

*Discussion Paper Series*

*No. 99*

Department of Urban Engineering  
University of Tokyo

人口減少に対応した施設再配置計画立案支援手法の開発と適用

貞広幸雄<sup>\*</sup>，貞広齋子<sup>\*\*</sup>，佐藤誠<sup>\*\*\*</sup>，多田明功<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>東京大学大学院工学系研究科

<sup>\*\*</sup>千葉大学教育学部

<sup>\*\*\*</sup> (株) 数理システム

人口減少に対応した施設再配置計画立案支援手法の開発と適用  
A Decision Support Method for Facility Relocation Planning in Population Decrease

貞広幸雄, 貞広斎子, 佐藤誠, 多田明功

**Abstract:** Population decrease requires a reconstruction of urban structure. Relocation of urban facilities and development of public transport systems are both indispensable for achieving compact and sustainable cities. For facility relocation planning, this paper proposes a new decision support method based on spatial optimization. Multiple plans of facility relocation are derived from solving a spatial optimization problem. They are quantitatively evaluated by summary statistics and graphically visualized by maps. Interpretation of tables and maps permits us to understand the relationship between the distribution of facilities and their users. This leads us to compare and evaluate a wide variety of facility planning that include not only the closure of existing facilities but also their extension, development of complex facilities and improvement of transport accessibility. The method is applied to a relocation planning of elementary schools in Chiba City, Japan. It illustrates a concrete usage of the method proposed as well as provides empirical findings.

**Keywords:** Decision support, facility relocation, spatial optimization

## 1. はじめに

現在の都市計画上の大きな課題の一つとして、人口減少や少子高齢化、地球環境の悪化などに対応した都市構造の構築がある。少子化が教育施設の余剰をもたらす一方、高齢化は介護施設に対する需要の急増を招いている。人口減少と環境悪化に対応するには、都市の縮小と自動車依存社会からの脱却、公共交通の整備が不可欠である (Register, 2006; Farr, 2007; Langner, 2007)。

本論文ではこうした問題の一つとして、人口減少に伴う公的施設余剰を取り上げ、都市施設再配置計画立案のための支援手法を提案する。利用者に対して供給過剰となった都市施設は、適切な段階まで統廃合によって削減しなければならない。そのため、行政担当者や専門家、地域住民などが様々な立場から意見を表明し、議論を通じて最終的な都市施設再配置計画を立案する (Belton and Stewart, 2002; Figueira et al., 2004; Saaty and Peniwati, 2007)。

適切な計画立案には、客観的な論理による裏付けが不可欠である。上記のような施設配置の場合、その根拠を与えるための一つの方法として、空間的最適化を用いる方法がある (Mirchandani and Francis, 1990; Daskin, 1995; Drezner, 1995; Drezner and Hamacher, 2004)。例えば、施設の最大利用距離と最大容量を所与の制約条件とし、施設数を目的関数とする最適化問題を解くことで、効率的な施設配置を導出することができる。

しかしながら、通常最適化問題を解くだけでは、実際の計画立案に資するに十分であるとは言い難い。大きな理由の一つは、最適化の過程において現実を捨象するため、計画の評価基準や問題解決策の多様性を十分に反映しきれないことにある。評価基準は目的関数や制約条件を通じて定式化されるが、様々な視点からの政策評価を全て表現するのは現実的には不可能である。また、施設の最大利用距離や最大容量などの制約条件は必ずしも絶対的なものではなく、場合によってはそれらを満たさない計画も許容されることがある。さらに、施設の存廃以外の施策や、地域ごとに異なる施策などを検討するには、単一の最適化問題の解だけでは不十分である。

以上の議論を鑑み、本論文では、空間的最適化を基礎としながらも、より現実の政策立案を志向した、新たな施設再配置計画立案支援手法を提案する。特にここでは、最も典型的な都市施設の一つである、施設の最大

利用距離と最大容量を所与の制約条件とする種類の施設に焦点を当て、多様な施設再配置計画を考えるための方法を論ずる。まず2節では、施設再配置計画を空間的最適化問題として定式化し、解の導出の方法について述べる。さらに、施設再配置計画立案に資するために、得られた解を提示し、それを分析する方法を提案する。3節では手法の有効性を検証するために、小学校再配置計画への適用を実施する。4節では論文の結論をまとめ、今後の課題を展望する。

## 2. 分析手法

### 2.1 問題の定式化

いま、単一の自治体に現存するある都市施設について、その再配置問題を考える。人口減少に対応した効率的な施設運営のためには、最小限の施設数で十分な住民サービスを提供することが必要である。この問題を、ここでは施設の最大利用距離と最大容量を所与の制約条件とし、施設数を目的関数とする最適化問題として定式化する。

いま、現存する施設群を $\Lambda=\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$  ( $\mathfrak{M}=\{1, 2, \dots, m\}$ )、施設利用者を $\Omega=\{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$  ( $\mathfrak{N}=\{1, 2, \dots, n\}$ )とする。施設 $P_i$ の最大容量 $C_i$ 、施設 $P_i$ から施設利用者 $Q_j$ までの距離を $d_{ij}$ で表す。また、施設の最大利用距離を $R$ とする。なお、現在既に最大利用距離圏内に施設を持たない施設利用者（以下、基準外利用者）については、分析の対象から除外する。

全ての住民は、いずれか一つの施設を利用するものと仮定する。新たな施設を建設せず、制約条件のもとで施設数を最小化するには、以下の最適化問題を解けばよい。

**Problem  $M_1$ :**

$$\min_{x_i, y_{ij} (i \in \mathfrak{M}, j \in \mathfrak{N})} \min_{x_i, y_{ij}, i \in \mathfrak{M}, j \in \mathfrak{N}} \sum_{i \in \mathfrak{M}} x_i$$

subject to

$$x_i \sum_{j \in \mathfrak{N}} y_{ij} \leq C_i \quad (\forall i \in \mathfrak{M})$$

$$\forall j, \sum_{i \in \mathfrak{M}} y_{ij} = 1 \quad (\forall j \in \mathfrak{N})$$

$$y_{ij} d_{ij} \leq R \quad (\forall i \in \mathfrak{M} \quad \forall j \in \mathfrak{N})$$

