

# 複数回の捕捉を考慮したフロー捕捉型配置問題と 鉄道流動データへの適用 —京王線と山手線を事例として—

田中 健一, 古田 壮宏

## 1. はじめに

都市や地域において、種々のサービスを提供する施設をどのように配置すべきかを計画することは重要な問題である。この問題は、オペレーションズ・リサーチの分野では施設配置問題として知られており、様々なモデルが提案されてきた。そのなかでも、Hodgson (1990) のフロー捕捉型配置問題 (Flow Capturing Location Problem, 以降 FCLP とよぶ) は、ネットワーク上の様々な頂点間を移動するフローを需要と捉えるところに特徴があり、近年も盛んに研究がなされている。FCLP は、ネットワーク上の各フローが通過する経路とその流量（需要量）を既知とし、経路上に施設が存在するフローは施設によって捕捉されると考える。これは移動者の視点から見れば、経路上に利用できる施設があることを意味する。FCLP は、捕捉フロー量の合計を最大化するような施設配置を求める問題である。なお、FCLP は、フローにとって利用可能な施設が経路上に一つ以上あるかどうかを問題にしており、複数施設がある場合でもどの施設を利用するかは考えていない。対象となる施設の種類としては、コンビニエンスストアや ATM などに加え、ガソリンスタンド [9] や車両検問所 [8]、さらには広告看板 [7] など多様である。また、様々な状況設定に応じたバリエーションが存在し、本来の経路から迂回して施設に立ち寄る場合を考慮したもの [2]、経路上に複数の施設

がある場合にどの施設を利用するかを考慮したもの [10]、経路上にある複数の施設から同時に捕捉される状況を考慮したもの [1] など、多様な展開がなされている。詳しくは、Berman らのレビューを参照されたい [3]。

FCLP の既存研究では、フローとして自動車交通流が想定されており、実データを用いた分析は道路網上の配置問題にとどまっている。FCLP で想定される施設利用形態は鉄道利用者の場合にも当てはまる。経路途中の駅で途中下車して施設に立ち寄る行為は日常的な行動であろう。実際、一部の大規模駅では、駅構内に様々な種類の店舗が存在するが、これは立ち寄りによる需要を想定したものである。そこで本稿では、通勤時の鉄道流動に着目し、路線の駅に施設を配置する問題に FCLP を応用する。さらに、Hodgson の FCLP (以降基本モデルとよぶ) に加え、複数施設からの同時に捕捉される状況を考慮したモデル (以降複数回捕捉モデルとよぶ) を取り上げ鉄道流動データを用いて京王線と山手線上の配置分析を行う。京王線は新宿駅から郊外へ延びる典型的な放射路線であり、山手線は複数の大規模駅を持つ都心の環状線であるため、両路線の流動パターンは大きく異なる。この違いが最適配置結果に与える影響を分析することは興味深い。FCLP の拡張モデルは、これまで実データを用いた分析は十分になされておらず、本事例は FCLP を現実問題へ応用する際に基礎になると見える。

複数回捕捉モデルは、移動経路上に利用可能な施設が複数ある場合、その数に応じて移動者がいざれかの施設に立ち寄る割合が増加する点に着目したモデルであり、Averbakh and Berman (1996) によって提案された [1]。図 1 は、ネットワーク上のあるフロー  $q$  とその経路上の施設を模式的に示している。基本モデ

たなか けんいち

電気通信大学 情報理工学部

〒182-8585 調布市調布ヶ丘 1-5-1

ふるた たけひろ

東京理科大学 工学部

〒162-8601 新宿区神楽坂 1-3

受付 10.7.15 採択 10.12.2

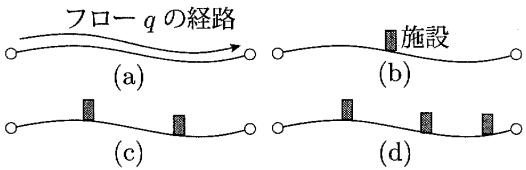


図1 フロー  $q$  の経路上の施設数

ルでは、経路上に施設が「一つ以上存在するかどうか」を問題にするため、図1(a)は捕捉されないケース、図1(b), (c), (d)は捕捉されるケースとなり(b), (c), (d)は同じ扱いとなる。しかし実際には、経路上に多くの施設があるほど利用可能な施設の選択肢は広がる。施設数に応じて施設の利用割合が増大する構造は、施設の種類を問わず多くの場面に共通するものと考えられる。また、多くの応用の場面では、経路上の施設数の増大に伴って新たに施設を追加する効果は減少すると仮定するのが自然であり[1]、本稿でもこれを前提とする。例えば施設として広告板に着目すると、図1(a), (b), (c), (d)の順に広告を目にする回数が増え、宣伝効果は増大すると考えられる。このとき、新たに広告を目にする効果の増分は減少すると仮定するのが自然である。なお、この構造を必ずしも仮定しない場合の複数回捕捉モデルについては、Hodgson and Berman [7]で扱われており、発見的解法による道路網上での配置結果が分析されている。

