

## The flow-capturing location-allocation モデル の交通流 Network への適用: 東京地区

02202330 中央大学大学院理工学研究科 島川陽一\* YOUICHI Shimakawa

### 1 はじめに

従来のネットワーク施設配置問題は、ノード上の重みとして表現される需要に、供給施設を最適に配置する問題であった。しかし、ある種の需要はノード上に表現されるよりもフローとして表現される方が妥当である場合がある。The flow-capturing location-allocation モデル (以下 FCLM) はこの種の需要に対応しており、施設が捕捉する交通流の最大化を目的とする問題である。例えば、ガソリンスタンド、コンビニエンスストア、広告、銀行の現金自動支払機などがこの種の問題の例としてあげられる。このような施設を配置する問題は、配置する施設の数が増加するにしたがって、各施設の捕捉するフローがお互いを共食いし合うという問題点 (Flow cannibalization) を生じる。通常の施設配置問題が、近隣の施設とのみ需要を奪いあうのに対し、この種の問題は需要がフローとして表現されているため、場所的に離れた施設との競合が発生し、これが問題を難しくしている。したがって、各施設がお互いに来る限り競合しないような形で最大フローを捕捉するような施設配置をすることが望ましい。

FCLM を Edmonton, Canada に適用した研究が Hodgson らによってなされている [4]。Hodgson らは整数計画法や分岐限定法などの厳密解法とともに、近似解法として Greedy アルゴリズムを適用し、特にその有効性を報告している。本研究では、東京地区での通勤を想定した交通流に、FCLM を適用する。解法として Greedy アルゴリズムを取り上げ、その有効性を検証し、他の近似解法の有効性についても考察する。

### 2 The flow-capturing location-allocation problem

FCLM を定式化するにあたり、以下の変数を定義する。

$f_q$  OD 対  $q$  の流量 ( $q = 1, \dots, n_q$ )。ただし、 $n_q = (n)(n-1)$ 。

$p$  配置される施設の総数。

$\Lambda_q$  OD 対  $q$  の経路上に現れるノードの集合。

$Y_q$   $f_q$  が捕捉されていれば 1、そうでなければ 0 となる変数。

$X_i$  ノード  $i$  に施設が配置された時に 1、そうでなければ 0 となる変数。 ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

$n$  ノードを持ったネットワークを想定し、 $n$  ノードすべてに施設配置が可能であり、また交通流は最短経路でノードから他のノードへと流れるものとする。フローは OD (Origin-Destination) リストで与える。フローは各ノードに配置される施設によって捕捉されるものと

する。以上から FCLM は以下のように定式化される。  
Maximize:

$$Z = \sum_{q=1}^{n_q} f_q Y_q \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{i \in \Lambda_q} X_i \geq Y_q \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i = p \quad (3)$$

評価関数 (1) は捕捉されるフローの最大化を表現している。制約条件 (2) はフローの経路上に少なくとも 1 つの施設が配置されないとフローは捕捉できないということを表現しており、制約条件 (3) は総数  $p$  施設が配置されることを表している。

### 3 データ



図 1: 東京地区通勤圏 (建設省国土地理院監修、数値地図情報による)

道路データの採取は建設省国土地理院監修、数値地図情報による。同データの対象とする道路は、高速自動車道、一般国道、主要地方道、一般都道府県道、その他市町村道、道路運送法に基づく自動車道、林道を含む。人口データは平成 2 年国勢調査地域メッシュ統計 ((財) 統計情報研究開発センター) を使用した。

東京都内の事業所に通勤する労働人口の多くは、いわゆるベッドタウンと言われる東京近郊、すなわち神奈川、埼玉、千葉に居住する。今回数値実験の対象としたのは皇居をほぼ中心とした東西 100km、南北 60km におよぶ地域 (図 1) で埼玉県川越市、東京都八王子市、

\*simakawa@taguchi-lab.ise.chuo-u.ac.jp

神奈川県横浜市、千葉県千葉市を含む地域である。該当地域における総人口は24161364人、労働人口は12916044人である。この地域における道路の総距離は6939.731kmであり、交差点数3718である。