但し上式において、 $x_i$ は施設 $P_i$ の存廃を表す二値関数、 $y_{ij}$ は施設利用者 $Q_j$ が施設 $P_i$ を利用する否かを表す二値関数である。 $M_1$ は整数計画問題であり、厳密解の導出が困難であることから、探索的方法によって近似解を求める。その解を

$$X = \sum_{i \in \mathfrak{M}} x_i$$

と表す。

### 2.2 複数の施設再配置案導出

$M_1$ では、最小施設数と合わせて、各施設の存廃も同時に決定される。しかしながら通常の場合、最小施設数を実現する施設再配置案が複数存在する。そこで以下では、最小施設数を実現する複数の施設再配置案（以下、施設再配置案と略称する）を導出し、それらを分析することで、最終的な施設再配置計画立案を支援する手法を提案する。

複数の施設再配置案は、以下の2段階の方法により導出する。まず、 $M_1$ を探索的方法によって解き、最初に求められる施設再配置案を $S_1=\{s_{11}, s_{12}, \dots, s_{1m}\}$ とする。ここで $s_{1i}=x_i$ 、即ち、当初解において施設 $P_i$ の存廃を表す二値関数である。

施設再配置案は、制約条件が解を強く規定する場合にはそれほど多く存在し得ないが、規定性が強くなければ、極めて多数になる場合が有り得る。ここでは後者を想定し、可能な限り性質の異なる再配置案を導出することを目的とする。そこで次に、 $S_1$ とは可能な限り異質な解を得るために、以下の最適化問題を解く。

**Problem  $M_2$ :**

$$\min_{x_i, y_{ij} (i \in \mathbf{m}, j \in \mathbf{n})} \sum_{i \in \mathbf{m}} x_i + \lambda \sum_{i \in \mathbf{m}} s_{1i}$$

subject to

$$x_i \sum_{j \in \mathbf{n}} y_{ij} \leq C_i \quad (\forall i \in \mathbf{m})$$

$$\forall j, \sum_{i \in \mathbf{m}} y_{ij} = 1 \quad (\forall j \in \mathbf{n})$$

$$y_{ij} d_{ij} \leq R \quad (\forall i \in \mathbf{m} \quad \forall j \in \mathbf{n})$$

上式において、 $\lambda$ は任意の定数である。この問題は即ち、 $S_1$ において存続とされた施設をペナルティ関数として付加したものである。 $S_1$ に含まれる施設は相対的に存続し難い状況にあり、 $M_2$ を解くことで、 $S_1$ とは性質を異にする解が導出されることが期待される。

$M_2$ で得られる最小施設数が  $X$  と等しい場合には、その解を  $S_2$  とし、さらに同様の手続きを繰り返して  $U$  個の施設再配置案を導出する ( $U$  は所与の定数)。  $k$  個目の解  $S_k$  は以下の問題を解くことによって得られる。

**Problem  $M_k$ :**

$$\min_{x_i, y_{ij} (i \in \mathbf{m}, j \in \mathbf{n})} \sum_{i \in \mathbf{m}} x_i + \lambda \sum_{i \in \mathbf{m}} s_{k-1, i}$$

subject to

$$x_i \sum_{j \in \mathbf{n}} y_{ij} \leq C_i \quad (\forall i \in \mathbf{m})$$

$$\forall j, \sum_{i \in \mathbf{m}} y_{ij} = 1 \quad (\forall j \in \mathbf{n})$$

$$y_{ij} d_{ij} \leq R \quad (\forall i \in \mathbf{m} \quad \forall j \in \mathbf{n})$$

上述の手続きによって得られる  $U$  個の施設再配置案  $\{S_1, S_2, \dots, S_T\}$  の中には、同じものが存在する可能性がある。それらを排除したものを第1次施設再配置案群  $\Psi_1$  と呼ぶ。

次に、施設再配置案導出の第2段階として、第1次施設再配置案群  $\Psi_1$  からさらに多様な再配置案を求める。ここでは、 $\Psi_1$  に含まれる各再配置案について、施設の存廃を一对のみ交換する、即ち、 $S_i = \{s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im}\}$  の要素のうち、0及び1となっている要素対の値を交換し、それが制約条件を満たす場合には、新たな再配置案とする。検討対象となる要素対数は  $O(m^2)$  であり、実用上は、全ての要素対を検討することが可能である。

こうして得られた全再配置案について、再度、重複したものを排除する。この時点において、既に十分な再配置案が得られている場合には案の導出を終了し、未だ不十分な場合には、さらに第1次施設再配置案群の導出を続けて十分な再配置案が得られるまで2段階の解導出を行う。最終的に得られる結果をここでは、第2次施設再配置案群  $\Psi_2 = \{T_1, T_2, \dots, T_V\}$  のと呼ぶ (但し、 $T_j = \{t_{j1}, t_{j2}, \dots, t_{jm}\}$  とし、 $t_{ji}$  は  $s_{ji}$  と同様に施設  $P_i$  の存廃を表す二値関数である)。

導出された全ての解について、基本統計量などを用いた議論を行う。まず、地域や施設ごとに、空間的な制約がどの程度存在しているのかを理解するために、以下のような指標値等を計算する。

各施設の必要性は、大別して、距離制約と容量制約の2つの制約条件から決定される。即ち、各施設同士が最大利用距離の2倍以上離れて立地している状況では、最大利用距離を超える施設利用が発生することから、施設の廃止は困難である。また、利用者が稠密に分布している地域では、最大容量を超える可能性があること

から、同様に廃止が難しい。つまり、施設とその利用者の分布状況の関係によって、施設の必要性は決定される（但し、最大利用距離と最大容量がさらに関係することは言うまでもない）。

これら2つの条件が均衡する状況を想定し、その際の利用者密度を均衡密度と呼ぶ。均衡状況は、各施設の最大利用圏域、即ち、施設を中心とする半径  $R$  の円内に、最大容量  $C$  が分布する状態である（ここでは、各施設の最大容量は一定とする）。このとき、均衡密度  $\gamma$  は

$$C = \pi R^2 \gamma$$

を満たすことから、

$$\gamma = \frac{C}{\pi R^2}$$

と与えられる。

距離制約と容量制約は、地域や施設によって異なる。そこで次に、これらを定量的に評価するための指標を提案する。まず、施設  $P_i$  と利用者  $Q_j$  と距離が  $R$  以上かどうかを示す二値関数を以下のように定義する。

$$\sigma_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } d_{ij} \leq R \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

