

サービスの組合せに着目した複合サービス施設の最適配置

OPTIMAL CONFIGURATION OF MULTIPLE SERVICE FACILITIES AND ITS DEPENDENCE ON THE COMBINATION OF PROVIDING SERVICES

鈴木 勉*
Tsutomu SUZUKI

This article formulates an optimal location problem for multiple service facilities which provide with some part of all the services. Two facilities which provide with high degree overlapping services have mutually expulsive relation each other. However, the relation shifts to mutually complement as the services provided by the facilities diversify and the degree of overlapping facility function decreases. It is found that the balanced condition of the two brings about non-uniform optimal configuration of facilities generally. It is notable that the high degree overlapping facilities should be located so that the configuration has a vibrated systematic pattern.

Keywords: *multiple service facilities, facility location, Voronoi diagram, travel distance*

複合施設, 施設配置, ボロノイ図, 移動距離

1. はじめに

近年, 地域施設における複合化や多機能化の動きが盛んである。例えば, 小中学校等の学校教育施設と公民館, 図書館等の社会教育施設を同一建物として設置するコミュニティスクールの例や, 保育園や幼稚園, 小学校に高齢者施設を隣接させ, 世代間交流を促進しようとする例など, 管轄官庁の垣根を越える積極的試みも見られるようになってきている。公立小中学校の空き教室を利用して, デイサービスセンターや学童保育所とするケースも現れているが, これも異なる機能を持つ施設の複合化と見なすことができる。また, 立地問題の緩和策として, 廃棄物焼却場の余熱を利用して温水プール等を併設する事例も増加してきているが, これも複合化の範疇でとらえることができよう。

このような複数種の施設の空間的統合だけではなく, サービス水準の向上を目的とした単一施設の多機能化によって, 同種の施設でもそのサービス内容が施設毎に個性化し, それによって施設間に役割分担が現れる例も見られる。分散配置したそれぞれの図書館がカバーする分野を差別化し, 図書購入の重複率をさけながら, 蔵書検索・電子図書館などのオンライン化の充実により, 相互連携によって他図書館の図書利用も可能にする試みがされている。施設の提供

するサービスの多機能化が進むということは, それらのサービスを細分化して見れば, 施設間のサービスに差が生じ, 同種の施設でも相異なる多様なサービスが複合化していると解釈することができる。

このような地域施設の複合化の理由としては, 地方部においては, 自治体の財政力の弱さという背景から, 公共用地の有効利用や管理運営の合理化による経費節減を目的として行われている。自治体が単独で公共施設整備を行うことが困難な場合もあり, 広域市町村が複合施設を共有するケースも見られる。一方, 大都市都心部では, 高地価による公共用地難を背景として, 土地・空間の高度利用を進めることを目的として行われている場合が多く見られる。しかし, コミュニティスクールの考え方のように機能上の相乗効果を期待するという積極的理由から複合化が行われる場合もある。また, 公共施設ではないが, 全国各地で見られる郊外部における大規模商業コンプレックスも, 商業施設の複合化したものと見なすことができる。

このように地域施設が複合サービスを提供する場合, 施設の最適配置はどのようになるであろうか。本論文では, 以下, 配置の評価指標として, 施設までの総移動距離あるいは平均移動距離の最小化するという Weber 型の問題を対象とする。Weber 型の最適施設配置に関する研究の中で複数のサービスを扱ったものとしては, 提供サ

* 筑波大学社会工学系 講師・博士(工学)

Assistant Prof., Institute of Policy and Planning Sciences, University of Tsukuba, Dr. Eng.

ービスに階層構造を持つ施設の最適配置を論じた研究がある(鈴木(1990), Okabe *et al.* (1997)). これらの研究では, 下位の施設のサービスが上位の施設でも提供されるといふ包含関係の仮定に基づいている。しかし, この階層構造を持つ施設は複合サービス施設の特例ケースと考えられる。施設間に包含関係が成立せず, 施設 A でしか提供されないサービスもあれば, 施設 B でしか提供されないサービスもあるといった場合がより一般的である。岸本(2000)はこのような多層的な構造を持った施設群の最適配置を求める手法を開発し, 複合施設や迷惑施設と複合させた場合の最適配置などを議論している。

2つの施設を取り上げたとき, 一方の施設の提供するサービスの内, 他方の施設でも提供しているサービスの割合を重複度と呼ぶことにする。このとき, Weber 型の施設配置では, 提供するサービスの内容の重複度が大きい施設同士は, 相互排斥の関係にある。すなわち, お互いに離れて立地しようとする排斥の力が働く。しかし, 施設の提供するサービスが多様化し, 施設機能の重複度が減少するにつれ, 施設間の関係が相互補完に移行する。この場合, お互いが近接して立地してもよい状況となる。このように, 複合化した施設に対しては, 近隣住区論のような生活圏のレベル毎に施設を配置するというような古典的な配置パターンは必ずしも成立せず, 上述の排斥と近接のバランスが最終的にもたらす適正な配置パターンを明らかにしておく必要がある。