FCLPで想定される需要は、出発点と到着点の間のフローであり、需要を点として扱う古典的な施設配置問題と大きく異なる。このため、与えられた施設配置において各フローが利用可能な施設を視覚的に示すのが困難であった。本稿では、この点を工夫し、与えられた施設配置によって捕捉されるフローをOD表を用いて視覚的に表示し、最適配置結果を詳細に分析する。

本稿の構成は以下の通りである。2節では、基本モデルと複数回捕捉モデルを紹介し定式化を示す。3節では、大都市交通センサスデータ[11]をもとに作成した鉄道流動データについて説明し、京王線と山手線の駅間流動量を分析する。4節では、京王線と山手線を対象とした基本モデルと複数回捕捉モデルの最適配置結果を比較する。また、与えられた配置結果におけるフローの捕捉状況を視覚的に把握することを試みる。5節では、家電量販店の店舗立地を取り上げ、4節で得られた配置結果との比較分析を行う。最後に6節で今後の課題について言及する。

## 2. モデルの仮定と定式化

### 2.1 フロー捕捉型施設配置問題の定式化

Hodgson (1990) によるFCLPを紹介する。ネットワーク上の様々な起・終点間の移動経路と流量（需要量）を既知とする。経路上に施設が存在するフローは施設によって捕捉されると考える。FCLPは、捕捉されるフローの合計を最大化するように所与の個数の施設を配置する問題である。これは捕捉されないフローを最小化することと等価である。この見方は、施設サービスを受けることができる人数を最大化する配置を求める最大カバー問題[5]と同様である。なお、この問題はほぼ同時期にBermanらのグループによつても提案されている[4]。以下では、施設を配置可能な頂点集合を  $K$ 、その要素を  $k$  と表す。また、正の流動が存在するフローの集合を  $Q$ 、その要素を  $q$  と表し、以下の記号を導入する。

$p$  : 配置施設数

$f_q$  : フロー  $q$  の流動量（移動者数）

$\alpha_{qk}$  : 頂点  $k$  がフロー  $q$  の経路上に含まれる場合に1をとり、含まれない場合に0をとるパラメータ

さらに、以下の0-1変数を導入する：

$$x_k = \begin{cases} 1 & \text{頂点 } k \text{ に施設を置く} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y_q = \begin{cases} 1 & \text{フロー } q \text{ が捕捉される} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

フロー捕捉型配置問題の定式化は次のようになる：

$$\max \sum_{q \in Q} f_q y_q \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{k \in K} x_k = p \quad (2)$$

$$y_q \leq \sum_{k \in K} \alpha_{qk} x_k \quad \forall q \in Q \quad (3)$$

$$x_k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$y_q \in \{0, 1\} \quad \forall q \in Q \quad (5)$$

目的関数(1)は、捕捉されるフローの総和を表しており、これを最大化することが目的である。FCLPの最適解は、多くのフローをできるだけ重複なく効率的に捕捉するような配置が実現される。式(2)は、配置施設数が  $p$  個であることを表している。式(3)は、フロー  $q$  を捕捉するためにはフロー  $q$  の経路上に少なくとも一つは施設を配置しなければならないことを意味する。式(4)と式(5)は変数  $x_k$  と  $y_q$  の0-1制約を表している。なお、目的関数(1)と制約式(3)の形から、 $y_q$  を連続緩和しても元問題の最適解が得られる。

## 2.2 複数回捕捉モデルの定式化

Averbakh and Berman (1996) は、フロー捕捉型配置問題において初めて複数回捕捉の概念を導入した。彼らの定式化は非線形の整数計画問題で記述されており、本稿では数理計画ソルバーで最適解が得られるよう線形の定式化を示す。ここで以下を仮定する：