すると、利用者  $Q_j$  から距離  $R$  以内にある施設数は

$$\sum_i \sigma_{ij}$$

となる。この数が小さいほど、距離制約が強くなることから、その逆数をとって利用者  $Q_j$  の距離制約強度

$$\lambda(Q_j) = \frac{1}{\sum_i \sigma_{ij}}$$

と定める。

利用者  $Q_j$  は、利用可能な各施設に等確率で割り当てられるものと仮定すると、施設  $P_i$  に割り当てられる利用者数の期待値は

$$\mu'(P_i) = \sum_j \sigma_{ij} \lambda(Q_j)$$

である。これは即ち、施設容量を無視した場合の、各施設の平均的な施設利用者数である。従って、施設  $P_i$  にとっての容量制約の強さを表すことから、 $\mu'(P_i)$  を施設容量で基準化した

$$\mu(P_i) = \frac{\sum_j \sigma_{ij} \lambda(Q_j)}{C_i}$$

を、施設  $P_i$  の容量制約強度とする。

一方、施設  $P_i$  の距離制約強度は、距離制約強度の高い利用者が多く割り当てられるほど高くなる。そこで施設  $P_i$  が利用可能な利用者の平均距離制約強度を、施設  $P_i$  の平均距離制約強度とする。

$$\lambda(P_i) = \frac{\sum_j \sigma_{ij} \lambda(Q_j)}{\sum_j \sigma_{ij}}$$

また、利用者  $Q_j$  の容量制約強度は、利用可能な施設の平均容量制約強度によって

$$\mu(Q_j) = \frac{\sum_i \sum_j \sigma_{ij} \lambda(Q_j)}{C_i \sum_i \sigma_{ij}}$$

とする。

以上の4指標は、いずれも値が大きいほど制約条件が厳しいことを表し、また距離制約強度はいずれも0~1の変域を持つ。なお、最大利用距離圏内に施設を一つしか持たない施設利用者の割り当てられる施設を、特に区別して必須施設と特に呼ぶ。但し、距離制約強度が1の施設は常に必須施設であるが、必須施設の距離制約強度は必ずしも1ではないことに注意を要する。

次に、実際に得られた施設再配置計画案に関する基本統計量について述べる。指標としてはまず、施設  $P_i$  の存続率  $p_i$  がある。これは、 $\Psi_2$ において各施設が存続と判定されている割合を示し、

$$p_i = \frac{1}{V} \sum_j t_{ij}$$

によって求められる。

第2の指標として、施設  $P_i$  の充足率  $f_i$  がある。これは、施設  $P_i$  が存続する場合に、その容量に対して施設に割り当てられる利用者の平均値であり、

$$f_i = \frac{\sum_j t_{ij} y'_{jki}}{C_i \sum_j t_{ij}}$$

によって求められる（但し  $y'_{jki}$  は施設再配置案  $T_j$  において利用者  $Q_k$  が施設  $P_i$  を利用するか否かを表す二値関数）。

第3の指標として、施設  $P_i$  と  $P_j$  の補完度  $c_{ij}$  を考える。第2次施設再配置案群  $\Psi_2$  に含まれる各再配置案において、ある施設同士が常にどちらか一方のみ存続とされるような場合、それらは補完関係にあるものと見なすことができる。そこでここでは、各施設の存廃を確率現象として捉え、確率の低い補完関係ほどその強度が高いものと見なして補完度  $c_{ij}$  を定義する。施設  $P_i$  の存続する確率を存続率  $p_i$  で与えると、 $P_i$  と  $P_j$  が補完関係となる確率は  $p_i(1-p_j)+p_j(1-p_i)$  で与えられる。従って  $V$  の再配置案のうち、 $P_i$  と  $P_j$  が補完関係となっている案を  $v$  とすると、補完関係となる案が  $v$  未満となる確率は

$$c_{ij} = \sum_{w=1}^{v-1} v C_w \left\{ p_i(1-p_j) + p_j(1-p_i) \right\}^w \left\{ p_i p_j + (1-p_i)(1-p_j) \right\}^{V-w}$$

となる。このように補完度を定義すれば、その統計的有意性を論ずることも可能である。即ち、各施設の存廃がランダムであるという帰無仮説の下で、補完度  $c_{ij}$  の補完関係は有意水準  $1-c_{ij}$  で有意と見なすことができる。

以上の指標を、図表と地図を用いて可視化する。地図上では、施設及びその利用者の分布に加え、必要に応じて移動に用いる交通手段なども可視化する。各数値指標は、色の濃淡や記号の大きさを用いて表現する。施設間の補完度は、行列を用いて数値自体を提示すると同時に、特に高い補完関係にある施設については、地図上でそれらを線で結ぶなどの方法によって明示的に示す。地域ごとの距離制約や容量制約の強度を把握することで、施設の存廃だけではなく、送迎バスや施設の拡張などによる距離制約や容量制約の緩和、他の施設との複合利用、複数自治体に跨る施設利用の推進など、より多様な政策の検討が可能となる。さらに、利用者分布や交通網の将来の変化への対応、施設の運営効率の検討など、より広い視野での計画立案のための基礎的資料ともなることが期待される。

### 3. 適用例

本節では、前節において提案した施設再配置案導出手法の有効性を検証し、そこから実証的知見を得るために、千葉県稲毛区及び若葉区における小学校再配置案の検討を行う。

両区には2009年9月現在、各々16、20の市立小学校が存在する。しかしながら両区とも、少子化に伴って小学校の過剰が指摘されており、統廃合による学校運営の効率化が求められている。そこでここでは、前節の