そこで本研究は, 複数のサービスが空間的に結合した複合サービス施設の最適配置を求め, サービスの組合せが最適配置にどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とする。複合化のパターンは多数の組合せが考えられるが, 本研究ではその中でどのような複合化が望ましいかという問題は扱わず, あらかじめ複合化することが与えられている施設群の最適配置パターンがどのようなものかを明らかにすることを主眼とする。

続く2章では, 本論文で対象とする複合サービス施設の定義を行い, その最適配置問題を定式化する。3章では, 最も単純な線分都市での解析解を導出し, 解の基本的特性を明確にする。そして4章では, 都市平面上での問題を非線形計画問題として解く解法を概説し, 施設数が少ない場合と多い場合について計算例を示すことにより, 複合サービス施設の最適配置パターンの特性と, サービスの組合せとの関係について論じる。最後に5章で本論文の結論と課題をまとめる。

2. 複合サービス施設の最適配置問題の定式化

(1) 複合施設の多義性と本論文での定義

施設の複合化とは, どのように定義されるであろうか。屋敷・谷口・山口(1993)は, 生涯学習化社会に向けた学習基盤整備の具現化として文教施設(学校)と地域施設の複合化を取り上げているが, この中で複合の多義性を指摘している。すなわち, 複合とは元来「2種以上のものが合わさって一つとなること」, つまり集合体であるが, 施設における複合の意味としては, 空間的結合の形態, 管理運営の方法, 所有関係, 機能・活動の連携状況等により様々な解釈があり得るため, 狭義には同一の建物や敷地内に複数種の施設が同居するという空間的結合の状態を指すが, 広義には建物や敷地が分離していても相互利用や共同事業を行うなどの機能的連携を有すればよいとする場合もあるとしている。こうした整理をした上で, 屋敷他は,

「複合建築」という語が一般に機能的連携を条件としない空間的結合を意味することを指摘し, 論文での定義として, 機能的連携の有無を問わず同一建物あるいは同一敷地内に複数の用途や機能を持たせた施設(空間複合)を意味することとしている。

一方, 大内・高倉・横塚(1994)は, 救急医療というサービスが, ドクターカー等の救急施設(あるいは救急車の配備される消防施設)と, 救急病院等の医療施設の連携で成立していることに着目し, これらを複合施設と捉えた上で双方の施設の適正配置を論じている。この場合の複合化とは, 地域内においてあるサービスの実現に複数用途の施設群が相互補完を行うことを意味しており, 上の整理に依れば, 機能的連携を有すること(機能複合)を意味している。

さらに, 病院と調剤薬局のように, 上述のようなサービスの供給側での複合は見られなくても, 需要側で同時に利用することの多い施設の組合せもあり, 利用者が同時利用するような一連の施設(利用複合)も広義の複合施設と位置づけることができる。

このように, 複合施設には様々な定義があり得る(図1)が, 本論文では最初に挙げた空間複合の意味での複合施設を対象とすることとし, 一施設がその場所で複数のサービスを提供することを明確に表すために, 以降, 「複合サービス施設」と呼ぶ。本論文では, 複合サービス施設の最適配置が複合化されていない場合とどのように異なるかを明らかにすることを目的とする。

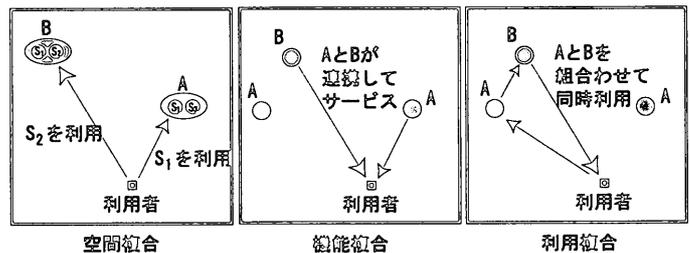


図1 複合施設の類型

(2) 複合サービス施設のサービスの組合せ

施設の提供するサービスの組合せ方は, 施設数やサービスの種類数が多くなるほどネズミ算的に増加するが, 本論文では複合化の影響のみを抽出するために, サービスや施設は全て対等であるとする。すなわち, サービスに優劣がある場合は, より重要なサービスを持つ施設ほど最適性が優先されることになるし, また, 施設間に提供

