

周期的人口分布変動と施設配置

鈴木 勉

Cyclic Dynamics of Population Distribution and Facility Location

Tsutomu SUZUKI

Abstract: Traditional facility location models yields optimal locations of facilities, usually taking accessibility of users into account. Thus the optimal location changes corresponding to changes in demand distribution. This paper provides a spatiotemporal facility location model under cyclic dynamics of population distribution. The model shows that the larger range of fluctuation forces us frequent relocation of facilities, and that the expensive relocation cost requires saving relocation, on the contrary.

Keywords: 施設配置 (facility location), 人口変動 (population dynamics), タイミング (timing), 統廃合 (consolidation and integration)

1. はじめに

わが国の人口は減少期に入り、人口総数には大きな変動は見られない。しかし、一定の地域に限ってみれば、その地域の年齢構成や大規模な住宅・都市開発の有無などに依存して、さまざまな変動パターンが見られる（例えば、大城・鈴木，2009）。Klaassen-Paelinck (1979)の都市発展衰退段階仮説はこうした変動が周期的に訪れるとしている。

施設配置計画の観点からは人口の変動は一定程度以内に収まっていた方がよいとされる（浅見，2001）。しかし、小地域スケールでは人口が大きく変動する場合や、人口総数では変動は小さくなくともある年齢階層で見たときには大きく変動する場合など、地域施設の建設や統廃合が必要になるケースが見られる（大城・鈴木，2012；野口・吉川，2012 など）。施設配置計画の立場から見る

と、人口の時間的変動が施設の設置コストに対して一定以下に抑えられれば、頻繁な建設や統廃合は避けられる。

そこで本研究では、周期的に変動する人口分布に対して最適な施設建設・廃止のタイミングと配置を求める問題を時空間配置モデルとして定式化し、その解から人口分布の変化の大きさや施設の一定期間あたりの固定費用との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 時空間配置モデルの定式化

2.1 モデルの概要

本論文では、離散型の固定費用を考慮した施設配置モデルとして定式化を行う（Daskin, 1985）。複数の期間における時系列的な施設利用人口が与えられたノードおよび施設候補点の位置とそれらの間の距離が定義されているとし、各期で利用者が最寄りの施設を利用する状況を考え、全期間での予算制約の下で施設を配置することを考える。各期で施設の建設あるいは廃止を決定することができるが、それには一定の費用がかかると

鈴木 勉 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

筑波大学システム情報系

Phone: 029-853-5186

E-mail: tsutomu@risk.tsukuba.ac.jp

する．また、人口は全体としては安定しているが、周期的に変動するものとする．このような状況下で、全ての期間の移動距離の総和を最小化するような施設建設・廃止のタイミングと配置を考える (Suzuki et al., 1991)．

2.2 定式化

総期間長を T 、期間全体の総予算 (1 期間の施設運営費用を 1 単位とする) を B 、施設の建設または廃止の単価を c (ここでは簡単化のため建設・廃止とも同じとする) として、期間全体の総移動距離 D を最小化する施設の時空間配置を決定する問題は以下のように定式化される．

$$\min_{x_{ijt}, y_{jt}, z_{jt}} D = \sum_i \sum_j \sum_{t>0} a_{it} d_{ij} x_{ijt} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j x_{ijt} = 1, \quad \forall i, \forall t | t > 0, \quad (2)$$

$$x_{ijt} \leq y_{jt}, \quad \forall t | t > 0, \quad (3)$$

$$c \sum_j \sum_{t>0} z_{jt} + \sum_j \sum_{t>0} y_{jt} \leq B, \quad (4)$$

$$-z_{jt} \leq y_{jt} - y_{j,t-1} \leq z_{jt}, \quad \forall t | t > 0, \quad (5)$$

$$y_{j0} = y_{jT}, \quad \forall j \quad (6)$$

但し、便宜上 $t=0$ は $t=T$ と同じ状態を表し、

a_{it} : ノード i の期間 t における施設利用人口

d_{ij} : ノード i から施設候補点 j までの距離

x_{ijt} : ノード i から施設候補点 j への期間 t における配分 (配分するならば 1, さもなくば 0)

y_{jt} : 施設候補点 j への期間 t における施設の配置 (配置するならば 1, さもなくば 0)

