に、タイプ2都市の均衡都市規模と実質純所得を得ることができる。

命題 2-4 タイプ2都市における企業への所得移転 T_2 、都市の最適人口 n_2 、純所得 I_2 は以下で与えられる。

$$I_2 = -bn_2^{1/2} + \alpha(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (2.53)$$

$$T_2 = 1/2bn_2^{1/2} \quad (2.48)$$

$$n_2 = C_2 P^{1/((\alpha/2)-\delta_2)} h_2^{2\epsilon_2} \quad (2.49)$$

証明

タイプ2都市の都市開発公社の最適化行動に関して、予算制約式を目的関数に代入して以下を得る。

$$1/2bn_2^{3/2} - T_2n_2 = 0$$

$$T_2 = 1/2bn_2^{1/2} \quad (2.48)$$

$$\max_{n_2} \Pi_2 = \frac{1}{2}bn_2^{3/2} + W_2n_2 - \frac{3}{2}bn_2^{3/2} - I_2n_2 \quad (2.50)$$

$$= -bn_2^{3/2} + \alpha(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{1+\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} - I_2n_2$$

また1階の条件は以下で表される。

$$\frac{\partial \Pi_2}{\partial n_2} = -\frac{3}{2}bn_2^{1/2} + (1+\delta_2/\alpha)\alpha(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} - I_2 = 0 \quad (2.51)$$

長期参入条件からゼロ利潤が導かれる。

$$\Pi_2 = -bn_2^{3/2} + \alpha(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{1+\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} - I_2n_2 = 0 \quad (2.52)$$

式(2.52)を I_2 について解いて、(2.53)式を得る。

$$I_2 = -bn_2^{1/2} + \alpha(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (2.53)$$

これをさらに1階の条件に代入して、(2.54)式が導かれる。

$$\frac{\partial \Pi_2}{\partial n_2} = -\frac{3}{2}bn_2^{1/2} + (1+\delta_2/\alpha)\alpha(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (2.54)$$

$$+bn_2^{1/2} - \alpha(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} = 0$$

上式を n_2 について解いて、最終的に(2.49)式が求まる。

$$\frac{1}{2}bn_2^{1/2} = (\delta_2/\alpha)\alpha(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (2.55)$$

$$n_2^{1/2-\delta_2/\alpha} = n_2^{(\alpha/2-\delta_2)/\alpha} = 2b^{-1}\delta_2(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} h_2^{\Psi_1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (2.56)$$

$$n_2 = C_2 P^{1/[(\alpha/2)-\delta_2]} h_2^{(\Psi_1+\theta_2)/[(\alpha/2)-\delta_2]} \quad (2.57)$$

$$n_2 = C_2 P^{1/[(\alpha/2)-\delta_2]} h_2^{2(\Psi_1+\theta_2)/[\alpha-2\delta_2]} \quad (2.58)$$

$$n_2 = C_2 P^{1/[(\alpha/2)-\delta_2]} h_2^{2\varepsilon_2} \quad (2.49)$$

$$\varepsilon_2 \equiv \phi_2 + \frac{\Psi_2}{\alpha-2\delta_2}, \quad \phi_2 \equiv \frac{\theta_2}{\alpha-2\delta_2} \quad (2.59)$$

さらに純所得 I_2 は(2.60)式のように誘導される。

$$I_2 = (\alpha-2\delta_2)\alpha^{-1}W_2 = Q_2 P^{1/(\alpha-2\delta_2)} h_2^{\varepsilon_2} \quad (2.60)$$

最後に企業の間財需要が以下のように求まる。

$$x_1 = (1-\alpha)Q_2(\alpha-2\delta_2)^{-1} P^{1/(\alpha-2\delta_2)} h_2^{\varepsilon_2} \quad (2.61)$$

$$C_2 \equiv [(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} \delta_2 2b^{-1} D_2^{1/\alpha}]^{\alpha/[(\alpha/2)-\delta_2]} \quad (2.62)$$

$$Q_2 \equiv [(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} \delta_2 2b^{-1} D_2^{1/\alpha}]^{\alpha/(\alpha-2\delta_2)} b(2\delta_2)^{-1}(\alpha-2\delta_2) \quad (2.63)$$

これらの数式は、タイプ1都市群のものと同様な性質を持つが、これらには相対価格 P が含まれていることに注意しよう。

次に(2.1)式の世帯に関する最適化問題から、人口移動と人的資本投資の意思決定を考察する必要がある。 I_1 と I_2 の構造が既知であるため、これを求めることができる。その後、国内財市場の価格 P を求め、この経済の成長経路の分析へと進む。

7. 2. 6 投資と人口移動の意思決定

(2.1)式の家族の動学的最適化を考える。後で示すが、制約式(2.4)式は束縛されないので、これを考察からはずすことにより、ハミルトニアン関数は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \max_{c, z, h_1, h_2, H} L = & \left(\frac{c^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \right) e^{-(\rho-g)t} \\ & + \lambda_1 [ze^{gt} I_1 P^{-1} + (1-z)e^{gt} I_2 P^{-1} - ce^{gt}] \\ & + \lambda_2 [H - ze^{gt} h_1 - (1-z)e^{gt} h_2] \end{aligned} \quad (2.64)$$

既に述べたように、 I_1 と I_2 の制約を考慮する必要があるため、(2.64)式の問題は完全ではない。タイプ1都市の労働者の内、第 i 世帯に属する純所得は、(2.16)式と(2.5)式から以下で表される。

$$I_{1i} = W_{1i} + T_1 - 3/2bn_1^{1/2} = D_1(n_1^{\delta_1} h_1^{\psi_1}) h_{1i}^{\theta_1} + T_1 - 3/2bn_1^{1/2} \quad (2.65)$$

$$W_{1i} = D_1(n_1^{\delta_1} h_1^{\psi_1}) h_{1i}^{\theta_1} \quad (2.66)$$

T_1 , h_1 , n_1 は世帯にとって固定されたものと見なされ、以下が成立する。

$$\frac{\partial I_{1i}}{\partial h_{1i}} = \frac{\theta_1 W_{1i}}{h_{1i}} \quad (2.67)$$

対称性のもとでは、

$$h_{1i} = h_1 \quad (2.68)$$

であり、(2.19)式と(2.27)式を用いれば、均衡において(2.69)式が成立する。

$$\frac{\partial I_{1i}}{\partial h_{1i}} = \frac{\theta_1 I_1}{(1-2\delta_1)h_1} = \frac{\phi_1 I_1}{h_1} \quad (2.69)$$

同様にタイプ2都市群についても、(2.70)式が成立する。

$$\frac{\partial I_{2i}}{\partial h_{2i}} = \frac{\theta_2 I_2}{(1-2\delta_2)h_2} = \frac{\phi_2 I_2}{h_2} \quad (2.70)$$

対称性を仮定し上記の式を用いれば、(2.27)式の1階の条件は次のようになる。

$$\frac{\partial L}{\partial c} = c^{-\sigma} e^{-(\rho-s)t} - \lambda_1 e^{st} = 0 \quad (2.71)$$

$$\frac{\partial L}{\partial z} = e^{st} [\lambda_1 (I_1 P^{-1} - I_2 P^{-1}) + \lambda_2 (-h_1 + h_2)] = 0 \quad (2.72)$$

$$\frac{\partial L}{\partial h_1} = \lambda_1 z e^{st} \frac{\partial I_1}{\partial h_1} P^{-1} - \lambda_2 z e^{st} = z e^{st} (\lambda_1 \phi_1 I_1 h_1^{-1} P^{-1} - \lambda_2) = 0 \quad (2.73)$$

$$\frac{\partial L}{\partial h_2} = \lambda_1 (1-z) e^{st} \frac{\partial I_2}{\partial h_2} P^{-1} - \lambda_2 (1-z) e^{st} = (1-z) e^{st} (\lambda_1 \phi_2 I_2 h_2^{-1} P^{-1} - \lambda_2) = 0 \quad (2.74)$$

$$\frac{\partial L}{\partial H} = -\dot{\lambda}_1 = \lambda_2 \quad (2.75)$$

さらに横断性条件は(2.76)式で表される。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [\lambda_1(t) H(t)] = 0 \quad (2.76)$$

(2.74)式と(2.73)式において、世帯は投資における私的収益を均等化するため、各都市群に人的資本を割り当てる。この2つを組み合わせると、(2.77)式が得られる。

$$I_1 / I_2 = (\phi_2 / \phi_1) h_1 / h_2 \quad (2.77)$$

さらに(2.72)式と(2.73)式において、 λ_2/λ_1 について解いて組み合わせると、命題 2-5 が得られる。

命題 2-5 タイプ 1 都市とタイプ 2 都市の人的資本と所得の関係は以下で与えられる。

$$h_1 = \left[\frac{\phi_1(1-\phi_2)}{\phi_2(1-\phi_1)} \right] h_2 \quad (2.78)$$

$$I_1 = \left(\frac{1-\phi_2}{1-\phi_1} \right) I_2 \quad (2.79)$$

証明

(2.73)式と(2.74)式から、(2.80)式が得られる。

$$\lambda_1 \phi_1 I_1 h_1^{-1} P^{-1} = \lambda_2 \phi_2 I_2 h_2^{-1} P^{-1} = \lambda_2 \quad (2.80)$$