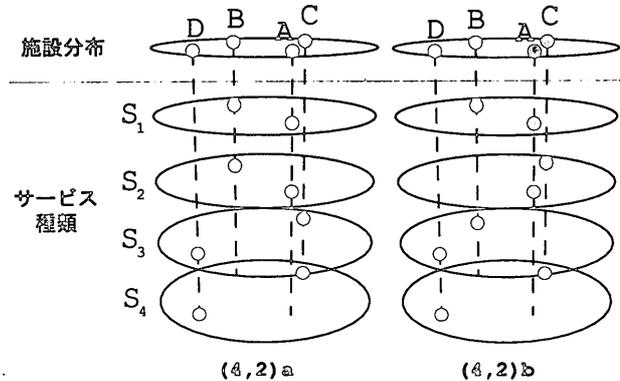


図2 複合サービス施設におけるサービスの組合せの例($n=4, k=2$)

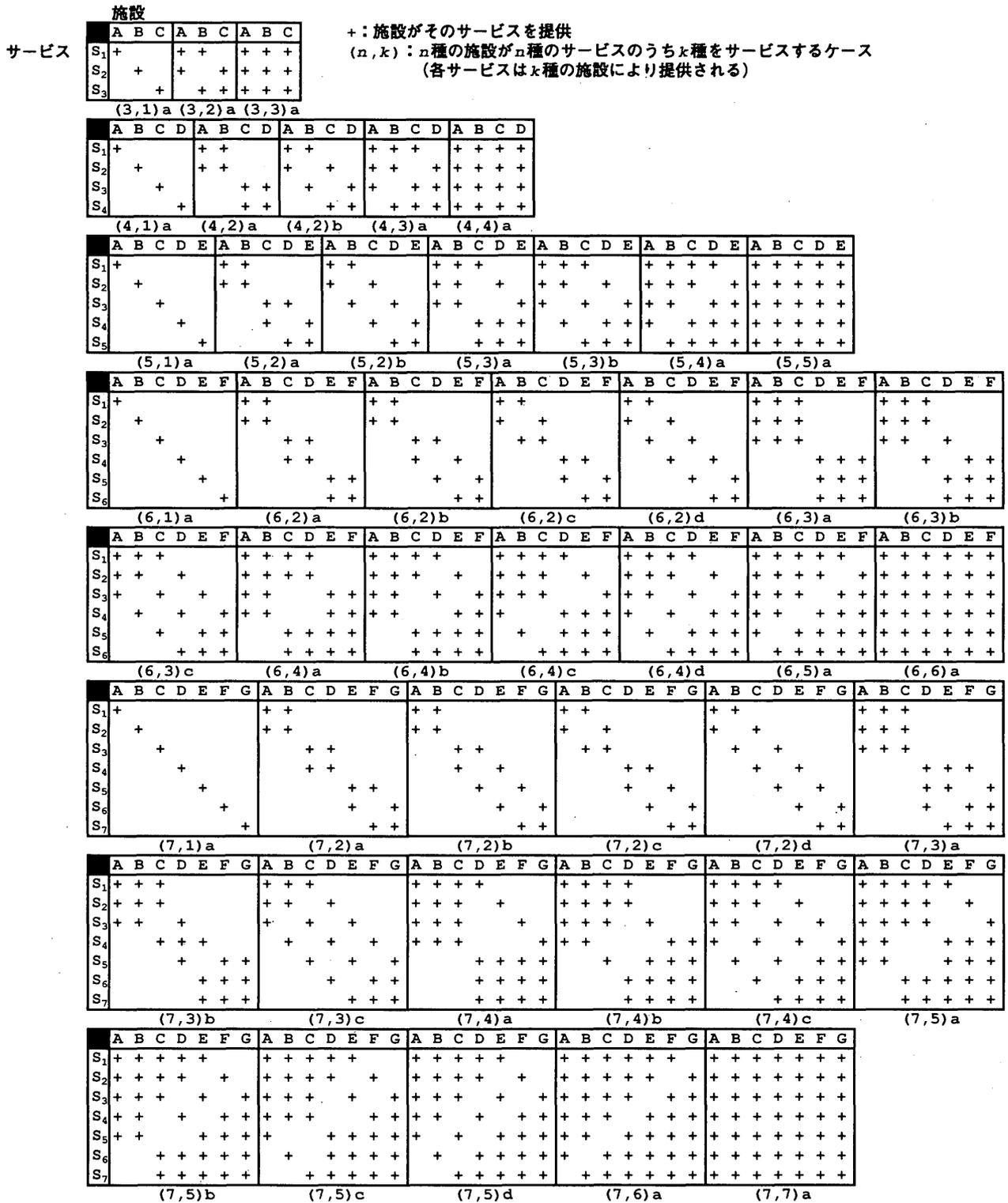


図3 施設種数・サービス種数別のサービスの組合せパターン

するサービス数に差がある場合は、その数の多い施設ほど優先されることになる。このような場合、得られた最適配置が複合化によるものなのか、サービスや施設の優劣に起因するものなのか判断ができない。そこで本論文では、複合化することが決まっているときに複合化が配置に与える影響を明らかにするために、複合サービス施設が提供するサービスは S_1, S_2, \dots, S_n の n 種類があるとし、それらの