## 4 数値実験結果

### 4.1 OD 対の作成

OD 対は、ノード  $i$  における労働人口とノード  $j$  における就業者人口の積で作成した。

### 4.2 Greedy アルゴリズムによる解法

greedy アルゴリズムによる解法は、ノードに流れる流量の大きなものから順に施設を配置していくというものである。すなわち、OD 対  $ij$  によってノード  $i$  からノード  $j$  へ流れる流量が与えられる。ノード  $i$  からノード  $j$  への最短経路上に現れるノードには OD 対  $ij$  の流量がながれることになるので、そのノードすべてにノード  $i$  からノード  $j$  へ流れる流量を加算する。すべてのノードについて計算を行ない、Greedy アルゴリズムによってノードの流量の大きなものから順番に  $p$  ノード、施設を配置する。

### 4.3 計算結果

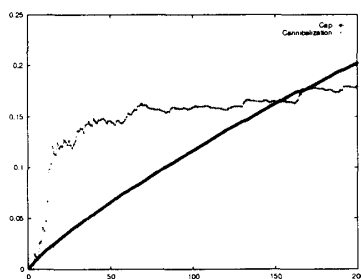


図 2: Greedy アルゴリズムによる数値実験結果

捕捉率を以下に定義する。

$$Cap = \frac{Z}{\sum_{q=1}^{n_q} f_q} \quad (4)$$

ただし、 $Z$  は式 (1) である。また、 $flow_i$  はノード  $i$  の流量、 $Cap_i$  は捕捉流量であるとする、共食い率の定義は以下の通りとなる。

$$Cannibalization = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^n \frac{flow_i - Cap_i}{flow_i} X_i \quad (5)$$

Greedy アルゴリズムを用いた実験では図 2 の結果を得た。 $p$  を増加させるにしたがって捕捉率が増加し、それに対応して共食い率も増加する。共食い率は  $p = 3$  までは 0 であるが、 $p = 4$  以後急速に上昇し、 $p = 15$  以後上昇が鈍る。これに対して捕捉率はほぼ線形に上昇する。

### 4.4 結果考察

$P = 10$  の施設配置は図 3 のようになった。施設配置場所上を表 1 にリストする。

東京は皇居を中心としたオフィス地域を囲むように人口が分布している。したがってフローを大きく捕捉

表 1:  $p = 10$  における施設配置場所

	捕捉率	場所
1	1.90%	東京都新宿区西落合 (目百通り)
2	2.00%	千葉県千葉市海浜幕張 (幕張メッセ)
3	1.87%	東京都目黒区洗足 (環状 7 号線)
4	1.63%	東京都中野区東中野 (山手通り, 大久保通り)
5	1.86%	東京都太田区矢口の渡し (国道 1 号, 環八)
6	1.82%	東京都台東区大関横町 (国道 4 号, 明治通り)
7	1.70%	東京都中野区弥生 (方南通り, 中野通り)
8	1.65%	東京都豊島区池袋 (明治通り, 国道 254 号)
9	1.61%	東京都文京区本駒込 (国道 17 号, 不忍通り)
10	1.73%	東京都目黒区中目黒 (山手通り, 目黒通り)



図 3:  $P = 10$  の施設の分布

するような施設配置は皇居を中心に円形に配置される形となることが推測される。計算結果はその推測を裏付けるものとなった。

## 参考文献

- [1] O., Larson, R. c, Fouska, N.: 1992, "Optimal location of discretionary service facilities" *Transportation Science*, **26**, 201-211
- [2] Hodgson, M. J.: 1990, "A flow-capturing location-allocation model", *Geographical Analysis*, **22**, 270-279
- [3] M. J. Hodgson, K. E. Rosing: 1992, "A network location-allocation model tarding off flow capturing and  $p$ -median objectives" *Annals of Operations Research*, **40**, 247-260
- [4] M. J. Hodgson, K. E. Rosing, A. Leontien G. Storrier : 1996, *European Journal of Operation Reserch*, **90**, 427-443
- [5] 建設省国土地理院監修、(財) 日本地図センター編集発行: 1991、数値地図ユーザーズガイド
- [6] Masao Iri: 1994, *An Essay in the Theory of Uncontrollable Flows and Congestion*