これより(2.81)式が導かれる。

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\phi_2 h_1}{\phi_1 h_2} \quad (2.81)$$

また(2.72)式を変形して(2.82)式が得られる。

$$\lambda_1 (I_1 - I_2) = \lambda_2 (h_1 - h_2) P \quad (2.82)$$

ここに(2.73)式を代して、以下を得る。

$$(I_1 - I_2) = \phi_1 I_1 (h_1 - h_2) / h_1 \quad (2.83)$$

$$(1 - I_2 / I_1) = \phi_1 (1 - h_2 / h_1) \quad (2.84)$$

これに(2.81)式を代入すると、(2.85)式となる。

$$\left(1 - \frac{\phi_1}{\phi_2} \frac{h_2}{h_1}\right) = \phi_1 \left(1 - \frac{h_2}{h_1}\right) \quad (2.85)$$

これを整理して、(2.78)式と(2.79)式が求まる。

$$h_1 = \left[\frac{\phi_1(1-\phi_2)}{\phi_2(1-\phi_1)} \right] h_2 \quad (2.78)$$

$$I_1 = \left(\frac{1-\phi_2}{1-\phi_1} \right) I_2 \quad (2.79)$$

ここで、 h_1/h_2 と I_1/I_2 の時間の変動率に注意しよう。さて都市タイプによる世帯構成員配分を示す z に関して、さらに計算を進めるためには、国内市場での均衡を検討する必要がある。

7. 2. 7 国内の市場均衡

m_1 をタイプ1の都市数, m_2 をタイプ2の都市数とする。 X_1 の国内総供給量は $m_1 X_1$ となる。タイプ2都市群は中間投入として X_1 財を x_1 だけタイプ1都市から移入する。また両タイプの都市群では, 通勤費用は X_1 財により支払われる。したがって移入移出のバランス式は, 以下で表される。

$$m_1 X_1 = m_2 n_2 x_1 + m_1 (b n_1^{3/2}) + m_2 (b n_2^{3/2}) \quad (2.86)$$

さらに各世帯に対称性があるとすれば, 各世帯は各都市タイプに同じ労働者の比率を与える。したがって任意の時点において, 以下の関係式を得る。

$$z = m_1 n_1 / N \quad (2.87)$$

$$1 - z = m_2 n_2 / N \quad (2.88)$$

ここで, N は国内人口である。財の需給均衡条件から(2.89)式を得る。

$$m_1 (X_1 - b n_1^{3/2}) = m_2 n_2 [x_1 + b n_2^{1/2}] \quad (2.89)$$

(2.15)の制約式を両辺 m_1 倍し, これに(2.18)式を代入して(2.90)式を得る。

$$X_1 = n_1 W_1 \quad (2.90)$$

そしてこれをタイプ1都市の予算制約条件に代入して, (2.91)式を得る。

$$n_1 I_1 = n_1 W_1 + n_1 T_1 - \frac{3}{2} b n_1^{3/2} = n_1 W_1 - b n_1^{3/2} = X_1 - b n_1^{3/2} \quad (2.91)$$

さらに(2.86)式の需給均衡条件に代入して, (2.92)式を得る。

$$m_1 n_1 I_1 = m_2 n_2 [x_1 + b n_2^{1/2}] \quad (2.92)$$

これより(2.93)式が導かれる。

$$x_1 + b n_2^{1/2} = \frac{m_1 n_1 I_1}{m_2 n_2} \quad (2.93)$$

同様にタイプ2都市の開発公社最適化問題制約式から, (2.94)式を得る。

$$n_2 I_2 = n_2 W_2 + n_2 T_2 - \frac{3}{2} b n_2^{3/2} = n_2 W_2 - b n_2^{3/2} = X_2 - b n_2^{3/2} \quad (2.94)$$

さらに(2.44)式, (2.49)式, (2.15)式から(2.95)式が導かれる。

$$x_1 + b n_2^{1/2} = I_2 [(1 - \alpha) + 2\delta_2](\alpha - 2\delta_2)^{-1} \quad (2.95)$$

これらの関係を組み合わせ, z と $1 - z$ に関する式から以下が得られる。

$$m_1 n_1 I_1 = m_2 n_2 I_2 [(1 - \alpha) + 2\delta_2](\alpha - 2\delta_2)^{-1} \quad (2.96)$$

$$z I_1 = (1 - z) I_2 [(1 - \alpha) + 2\delta_2](\alpha - 2\delta_2)^{-1} \quad (2.97)$$

これを(2.79)式へ代入すれば, (2.98)式の結果をえる。

$$z = \frac{[(1 - \alpha) + 2\delta_2](1 - \phi_1)}{[(1 - \alpha) + 2\delta_2](1 - \phi_1) + (1 - \phi_2)(\alpha - 2\delta_2)} \quad (2.98)$$

均衡時にタイプ1都市群に住む労働者の家族の比率 z は, h (h_1 または h_2)には依存せず,

時間に関しても一定である。一度ある都市に割り当てられた全労働者は、都市のタイプを変更しようとはしない。移動は、通常は新生児を割り当てるときのみ生じ、特に新都市群の場合に起こる。タイプ1都市とタイプ2都市の数 m_1 と m_2 を、国内人口 N の関数として求めることができる。

$$m_1 = zNn_1^{-1} \quad (2.99)$$

$$m_2 = (1-z)Nn_2^{-1} \quad (2.100)$$

移住の意思決定を反映している z を解くことにより、両タイプの人的資本 h_1 と h_2 を、世帯の一人当たり人的資本 h の関数として求めることができる。すなわち(2.3)式から式(2.101)を得る。

$$h = He^{-\theta t} \quad (2.101)$$

このもとで、 h は以下のように表される。

$$h = zh_1 + (1-z)h_2 \quad (2.102)$$

(2.78)式と(2.79)式を代入すると命題 2-6 を得る。

命題 2-6 タイプ1都市、タイプ2都市における人的資本は以下で与えられる。

$$h_2 = \frac{\phi_2}{1-\phi_2} Kh, \quad (2.103)$$

$$h_1 = \frac{\phi_1}{1-\phi_1} Kh \quad (2.104)$$

証明

(2.3)式から(2.101)式を所与とする。

$$h = He^{-\theta t} \quad (2.101)$$

このとき(2.102)式が成り立ち、(2.103)式と(2.104)式が導かれる。

$$h = zh_1 + (1-z)h_2 \quad (2.102)$$

$$h_1 = \frac{h - (1-z)h_2}{z} \quad (2.105)$$

$$h_2 = \frac{h - zh_1}{1-z} \quad (2.106)$$

さらに(2.78)式より、以下のように計算される。

$$h_1 = \left[\frac{\phi_1(1-\phi_2)}{\phi_2(1-\phi_1)} \right] \frac{h - zh_1}{1-z} \quad (2.107)$$

$$\frac{h - (1-z)h_2}{z} = \left[\frac{\phi_1(1-\phi_2)}{\phi_2(1-\phi_1)} \right] h_2 \quad (2.108)$$

これらを(2.98)式に代入して、整理すれば(2.104)式と(2.103)式が求まる。

$$h_1 = \frac{\phi_1}{1-\phi_1} Kh \quad (2.104)$$

$$h_2 = \frac{\phi_2}{1-\phi_2} Kh \quad (2.103)$$

$$K \equiv \frac{(1-\phi_1)[(1-\alpha)+2\delta_2] + (1-\phi_2)(\alpha-2\delta_2)}{\phi_1[(1-\alpha)+2\delta_2] + \phi_2(\alpha-2\delta_2)} \quad (2.109)$$

(2.98)式は都市タイプごとの世帯メンバーの変動しない相対的な配分を示している。さらに制約 $\dot{H} \geq 0$ が安定的な成長経路に沿って満たされることが示される。これより(2.78)式、(2.79)式、(2.118)式から、時間に関して微分し(2.110)式を得る。

$$(\dot{h}_1/h_1) + g = (\dot{h}_2/h_2) + g = (\dot{h}/h) + g = \dot{H}/H \geq 0 \quad (2.110)$$

この式から、2つの都市群で人的資本は同じ成長率で平行に成長することがわかる。資本移転のみが各労働者から、彼らの子供達へ動く必要がある。均衡において人的資本は現存の家計と、特定の技術の間 (X_1 あるいは X_2) で移転することはできない。また(2.4)式の制約には拘束されない。

最後に、いくつかの関係を組み合わせることにより、2-7 命題を得る。

命題 2-7 タイプ2都市で生産される消費財の価格は以下で与えられる。

$$P = Qh^{(\epsilon_1 - \epsilon_2)(\alpha - 2\delta_2)} \quad (2.111)$$

証明

(2.27)式と(2.60)式から(2.112)式が導かれる。

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(1-2\delta_1)W_1}{(\alpha-2\delta_2)\alpha^{-1}W_2} = \frac{Q_1 h_1^{\epsilon_1}}{Q_2 P^{1/(\alpha-2\delta_2)} h_2^{\epsilon_2}} \quad (2.112)$$