間には優劣関係がないものとする。施設はそれぞれこれらの内の一部のサービスを提供するものとする。サービスと施設の対応関係についても一般には無数に考えられるが、ここでは施設も n 種類あるとし、各施設はどれも n 種類の中から k 種類 ($1 \leq k \leq n$) のサービスを提供し、各サービスも k 種の施設により提供されるものとする。例えば、 $n=4, k=2$ の場合、A~Dの4種の各施設はそれぞれ2種の

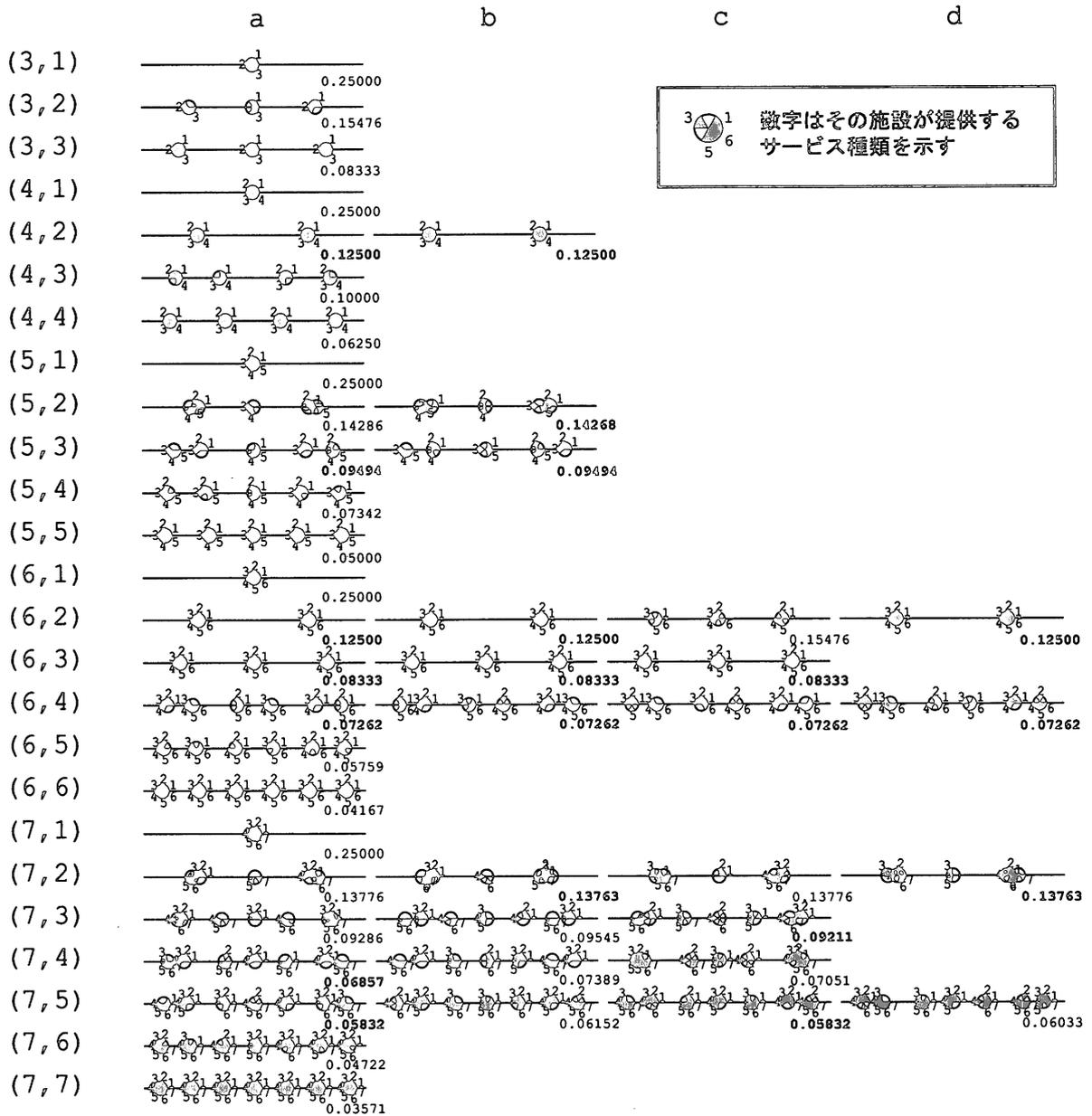


図4 一次元空間における複合サービス施設の最適配置 (右下の数字は総利用距離Tの値)