手法を用いて、複数の小学校再配置案を導出し、その検討を行う。

小学校の設置基準は、文部科学省により最大通学距離  $R=4\text{km}$  とされている。しかしながら都市部においては、徒歩通学距離としてのこの値は現実的ではないことから、本論文では最大通学距離  $R=2\text{km}$  として再配置案を検討する。但しここでは、通学距離は直線距離ではなく、実際の通学に要する道路距離を用いる。また、小学校の最大容量  $C_i$  は学校によらず一定であるものと仮定し、40人学級による1学年3クラスを想定して720人とする。

この場合、均衡密度  $\gamma$  は  $57.2957 \text{人}/\text{km}^2$  であり、100mメッシュ一つに  $0.572957$  人の生徒、という数字が基準値となる。図1には、両区の小学校と生徒の分布状況を示す。

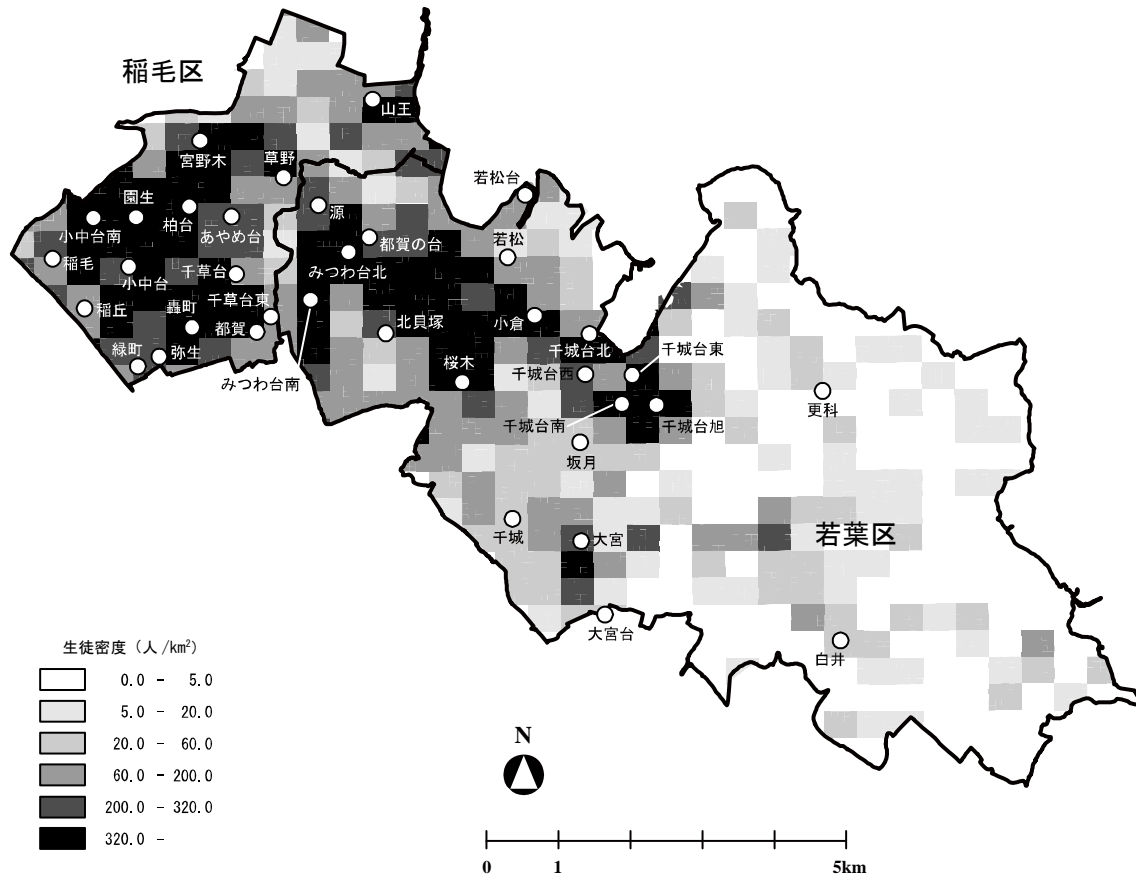


図1 千葉市稲毛区、若葉区における小学校と生徒の分布

まず、全体の距離制約と容量制約の状況を確認しよう。図2及び図3は、それぞれ両区の距離制約強度と容量制約強度の分布を表す。まず距離制約について見ると、小学校のまばらな若葉区東部や、各区の区界近辺において、その強度が高いことが確認できる。但し区界付近の小学校であっても、稲毛区南部のように小学校が比較的稠密な場合には、距離制約強度は高くはならない。必須施設（以下、必須小学校と呼ぶ）については前述の通り、必ずしも距離制約強度が高い小学校であるとは限らず、実際、若葉区千城台東、桜木、北貝塚の各小学校は、距離制約強度がそれほど高くないにも関わらず必須小学校となっている。

次に容量制約について見ると、生徒数の多い稲毛区及び若葉区西部において、その強度が高いことが分かる。但し稲毛区の中でも、学校数が相対的に多い南部では、容量制約強度がそれほど高くはなく、学校が余剰気味であることが推測される。