(2.79)式に上の結果を代入して、以下が得られる。

$$\frac{1-\phi_2}{1-\phi_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{Q_1 h_1^{\epsilon_1}}{Q_2 P^{1/(\alpha-2\delta_2)} h_2^{\epsilon_2}} \quad (2.113)$$

さらに(2.104)式を代入して(2.114)式が得られる。

$$\frac{1-\phi_2}{1-\phi_1} = \frac{Q_1 \left(\frac{\phi_1}{1-\phi_1} Kh \right)^{\epsilon_1}}{Q_2 P^{1/(\alpha-2\delta_2)} \left(\frac{\phi_2}{1-\phi_2} Kh \right)^{\epsilon_2}} = \frac{1}{P^{1/(\alpha-2\delta_2)}} \frac{Q_1}{Q_2} \left(\frac{\phi_1}{1-\phi_1} \right)^{\epsilon_1 - 1} K^{\epsilon_1 - \epsilon_2} h^{\epsilon_1 - \epsilon_2} \quad (2.114)$$

これを P について解いて(2.111)式を得る。ここで Q は以下で定義される。

$$Q \equiv \left[\frac{\phi_1 Q_1 \left(\frac{\phi_1}{1-\phi_1} \right)^{\varepsilon_1-1}}{\phi_2 Q_2 \left(\frac{\phi_2}{1-\phi_2} \right)^{\varepsilon_2-1}} K^{\varepsilon_1-\varepsilon_2} \right]^{\alpha-2\delta_2} \quad (2.115)$$

(2.110)式より h が成長するとき, $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ であれば消費財の相対価格 P は上昇する。すなわち, もしニュメレール財を生産する都市の人的資本に関する所得弾力性が, 消費型都市のそれを上回るとき, 消費財はより高価になることは驚くことではない。

以上から得られる結果は次の結果に要約される。

命題 2-8 時間に関する都市間の均衡資源配分は, 以下の特性を持つ。

- (a) 一人当たり人的資本と所得の比率 h_1/h_2 と I_1/I_2 は時間に依存しない。これは, $\phi_1 > (<)$ ϕ_2 のとき, かつその場合に限る。 $I_1 > (<)$ I_2 および $h_1 > (<)$ h_2 のとき, 実質所得の不均衡を意味する。ここで, ϕ_i は i タイプ都市における所得の人的資本投資への私的収益である。
- (b) 都市間の相対的な人口配分は時間に依存しない。
- (c) 消費財 X_2 の価格 P は, $\varepsilon_1 > (<)$ ε_2 のときかつその場合に関り, 人的資本蓄積と伴って上昇(下降)する。ここで, ε_i はタイプ i 都市の人的資本投資の社会的収益を示す。

異なる人的資本水準を所与とすれば, 実質所得 I_1 と I_2 が都市間で異なるばかりでなく, 名目所得 W_1 と W_2 も異なり, さらに都市間の生活費もまた異なるという, 不均衡の問題に注意すべきである。したがって以下が得られる。

$$W_1/W_2 = (\alpha - 2\delta_2)(1 - 2\delta_1)^{-1} \alpha^{-1} (I_1/I_2) \quad (2.116)$$

Henderson(1988)は, 国によっては都市間の生活費の差は 100% を越える場合があることを示唆し, 検討している。実質所得に格差が存在する場合, 家族内の移転を所与とするこの定式化では, 人的資本の機会費用を差し引いた実質所得は, z の選択を所与とすれば都市タイプ間で等しく, 労働者当たりの消費も都市間で等しくなる。

7. 2. 8 都市成長

任意の時点で, 各都市タイプに雇用される一人当たりの人的資本レベルは異なるが, 各都市タイプの人的資本は同率で成長する。

$$\dot{h}_1/h_1 = \dot{h}_2/h_2 = \dot{h}/h \quad (2.117)$$

このとき P に関して, 都市規模を特徴付ける(2.49)式と(2.19)式を(2.111)式に組み合わせ, 命題 2-8 が導かれる。

命題 2-8 都市規模の成長率は以下で与えられる。

$$\frac{\dot{n}_2}{n_2} = \frac{\dot{n}_1}{n_1} = 2\varepsilon_1 \frac{\dot{h}}{h} \quad (2.118)$$

証明

まず以下の式を準備する。

$$(2.19)\text{式から, } n_1 = (\delta_1 2b^{-1} D_1)^{2/(1-2\delta_1)} h_1^{2\varepsilon_1}$$

$$(2.49)\text{式から, } n_2 = C_2 P^{1/[(\alpha/2)-\delta_2]} h_2^{2\varepsilon_2}$$

$$(2.111)\text{式から, } P = Qh^{(\varepsilon_1-\varepsilon_2)(\alpha-2\delta_2)}$$

(2.49)式に(2.111)式を代入し, (2.19)式と(2.49)式の対数を取り、以下を得る。

$$\log n_1 = \frac{2}{1-2\delta_1} \log(\delta_1 2b^{-1} D_1) + 2\varepsilon_1 \log h_1 \quad (2.119)$$

$$\begin{aligned} \log n_2 &= \log C_2 + \frac{1}{(\alpha/2) - \delta_2} \log P + 2\varepsilon_2 \log h_2 \\ &= \log C_2 + \frac{1}{(\alpha/2) - \delta_2} \log Q + 2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \log h + 2\varepsilon_2 \log h_2 \end{aligned} \quad (2.120)$$

これらを時間 t に関して微分し, (2.121)式と(2.122)式が得られる。

$$\frac{\dot{n}_1}{n_1} = 2\varepsilon_1 \frac{\dot{h}_1}{h_1} \quad (2.121)$$

$$\frac{\dot{n}_2}{n_2} = 2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \frac{\dot{h}_2}{h_2} + 2\varepsilon_2 \frac{\dot{h}}{h} \quad (2.122)$$

(2.103)式と(2.104)式から(2.123)式が得られる。

$$\log h_i = \log \frac{\phi_i}{1-\phi_i} + \log K + \log h \quad (2.123)$$

$$\frac{\dot{h}_1}{h_1} = \frac{\dot{h}_2}{h_2} = \frac{\dot{h}}{h} \quad (2.124)$$

そして最終的に(2.125)式が導かれる。

$$\frac{\dot{n}_2}{n_2} = \frac{\dot{n}_1}{n_1} = 2\varepsilon_1 \frac{\dot{h}}{h} \quad (2.125)$$

各都市の規模は, $2\varepsilon_1 \times$ 人的資本蓄積比率 (\dot{h}/h) の率で人的資本蓄積と共に成長する。ここで, ε_1 はタイプ1都市の人的資本レベルに関する所得弾力性である。もし経済が均斉成長を経験するなら, ε_1 は1に近づくかもしれない。そのように考えれば, 都市規模は近似的に人的資本蓄積比率の2倍で成長する。(限界の費用に関連する)都市群に人口を追加することによる限界的な便益から生じる外部性は, 人的資本蓄積は直接的に労働者当たりの生産性を高め, 間接的には人的資本の約2倍の率で成長する都市を形成することになる。

両タイプの都市の数 m_1 と m_2 についてはどうであろうか。(2.98)式から,

$$\dot{m}_1 / m_1 = (\dot{N} / N) - (\dot{n}_1 / n_1) \quad (2.126)$$

ここで、国内人口成長(\dot{N} / N)は g であり、 \dot{n}_1 / n_1 は(2.118)式より与えられる。すなわち以下が成立する。

$$\frac{\dot{m}_1}{m_1} = \frac{\dot{m}_2}{m_2} = g - 2\varepsilon_1 \frac{\dot{h}}{h} \quad (2.127)$$

もし国内人口成長率が人的資本蓄積を原動力とする各都市規模の成長率より高い場合、人的資本蓄積とともに都市の数は増加する。(2.127)式と(2.118)式より、次の結果を得る。

各都市の規模は人的資本蓄積率と比例して成長する。各都市タイプ間の相対的規模と数が時間に関して一定とすれば、各タイプの都市成長は平行となり、一定の相対的都市規模分布を維持する。

7. 2. 9 経済成長

この章の最後の議論として、都市発展の成長経路を解いてみよう。このためには代表的世帯の消費と、人的資本の発展を検討する必要がある。消費に関しては、(2.71)式を時間について微分し、(2.73)式と(2.75)式を組み合わせることで次式を得る。

$$\gamma^c \equiv \frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\sigma} (\phi_1 I_1 h_1^{-1} P^{-1} - \rho) \quad (2.128)$$