サービスを提供し、 $S_1 \sim S_6$ の各サービスはそれぞれそのうち2種の施設により提供されることとなる。このとき、図2に示すように、同じ (n, k) の組に対してサービスの組合せパターンが2通りあるが、このように複数種の組合せパターンがある場合には、それらを a, b, ... を付すことで区別することにする。このようにして (n, k) に対して考えられるサービスの組合せパターンを、 $n=3, 4, 5, 6, 7$ の場合について図3に示す。以下ではこれらに対して最適配置を求める。

(3) 最適配置問題の定式化

ある領域 M 内に連続な需要分布が与えられたとき、上述のようなサービスの組合せに対し、総利用距離 (平均利用距離でも同じ) を最小化する連続平面上での minisum タイプの空間複合型施設配置問題を考える。

各々のサービスに対する利用者 (需要) は領域^{注1)}内に均等に分

布しており、それぞれのサービスについてユークリッド距離で最近隣の施設を選択すると仮定すると、利用者のサービス S_i についての移動距離の総和は

$$T_i = \int_{x \in M} \min_{j \in F_i} \|x - x_j\| \rho_i(x) dx \tag{1}$$

となる。但し、 x_j は施設 j の位置、 $\rho_i(x)$ は地点 x における需要密度を表し、サービス S_i についての施設利用圏はそのサービスを提供する施設 F_i を母点とする Voronoi 領域となる。これを用いて、全サービスに関する総移動距離は