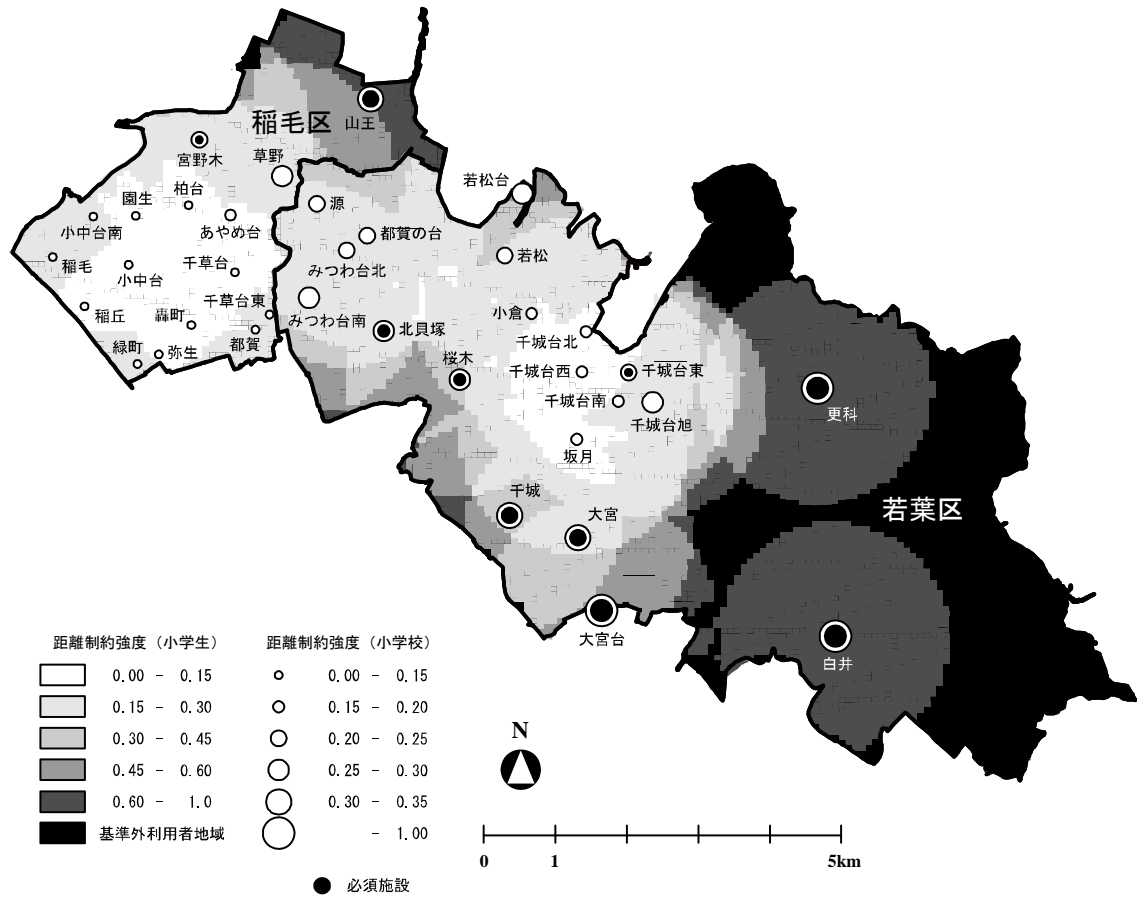


図2 千葉市稲毛区、若葉区における距離制約強度の分布. 小学校のうち、白円内に黒円の描かれているものは必須施設を表す.

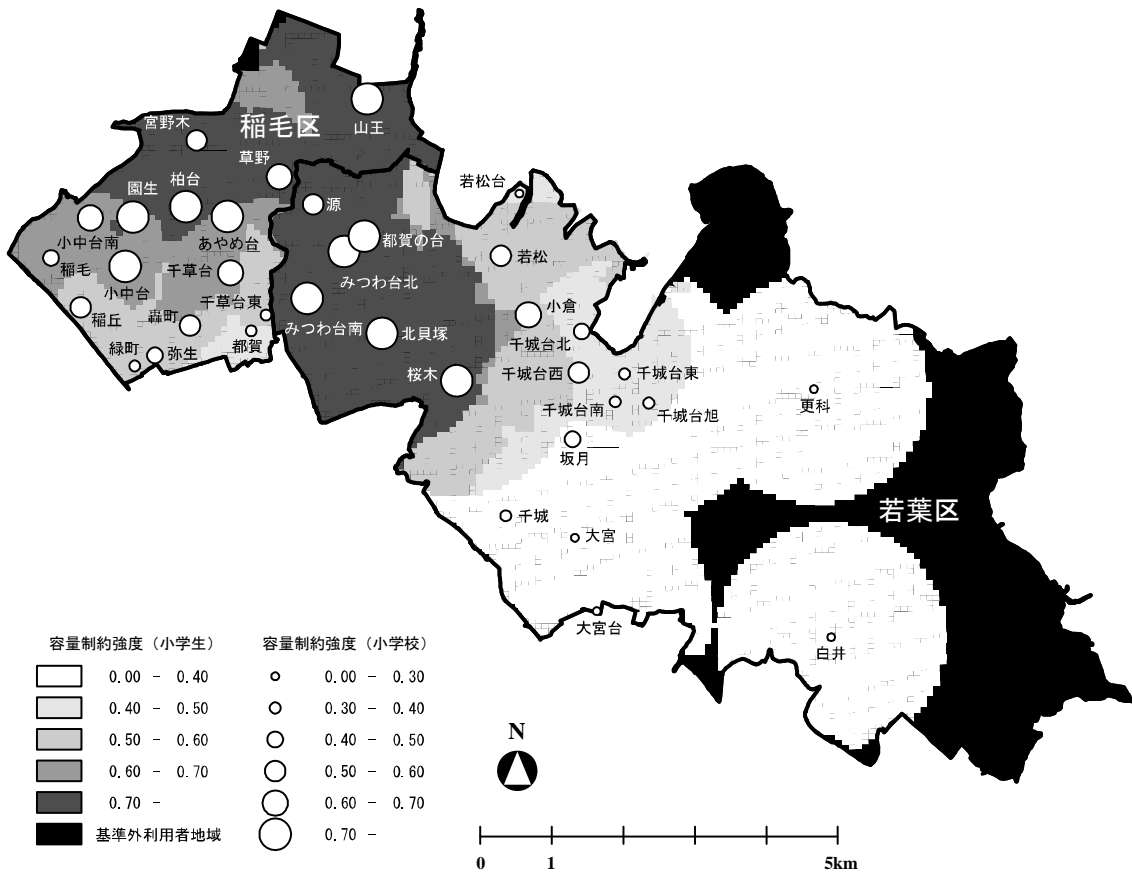




図3 千葉市稲毛区、若葉区における容量制約強度の分布

次に、前節で提案した方法により、両区における小学校再配置案の導出を行う。前述の条件の下、2000年度国勢調査メッシュデータより算出した学齢人口分布より、探索的手法を用いて最小学校数を算出すると、稲毛区及び若葉区においてそれぞれ11、15校となる。これらの最小学校数を実現する学校配置案を、2節において述べた方法を用いて複数導出する。第1次施設再配置案群 $\Psi_1$ については、稲毛区で30、若葉区で20の案を導出し、それらに基づいて、各区とも100の計画案を最終的に導出する。