人的資本成長経路については、1人当たり人的資本の平均水準 h について、(2.129)式が成立する。

$$\frac{\dot{h}}{h} = \frac{\dot{H}}{H} - g \quad (2.129)$$

したがって(2.64)式から(2.130)式を得る。

$$\gamma^h \equiv \frac{\dot{h}}{h} = z I_1 P^{-1} h^{-1} + (1 - z) I_2 P^{-1} h^{-1} - c h^{-1} - g \quad (2.130)$$

これらの式へ、(2.27)式と(2.60)式から得られる I_1 と I_2 、(2.103)式と(2.104)式から得られる h_1 と h_2 、(2.111)式の P を代入し、1人当たりの消費と人的資本の成長率が命題2-9および命題2-10として得られる。

命題2-9 消費の成長率は以下で与えられる。

$$\gamma^c \equiv \frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\sigma} (A h^{\varepsilon-1} - \rho) \quad (2.131)$$

証明

(2.71)式から(2.132)式が得られる。

$$-\sigma \log c - (\rho - g)t = \log \lambda_1 + gt \quad (2.132)$$

これを時間に関して微分すれば以下となる。

$$\frac{-\sigma \dot{c}}{c} - \rho = \frac{\dot{\lambda}_1}{\lambda_1} \quad (2.133)$$

これに(2.73)式と(2.75)式を代入する。

$$\frac{-\sigma \dot{c}}{c} - \rho = \frac{-\dot{\lambda}_1}{\lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \phi_1 I_1 h_1^{-1} P^{-1} \quad (2.134)$$

さらに(2.27)式, (2.103)式, (2.104)式, (2.111)を代入して証明を得る。

$$\begin{aligned} \frac{\dot{c}}{c} &= \frac{\phi_1 I_1 h_1^{-1} P^{-1} - \rho}{\sigma} = \frac{\phi_1 (Q_1 h_1^{\varepsilon_1}) h_1^{-1} (Q h^{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(\alpha - 2\delta_2)})^{-1} - \rho}{\sigma} \\ &= \frac{\phi_1 Q_1 h_1^{\varepsilon_1 - 1} h^{-(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(\alpha - 2\delta_2)} - \rho}{Q\sigma} = \frac{\phi_1 Q_1 \phi_1^{\varepsilon_1 - 1} K^{\varepsilon_1 - 1} h^{-(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(\alpha - 2\delta_2) + \varepsilon_1 - 1} - \rho}{(1 - \phi_1)^{\varepsilon_1 - 1} Q\sigma} \\ &= \frac{1}{\sigma} (A h^{\varepsilon - 1} - \rho) \end{aligned} \quad (2.135)$$

$$\varepsilon \equiv \varepsilon_1 [1 - (\alpha - 2\delta_2)] + \varepsilon_2 (\alpha - 2\delta_2) > 0 \quad (2.136)$$

$$A \equiv \frac{\phi_1 Q_1}{Q} \left(\frac{\phi_1}{1 - \phi_1} \right)^{\varepsilon_1 - 1} K^{\varepsilon_1 - 1} \quad (2.137)$$

命題 2-10 人的資本成長率は以下で与えられる。

$$\gamma^h \equiv \frac{\dot{h}}{h} = B h^{\varepsilon - 1} - c h^{-1} - g \quad (2.138)$$

証明

既に述べたように, h に関して以下が成立する。

$$\frac{\dot{h}}{h} = \frac{\dot{H}}{H} - g$$

(2.3)式より $h = H e^{gt}$ と置き直し, (2.2)式, (2.3)式, (2.79)式を代入する。

$$\begin{aligned} \gamma^h \equiv \frac{\dot{h}}{h} &= \frac{\dot{H}}{H} - g = P^{-1} [z I_1 + (1 - z) I_2] h^{-1} - c h^{-1} - g \\ &= P^{-1} \left[z + (1 - z) \frac{1 - \phi_1}{1 - \phi_2} \right] I_1 h^{-1} - c h^{-1} - g \end{aligned} \quad (2.139)$$

(ここで(2.27)式, (2.103)式, (2.104)式, (2.111)式を代入する。)

$$\begin{aligned} &= P^{-1} \left[z + (1 - z) \frac{1 - \phi_1}{1 - \phi_2} \right] Q_1 h_1^{\varepsilon_1} h^{-1} - c h^{-1} - g \\ &= P^{-1} \left[z + (1 - z) \frac{1 - \phi_1}{1 - \phi_2} \right] Q_1 h_1^{\varepsilon_1} h^{-1} - c h^{-1} - g \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= P^{-1} \left[z + (1-z) \frac{1-\phi_1}{1-\phi_2} \right] Q_1 \left(\frac{\phi_1}{1-\phi_1} \right)^{\varepsilon_1} K^{\varepsilon_1} h^{\varepsilon_1-1} - ch^{-1} - g \\
&= Q^{-1} \left[z + (1-z) \frac{1-\phi_1}{1-\phi_2} \right] Q_1 \left(\frac{\phi_1}{1-\phi_1} \right)^{\varepsilon_1} K^{\varepsilon_1} h^{\varepsilon_1-1-(\varepsilon_1-\varepsilon_2)(\alpha-2\delta_2)} - ch^{-1} - g
\end{aligned}$$

ここで,

$$\begin{aligned}
z + (1-z) \frac{1-\phi_1}{1-\phi_2} &= z + \frac{(1-\phi_2)(\alpha-2\delta_2)}{(1-\phi_1)(1-\alpha+2\delta_2) + (1-\phi_2)(\alpha-2\delta_2)} \frac{(1-\phi_1)}{(1-\phi_2)} \\
&= \frac{(1-\phi_1)(1-\alpha+2\delta_2) + (1-\phi_1)(\alpha-2\delta_2)}{(1-\phi_1)(1-\alpha+2\delta_2) + (1-\phi_2)(\alpha-2\delta_2)} \\
&= \frac{(1-\phi_1)}{(1-\phi_1)(1-\alpha+2\delta_2) + (1-\phi_2)(\alpha-2\delta_2)} \quad (2.140)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\gamma^h &\equiv \frac{\dot{h}}{h} = \frac{\dot{H}}{H} - g = P^{-1} [zI_1 + (1-z)I_2] h^{-1} - ch^{-1} - g \\
&= \frac{\phi_1 Q_1}{Q} [\phi_1(1-\alpha+2\delta_2) + \phi_2(\alpha-2\delta_2)]^{-1} \left(\frac{\phi_1}{1-\phi_1} \right)^{\varepsilon_1-1} K^{\varepsilon_1-1} h^{\varepsilon_1-1-(\varepsilon_1-\varepsilon_2)(\alpha-2\delta_2)} - ch^{-1} - g \\
&= Bh^{\varepsilon-1} - ch^{-1} - g \quad (2.141)
\end{aligned}$$

$$\varepsilon \equiv \varepsilon_1[1-(\alpha-2\delta_2)] + \varepsilon_2(\alpha-2\delta_2) > 0 \quad (2.136)$$

$$A \equiv \frac{\phi_1 Q_1}{Q} \left(\frac{\phi_1}{1-\phi_1} \right)^{\varepsilon_1-1} K^{\varepsilon_1-1} \quad (2.137)$$

$$B \equiv A\{\phi_1[1-\alpha+2\delta_2] + \phi_2(\alpha-2\delta_2)\}^{-1} \quad A < B \quad (2.142)$$

このモデルの成長の特徴は、2つの都市タイプの人的資本 ε_1 , ε_2 に関する実質純所得の弾力性の重み付け平均値である ε に依存する。以下の分析において $\varepsilon=1$ の均斉成長のケースと、 $\varepsilon < 1$ の均斉水準のケースを区別する。 $\varepsilon=1$ のときは ε_1 あるいは ε_2 のどちらかが1より大きいか、または両方が1と等しい。

もし、 $\varepsilon=1$ ならば経済は均斉成長に達する。そこでは、 $(A \cdot \rho)/\sigma \cdot 1$ の率で消費と人的資本は成長し、都市規模は $2\varepsilon_1 \times (A \cdot \rho)/\sigma \cdot 1$ の率で成長する。もし $\varepsilon < 1$ ならば、経済は消費と人的資本の均斉水準に収束し、都市はある定常規模に到達する。

もし $\varepsilon=1$ の場合(2.131)式から、 c の均斉成長率は $(A \cdot \rho)/\sigma$ となる。(2.138)式を微分することにより γ^h は一定となり、 h の均斉成長率は c の成長率と等しくなる。 \bar{p}^c と \bar{p}^h を均斉成長率とすれば、以下の関係式を得る。

$$\bar{\gamma}^c = \bar{\gamma}^h = \frac{A - \rho}{\sigma} \quad (2.143)$$

効用の有界性と横断条件を満足する正の均斉成長は次式を必要とする。

$$A - \rho > 0 \quad (2.144)$$

$$\frac{1 - \sigma}{\sigma} A + g - \frac{\rho}{\sigma} < 0 \quad (2.145)$$

均斉成長では(2.118)式より，都市規模は永久に $2\varepsilon_1 \bar{\gamma}^h$ の率で成長する。個々の都市人口の成長率が，国内人口成長率よりも小さければ都市数は増加する。