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \tag{2}$$

と求められる。以下では、 T を最小化する施設配置を求める問題

$$\min_{\{x_j\} \in \prod F_i} T \tag{3}$$

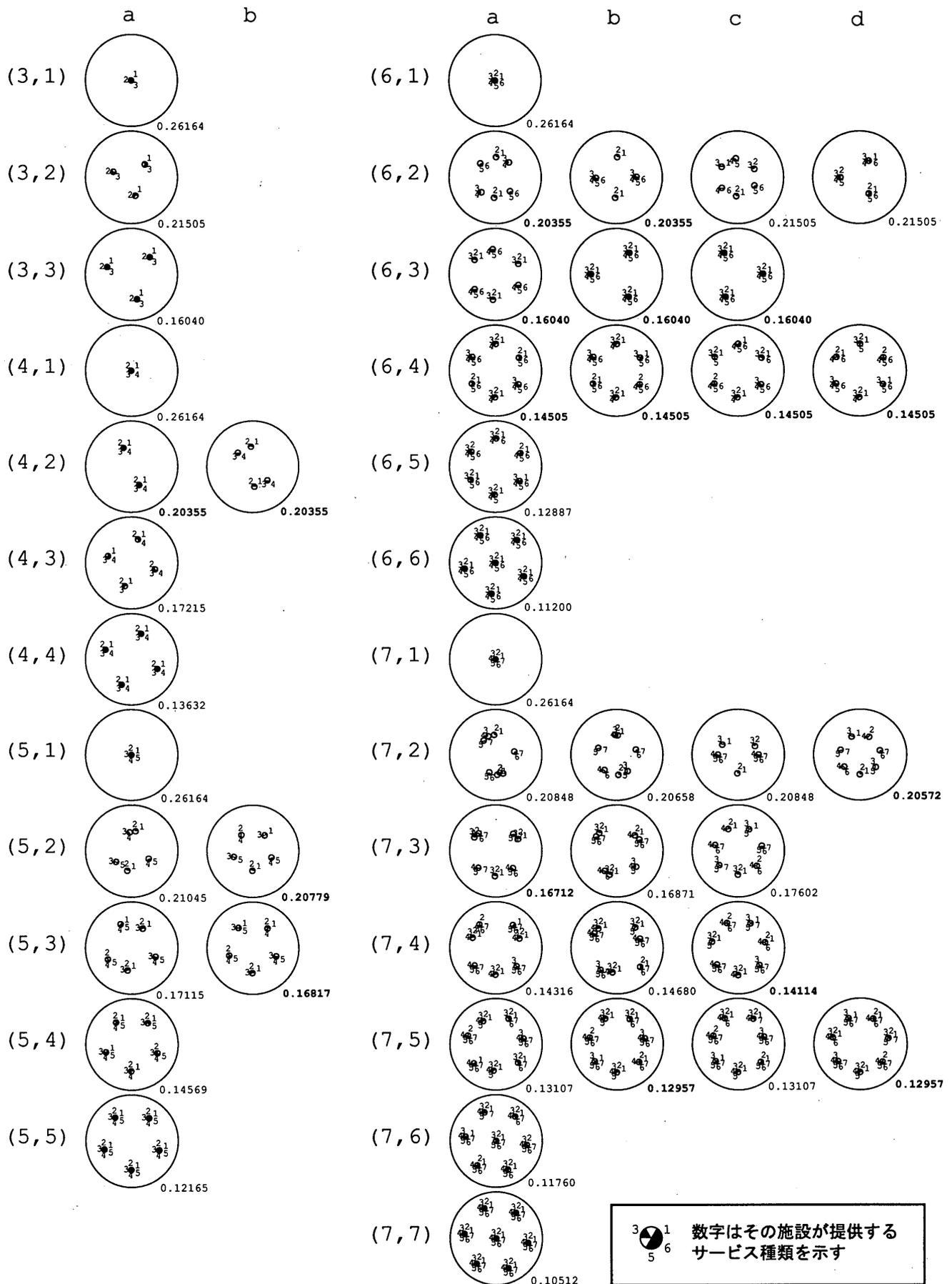


図5 平面上における複合サービス施設の最適配置 (施設数が1つずつの場合) (右下の数字は総利用距離Tの値)

を考え、需要密度が一樣な場合について解を求め、その性質を調べていくことにする。

3. 線分上における最適施設配置

(1) 解法

領域 M を線分 $[0, 1]$ とし、この上に一樣な施設需要が分布しているものとする。サービス S_i を提供する施設 F_i を座標の小さい順に並べ替えたものを $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ とすると、

$$T_i = \frac{1}{2}x_{(1)}^2 + \left(\frac{x_{(2)} - x_{(1)}}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{x_{(n_i)} - x_{(n_i-1)}}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}(1 - x_{(n_i)})^2 \quad (4)$$

と表されるので、施設の並び順が与えられれば T は(2)式より x_i を用いて解析的に表される。ここでは考えられる並び順それぞれについて、 T を導出して連立方程式 $\partial T / \partial x_i = 0 (i=1, \dots, n)$ を解き、それらの中で T が最小となる並び順の解をもって最適配置の解を得る。

(2) 最適配置の解

図3のサービスの組合せに対し、各施設が1つずつある場合の最適な施設配置を求めた結果を図4に示す。凡例に示すように、施設の周囲に記された数は提供するサービスを示している。また、いくつかの施設が同じ地点に立地した場合はあたかも一施設のように示してある。この結果から、以下のことが読みとれる。

- ① $(n, 1), (n, n)$ の場合は、それぞれ一地点への中心集中立地、 n 地点の均等分散立地となる。
- ② サービスの重複のない施設は重なって立地しても良いが、サービスの重複する施設は互いに離れて立地する。
- ③ 一般に、 (n, k) ($1 < k < n$) の場合は、 (n, n) の場合の均等分散立地よりも領域中心に片寄った配置となり、施設間距離が一樣でないパターンが得られる。また、施設のペアが生じる傾向が見られる。
- ④ k が n の因数の場合 (例えば $(4, 2), (6, 2), (6, 3)$ など) は、複数の施設が同じ場所に立地し、全サービスを提供する施設が k ヶ所に n/k 個ずつ同一地点に重なるように抱き合わせて配置される状態が最適になる。この場合、施設の位置が重なることにより、あたかも全てのサービスが統合したような状態になるため、 k ヶ所に配置された施設は均等立地 (つまり (k, k) の最適配置) となる。
- ⑤ $k > n/2$ になると、隣接施設の提供サービスに必ず重複が生じるため、④のような抱き合わせ配置は見られなくなる。
- ⑥ サービスの組合せパターンが複数種ある場合でも、多くの場合、配置上の大差は見られない。

このように、互いに対等なサービスの提供を前提とした場合でさえ、全サービスの一部を提供する複合施設の最適配置パターンは均等配置にはならず、中心集中立地と均等分散立地との中間的なパターンとなるということは、直観では想定できない結果である。

4. 有限平面上における最適施設配置

次にこの問題を実際の都市活動が展開されている二次元平面上で考え、どのような配置パターンが現れるかを調べることにする。

(1) 解法

有限平面上における(3)式の問題は、非線形計画問題として数値的に解くことにより、厳密解ではないが近似解として局所最適解を求

めることができる。降下方向ベクトルは、

$$\frac{\partial T}{\partial x_j} = \sum_i \frac{\partial T_i}{\partial x_j} \quad (5)$$

であることを利用すれば、各サービスにおける移動距離に関する降下方向の和として求めることができる。右辺項は鈴木(1990), Suzuki *et al.* (1991) 等と同様に、Iri *et al.* (1984) の方法を用いて求められる。

