

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26284129

研究課題名（和文）アジア・アフリカの首都圏における土地利用変化の空間可視化と将来予測

研究課題名（英文）Spatial visualization and future prediction of land use changes in capital regions in Asia and Africa

研究代表者

村山 祐司（MURAYAMA, Yuji）

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：30182140

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,000,000円

研究成果の概要（和文）：21世紀に入り、アジア・アフリカでは、大都市とくに首都への人口集中が加速している。さらに、首都では大都市圏化が進み、土地利用の機能分化、都市活動の水平的・垂直的拡大が急速に進行している。本研究は、人口急増の首都圏を対象に、大都市圏化の空間的プロセスとメカニズムを解明するとともに、将来における都市空間構造を予測することを目的とした。具体的には、リモートセンシングとGISの技術を駆使して、土地利用の変化を通時的に空間可視化し、その規定要因を画像解析、統計処理や現地フィールドワークにもとづき探究した。さらに、空間的シミュレーションによって今後の土地利用の推移（2020年と2030年）を予測した。

研究成果の概要（英文）：This research examined the urban growth trends and patterns of metropolitan regions in Asia and Africa from a geographical perspective. State-of-the-art geospatial tools and techniques from the geographic information systems and science, remote sensing, and machine learning disciplines were used for the land change analysis.

In addition to the empirical results, the methodological approaches employed and discussed in this research showcase the potential of geospatial analysis (e.g., land change modeling) for improving our understanding of the trends and patterns of urban Asia and Africa. Furthermore, given the complexity of the urban growth process across the world, issues raised in this research contributed to the improvement of future geospatial analysis of urban growth in the developing regions.

研究分野：人文地理学

キーワード：GIS リモートセンシング アジア アフリカ 首都圏 都市化 空間分析 土地利用

## 1. 研究開始当初の背景

欧米先進国では、20世紀末には大都市における人口増加は鈍化し、反都市化(counter urbanization)現象が顕在化した。今や都市人口が減少する時代に入っている。その一方、発展途上諸国では人口爆発は未だ止まず、大都市とくに首都への人口集中が続いている。なかでも、経済成長が著しいアジア・アフリカでは、農村から大都市(首都)への人口移動が勢いを増している。社会増と自然増を伴う急激な人口集積は居住・生活環境の悪化をもたらし、都市化前線地帯においてはスクォッターやスラムの拡大など深刻な都市問題を引き起こしている。中心部(CBD)では、外国資本の進出がオフィスビルの無秩序な林立をまねいている。このような国々では、秩序ある都市成長を目指して、土地利用規制など適切な対策を急ぐとともに、中期的には持続可能な都市計画や地域政策を立案する必要に迫られている。

首都への人口一極集中(首位都市卓越性の深化)については、地理学にとどまらず経済学や社会学でも多くの調査研究が蓄積されてきた。しかし、アジア・アフリカにおける多数の首都群を対象に、同一尺度で網羅的にデータを収集し、都市域の拡大を空間的に可視化したり、都市化の程度を相対化したり、ドライビングフォースや発展段階の差異などに着目しながら、首都群を比較した実証研究はきわめて少ない。アフリカの都市化とアジアの都市化では、形成要因も異なることが予想される。都市化の将来予測を行った研究も散見されるが、一部の首都群に考察がとどまり、体系的に行われていない。

研究代表者および分担者は、ここ数年間、発展途上国の都市化の研究を推進してきた。この過程で、アジア・アフリカでは、首都や大都市の属性に関する基本的データ(地図や統計資料)がきわめて少ないことに気づいた。経年的に都市域の水平的・垂直的拡大や社会

経済的属性を追尾しようとする、データが欠損しているため研究が先に進まない。時系列的に都市域の拡張を空間可視化するのは至難の業である。都市域の拡大を示した紙地図はきわめて少ないし、アフリカに至っては、首都や大都市の境界さえ確定してないことも珍しくない。このような現状を踏まえると、発展途上国の都市化研究では、系統的に資料を収集し、大都市(首都)別に同一基準でデータベースを構築することが喫緊の課題といっても過言でない。社会経済的属性については、各国のセンサスをもとに、基準や定義をそろえながら地理行列を作成することが欠かせない。理想的には、時間軸を加え、地理行列から地理行列体へと拡張していくことが求められる。一方、都市域の空間可視化には、高精細衛星画像の活用が有効である。リモートセンシングとGISを組み合わせれば、経年的に土地利用の空間的变化を把握できる。