$\varepsilon < 1$ の時は，均斉成長を解くため $\gamma \leftarrow \gamma^c = 0$ と置き，以下が得られる。

$$\bar{h} = \left(\frac{A}{\rho} \right)^{1/(1-\varepsilon)} \quad (2.146)$$

$$\bar{c} = \left(\frac{A}{\rho} \right)^{1/(1-\varepsilon)} \left(\frac{B\rho}{A} - g \right) \quad (2.147)$$

正の消費には $(B\rho/A) - g > 0$ を必要とするが，これは $B > A$ と $\rho > g$ を所与とすれば，保証される。均衡成長の結果は最適ではない。これは人的資本蓄積の意思決定に伴う外部性と，世帯の人口配分意思決定による外部性に起因する。これらのカギは ε_i と ϕ_i にある。ここで ε_i は以下のようなものである。

$$\varepsilon_1 = \phi_1 + [\Psi_1 / (1 - 2\delta_2)] \quad (2.148)$$

$$\varepsilon_2 = \phi_2 + [\Psi_2 / (\alpha - 2\delta_2)] \quad (2.149)$$

世帯はスピルオーバー利益 Ψ_i を無視して，社会的純利益 ε_i よりむしろ私的純利益 ϕ_i に基づいて投資を行う。

効率的な結果を得るためには，開発公社または地方政府は必要とされる h_i の水準を特定化し，それを設定するインセンティブがなければならない。この後で議論される特定化とインセンティブの問題は，人的資本自体の市場価格が存在するかどうかから得られるものではない。

学生ローンプログラムにより人的資本の効率的な国内市場が存在すると仮定しよう。人的資本は，国内市場において一般的な貸貸率で借りられるとする。そのような市場が存在する都市で，都市開発公社が2種類の運営方法をとる状況を検討する。後に記述する2番目の運営方法において，開発公社がそのような市場で直面する基本的な問題は，人的資本市場が存在しないときと同様である。しかし，増加した人的資本の影の費用を住民に考慮させることにより，開発公社は地域的人的資本の必要量を決めることができる。

人的資本に関して効率的な市場価格が存在する場合，タイプ1の代表的都市における開発公社の最適化問題を以下の2つの方法に書き換えることができる。

$$\max_{T_1, n_1, h_1} 1/2bn_1^{3/2} - T_1n_1 - rh_1n_1 + \lambda(D_1n_1^{\delta_1}h_1^{\psi_1+\theta_1} + T_1 - 3/2bn_1^{3/2} - I_1) \quad (2.150)$$

$$\max_{T_1, n_1, h_1} 1/2bn_1^{3/2} - T_1n_1 + \lambda(D_1n_1^{\delta_1}h_1^{\psi_1+\theta_1} + T_1 - 3/2bn_1^{3/2} - r_1h_1 - I_1) \quad (2.151)$$

第一の方法では、都市開発公社は、彼らの労働者のために h_1 の資本を、国内市場に資本を供給している世帯から、一国内市場を介して一般的な賃貸率で借りる（私的な選択を補足するために、決められた労働者当たり h_1 あるいは、そのマージン）。第2の方法では、都市開発公社は以下のことを認識しているとする。すなわち、指定された h_1 を達成するために世帯は国内市場から資本を借りなければならず、世帯は賃貸費用 rh_1 のローンを支払いつつ所得 $D_1n_1^{\delta_1}h_1^{\psi_1+\theta_1}$ を維持している。

国内人的資本市場を考慮した(2.150)、(2.151)式の都市開発公社のどちらの特定化の方法でも、両ケースにおいて、Henry George 定理が適用され ($\delta_1 W_1 = 1/2bn_1^{1/2}$)、都市規模は依然として(2.19)式を満たすこととなる。しかしながら、(2.150)式では(2.18)式の $1/2bn_1^{1/2}$ から、移転所得 T_1 は rh_1 により減少する。それゆえ労働者は事実上人的資本のために支払うことになる。(2.151)式では労働者は人的資本に対して直接支払うこととなるので、移転所得 T_1 は(2.18)式と同様となる。

これらの議論を要約する。もし都市開発公社が、その都市に関して h_1 の水準を命じることができれば、地域的人的資本のスピルオーバーは潜在的に内部化される。そして、市場解と成長経路が同時に効率的となる。

7. 3 都市群間距離を考慮した人的資本と都市成長モデル

7. 2 では Henderson and Black によるモデルを、筆者自身による解釈、解説を踏まえながら、やや詳しく述べた。彼らの研究は人的資本を考慮した都市群システムの中で、どのような都市形成がなされるのかを検討したものである。彼らは生産形態が異なる2つの都市群から構成される、一国経済モデルを想定した。そして人口移動を考慮しながら、両都市群への効率的な人的資本配分から、両都市群住民の効用均等化、効用最大化の条件、都市群の成長パターンを検討している。

しかし彼らは都市内距離を考慮しているものの、都市間距離を考えていない難点がある。この章では Henderson and Black モデルを拡張し、都市間距離の役割について解析的に明らかにすることを目的とする。

本章のモデルも7. 2のそれと基本構造は類似するが、7. 2との重複は必要最小限に留めて議論を進める。本章のモデルでも都市群はタイプ1とタイプ2に分かれる。タイプ1都市群は原材料を生産し、中間財としてタイプ2都市に移出する。タイプ2都市群では消費財を生産し、タイプ2都市群で消費されると同時に、タイプ1都市群へも移出される。人口および人的資本は自由に移動可能とする。前節のモデルとは異なり、この章では都市群間の距離を考慮する。本来的には各都市間の距離を考慮すべきであるが、その場合、モデルの定式化が著しく複雑となり、解析的分析は不可能となる。

このため本研究では各都市群に属する都市間の距離は無視できるほど小さいと仮定し、都市群間の距離のみを考慮する。この状況は図7-3-2に示される。すなわち各都市群には都市群間交易を行うゲートがあり、全ての財はそのゲートを通じてなされるとする。これは例えば2つの都市群が山脈や大河川によって隔てられている状況が対応する。

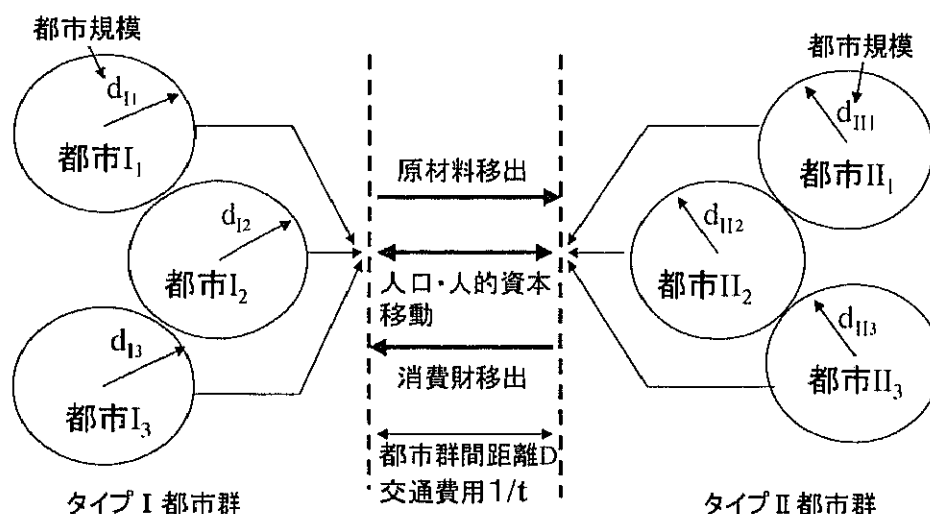


図.7-3-2 人的資本を考慮した都市群システム

さて2つの都市群間距離を D で表そう。この時、都市群間輸送費用を考慮しなければならない。この章では中間財の輸送のみを考え、その費用は *iceberg* 輸送技術としよう。すなわち、中間財の輸送はその財自身を用いてなされるとし、都市群間距離 D を輸送する間に $(1-t) \times 100\%$ ($0 < t < 1$) の財が消費されるものとする。この結果、生産地で1単位の財が移出されるとき、消費地では財の消費可能量は t 単位に減少し、結果として、財価格は $1/t$ 倍になる。*iceberg* 輸送技術を仮定することにより、輸送活動を独立した経済主体として明示することなく、一般均衡分析が可能となるメリットがある。

このモデルでも都市成長の原動力は、世帯の拡大と人的資本投資である。以下では各都市群の経済構造の説明を行う。

7.3.1 タイプ2都市群の構造

タイプ2都市群の各都市は、この経済の消費財を生産することに特化し、消費財は価格 P で競争的な国内市場のもとで取引されると仮定される。各都市には多数の同質な企業が存在し、各企業は労働者1人に対して定義される。代表的企業の生産技術は(3.1)式で与えられる。

$$X_{2j} = D_2(n_2^{\delta_2} h_2^{\psi_2}) h_{2j}^{\theta_2} x_{1j}^{1-\alpha} \quad (3.1)$$