z_{jt} : 施設候補点 j における期間 $t-1$ から t の間の施設建設または廃止の有無 (有れば 1, 無ければ 0) である．

式(1)は目的関数である全期間の移動距離の総和を最小化することを示す．式(2)は利用者が各期でいずれかの施設に必ず配分されること、式(3)はその期で存在する施設に配分されることを示す．式(4)は建設・廃止費用と施設運用費用の全期間での総和が一定値 B 以内であるという予算制約を示す．式(5)は、施設建設・廃止の有無を示す z_{jt} を定義する制約であり、式(6)は最終の $t=T$ 期と $t=0$ 期の施設配置が同一である (周期性を持つ) ことを示す制約である．

3. 周期的人口分布変動と最適時空間施設配置

3.1 線分都市と人口分布変動パターンの設定

ここでは最も単純なケースで解の基本特性を調べることを目的とし、1 次元の線分都市に適用する．線分の長さを 1,500 とし、100 毎のセグメントの中央に施設候補点があり、その倍の 30 の均等に分布するなノード上に利用者が存在する状況を想定する．

人口分布は周期的に変動するものとする．総期間長 $T=24$ 、総予算 $B=120$ とし、ここでは最も単純なケースとして、人口密度は各期で空間的には一様分布であるが、正弦曲線に従って時間的に周期的に変動するケースを考える．すなわち、各ノードの t 期の人口を

$$a_{it} = 1 + w \sin(2\pi t / T) \quad (7)$$

で表すことができるものとする． w は人口の変動幅を表し、 $0 \leq w \leq 1$ の範囲の値をとる．

ここでは、まず第一に、建設・廃止単価 c をパラメータとして変化させ、第二に、人口変動幅 w を変化させたときの解の特徴を考察する． c の大小は、人口変動の周期の長短の逆を表すものとも解釈できる．

3.2 建設廃止単価・人口変動幅との関係

図-1 は、やや極端な人口変動幅 $w=1.0$ のときの建設・廃止単価 c の変化と最適時空間配置の関係を示したものである．図右端のカーブは循環する人口変動を示している (ここでは全て同じ)．建設・廃止費用がかからない場合、各期で最適な空間配置が解となっており、一般に、人口の大小に合わせて施設数を調節するために施設の再配置が頻繁に生ずることになる．単価が上昇すると、総移動距離は増加してしまうが、多くの施設数が必要な高人口密度の期間から優先的に施設建設・廃止回数を抑制した方が好ましく、施設配置箇所数も限られた少数の地点に限定され、常設施設数が増加していき、施設数の変動が少なくなっていく様子が見取れる (表-1)．人口密度が低く施設数が少ない場合は、施設の位置が相対的に重要になり、再配置をせざるを得ない状況になることに注意すべきである．