- 仮定 1**：各フロー  $q$  の経路上にある施設数が多いほど新たに施設を追加する効果は減少する；  
**仮定 2**：各フロー  $q$  に対し  $m$  個より多くの施設を経路上に配置しても捕捉割合は増加しない；  
**仮定 3**：施設は各駅にたかだか一つまで配置可能である。

仮定 1 は、Averbakh and Berman (1996) で前提とされており、多くの応用の場面で成り立つ性質と考えられる。仮定 2 は、 $m$  個以上の施設が経路上に存在する場合、新たに施設を追加する効果は無視できるほど小さいことを示している。複数回捕捉モデルでは、同一点に複数の施設を配置可能な状況設定も意味を持つが、本稿では仮定 3 を前提とし、配置変数  $x_k$  を FCLP と同様に 0-1 変数で与える。なお、同一駅に複数の施設を配置可能な場合には  $x_k$  を整数変数として定義し直せばよい。ここで、図 2 のように、フロー  $q$  を  $i$  回捕捉した場合の捕捉割合を  $v_{qi}$  と表す。定式化に際し、フロー  $q$  を  $i$  回捕捉した場合の捕捉割合の増加量  $w_{qi}$  を導入する（図 2）。フローの捕捉状況を表す変数として新たに以下の  $z_{qi}$  を導入する：

$$z_{qi} = \begin{cases} 1 & \text{フロー } q \text{ が } i \text{ 回以上捕捉される} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

フロー  $q$  がちょうど  $r$  回捕捉される場合には、

$$z_{q1}=1, \dots, z_{qr}=1, z_{q,r+1}=0, \dots, z_{qm}=0$$

と設定すればよい。フロー  $q$  を  $r$  回捕捉した場合の捕捉割合  $v_{qr}$  は  $w_{qr}$  を用いて以下のように表される：

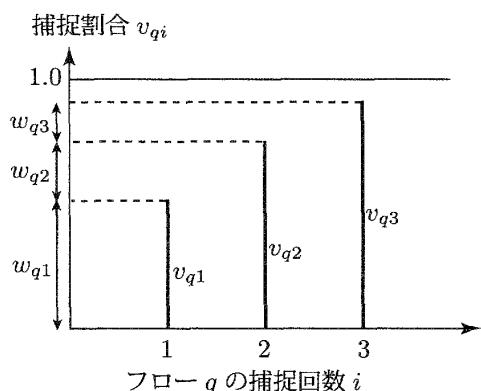


図 2 フロー  $q$  の捕捉回数と捕捉割合の関係

$$v_{qr} = w_{q1} + \dots + w_{qr} = \sum_{i=1}^m w_{qi} z_{qi}$$

複数回捕捉モデルの定式化は次のようになる：

$$\max \sum_{q \in Q} f_q (\sum_{i=1}^m w_{qi} z_{qi}) \quad (6)$$

$$\text{s. t. } \sum_{k \in K} x_k = p \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m z_{qi} \leq \sum_{k \in K} \alpha_{qk} x_k \quad \forall q \in Q \quad (8)$$

$$x_k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$z_{qi} \in \{0, 1\} \quad \forall q \in Q, i=1, \dots, m \quad (10)$$

目的関数(6)は、各フローの捕捉割合を考慮した総利用者数を表しており、これを最大化することが目的である。式(7)は、配置施設数が  $p$  個であることを表している。式(8)は、フロー  $q$  を  $i$  回捕捉するためにはフロー  $q$  の経路上に少なくとも  $i$  個の施設を配置しなければならないことを意味する。これは次のように解釈できる。式(8)の右辺はフロー  $q$  の経路上に存在する施設数を表しており、その数だけ左辺の  $z_{qi}$  を 1 にすることができる。ここで仮定 1 より、 $w_{qi}$  は  $i$  が小さいほど大きな値をもち、また最大化問題であるから、 $z_{qi}$  は  $i$  の小さな変数から順に 1 が割り当てられる。式(9)と式(10)は変数  $x_k$  と  $z_{qi}$  の 0-1 制約を表している。なお、この定式化において  $z_{qi}$  を連続緩和しても元問題の最適解を得ることができる。

## 3. 京王線と山手線の駅間流動データの分析

最適配置分析に使用する鉄道流動データの分析を行う。対象路線として、京王線（駅数 34）と山手線（駅数 29）を取り上げる（図 3）。平成 17 年大都市交通センサス[11]の線別駅間移動人員をもとに、路線上の駅間流動データを作成する。線別駅間移動人員データは、鉄道定期券利用区間のデータをもとに、各路線においてどの駅で乗車しどの駅で降車したかを初乗り駅・最終降車駅・乗継ぎ駅別に集計したデータである。