(2.5)式の X_{1i} と対応してみれば、都市集積に伴う外部経済の規模は $(n_2^{\delta_2})$ であり、人的資本は $(h_2^{\psi_2})$ である。 h_{2j} は労働者 j の人的資本、 x_{1j} は第 j 企業がタイプ 1 都市からの移入した中間投入財である。 $\tau (0 < \tau < 1)$ は上述したように iceberg 輸送技術における距離パラメータである。この企業の利潤は $PX_{2j} - x_{1j}/\tau$ で表され、利潤 $PX_{2j} - x_{1j}/\tau$ を x_{1j} に関して最大化することにより、代表的企業での超過利潤を得る。

命題 3-1 タイプ 2 都市群の代表的企業の超過利潤は(3.2)式で与えられる。

$$W_2 = \alpha \left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}} (1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} D_2^{1/\alpha} P^{1/\alpha} (n_2^{\delta_2} h_2^{\psi_2})^{1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (3.2)$$

証明

タイプ 2 都市の代表的企業の行動は次のように表すことができる。

$$\max_{x_{1j}} \pi_2 = PX_{2j} - x_{1j}/\tau = PD_2(n_2^{\delta_2} h_2^{\psi_2}) h_{2j}^{\theta_2} x_{1j}^{1-\alpha} - x_{1j}/\tau \quad (3.3)$$

一階の条件は以下のように表される。

$$\frac{\partial \pi_2}{\partial x_{1j}} = (1-\alpha)PD_2(n_2^{\delta_2} h_2^{\psi_2}) h_{2j}^{\theta_2} x_{1j}^{-\alpha} - 1/\tau = 0 \quad (3.4)$$

これより、以下が成立する。

$$x_{1j} = (1-\alpha)^{1/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} (n_2^{\delta_2} h_2^{\psi_2})^{1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \left(\frac{1}{\tau}\right)^{-\frac{1}{\alpha}} \quad (3.5)$$

これを(3.3)式に代入して、(3.6)式を得る。

$$W_2 = \pi_2 = PX_{2j} - \frac{1}{\tau} x_{1j} \quad (3.6)$$

(3.6)式をさらに計算して証明を得る。

$$\begin{aligned} W_2 &= P \cdot D_2(n_2^{\delta_2} h_2^{\psi_2}) h_{2j}^{\theta_2} x_{1j}^{1-\alpha} - \frac{1}{\tau} x_{1j} \\ &= (1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{(1-\alpha)/\alpha+1} D_2^{1/\alpha} (n_2^{\delta_2} h_2^{\psi_2})^{1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}} \\ &\quad - (1-\alpha)^{1/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} (n_2^{\delta_2} h_2^{\psi_2})^{1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}} \\ &= \alpha \left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}} (1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} (n_2^{\delta_2} h_2^{\psi_2})^{1/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \end{aligned} \quad (3.7)$$

次にタイプ 2 都市群の都市開発公社の行動について述べよう。都市開発公社は都市のタイプを公表し、利潤を最大化するように T_2 と n_2 を選択する。これは以下の最適化行動として定式化される。

$$\begin{aligned} \max \Pi_2 &= 1/2bn_2^{3/2} - T_2n_2 \\ \text{with respect to } T_2 \text{ and } n_2 \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\text{subject to } W_2 + T_2 - \frac{3}{2}bn_2^{1/2} = I_2 \quad (3.9)$$

都市内部での対称性を仮定すれば、(2.44)式の W_2 項は $h_{2j}=h_2$ となる。そして代表的なタイプ2都市の通勤と地代についても、タイプ1都市群と同様に計算される。ここでも、通勤費用と地代は X の合成財により支払われることに注意しておこう。前章でも解いたように Π_2 を最大化し、 $\Pi_2 = 0$ とおくことにより $T_2 = 1/2bn_2^{1/2}$ を得る。簡単な操作を行うことにより、(2.19)式および(2.27)式と同様に、タイプ2都市の均衡都市規模と実質純所得が命題3-2のように得られる。

命題 3-2 都市再開発公社の最適化行動から導かれるタイプ2都市の均衡都市規模(人口), および実質純所得は以下で与えられる。

$$n_2 = C_2 P^{1/(\alpha/2)-\delta_2} h_2^{2\epsilon_2} \quad (3.10)$$

$$I_2 = -bn_2^{1/2} + \alpha\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_2/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (3.14)$$

証明

タイプ2都市の都市開発公社の最適化行動に関して、予算制約式を目的関数に代入すると、(3.11)式が得られる。

$$\max_{n_2} \Pi_2 = \frac{1}{2}bn_2^{3/2} + W_2n_2 - \frac{3}{2}bn_2^{3/2} - I_2n_2 \quad (3.11)$$

$$= -bn_2^{3/2} + \alpha\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{1+\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_2/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} - I_2n_2$$

また、一階の条件から(3.12)式が導かれる。

$$\frac{\partial \Pi_2}{\partial n_2} = -\frac{3}{2}bn_2^{1/2} + (1+\delta_2/\alpha)\alpha\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_2/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} - I_2 = 0 \quad (3.12)$$

長期参入条件を考慮すると、以下のゼロ利潤条件が成立する。

$$\Pi_2 = -bn_2^{3/2} + \alpha\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{1+\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_2/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} - I_2n_2 = 0 \quad (3.13)$$

これを I_2 について解いて、この都市の実質所得が求まる。

$$I_2 = -bn_2^{1/2} + \alpha\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha} P^{1/\alpha} D_2^{1/\alpha} n_2^{\delta_2/\alpha} h_2^{\Psi_2/\alpha} h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (3.14)$$

これをさらに一階の条件に代入すれば次式が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_2}{\partial n_2} = & -\frac{3}{2}bn_2^{1/2} + (1 + \delta_2/\alpha)\alpha\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha}P^{1/\alpha}D_2^{1/\alpha}n_2^{\delta_2/\alpha}h_2^{\Psi_2/\alpha}h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \\ & + bn_2^{1/2} - \alpha\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha}P^{1/\alpha}D_2^{1/\alpha}n_2^{\delta_2/\alpha}h_2^{\Psi_2/\alpha}h_{2j}^{\theta_2/\alpha} = 0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

これを、 n_2 について解いて、タイプ2都市の均衡人口が求まる。

$$\frac{1}{2}bn_2^{1/2} = (\delta_2/\alpha)\alpha\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha}P^{1/\alpha}D_2^{1/\alpha}n_2^{\delta_2/\alpha}h_2^{\Psi_2/\alpha}h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (3.16)$$

$$n_2^{1/2-\delta_2/\alpha} = n_2^{(\alpha/2-\delta_2)/\alpha} = 2b^{-1}\delta_2\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha}P^{1/\alpha}D_2^{1/\alpha}h_2^{\Psi_2/\alpha}h_{2j}^{\theta_2/\alpha} \quad (3.17)$$

$$n_2 = C_2P^{1/[(\alpha/2)-\delta_2]}h_2^{(\Psi_2+\theta_2)/[(\alpha/2)-\delta_2]} \quad (3.18)$$

$$n_2 = C_2P^{1/[(\alpha/2)-\delta_2]}h_2^{2(\Psi_2+\theta_2)/[\alpha-2\delta_2]} \quad (3.19)$$

ここで、 ε_2 と ϕ_2 は以下で定義されるパラメータである。

$$\varepsilon_2 \equiv \phi_2 + \frac{\Psi_2}{\alpha-2\delta_2}, \quad \phi_2 \equiv \frac{\theta_2}{\alpha-2\delta_2} \quad (3.20)$$

$$I_2 = (\alpha-2\delta_2)\alpha^{-1}W_2 = Q_2P^{1/(\alpha-2\delta_2)}h_2^{\varepsilon_2} \quad (3.21)$$

さて個別企業の間接財需要は以下のように計算される。

$$x_1 = (1-\alpha)Q_2(\alpha-2\delta_2)^{-1}P^{1/(\alpha-2\delta_2)}h_2^{\varepsilon_2} \quad (3.22)$$

$$C_2 \equiv [(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha}\delta_2\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}2b^{-1}D_2^{1/\alpha}]^{\alpha/[(\alpha/2)-\delta_2]} \quad (3.23)$$

$$Q_2 \equiv [(1-\alpha)^{(1-\alpha)/\alpha}\delta_2\left(\frac{1}{\tau}\right)^{1-\frac{1}{\alpha}}2b^{-1}D_2^{1/\alpha}]^{\alpha/(\alpha-2\delta_2)}b(2\delta_2)^{-1}(\alpha-2\delta_2) \quad (3.24)$$

これらの数式はタイプ1都市群のものと同様な性質を持つが、相対価格 P を含んでいることが特徴である。

次に、(2.1)式の世帯の最適化問題から、移民と人的資本投資の意思決定を決める必要がある。 I_1 と I_2 の構造が既知であるので、これを求めることができる。その後、国内産出市場の価格 P を求め、成長経路の分析へと進む。