(2) 施設数が各サービスについて1施設ずつの場合の解

領域 M を直径1の円形領域とし、需要密度は一樣とする。図3に示したサービスの組合せについて、各施設が1つずつの場合の解を図5に示す。初期配置は、線分上の場合と同様、各サービスの提供施設の間隔がなるべく均等になるように与えた。で表された施設の周囲の数字は提供するサービスを示す。この結果から、最適配置は一般に均等分散立地よりも領域の中心に片寄った配置となり、線分上の最適解の性質と同じ性質を持つことが読みとれる^{注2)}。上の結果は、岸本(2000)の多層構造モデルによる検討で明らかにされた、「施設の複合化により凝集型が優れた配置パターンとなる性質がある」ことをより体系的に示していると考えられる。

このように有限平面上でも複合サービス施設の最適配置パターンは一般には均等配置にはならず、サービスの重複度に応じて中心集中立地と均等分散立地との中間的なパターンが最適配置となることが明確になった。この結果は、複合サービス施設の配置のあり方に関する基本的知見として重要である。

(3) 施設数が各サービスについて複数ある場合の解

これまでの計算例は施設は1つずつであった。これに対して、施設が多数配置される場合はどのようになるであろうか。単一サービス施設の場合、総移動距離を最小にする配置は六角形状の圏域を持った三角格子状配置パターンとなることが知られている。ここでは複合サービス施設について施設が多数配置される場合を検討する。

図6は、正六角形領域内で $n=7$ とし、各サービスを提供する施設が7施設ずつある場合 (計49施設) についての最適配置を示したものである。サービスの組合せに a, b, ... など複数あるものについては、総移動距離が最小になるサービスの組合せの最適配置を示している。

施設数が1施設の場合には、線分上のときと同様に均等分散立地よりも領域の中心に片寄った配置ではあるものの、環状に均等に並んだパターンが得られており、均等配置との差異は明確ではなかった。図6より、多施設の場合、隣接施設間の距離が一樣でない状態が最適となり、最適配置パターンは均等配置とならない。 k が n に近づくに従って三角格子状配置に近づいていくことがわかる。

このように、複合サービス施設の最適配置パターンは、正確にシステマティックな配置とはならず、中心集中立地と均等分散立地との中間的なパターンとなることが明らかとなった。

5. 結論と今後の課題

本論文では、複合サービス施設の最適配置を求め、サービスの組合せが最適配置に与える影響について、以下のような結論を導いた。

- ① 全サービスの一部を提供する複合サービス施設の最適配置問題を定式化し、線分空間での解析解を求めた結果、一樣需要のもとで互いに対等なサービスの提供を前提とした場合でも、一般に中心集中立地と均等分散立地の中間的な配置として均等分散立地

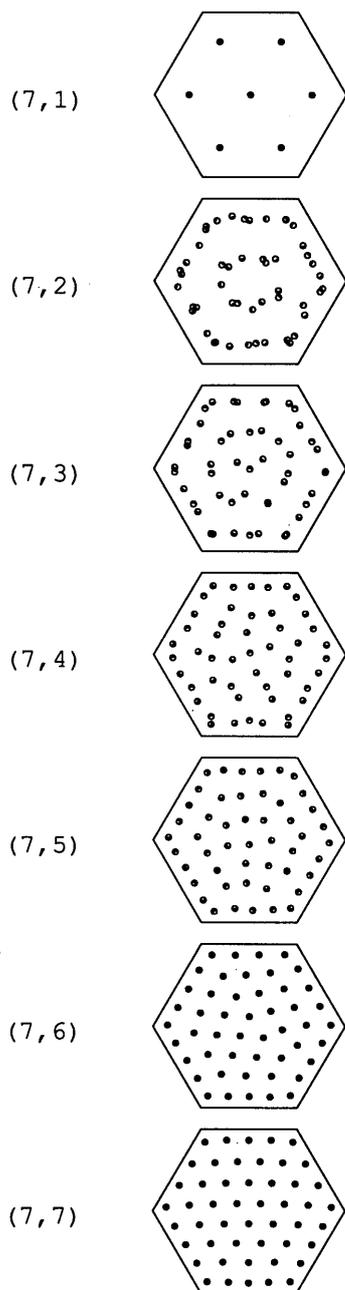


図6 平面上における複合サービス施設の最適配置
(施設数が7施設ずつの場合)

よりも領域の中心に片寄った一様でないパターンが得られることが明らかとなった。このことは、施設を複合化させる場合、たとえ同等な施設であっても、利用者の平均距離最小化を目的とするならば対象地域において一様でない配置を検討する必要があることを示唆している。

- ② 平面上での局所最適解を数値的に求めた結果、有限平面上でも一般に最適配置パターンは均等配置にはならず、サービスの重複度に応じて中心集中立地と均等分散立地との中間的なパターンが最適配置となることがわかった。提供サービスの重複度が大きい場合 ($k > n/2$) でも、正確にシステマティックな配置にはならないことが明らかとなった。複合サービス施設の場合、一様でない配置を検討する必要があることは都市平面上での施設配置に

