

平面領域における最適立地点に需要量の不確実性が及ぼす影響

02103800 筑波大学 *窪田 順次 KUBOTA Junji

01205430 筑波大学 鈴木 勉 SUZUKI Tsutomu

1. はじめに

都市計画マスタープランを策定するにあたって、その都市の人口を把握し、目標年次の計画人口を設定することは最も基本的な項目の一つである。

人口推計の重要性に対する認識は高く、小地域における将来人口推計についても整備が進められているが、一般的に都道府県レベルでの推計に比べると誤差が大きいとされている^[4]。都市計画における意思決定の多くは本来的に、推計人口をはじめとする不確実な要素を含んだままで行わざるを得ないといえるが、特に我が国では、出生率の低下により人口の増加傾向は逡減する傾向にあるものの少子高齢化に伴う人口構造の変化は人口の推計を困難にしているという現状がある。

本研究では、人口推計が本来的にもつ不確実性を明示的に取り込むことで、人口推計の予測精度と最適施設立地点との関係を、さいたま市9区の平成25年人口見通しデータを用いた分析を例に明らかにする。特に、需要量の不確実性を表すパラメータの操作により、需要量の不確実性が最適立地点にどの程度反映され、リグレット最小化を含む複数の決定基準の施設配置に影響を与えているかを観察する。

2. 需要量の確率分布に関する仮定

本稿では、二次元平面上に離散的に分布する n 個の需要点の需要量 $w_i (i=1, \dots, n)$ をそれぞれある確率分布 $f_i(w)$ に従う連続確率変数とみなすことで各点の需要量の不確実性を記述する。確率分布 $f_i(w)$ の期待値を μ_i 、標準偏差を σ_i とすれば、標準偏差 σ_i が大きければ大きいほど需要量 w_i の予測精度が低く、不確実性が大きいといえる。また、各点の需要量は独立に決まると仮定する。以下では、各点の需要量が従う確率分布 $f_i(w)$ を「需要量の確率分布」と呼び、 n 需要点の需要量の空間的な分布のことを「需要量分布」と呼ぶ。

3. 施設配置の決定基準

本稿では施設配置点の評価指標として、(i)需要点から施設までの平均移動距離、(ii)平均リグレット、(iii)平均非負リグレットを挙げる^{[2][3]}。施設的位置を (x, y) とし、需要点 i からの移動距離を $d_i(x, y)$ とすれば、平均移動距離 $W(x, y)$ は、

$$W(x, y) = \frac{\sum_i w_i d_i(x, y)}{\sum_i w_i} \quad (1)$$

表1 施設配置の決定基準

	ミニ・サム	ミニ・マックス
平均移動距離	EW	MW
平均リグレット	ER	MR
平均非負リグレット	ER ⁺	MR ⁺

と定義できる。

リグレットの概念を用いた評価は、意思決定者が行った施設配置が結果的に実現した需要量分布に対して適切であったかという視点で行われる。すなわち需要点 i に位置する利用者のリグレット $r_i(x, y)$ は、意思決定者が行った施設配置点 (x, y) までの距離 $d_i(x, y)$ と実現した需要量の分布に対する Weber 点座標 (x^*, y^*) までの距離 $d_i(x^*, y^*)$ との差によって与えられ、次式のように定義することができる。

$$r_i(x, y) = d_i(x, y) - d_i(x^*, y^*) \quad (2)$$

全利用者にわたるリグレットの平均 $R(x, y)$ は、

$$R(x, y) = \frac{\sum_i w_i r_i(x, y)}{\sum_i w_i} \quad (3)$$

と定義できる。但し、リグレットは Weber 点座標までの距離を基準として考えているため、利用者の位置関係によってはリグレットが負となる。

非負リグレットでは、リグレットが正であるような利用者のみに着目し、施設配置点の評価を得る。

利用者 i の非負リグレット $r_i^+(x, y)$ は、

$$r_i^+(x, y) = \max\{d_i(x, y) - d_i(x^*, y^*), 0\} \quad (4)$$

となり、平均非負リグレットは、

$$R(x, y) = \frac{\sum_i w_i r_i^+(x, y)}{\sum_i w_i} \quad (5)$$

と定義できる。

これら3つの評価指標に対し、それぞれミニ・サム型、ミニ・マックス型の決定基準を定式化する。評価指標を $I(x, y)$ とすれば、ミニ・サム型の決定基準は評価指標の期待値最小化として定義でき、

$$\min_{x, y} \int_{W_1} \dots \int_{W_n} P(w_1, \dots, w_n) \cdot I(x, y) dw_1 \dots dw_n \quad (6)$$