7.3.2 国内の市場均衡

いま、 m_1 をタイプ1都市の数、 m_2 をタイプ2都市の数としよう。 X_1 の国内総供給量は m_1X_1 となる。タイプ2都市群の代表的企業は、中間投入として X_1 財を x_1 だけタイプ1都市から移入する。また両タイプの都市群では、通勤費用は X_1 財により支払われている。これより移入移出のバランス式は、(3.25)式で表される。

$$m_1X_1 = m_2n_2x_1/\tau + m_1(bn_1^{3/2}) + m_2(bn_2^{3/2}) \quad (3.25)$$

このとき、国内世帯間に対称性があるとすれば、各世帯は各都市タイプに同じ労働者の比率を与える。従って任意の時点において、以下が成立する。

$$z = m_1 n_1 / N \quad (3.26)$$

$$1 - z = m_2 n_2 / N \quad (3.27)$$

ここで、 N は国内人口である。需要が供給と等しいことから、以下を得る。

$$m_1 (X_1 - b n_1^{3/2}) = m_2 n_2 [x_1 / \tau + b n_2^{1/2}] \quad (3.28)$$

(2.15)の制約式で両辺を n_1 倍し、これに(2.18)を代入して(3.29)式を得る。

$$X_1 = n_1 W_1 \quad (3.29)$$

これを用いると次式が導かれる。

$$n_1 I_1 = n_1 W_1 + n_1 T_1 - \frac{3}{2} b n_1^{3/2} = n_1 W_1 - b n_1^{3/2} = X_1 - b n_1^{3/2} \quad (3.30)$$

これを上の需給均衡条件に代入して(3.31)式を得る。

$$m_1 n_1 I_1 = m_2 n_2 [x_1 / \tau + b n_2^{1/2}] \quad (3.31)$$

これより(3.32)式が得られる。

$$x_1 / \tau + b n_2^{1/2} = \frac{m_1 n_1 I_1}{m_2 n_2} \quad (3.32)$$

となる。同様にタイプ2都市開発公社の最適化問題の制約式から、(3.33)式が導かれる。

$$n_2 I_2 = n_2 W_2 + n_2 T_2 - \frac{3}{2} b n_2^{3/2} = n_2 W_2 - b n_2^{3/2} = X_2 - b n_2^{3/2} \quad (3.33)$$

(2.44)式、(2.49)式、(2.15)式から(3.34)式が得られる。

$$\begin{aligned} x_1 / \tau + b n_2^{1/2} &= I_2 / \tau (1 - \alpha) (\alpha - 2\delta_2)^{-1} + W_2 - I_2 \\ &= I_2 / \tau (1 - \alpha) (\alpha - 2\delta_2)^{-1} + I_2 (\alpha - 2\delta_2)^{-1} \alpha - I_2 \\ &= I_2 [(1 - \alpha) / \tau + 2\delta_2] (\alpha - 2\delta_2)^{-1} \end{aligned} \quad (3.34)$$

これらの関係を組み合わせ、 z と $1-z$ に関する式から以下が得られる。

$$m_1 n_1 I_1 = m_2 n_2 I_2 [(1 - \alpha) / \tau + 2\delta_2] (\alpha - 2\delta_2)^{-1} \quad (3.35)$$

$$z I_1 = (1 - z) I_2 [(1 - \alpha) / \tau + 2\delta_2] (\alpha - 2\delta_2)^{-1} \quad (3.36)$$

これを(2.78)式、(2.79)式へ代入して(3.37)式の結果を得る。

$$\begin{aligned} z &= \frac{[(1 - \alpha) / \tau + 2\delta_2] (\alpha - 2\delta_2)^{-1}}{[(1 - \alpha) / \tau + 2\delta_2] (\alpha - 2\delta_2)^{-1} + (1 - \phi_2) (1 - \phi_1)^{-1}} \\ &= \frac{[(1 - \alpha) / \tau + 2\delta_2] (1 - \phi_1)}{[(1 - \alpha) / \tau + 2\delta_2] (1 - \phi_1) + (1 - \phi_2) (\alpha - 2\delta_2)} \end{aligned} \quad (3.37)$$

均衡時にタイプ1都市群に住む労働者の家族の比率 z は、 $h(h_1$ または $h_2)$ には依存せず、時間に関しても一定である。一度ある都市に割り当てられた全労働者は、都市のタイプを

変更しようとはしない。移動は通常は新生児を割り当てるときのみ生じ、特に新都市群の場合に起こる。タイプ1都市とタイプ2都市の数 m_1 と m_2 を、国内人口 N の関数として求めることができる。そのとき以下が成立する。

$$m_1 = zNn_1^{-1} \quad (3.38)$$

$$m_2 = (1-z)Nn_2^{-1} \quad (3.39)$$

となる。移民の意思決定を反映している z について解くことにより、両タイプの人的資本 h_1 と h_2 を、一人当たり家族資本ストック h の関数として求めることができる。(2.3)式より $h = He^{gt}$ を所与とすれば、 $h = zh_1 + (1-z)h_2$ となる。(3.78)式と(3.79)式を代入すると次式を得る。

$$h_2 = \frac{\phi_2}{1-\phi_2} Kh \quad (3.40)$$

$$h_1 = \frac{\phi_1}{1-\phi_1} Kh \quad (3.41)$$

ここで K は以下で定義される。

$$K \equiv \frac{(1-\phi_1)[(1-\alpha)/\tau + 2\delta_2] + (1-\phi_2)(\alpha - 2\delta_2)}{\phi_1[(1-\alpha)/\tau + 2\delta_2] + \phi_2(\alpha - 2\delta_2)} \quad (3.42)$$

(3.37)式は都市タイプによる世帯メンバーの変動しない相対的な配分を示している。また制約 $\dot{H} \geq 0$ が安定的な成長経路に沿って満たされることが示される。これより(2.78)式、(2.79)式、(3.47)式から時間に関して微分して、(3.43)式を得る。

$$(\dot{h}_1/h_1) + g = (\dot{h}_2/h_2) + g = (\dot{h}/h) + g = \dot{H}/H \geq 0 \quad (3.43)$$

両タイプの都市で人的資本は同率で平行に成長する。資本移転のみが各労働者タイプから彼らの子供達へ動く必要がある。均衡において人的資本は現存の家計と特定の技術の間 (X_1 あるいは X_2) で移転することはできない。また(2.4)式の制約には拘束されない。

最後にいくつかの関係を組み合わせることにより次式を得る。

$$P = Qh^{(e_1-e_2)(\alpha-2\delta_2)} \quad (3.44)$$

$$Q \equiv \left[\frac{\phi_1 Q_1 \left(\frac{\phi_1}{1-\phi_1} \right)^{e_1-1}}{\phi_2 Q_2 \left(\frac{\phi_2}{1-\phi_2} \right)^{e_2-1}} K^{e_1-e_2} \right]^{\alpha-2\delta_2} \quad (3.45)$$

(3.43)式より h が成長するとき、もし $e_1 > e_2$ ならば消費財の相対価格 P は上昇する。すなわち、もしニュメレール財を生産する都市の人的資本に関する所得弾力性が、消費型都市のそれを上回るとき、消費財はより高価になることは驚くことではない。

命題 3-3 異なる都市群間で、交通体系が整備されない場合、タイプ 2 都市での企業残余利益 W_2 は減少し、純所得 I_2 も減少する。そしてタイプ 2 都市の規模 n_2 は縮小する。 $1 - \phi_2 > 0$ 時、比率 z は拡大し、都市タイプ 1 都市の個数は増える。 $1 - \phi_2 < 0$ 時、 z は縮小しタイプ 1 都市の個数は減少し、都市タイプ 2 の個数は増加する。

成長の特徴は、実証現象を含む都市成長の見方と経済成長の特徴に分けることができる。

7. 3. 3 都市成長

任意の時点で、各都市タイプに雇用される一人当たりの人的資本レベルは異なるが、前節で見たように各都市タイプの人的資本は同率で成長する。すなわち、以下が成立する。

$$\dot{h}_1 / h_1 = \dot{h}_2 / h_2 = \dot{h} / h \quad (3.46)$$

そのとき、 P に関して、都市規模の式(21)と式(12)を式(47)に組み合わせると次式を得る。

$$\frac{\dot{n}_2}{n_2} = \frac{\dot{n}_1}{n_1} = 2\varepsilon_1 \frac{\dot{h}}{h} \quad (3.47)$$

各都市の規模は、 $2\varepsilon_1$ * 人的資本蓄積比率 (\dot{h}/h) の率で人的資本蓄積と共に成長する。ここで、 ε_1 はタイプ 1 都市の人的資本レベルに関する所得弾力性である。もし経済が均斉成長を経験するなら、 ε_1 は 1 に近づくかもしれない。そのように考えれば、都市規模は近似的に人的資本蓄積比率の 2 倍で成長する。(限界的費用に関連する) 都市群に人口を追加することによる限界的な便益から生じる外部性は、人的資本蓄積は直接的に労働者当たりの生産性を高め、間接的には人的資本の約 2 倍の率で成長する都市を形成することになる。