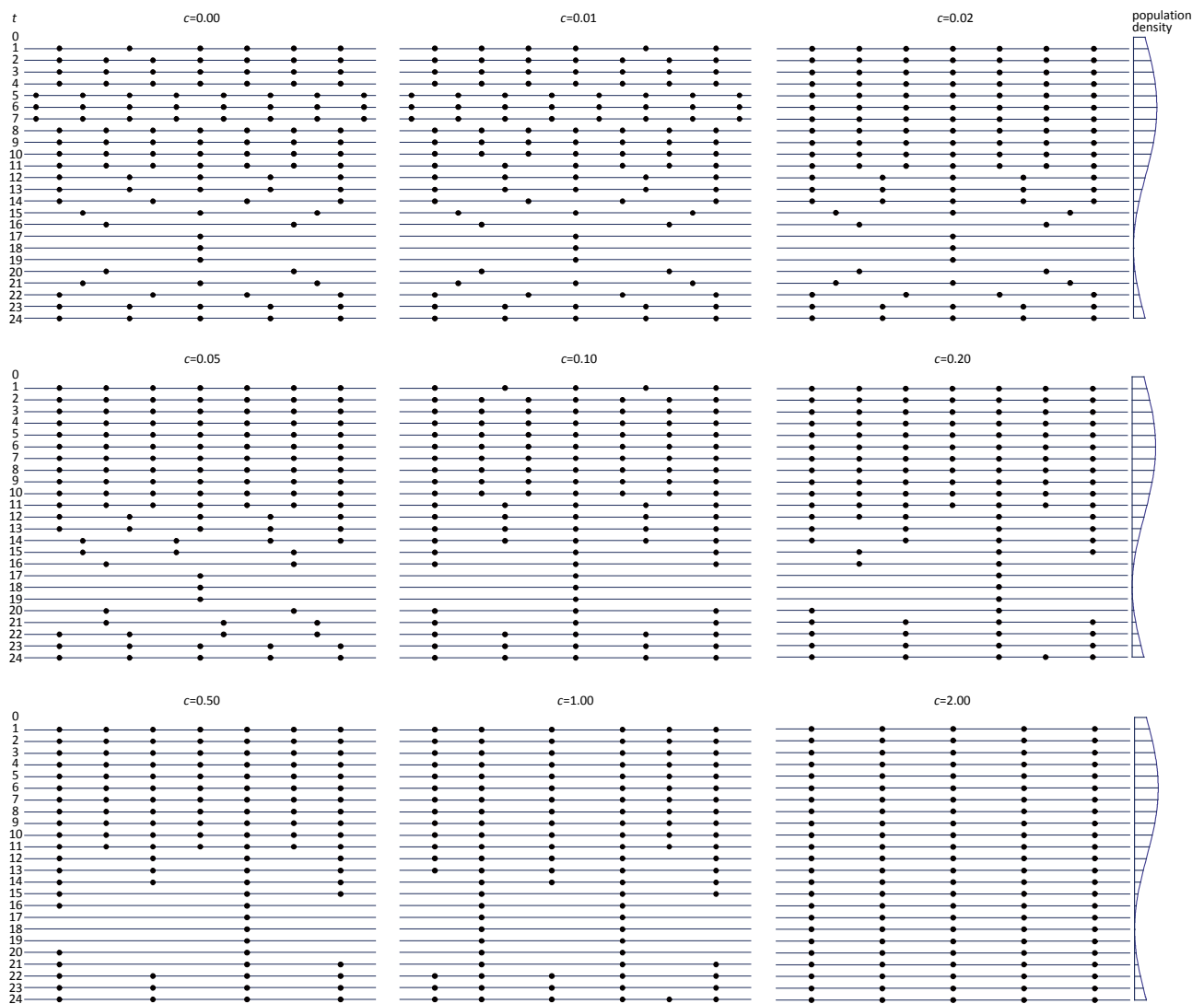


図-1 最適な時空間施設配置（右端は人口の周期的変動, $w=1.0$ ）

表-1 建設・廃止回数と総移動距離のトレードオフ
($w=1.0$)

建設・廃止 単価 c	建設・廃止 回数($\sum Z_i$)	施設総数 ($\sum Y_i$)	総移動 距離(D)	施設配置 箇所数	常設 箇所数	常設率
0.00	82	120	45037	15	0	0.00
0.01	82	119	45415	15	0	0.00
0.02	46	119	45546	11	0	0.00
0.05	40	118	45983	13	0	0.00
0.10	20	118	46503	9	1	0.11
0.20	15	117	47175	7	1	0.14
0.50	12	114	48614	7	1	0.14
1.00	8	112	51201	6	2	0.33
2.00	0	120	54000	5	5	1.00

一方、図-2 は、建設・廃止単価を $c=0.05$ に固定したときの人口変動幅 w の変化と最適時空間配置の関係を示したものである。右端に人口変動を示しており、上から下に行くほど変動幅が大きくな

表-2 建設・廃止回数と総移動距離のトレードオフ
(w を変更した場合, $c=0.05$)

人口変動 幅比率 w	建設・廃止 回数($\sum Z_i$)	施設総数 ($\sum Y_i$)	総移動 距離(D)	施設配置 箇所数	常設 箇所数	常設率
0.4	0	120	54000	5	5	1.00
0.5	16	119	53771	8	2	0.25
0.7	36	119	51685	11	0	0.00
1.0	40	118	45983	13	0	0.00

る。これを見ると、建設・廃止単価 c を大きくしたときと同様、変動幅 w を小さくするほど、建設・廃止回数を小さく、施設配置箇所数を少数に限定し、常設箇所数を増やしていく方が好ましくなることが読み取れる（表-2）。