表1は、各学校の存続率、充足率及び平均生徒数、図4と図5はそれぞれを地図上に表現したものである。

表 1 千葉市稲毛区, 若葉区における小学校存続率  $p_i$ , 充足率  $f_i$  及び平均生徒数

区	学校名	存続率 $p_i$	充足率 $f_i$	平均生徒数
稲毛区	あやめ台小学校	0.590	0.981	706
	千草台東小学校	0.350	0.925	666
	千草台小学校	0.630	1.000	720
	都賀小学校	0.490	0.966	696
	園生小学校	0.650	1.000	720
	柏台小学校	0.640	1.000	720
	宮野木小学校	1.000	0.999	719
	山王小学校	1.000	1.000	720
	小中台南小学校	0.870	1.000	720
	小中台小学校	0.820	1.000	720
	草野小学校	1.000	1.000	720
	稲丘小学校	0.710	1.000	720
	稲毛小学校	0.680	0.992	714
	弥生小学校	0.500	1.000	720
	緑町小学校	0.350	0.959	690
	轟町小学校	0.720	1.000	720
若葉区	みつわ台南小学校	1.000	1.000	720
	みつわ台北小学校	0.570	1.000	720
	北貝塚小学校	1.000	1.000	720
	千城小学校	1.000	0.412	296
	千城台西小学校	0.360	0.924	665
	千城台南小学校	0.560	0.864	622
	千城台北小学校	0.390	0.878	632
	千城台東小学校	1.000	0.901	649
	千城台旭小学校	0.570	0.720	518
	都賀の台小学校	0.670	1.000	720
	大宮小学校	1.000	0.472	340
	大宮台小学校	1.000	0.250	180
	桜木小学校	1.000	1.000	720
	更科小学校	1.000	0.250	180
	若松小学校	0.480	1.000	720
	若松台小学校	1.000	0.811	584
	小倉小学校	0.420	1.000	720
	白井小学校	1.000	0.396	285
	坂月小学校	0.310	0.576	414
	源小学校	0.670	1.000	720