## 2. 研究の目的

アジア・アフリカのなかでも急激な経済成長を遂げる発展途上の国々では、プライマシーの深化(首都への経済集中)が均衡のとれた国土形成の阻害要因として浮上している。首都域で急激に進む都市機能の水平的・垂直的拡大は居住環境を悪化させ、持続可能な発展の障害となっている。このような状況下において、首都域の土地利用変化を明らかにし、大都市圏化のメカニズムを解明する基礎的学術研究が求められている。今後の趨勢を予測する応用研究も要請されている。

本研究では、地理空間情報のデータベースの作成から着手し、土地利用の変化を過去・現在・将来へと一連のプロセスとしてとらえる。アジア・アフリカにおいて、首都を対象とした地理属性データベースを構築することは大きな意義がある。欧米先進国ではこの種のデータは系統的に整備され、随時更新されてきているが、アジア・アフリカでは一

部の首都や大都市のみ断片的に作成されているにすぎない。大都市圏化の状況や進行速度は国によって異なるので、都市化メカニズムの探究は国別に慎重に行うことが重要である。

一極集中を鈍化させ、国全体として均衡のとれた国家的都市群システムを形成するには、今後、首都はどんな役割を果たすべきであろうか。人口集中を抑え、持続可能な居住環境を構築するには、どのような社会経済政策、大都市圏計画を遂行すべきなのか、地理学的観点から考察することによって、具体的な提言に結びつける。

### 3. 研究の方法

本研究は3年計画であり、リモートセンシングおよびGISの技法を援用した画像処理・空間分析と現地でのフィールドワークを組み合わせ、調査研究を推進した。まず、データベースの構築と土地利用変化の空間可視化（水平的拡大）に取り組んだ。次に、土地利用変化のメカニズムを解明するとともに、空間予測モデルを開発して将来の土地利用を予測した。そして、導出した土地利用変化のパターンとプロセスから、首都圏の空間的な将来像を探った。

研究対象は、北京、マニラ、ジャカルタ、ハノイ、バンコク、ヤンゴン、ダッカ、カトマンズ、テヘラン、ダカール、パマコ、ナイロビ、リロングウェ、ハラレ、ヨハネスバークの15都市である。対象年次は1990年、2000年、2010年、2014年、2020年（予測）、2030年（予測）とした。1990年を出発点とするのは、アジア、アフリカ首都圏の急激な都市化が1990年代初頭に顕在化したことに加え、衛星画像データの入手しやすさを考慮している（とくに高精細衛星画像は、1980年以前は入手しがたい）。

### 4. 研究成果

高精細衛星画像を用いて15都市の境界を同一基準で確定し、1990年代以降の土地利用の空間的な拡大を可視化した。土地利用の凡例は、高密度市街地、低密度市街地、荒地、森林、水体（河川・湖）、耕作地、草地に区分し、従来の諸研究との汎用性をもたせた。土地利用の分類にあたっては、適合度を高めるためにハイブリッド法を用いた。また、MOS概念を適用し、エラーを少なくする工夫を施し、精度を高めた。ついで画像処理を行った後、空間分析により導いた様々な指標（空間的メトリック、エントロピーなど）を都市別に算出した。熱バンドを利用して首都圏の気温分布図を作成し、ヒートアイランド効果も定量的に分析した。

土地利用変化（1990年～2000年）の推移確率行列をもとに、改良マルコフ・セルラーオートマタの予測モデル(Murayama and Thapa, 2011)を用いて、2014年の土地利用を推定した。つぎに、推定結果を2014年の実際の土地利用と照らし合わせ、合致度によって予測の精度を検証した。両者がきわめて類似していれば、構築した空間予測モデルが有効であるとみなせるので、このモデルを用いて2020年と2030年の土地利用予測を試みた。また、フィールドワークを実施して、都市域の水平的拡大、垂直的拡大、あるいは都市機能の分化の度合いなどを把握した。