と表せる。但し、 W_i は需要量 w_i の定義域である。 $P(w_1, \dots, w_n)$ は将来的にある需要量分布が実現する確率密度であり、需要量の確率分布を $f_i(w)$ であらわせば次式のように定義できる。

$$P(w_1, \dots, w_n) = \prod_i f_i(w) \quad (7)$$

一方、ミニ・マックス型の決定基準は評価指標の最大値の最小化として定義され、

$$\min_{x,y} \max_{w_1, \dots, w_n} I(x,y) \quad (8)$$

と記述できる。以上、6つの決定基準とその記号を表1にまとめる。なお、決定基準EWと決定基準ERは同義である^[1]。

4. さいたま市の9区役所を需要点とした数値計算

表2にさいたま市9区における平成15年の人口と平成25年の人口見通しを示す。ここでは、各区の区役所を需要量の代表点とし、需要点*i*の需要量 w_i は区間 $[(1-c)\mu_i \leq w_i \leq (1+c)\mu_i]$ ($0 \leq c \leq 1$)において確率分布 $f_i(w)$ の一樣分布に従うものとして、人口推計に内在する不確実性をモデル化する。但し、 μ_i は各区の平成25年の見通し人口とする。このとき需要量の標準偏差は $\sigma_i = c\mu_i / \sqrt{3}$ となり、パラメータ*c*は推計人口の予測精度または需要量の不確実性を表す代表値と解釈することができる。

ここで、ある位置(*a*, *b*)がWeber点座標と一致するか否かは実現してくる需要量分布に依存し、確率的に表現できる。本稿ではこのように「位置(*a*, *b*)がWeber点座標と一致する確率密度の空間的な分布」を「Weber点座標の確率密度分布」と呼ぶ。図1にパラメータ*c*=0.4のときのWeber点座標の確率密度分布を等高線で示す。また、各点に需要量の期待値 μ_i を割り当てたときのWeber点*W*をプロットしている。Weber点座標の確率密度分布は点*W*から需要点の方向に向かって広がっている。点*W*、大宮区、中央区では確率密度がピークをもっており、需要点での優位性が見て取れる。図2に決定基準MRによる施設配置点を示す。決定基準EW(ER), ER⁺による施設配置点が点*W*と一致したのに対し、決定基準MW, MR, MR⁺ではパラメータ*c*の大きさ、すなわち人口推計精度に応じて施設配置点が異なり、不確実性の程度に対応した配置になると言える。



図1 Weber点座標の確率密度分布 ($c=0.4$)

表2 さいたま市9区の推計人口
(出典：さいたま市総合振興計画基本計画) [5]

	平成15年人口 (人)	平成25年人口 見通し(人)
西区	82,001	87,000
北区	130,361	138,000
大宮区	105,784	105,000
見沼区	150,693	177,000
中央区	88,676	89,000
桜区	92,004	101,000
浦和区	138,583	141,000
南区	165,935	189,000
緑区	103,328	131,000
さいたま市全体	1,057,365	1,158,000

5. おわりに

本稿では、施設配置の決定基準を定義した上で、需要量の不確実性を仮定した施設配置モデルを示した。また、さいたま市9区を対象地域として、需要量の不確実性の仮定に伴い定義されるWeber点座標の確率密度分布を示した。今後は、需要量の不確実性を仮定した上で、複数施設の配置、各需要点の施設への割り当てが確定的でない場合なども考えていきたい。決定基準MW以外の決定基準での施設配置点については発表当日に示す予定である。

参考文献

- [1] Daskin, M.S., Hesse, S. M. and ReVelle, C. S. (1997): α -reliable p -minimax regret: A new model for strategic facility location modeling. *Location Science*, 5 (4), 227-246.
- [2] 窪田順次・鈴木 勉(2003a): 不確実な需要分布下でのリグレット最小化施設配置問題. OR 学会春季研究発表会アブストラクト集, 54-55.
- [3] 窪田順次・鈴木 勉(2003b): 需要が不確実な場合の最適施設配置. OR 学会秋季研究発表会アブストラクト集, 82-83.
- [4] 国立社会保障・人口問題研究所, 将来推計人口データベースメニュー, <http://www1.ipss.go.jp/tohkei/Mainmenu.asp>, 2004年6月24日.
- [5] さいたま市 (2004): さいたま市総合振興計画基本計画.

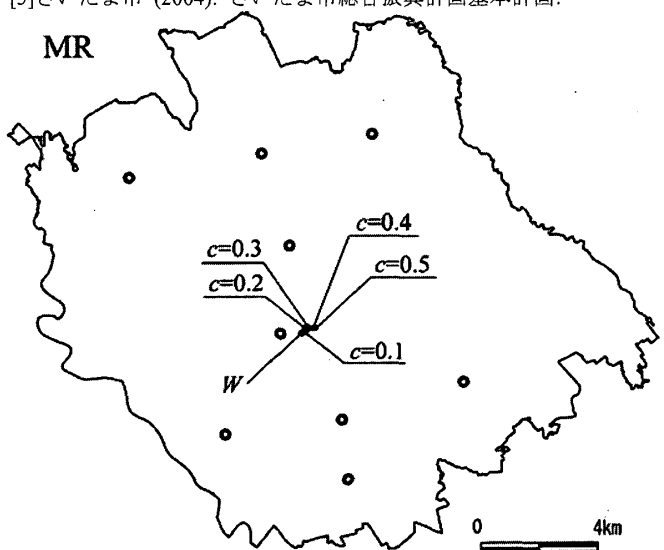


図2 決定基準MRによる施設配置点