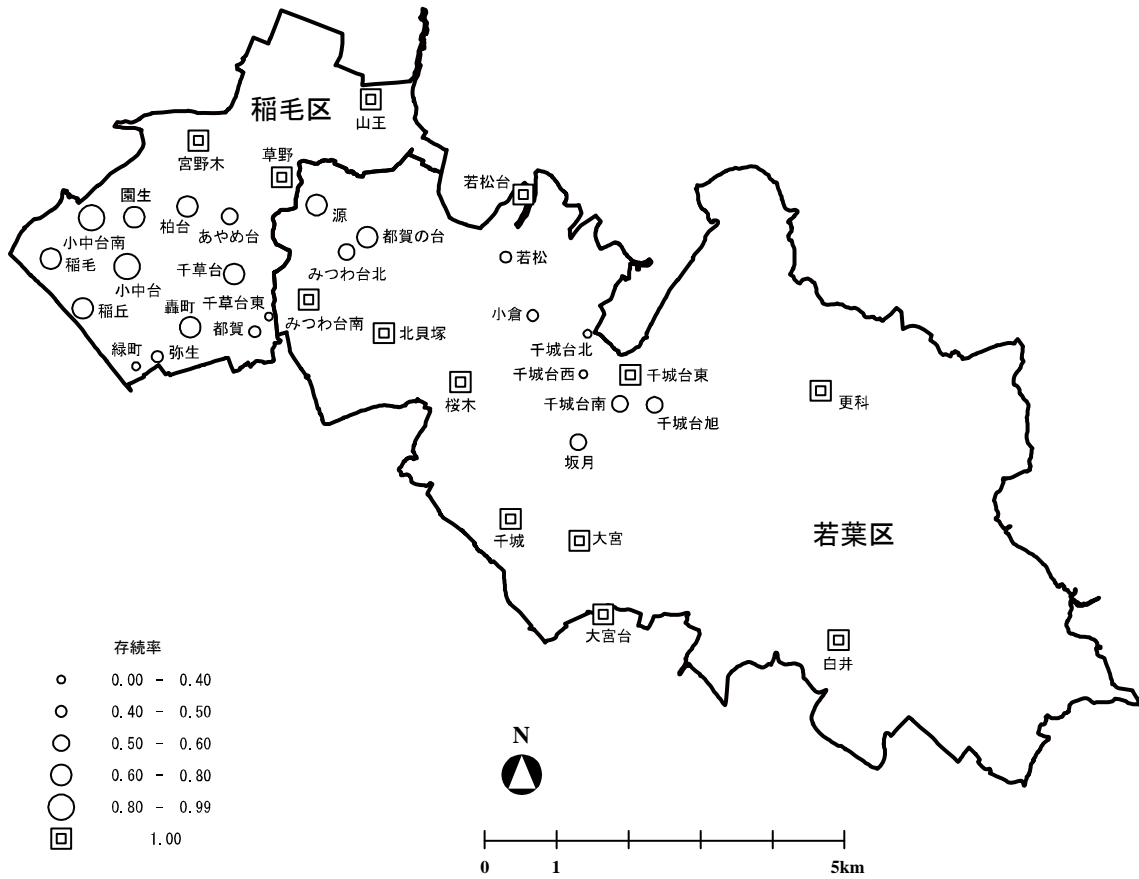


図4 千葉市稲毛区、若葉区における小学校存続率  $p_i$

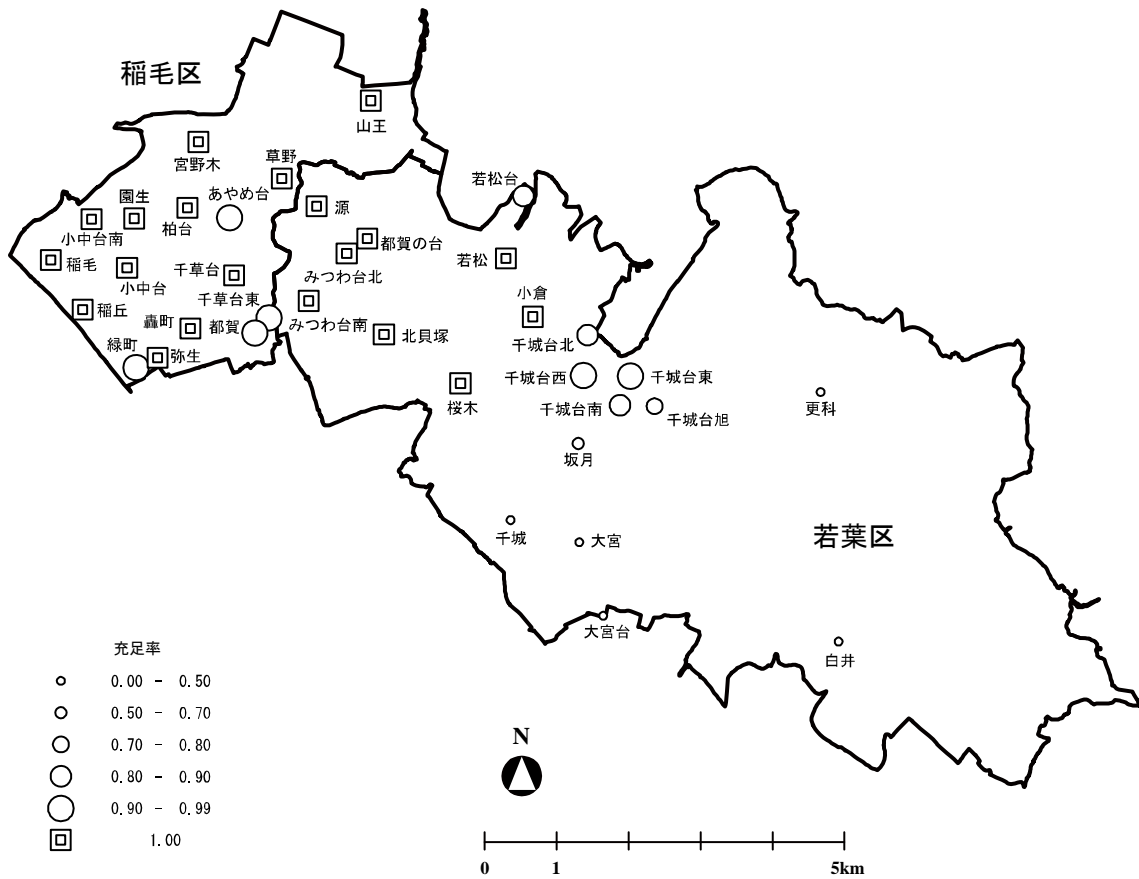


図5 千葉市稲毛区、若葉区における充足率  $f_i$

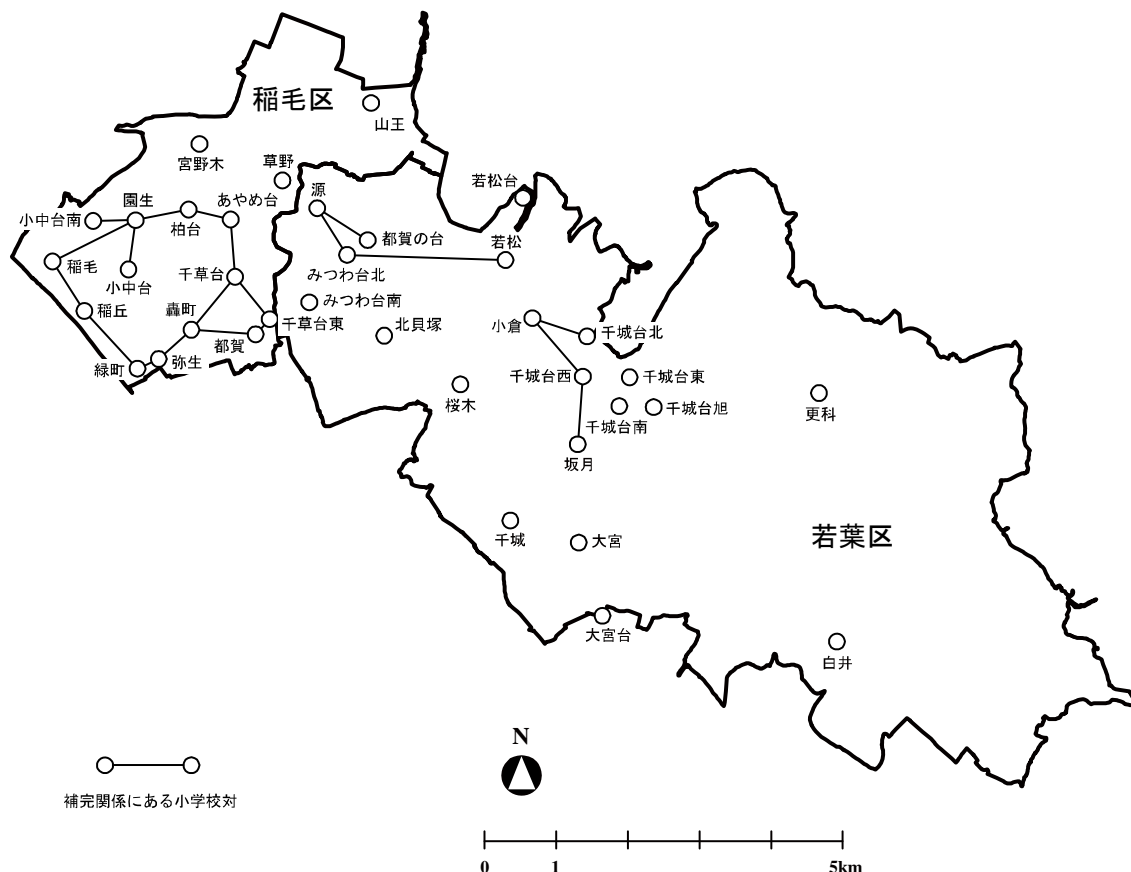


図6 千葉市稲毛区、若葉区において補完度 0.95 以上の小学校対.