両タイプの都市の数 m_1 と m_2 についてはどうだろうか。(3.37)式から(3.48)式が得られる。

$$\dot{m}_1 / m_1 = (\dot{N} / N) - (\dot{n}_1 / n_1) \quad (3.48)$$

となる。ここで国内人口成長 (\dot{N} / N) は g であり、 \dot{n}_1 / n_1 は(3.47)式より与えられる。すなわち以下が成立する。

$$\frac{\dot{m}_1}{m_1} = \frac{\dot{m}_2}{m_2} = g - 2\varepsilon_1 \frac{\dot{h}}{h} \quad (3.49)$$

もし国内人口成長率が人的資本蓄積を源とする各都市規模の成長率より高い場合、人的資本蓄積と共に都市の数は増加する。(3.49)式と(3.47)式から、次の命題を得る。

命題 3-4 各都市の規模は人的資本蓄積率と比例して成長する。各都市タイプ間の相対的規模と数が時間に関して一定とすれば、各タイプの都市成長は平行し、一定の相対的都市規模分布を維持する。そしてこれは都市群間で交通体系が整備されるかどうかとは関係しない。

7. 3. 4 経済成長

都市発展の最後の議論は、経済の成長経路を解くことにある。分析は標準的で簡潔であ

る。代表的な世帯の消費と人的資本の発展を検討する必要がある。消費に関しては(2.71)式を時間に関して微分し、(2.73)式と(2.75)式を組み合わせ、次式を得る。

$$\gamma^c \equiv \frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\sigma} (\phi_1 I_1 h_1^{-1} P^{-1} - \rho) \quad (3.50)$$

人的資本成長経路については、メンバー当たりの人的資本の平均水準 h に焦点を当てると、以下のように表現される。

$$\frac{\dot{h}}{h} = \frac{\dot{H}}{H} - g \quad (3.51)$$

さらに(2.64)式から、(3.52)式を得る。

$$\gamma^h \equiv \frac{\dot{h}}{h} = z I_1 P^{-1} h^{-1} + (1-z) I_2 P^{-1} h^{-1} - c h^{-1} - g \quad (3.52)$$

これらの式へ、(2.27)式と(2.60)式より I_1 と I_2 を、(2.103)式、(2.104)式より h_1 と h_2 を、(2.111)式より P を代入し、1人当たりの消費と人的資本の成長率の式を得ることができる。

$$\gamma^c \equiv \frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\sigma} (A h^{\varepsilon-1} - \rho) \quad (3.53)$$

$$\gamma^h \equiv \frac{\dot{h}}{h} = B h^{\varepsilon-1} - c h^{-1} - g \quad (3.54)$$

$$\varepsilon \equiv \varepsilon_1 [1 - (\alpha - 2\delta_2)] + \varepsilon_2 (\alpha - 2\delta_2) > 0 \quad (3.55)$$

$$A \equiv \frac{\phi_1 Q_1}{Q} \left(\frac{\phi_1}{1 - \phi_1} \right)^{\varepsilon_1-1} K^{\varepsilon_1-1} \quad (3.56)$$

$$B \equiv A \{ \phi_1 [(1 - \alpha) / \tau + 2\delta_2] + \phi_2 (\alpha - 2\delta_2) \}^{-1} \quad A < B \quad (3.57)$$

命題 3-5 都市群間の交通体系が不十分の時、所得と消費の成長は減速し、人的資本の蓄積も遅れる。

7. 4 おわりに

本研究は Henderson and Black のモデルに都市群間距離を入れ、その影響を解析的に調べたものである。その結果、交通基盤の未整備さは経済成長を鈍化させるにとどまらず、人的資本蓄積(=教育)の水準までも低下させ、その影響は累積的なものとなる。本研究では交通投資が内生化されていないが、交通投資を行えば、やはり人的投資は減少する。このことは最適な人的投資と交通投資の配分が存在することを示している。また本研究では国土の空間構造が極めて単純化されているが、そのより現実的な一般化も課題である。ただし、一般的な空間構造については、解析的アプローチは不可能であり、数値シミュレーション

ョンに頼らざるを得ない。それらを踏まえて、実証的な応用を試みてみたい。

参考文献

- (1) Henderson, V. and Black, D. (1999), A Theory of Urban Growth, Journal of Political Economy Vol. 107, No.2, pp.252- 284
- (2) 小林潔司・奥村 誠(1996), 高速交通体系が都市システムの発展に及ぼす影響に関する研究, 土木計画学研究・論文集 No.13, pp.57-66

第 8 章

結論

8. 1 研究から得られた知見

産業革命以来の技術革新であるIT革命の波が地球全域を囲み込み、新たなサイバー空間を形成し、現在も拡大しつづけている。本研究では、サイバースペースと既存都市経済システムとの関係を説明するためのモデルを構築し、シミュレーションによる分析を試みた。

第二章では、IT革命がもたらす新たな空間の場としての性質を、物理空間システムとの関連性を明確にしながら解説し、国内外における情報化政策の動向についてまとめた。地域における情報の平等性あるいは情報リテラシーの向上を達成するための地域情報化政策により、各地域の住民は情報空間の公共性を享受できるようになり、それは地域あるいは都市の集積の魅力度も高めることにつながる。情報を効率的に供給するための政策は、生産活動の物理的な集中あるいは分散化をもたらし、経済における物理空間システムにも影響を与えつつあることが示された。

第三章では、交通混雑による外部不経済性と集積の経済による外部経済性を伴った都市モデルを構築し、2種類の外部性を同時に内部化するためのピグー式税金・補助金の導出を行った。さらに、数値シミュレーション分析により、2種類の外部性が都市サイズ決定のメカニズムに与える影響を明らかにするとともに、内部化政策としての税金・補助金が都市空間構造に与える効果を分析した。集積の経済に対する補助金政策は、都心部の企業の集積度をより高め、交通混雑に対する税金政策は郊外からの通勤を抑制することになり、コンパクトな最適都市をもたらしている。

第四章では、第二章で展開したサイバースペースと物理的空間の関連性を、都市経済レベルでモデル化した。サイバースペースで発展しつつある新たな商業活動・業務形態であるバーチャル企業や在宅勤務の特定化を行うことにより、都市内の情報インフラ及び交通インフラ構造、情報及び財フローの空間構造を数値シミュレーションにより明らかにした。都市内の情報インフラは都心ほど高容量でなければならないことが示されている。

第五章では、第四章の単一都市経済モデルを複数都市モデルに発展させることにより、バーチャル都市の特定化を行った。サイバースペースで行われる社会・経済活動としての新たな空間（場）である仮想都市のあり方と物理的システムとの関連性をシミュレーションにより分析

した。物理空間における集積の経済とサイバースペースにおける仮想的な集積の経済が導入された。交通費用の条件に依存して、既存物理都市に再集中するバーチャル都市と、郊外に既存都市からは孤立して集積するバーチャル都市の2ケースが得られている。両ケースにおける、都市間交通インフラ・情報インフラ、及び農業用地の空間構造のあり方が示されている。

第六章では、サイバースペースを形成する重要な情報インフラのひとつである移動体通信インフラに焦点をあてて、その最適配置構造について分析した。通信衛星と地上波の無線情報サービスに関連する、周波数と衛星軌道の希少性に注目して、最適周波数割当と最適衛星軌道を理論的に導出した。衛星打ち上げなどの固定費が大きい場合や公共性の高い情報サービスを提供する通信衛星は、高軌道に配置すべきとの解が得られている。また、サービスエリア（可視領域）に関する外部不経済性を考慮した場合においても、最適軌道は高くなることが示されている。

第七章では、人的資本ストックと都市群成長との関連性を分析している。サイバースペースに蓄積される知識資本ストックと物理都市群システムとの関係を理論モデルにより検討した。交通基盤の不整備さは、都市経済成長を鈍化させるにとどまらず、人的資本蓄積の水準までも低下させることが示されている。

8. 2 今後の課題

本研究では、特定化されたいくつかのモデルを用いて、ITの進展の影響を明らかにしてきた。都市内の人的・物的フローの移動と情報化との関連性、サイバースペース内の仮想的な集積の経済の効果と物理世界の集積の経済の効果との関連性、有線通信インフラと無線通信インフラの代替・補完関係、人的資本ストックと空間要因を組み込んだ複数都市システムの経済成長との関連性、サイバースペースと時間価値との関連性など、今後取り組む課題も多く残されている。

IT（情報技術）が、どのような新しい可能性を示してくるのかは現在も未知数である。情報技術の予測とそれに基づいた社会・経済システムのあり方が提示されなければならない。現在のITにより生み出された産物の多くは、既存世界を模倣したものとなっている。その意味からすれば、仮想と現実の世界を同時に生きてゆきかければならないIT革命時代において、仮想の世界のあり方やその経済的な意味をより具体的かつ詳細に検討してゆく必要があるだろう。