分析結果は可視化し、WebGIS化するとともに、作成した土地利用データはホームページ上でダウンロードできるようにした。

三年間にわたる研究の成果は、Springer Nature社から2017年3月31日に、Urban Development in Asia and Africa: Geospatial Analysis of Metropolisesのタイトルで出版した（編者は、Y. Murayama, C. Kamusoko, A. Yamashita, R.C. Ronald）。

いずれの章も、都市の起源と歴史、国家的都市システムにおける地位、都市的土地利用

の空間パターンと変化，都市発展の要因，持続可能な都市発展の法則について論述した。

発展途上国における多数の大都市を対象に，同一基準で，大都市圏化のプロセスを定量的に比較したり将来を予測したりすることは，かなり挑戦的で困難なタスクである。地理空間情報が，先進諸国の都市と比べて圧倒的に少ないからである。センサスは科学的な分析を可能にする貴重な情報源であるが，国によって調査項目や実施年度が異なるうえ，調査が10年以上行われていない国も多い。単位統計区の設定は国によってバラバラであり，そもそも小地域統計や境界地図を整備している国は少ないのが実状である。

発展途上国における都市化研究に威力を發揮するのがsatellite imageである。近年，Landsat，SPOT，ALOS，IKONOS，QuickBirdといった高精細なsatellite imageが無料もしくは安価に入手でき，GISやリモートセンシング（RS）の技術を駆使して，高度な時空間分析が可能になってきた。とくにLandsat imageは，全世界を対象に1970年代からデータが蓄積されており，同一基準で多数の大都市を時系列的に比較できるという点で，有用性が高い。

GISとRSを援用して土地利用・被覆の分類や空間パターンを導出する手法の開発が進んでいる。Random Forests classification，Support Vector Machine classificationといった精緻な技法を用いて，都市的土地利用パターンやその変化をより精確に把握できるようになった。最近では，cellular automataやagent modelingなど，複雑系科学を援用した土地利用予測研究が成果を上げている。マスタープランの策定などに大きな貢献が期待される。

ただ，欧米先進国と比べて，発展途上国の都市の将来には不確定要素が存在し，過去から現在までのプロセスを踏まえ将来の都市化を予測するという，本研究で用いた帰納的思

考が成り立たなくなる可能性も指摘しておかねばならない。アジア，アフリカには，政治的に不安定な国が多い。政情不安は経済や住民生活に直接的打撃を与え，持続的な都市成長を揺るがしかねない。また，突発的なイベントが起こると，都市基盤が脆弱なため都市の経済・社会に多大な影響をもたらす。干ばつや洪水といった自然災害に対しては，大都市ほど被害が甚大であり，復興には時間がかかる。本研究で用いた分析枠組では，このような不確定要素に対処することは難しく，複雑系科学を援用した空間的シナリオ分析など，新たなモデルの構築が求められる。

近年，アジア，アフリカの大都市中心部では高層マンションやオフィスビルの建設が進んでいる。本研究では，このような都市的土地利用の垂直的拡大については分析・考察できなかつた。建築物や樹木の高さを計測可能なLidar計測技術が発展を遂げており，最近では，ALOSなどの衛星画像から自動的に高さ情報を取得する技術が確立されている。この技術を活用すれば，DSMとDEMの差分をとって高さ情報を容易に取得できる。水平的拡大と垂直的拡大の両面から総合的に都市化のプロセスを探究していくことが可能になる。このアプローチは今後の課題として残されている。

##### 5．主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計15件)

Estoque, R.C., Murayama, Y. and Myint, S., Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 査読有, 577, 2017, 349-359. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.10.195

Estoque, R.C. and Murayama, Y., A worldwide country-based assessment of social-ecological status (c. 2010) using the social-ecological status index. *Ecological Indicators*, 査読有, 72, 2017,

605-614.