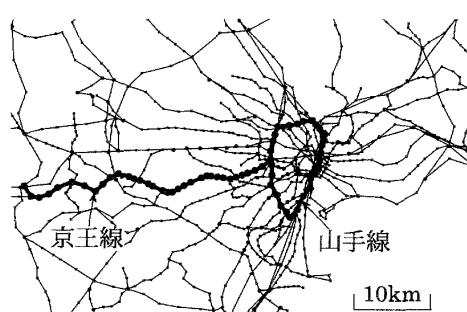


図 3 分析対象の京王線と山手線



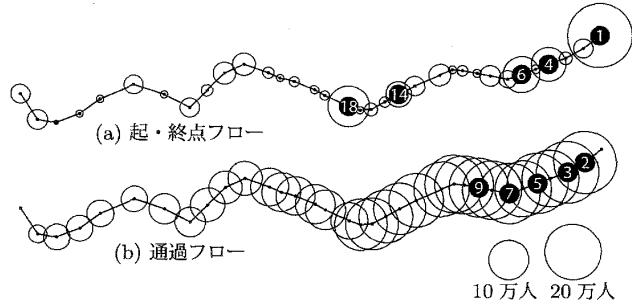


図5 京王線の各駅のフロー量

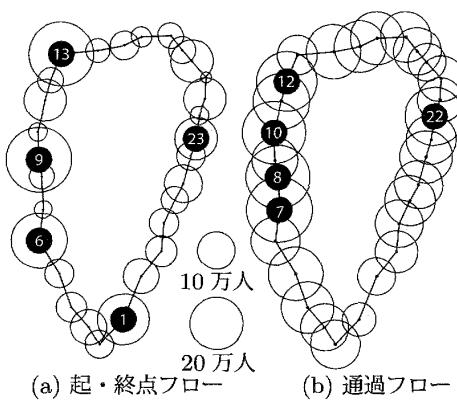


図6 山手線の各駅のフロー量

する。ここで、山手線のOD表を表1(表2)に示す。なお、計算には実際の値を利用しているが、表中には紙面の都合上100人を1単位とし小数部分を四捨五入した結果を示す。値がゼロのセルはフロー量が49人以下である。行方向が起点駅で列方向が終点駅を表しており、大都市交通センサスデータに示されている路線内番号が振られている(品川駅を1番とし路線に沿った番号付)。総流動量は1,294,000人である。表1よりフローに大きな偏りがあることが分かる。なお、表中には最適配置結果において捕捉されたフローの情報も同時に示しており、次節で詳述する。京王線も同様の手順で路線上の駅間OD表を作成する。京王線は新宿駅を1番として路線に沿って番号付されている。総流動量は482,820人である。

図5および図6に京王線と山手線の各駅のフローを種類別に示す。各駅の円の面積はフロー量を表し、その駅を、(a)出発駅または到着駅とするフローの総和、(b)通過駅とするフローの総和、を表している。図の黒丸はフローの値の大きい上位5駅の駅番号を表している。また、表3と表4にこれら上位5駅の駅番号と駅名およびフロー量を示す。なお、通過フローはその駅を通過する人数を表しており、(a)の乗降利用は含まれ

表3 京王線の起・終点フローと通過フローの上位5駅

起・終点フロー		通過フロー	
1 新宿	266,438	2 初台	248,011
18 調布	107,794	3 幡ヶ谷	245,089
6 明大前	85,976	7 下高井戸	235,621
4 笹塚	75,677	5 代田橋	232,799
14 つつじヶ丘	41,946	9 上北沢	223,245

表4 山手線の起・終点フローと通過フローの上位5駅

起・終点フロー		通過フロー	
9 新宿	299,144	7 原宿	304,577
13 池袋	290,396	8 代々木	287,665
6 渋谷	217,341	10 新大久保	282,287
1 品川	187,232	12 目白	255,651
23 秋葉原	127,909	22 御徒町	242,435