図4において、まず、存続率  $p_i=1.0$  の小学校（以下、存続小学校と呼ぶ）に着目する。図2と比較すると、距離制約の要請に基づく必須小学校に加え、稲毛区草野、若葉区若松台、みつわ台南の各小学校が存続小学校となっていることがわかる。このうち若葉区の両小学校は、図3において高い容量制約強度を示していることから、周辺の生徒数が相対的に多く、存続と判断されているものと考えられる。一方、稲毛区草野小学校を見ると、容量制約強度はそれほど高くはないものの、小学校が比較的まばらな地域に位置しており、距離制約強度が高いことがこのような結果をもたらしたものと思われる。

次に、存続小学校以外の小学校を見てみよう。まず、存続率の比較的低い小学校に着目する。若葉区の若松、小倉、千城台北、千城台西、坂月、稲毛区の緑町、千草台東といった小学校がこれに該当する。図6を見ると、このうち小倉と千城台北、小倉と千城台西、千城台西と坂月の各校はそれぞれ補完関係にあり、いずれか1校を存続すればよいということが分かる。一方、緑町、千草台東の2校は、周辺の多数の小学校と連鎖的な補完関係にあり、存廃については多様な選択肢が考えられる。2校の存続率は0.3~0.4、他校は0.5~0.8であり、距離制約が弱い地域であることをふまえると、概ね3校のうち2校を存続する様々な再配置案を想定し、多角的な見方から計画案を立案することが望ましいと思われる。

以上の議論に基づき、小学校再配置を実施するための、より多様な政策の検討を行う。距離と容量という2つの制約条件は、政策上は所与のものであるが、それらが強く作用しすぎるために、学校運営が大きく非効率になる場合には、これらの条件を緩和することが検討されても良いであろう。例えば、最大通学距離を超えて通学するわずかな生徒のために、新たに小学校を存続するのは必ずしも得策ではない。2つの制約条件のいずれか一方しか高くない小学校については、高い方の制約条件を緩和する施策が考えられる。具体的には、若葉区更科、白井、千城、大宮の各小学校は、距離制約強度は高いものの、容量制約強度は低く、充足率も全て0.5以下である。こうした小学校については、生徒数に余裕のあることから、スクールバスの導入などによって地域的に距離制約を緩和することで、更に小学校数を削減できる可能性がある。反対に、距離制約強度は低

いものの、容量制約強度の高い若葉区都賀の台、みつわ台北、みつわ台南、稲毛区草野、あやめ台の各小学校は、いずれも校外に位置し、校舎や校庭の拡張による容量制約緩和の可能性はある。稲毛区南部、西部の各小学校についても、そうした拡張が可能であれば、同様の施策を検討することができる。

稲毛区と若葉区の区界に着目すると、稲毛区草野、若葉区源、みつわ台南の各小学校が、いずれも距離制約から高い存続率を示している。このような区界域では、区を超えた通学を認めた場合、距離制約が緩和され、より効率的な学校配置を実現できる可能性が高い。実際、みつわ台南小学校に隣接する千草台東小学校やその隣の都賀小学校は充足率が低く、区を超えた通学によって学校配置をさらに効率化できるものと予想される。

#### 4. おわりに

本論文では、空間的最適化を基礎としながらも、より現実の政策立案を志向した、新たな施設再配置計画立案支援手法を提案した。最も典型的な都市施設の一つである、施設の最大利用距離と最大容量を所与の制約条件とする種類の施設に焦点を当て、施設数を最小化する再配置計画案群の導出と提示、及び、結果の分析方法を提案した。小学校再配置計画への適用により、手法の有効性を確認すると共に、実証的な多くの知見を得ることができた。

以下、本研究における今後の課題について述べる。まず第一に、計画立案支援手法のシステム化による実装が挙げられる。意思決定過程においては、データの解釈と分析が不可欠であるが、計画立案に携わる行政担当者や地域住民は、必ずしもこうした分析に慣れているわけではない。分析手法をコンピュータ環境に実装し、分析結果を自動的に分かり易く可視化、解釈することが必要である。このようなシステムを用いることで、制約条件や目的関数を様々に変えた場合の施設配置を自動的に導出することが可能となり、より多様な計画案が検討できるようになる。第二に、小学校とは異なる種類の施設、即ち、施設の最大利用距離と最大容量以外の制約条件を持つ都市施設に関する計画立案支援がある。より多様な利用形態を持つ施設、例えば保育施設のように、通勤途上での立ち寄り利用を行う施設の場合、利用者の居住地と勤務地を同時に考慮して施設配置を検討する必要がある。また商業集積地などの場合、飲食店や他の娯楽施設との回遊利用がしばしば行われるため、異なる複数種の施設配置を同時に考えなければならない。計画立案支援手法の適用可能性をさらに拡大し、より一般的な方法とするための研究が必要である。第三に、施設の新設を含めた再配置についても、今後考えるべきである。人口減少局面であっても、生活形態の変化に対応するには、廃止だけではなく新設を要する都市施設は数多く存在する。保育施設やデイケアセンターなどはその典型であり、現在でも未だに需要に十分応えているとは言い難い。このような施設の計画立案支援についても、現実の政策立案を志向しつつ、客観性も保持した手法の開発が望まれる。

#### 参考文献

- Belton, V. and Stewart, T. J. (2002): *Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer.
- Daskin, M. S. (1995): *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. Wiley.
- Drezner, Z. (1995): *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*. Springer.
- Drezner, Z. and Hamacher, H. W. (2004): *Facility Location: Applications and Theory*. Springer.
- Farr, D. (2007): *Sustainable Urbanism: Urban Design with Nature*. Wiley.
- Figueira, J., Greco, S., and Ehgott, M. (2004): *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer.
- Langner, M. and Endlicher, W. (2007): *Shrinking Cities: Effects on Urban Ecology and Challenges for Urban Development*. Peter Lang Publishing.
- Mirchandani, P. B. and Francis, R. L. (1990): *Discrete Location Theory*. Wiley.
- Register, R. (2006): *EcoCities: Rebuilding Cities in Balance with Nature*. New Society Publishers.
- Saaty, T. L. and Peniwati, K. (2007): *Group Decision Making: Drawing Out and Reconciling Differences*. RWS

Publications.