DOI:10.1016/j.ecolind.2016.08.047

Estoque, R.C. and Murayama, Y., Quantifying landscape pattern and ecosystem service value changes in four rapidly urbanizing hill stations of Southeast Asia. *Landscape Ecology*, 査読有, 31, 2016,1481-1507.

DOI: 10.1007/s10980-016-0341-6

Hou, H., Estoque, R.C. and Murayama, Y., Spatiotemporal analysis of urban growth in three African capital cities: A grid-cell-based analysis. *Journal of African Earth Sciences*, 査読有,123, 2016, 381-391.

DOI:10.1016/j.jafrearsci.2016.08.014

Murayama, Y., Estoque, R.C., Hou, H., Gong, H., Simwanda, M., Subasinghe, S. and Zhang, X., Visualization of land-use/cover changes in major Asian and African cities. Annual Report on the Multi Use Social and Economic Data Bank, University of Tsukuba, Japan,査読無, 2016.

Subasinghe, S., Estoque, R.C. and Murayama, Y., Spatiotemporal analysis of urban growth using GIS and remote sensing: A case study of Colombo Metropolitan Area, Sri Lanka. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 査読有,5, 2016, 197.

DOI:10.3390/ijgi5110197

Xinmin, Z. and Murayama, Y. (2016). Urban growth monitoring and prediction with remote sensing and GIS in Wuhan region, China. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, 査読無,12, 2016, 11-15.

Estoque, R.C. and Murayama, Y., Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various

spectral indices. *Ecological Indicators*, 査読有, 56, 2015, 205-217.

doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.037

Estoque, R.C., Murayama, Y. and Akiyama, C.M., Pixel-based and object-based classifications using high- and medium-spatial-resolution imageries in the urban and suburban landscapes. *Geocarto International*, 査読有, 30, 2015, 1113-1129.

doi.org/10.1080/10106049.2015.1027291

Gong, H. and Murayama, Y., WEB-GIS for visualizing land use/cover change in mega-cities in developing countries. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, 査読無, 11, 2015, 21-25.

Estoque, R.C. and Murayama, Y., Intensity and spatial pattern of urban land changes in the megacities of Southeast Asia. *Land Use Policy*, 査読有, 48,2015, 213-222.

doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.017

Estoque, R.C., Murayama, Y., Tadono, T. and Thapa, R.B., Measuring urban volume: geospatial technique and application. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, 査読無, 11, 2015,13-20.

Khaleda, S. and Murayama, Y., Identification of suitability of sites for microenterprises for value chain development: A study in Gazipur District, Bangladesh. *Growth and Change*, 査読有,46, 2015, 274-291.

DOI: 10.1111/grow.12082

Munthali, K.G. and Murayama, Y., Modeling deforestation in Dzalanyama Forest Reserve, Lilongwe, Malawi: a multi-agent simulation approach. *GeoJournal*, 査読有,80, 2015, 743-757.

DOI: 10.1007/s10708-014-9592-4

Murayama, Y., Estoque, R.C., Subasinghe, H., Hou, H. and Gong, H., Land-use/land-cover changes in major Asian and African cities. Annual Report on the Multi Use Social and Economic Data Bank, 査読無,92, 2015, 11-58.

〔図書〕(計5件)

Murayama, Y., Kamusoko, C., Yamashita, A. and Estoque, R.C. (Eds.) Urban development in Asia and Africa - Geospatial analysis of metropolises. Springer Nature, Singapore, 2017, 1-424.

山下亜紀郎編著, 土地利用でみるアジアの都市化と自然環境. 筑波大学出版会, 2016,1-162.

〔その他〕

ホームページ等

Mega-cities Project: Urbanization in Major Asian and African Cities

<http://giswin.geo.tsukuba.ac.jp/mega-cities/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村山 祐司 (MURAYAMA, Yuji)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号: 3 0 1 8 2 1 4 0

### (2) 研究分担者

山下 亜紀郎 (YAMASHITA, Akio)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号: 6 0 3 9 6 7 9 4