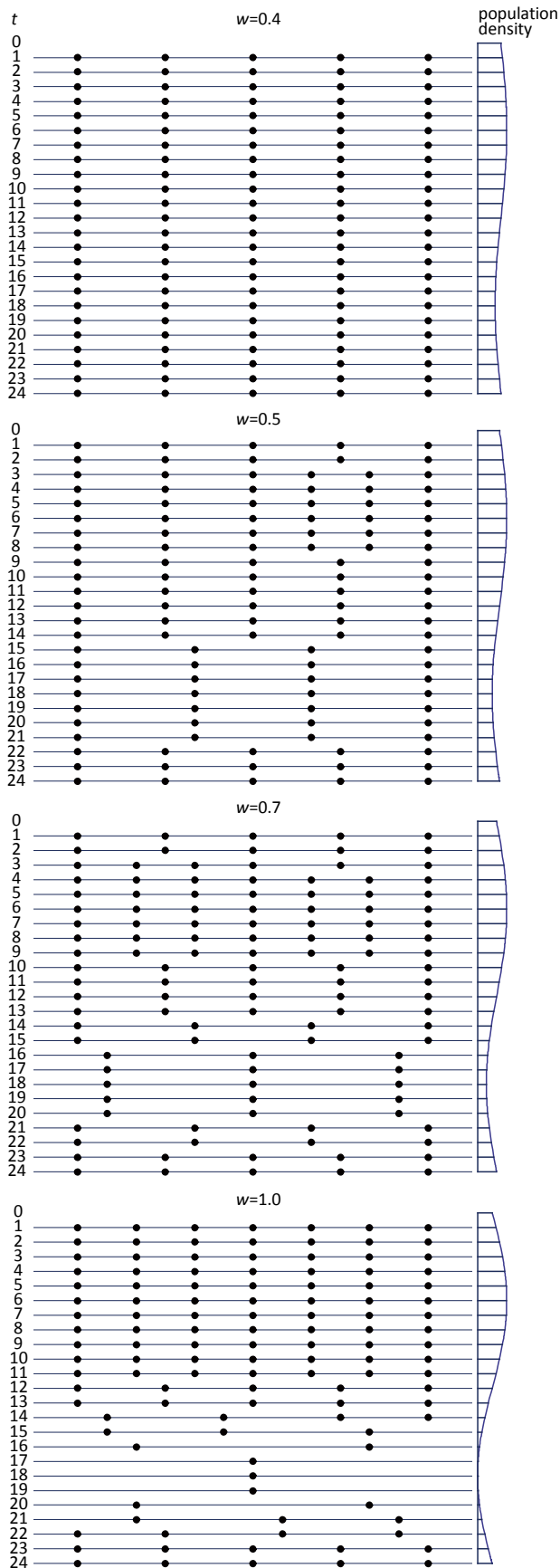


図-2 w を変更した場合 ($c=0.05$)

4. おわりに

時空間施設配置モデルを周期的に変動する人口分布下で解くことにより、再配置コストが小さいほど施設の再配置が頻繁に必要なになるが、人口の変動を一定程度小さくすることができれば、特に人口密度の高い時期における再配置を抑制できることが明らかになった。

謝辞

本研究は、JSPS 科学研究費補助金 24241053 (基盤研究(A)) および 25242029 (基盤研究(A)) による助成を受けた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 浅見泰司 (2001): 「住環境—評価方法と理論」, 東京大学出版会.
- Daskin, M. S., 1995, *Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Klaassen L. H., and Paelinck, J. H., 1979, The future of large towns, *Environment and Planning A*, **11**(11), 1095-1104.
- 野口雄史・吉川徹 (2012): 年齢階層別の施設利用頻度に着目した施設・住居最適配置の時系列変化分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012 年 9 月.
- 大城将範・鈴木勉 (2009): 年齢構成の変化からみた地区分類と住宅開発との関連性-1970 年～2005 年の東京都区部を対象として-, 都市計画論文集, **44**(3), 727-732.
- 大城将範・鈴木勉 (2012): 東京区部における都市施設分布と年齢別人口構成の推移の関連性分析, GIS—理論と応用, **20**(1), 1-9.
- Suzuki, T., Asami, Y. and Okabe, A., 1991, Sequential location-allocation of public facilities in one- and two-dimensional space: comparison of several policies, *Mathematical Programming Series B*, **52**(1), 125-146.