においても言えることが明らかとなった。

実際の施設のサービスについて考えると、たとえ同じ種類のサービスを行っている施設の間でも、様々な点で施設の提供サービスは異なったものであるだろう。例えば、図書館では蔵書の種類が全く同じであるということはない。この場合、両方の図書館に存在する蔵書に関しては互いに重複するサービスと見なせるし、一方の図書館にはあるが他方の図書館にはない蔵書は重複しないサービスと見なすことができる。このように同様の施設群でもサービス内容に差があるならば、その最適配置は本論文で明らかにされた程度の規則的配置からのズレがあった方が望ましいことになる。

本論文では、複合化まずありきとしてその最適配置を論じた。しかし、複合化がなぜ有利となるかというメカニズムの部分については明らかにされていない。この問題を考えるためには、複合化が有利となる仕組みを内包したモデルを構築する必要がある。機能複合や利用複合の場合等の最適配置と併せて、今後の研究課題としたい。

大変貴重なご意見を頂きました匿名の査読者には、ここに記して謝意を表します。なお、本論文は文部省科学研究費補助金による研究成果の一部である。

注

注1) 本論文での計算では領域の大きさは一定としたが、目的関数値を適宜換算することにより、施設数の多寡を対象領域の設定範囲の広狭と解釈した比較検討も可能である。

注2) 但し、回転対称のため配置の自由度が一次元の場合よりも大きくなり、同じ (n, k) に対してもサービスの組合せによって配置パターンに差が見られる。

参考文献

- 宮下清榮・高橋賢一・石田容：「市町村連携による公共施設整備の可能領域に関する研究」, 都市計画論文集, 34, 139-144, 1999.
- Okabe, A., Boots, B. and Sugihara, K.: *Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*, Chichester: John Wiley, 1992.
- Okabe, A., Okunuki, K. and Suzuki, T.: "A Computational Method for Optimizing the Hierarchy and Spatial Configuration of Successively Inclusive Facilities on a Continuous Plane," *Location Science*, 5, 4, 255-268, 1997.
- 大内宏友・高倉朋文・横塚雅宜：「救急医療システムと施設配置の関係性に関する実証的研究 - 地域における医療施設と救急施設との複合化の適正配置に関する研究 その1 -」, 日本建築学会計画系論文集, 466, 87-94, 1994.
- Iri, M., Murota, K. and Ohya, T.: "A Fast Voronoi-diagram Algorithm with Applications to Geographical Optimization Problems," in: P.Thoft-Christensen (ed.) *Lecture Notes in Control and Information Science, Vol. 59: System Modelling and Optimization*, Proceedings the IFIP Conference on System Modelling and Optimization, Copenhagen, Springer, Berlin, 273-288, 1984.
- 岸本達也：「多層構造モデルによる複合施設の最適配置」, 日本建築学会計画系論文集, 529, 233-239, 2000.
- 野坂正史・吉川徹：「通所型高齢者施設の配置計画に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, 525, 201-208, 1999.
- 斎尾直子・藍澤宏・土本俊一・村山直樹：「公立小・中学校の地域施設としての機能複合化に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, 523, 131-138, 1999.
- 佐谷宣昭・内田晃・趙世農・萩島哲：「ショッピングセンターの業種の組み合わせと立地動向に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, 531, 163-170, 2000.
- 鈴木勉：「利用者の移動費用最小化による施設の最適な建設順序と配置」, 都市計画論文集, 23, 61-66, 1988.
- 鈴木勉：「施設の最適な階層構造に関する考察」, 都市計画論文集, 25, 331-336, 1990.
- Suzuki, T., Okabe, A. and Asami, Y.: "Sequential Location-Allocation of Public Facilities in One- and Two-dimensional Space: Comparison of Several Policies," *Mathematical Programming B*, 52, 1, 125-146, 1991.
- 谷口汎邦・熊谷昌彦：「教育関連施設における複合施設の設置条件と施設相互関連の特性について - 都市における教育関連施設の複合化計画に関する研究(1) -」, 日本建築学会計画系論文集, 336, 121-131, 1984.
- 上野淳・本野純：「公立小・中学校と地域公共施設の複合化事例における建築計画と管理・運営の実態」, 日本建築学会計画系論文集, 493, 117-124, 1997.
- 屋敷和佳・谷口汎邦・山口勝巳：「建物区分所有による複合形態と複合の経緯 - 学校と地域施設の複合化に関する研究 その1 -」, 日本建築学会計画系論文集, 452, 65-74, 1993.

(2000年1月6日原稿受理, 2000年9月18日採用決定)