ない。ここで、山手線については右回りと左回りの短い方の経路へ通過フローの割り当てを行った。京王線では、新宿駅を起点または終点とするフローが多く、調布駅、明大前駅がこれに続く。通過フローは、初台駅が最も多く、新宿駅に近いほど大きな値をとる傾向がある(両端点の新宿駅と京王八王子駅の通過フローはゼロであることに注意)。山手線の場合には、起・終点フローは、新宿、池袋、渋谷の三駅が非常に大きな値をとっている。通過フローは、原宿駅が最大値をとり、上位四駅は池袋と渋谷の区間にある駅となっている。

#### 4. 京王線と山手線の駅を対象とした配置分析

京王線と山手線の駅間移動データを用いて、路線上の駅に施設を配置する状況を想定する。基本モデルと複数回捕捉モデルの双方について最適配置結果を求め、両者の特徴比較を行う。最適解の求解には、NUOPT Ver.11を用いる。複数回捕捉モデルは、二回までの捕捉効果を考える( $m=2$ )。ここで、 $w_{q1}=0.5$ ,  $w_{q2}=0.25$ とし、二回目の捕捉効果は一回目の50%の場合を取り上げる。なお、京王線には優等列車が存在するため、列車種別により停車駅が異なる。ここでは、定期券利用者の流动を対象としているため、施設立地駅に停車する種別の電車に乗ることができると考え、どの駅も施設立地場所としての差異はないものとする。図7および図8に京王線上の基本モデルと複数回捕捉モデルの最適配置結果を示す。複数回捕捉



図7 京王線上の最適配置結果（基本モデル）

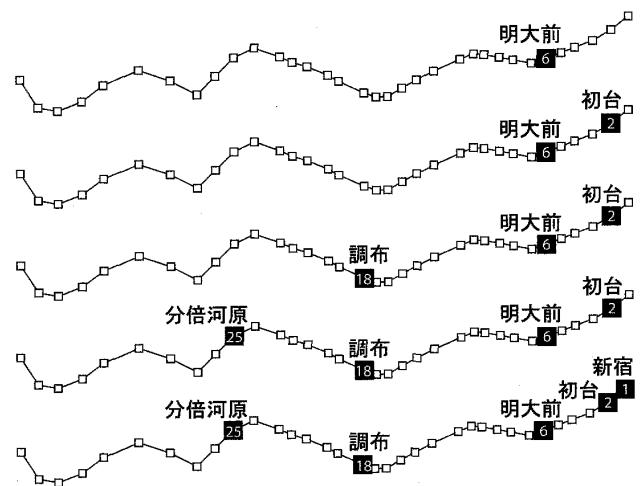


図8 京王線上の最適配置結果（複数回捕捉モデル）

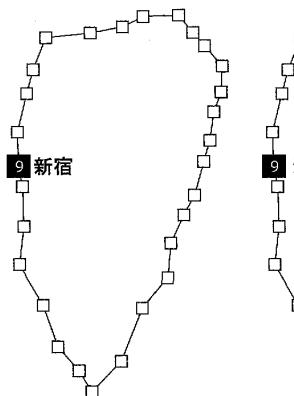


図9 山手線上の最適配置結果（基本モデル）

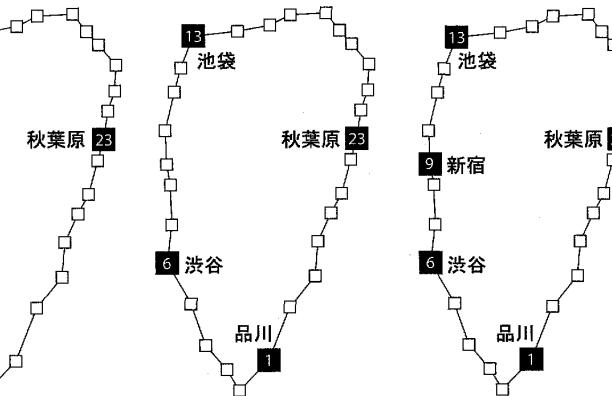


図10 山手線上の最適配置結果（複数回捕捉モデル）

モデルでは、基本モデルよりも新宿駅に近い駅が多く含まれており、流量の多い都心付近のフローを二重に捕捉し、多くのフローを捕捉する構造が見て取れる。図9および図10に山手線の基本モデルと複数回捕捉モデルの最適配置結果を示す。両モデルの配置結果を比較すると、基本モデルの結果は、施設が路線上に

分散して配置されている様子が見て取れる。これは、重複を少なくし多くのフローを効率的に捕捉することを目的とするFCLPの構造が端的に表れている。これに対し、複数回捕捉モデルの方は、近接した駅に同時に施設が配置される例が多く見受けられる。

以降では、山手線の配置結果についてさらに詳し

く分析する。まず、配置結果における捕捉フローをOD表上に表示し、解の持つ特性を視覚的に分析する。例として $p=2$ の場合の最適配置を取り上げ、基本モデル（新宿駅と秋葉原駅）と複数回捕捉モデル（新宿駅と池袋駅）の捕捉フローを比較する。表1において、グレーで塗られたセルと枠で囲まれたセルは、それぞれ新宿駅および秋葉原駅の施設に捕捉されたフローを表している。表2では、グレーのセルが新宿駅、枠で囲まれたセルが池袋駅の施設に捕捉されたフローを表している。これらの図より、FCLPの配置結果は流量の多いフローを効率的に捕捉し二重に捕捉されたフローはごく一部である様子が見て取れる。一方で、複数回捕捉モデルの方は、かなりの割合のフローが二重に捕捉されている様子が見て取れる。この部分のフローは大きな流量のものが多く含まれ、複数回捕捉モデルの構造が強く反映された結果となっている。

複数回捕捉モデルを現実の店舗立地計画に利用するためには、パラメータ $w_{q1}, w_{q2}$ をあらかじめ設定する必要がある。これを適切に見積もるために大規模なアンケート調査などが欠かせないものと思われる。データは常に入手可能であるとは限らないため、 $w_{q1}$ と $w_{q2}$ をパラメトリックに変化させて、各シナリオに応じた店舗立地の代替案を比較検討することは重要である。そこでここでは、複数回捕捉の効果の大小が最適配置結果に与える影響を分析する。表5に、 $w_{q1}=0.5$ に固定し $w_{q2}$ の値を0.05から0.45まで0.05刻みで変化させた9通りの問題を、施設数 $p=2, 3, 4, 5$ に対して解いた結果を示す。9通りの問題の最適解には共通するものが多く、 $p=2, 3, 5$ の場合に2通り、 $p=4$ の場合に3通り得られた。表5の括弧の中身はその解が得られたパラメータ $w_{q2}$ の番号（0.05を1, 0.45を9とする全9通り）を示している（例えば[1-4]は0.05, 0.10, 0.15, 0.20を表す）。表5より、 $w_{q2}$ の値が小さ

表5 様々なパラメータによる最適配置結果

$p, w_{q2}$	駅1	駅2	駅3	駅4	駅5
2 [1-4]	新宿	秋葉原	—	—	—
2 [5-9]	新宿	池袋	—	—	—
3 [1-4]	渋谷	池袋	秋葉原	—	—
3 [5-9]	新宿	池袋	秋葉原	—	—
4 [1]	品川	渋谷	池袋	秋葉原	—
4 [2-4]	品川	新宿	池袋	秋葉原	—
4 [5-9]	渋谷	新宿	池袋	秋葉原	—
5 [1-4]	品川	渋谷	新宿	池袋	秋葉原
5 [5-9]	渋谷	新宿	池袋	秋葉原	東京

い範囲では図9の基本モデルの最適配置が得られ（ $p=2, 3, 5$ の場合は[1-4]で $p=4$ の場合は[1]）、大きい範囲では図10の最適配置が得られた（ $p=2, 3, 4, 5$ のすべての場合で[5-9]）。新宿、池袋、渋谷および秋葉原の各駅は、多くの解に共通して現れることが分かる。また、ある施設数の問題に対し、 $w_{q2}$ が小さいと施設が路線上に分散して配置され、 $w_{q2}$ が大きいとフロー量が大きな区間に集中して配置される様子が見て取れる。これをより詳しく見るために、表5のすべての配置に対して、二つ以上の施設に捕捉された（経路上に二つ以上施設が存在する）フローの合計を表6に示す。先にOD表で捕捉フローを比較した $p=2$ の場合には、10倍以上の差が存在する。 $p=3, 4, 5$ の場合にも大きな差があることが分かる。

次に、図9と図10の最適配置における、基本モデルと複数回捕捉モデルの目的関数値を表7と表8に比較する（複数回捕捉モデルは小数点以下を四捨五入して表示する）。図10の配置における $w_{q2}$ の値は、この配置を実現する0.25から0.45の5通りの中間の値である $w_{q2}=0.35$ に設定して複数回捕捉の目的関数値を評価する。表7と表8より、どちらの目的関数値も他

表6 最適配置における複数回捕捉のフロー量

$p$	配置1	配置2	配置3
2	[1-4] 1,445	[5-9] 193,201	
3	[1-4] 119,648	[5-9] 230,734	
4	[1] 265,386	[2-4] 331,288	[5-9] 425,418
5	[1-4] 512,290	[5-9] 601,751	

表7 図9と図10の配置の基本モデルの目的関数値

	図9の配置	図10の配置
$p=2$	749,163	656,486
$p=3$	974,145	921,676
$p=4$	1,085,632	1,033,297
$p=5$	1,144,784	1,100,826

表8 図9と図10の配置の複数回捕捉モデルの目的関数値（ $w_{q1}=0.5, w_{q2}=0.35$ ）

	図9の配置	図10の配置
$p=2$	375,087	395,863
$p=3$	528,949	541,595
$p=4$	635,701	665,545
$p=5$	751,694	761,026

方の最適解の値は元の最適解の配置と比較しある程度の差が認められる。特に、 $p=2$  の図 10 の配置（新宿駅と池袋駅）の基本モデルの目的関数値は元の最適配置（新宿駅と秋葉原駅）と比較してかなり小さな値になっている。施設立地の複数の案を比較する場合には、各配置案が他方の目的関数値をどの程度満足するかを検討することは重要である。

## 5. 大型家電量販店の立地との比較

本節では、先に得られた最適配置結果を現実の店舗の立地傾向と比較する。対象として、鉄道駅付近に店舗を展開している大型家電量販店であるヨドバシカメラとビックカメラを取り上げる[12][13]。店舗利用者の多くは店舗立地駅から徒歩でアクセスすると考えられる。また、通勤や通学などの定期券利用区間上の店舗を利用するパターンも多く含まれると考えられ、興味深いフロー捕捉型の立地モデルの分析対象である。

図 11 に、山手線でヨドバシカメラとビックカメラの店舗が一つ以上存在する駅を示す。ヨドバシカメラは、新宿、上野、秋葉原の三駅に、ビックカメラは新宿、池袋、渋谷、有楽町の四駅に店舗を展開している。これらを、図 9 および図 10 の最適配置結果と比較すると、複数回捕捉を考慮した図 10 の配置結果に似ている点は注目に値する。ヨドバシカメラの池袋駅と上野駅、ビックカメラの秋葉原駅と有楽町駅の違いを除き、他の店舗の立地駅はすべて一致している。このことは、ヨドバシカメラとビックカメラの配置に対して基本モデルと複数回捕捉モデルの目的関数値の値を比較しても確かめられる。最適値と比較して、ヨドバシカメラの配置は 79% と 87%，ビックカメラの配置は 91% と 95% となっており、どちらも後者の複数回捕

捉モデルの目的関数値 ( $w_{q1}=0.5, w_{q2}=0.35$  で計算) の方が大きく、最適解に近いといえる。路線上の利用区間を同じくする利用者の中でも、経路上のどの駅で店舗を利用したいかにはかなりばらつきがあるものと思われる。その場合には、同一フローに対して店舗が複数ある場合の方がより多くの利用者を見込める。特に、他の路線との乗継ぎ駅に店舗がある場合には、途中下車して店舗を利用する場合よりもアクセスが容易であるため、利用者は乗継ぎ駅にある店舗を好む傾向があるとも考えられる。経路上の利用店舗の選好にばらつきが強く存在する場合には、流量の多い区間に複数の店舗を出店させる案も重要な候補となる。

鉄道路線の駅における施設配置を考える上で、固的に発生する通勤・通学フローを可能な限り含む施設配置は、大型家電量販店に限らず幅広い業種の店舗立地で共通して考慮すべき基礎的な情報である。本分析の結果は、個別の事例に応じたより発展的な分析のための基礎としての意義があると考える。

## 6. まとめと今後の課題

本稿では、ネットワーク上のフローにサービスを提供する施設の配置問題であるフロー捕捉型配置問題を取り上げ、鉄道流動データを用いた分析を行った。基本モデルに加え、同一フローが複数施設によって捕捉される状況を想定した複数回捕捉モデルの定式化を示し、京王線と山手線を用いた最適配置結果を詳細に比較した。また、各路線の駅間 OD 表を用いて捕捉されるフローを視覚的に分析した。複数回捕捉モデルの配置結果は基本モデルと比較して、京王線の場合には新宿駅付近により多くの施設が配置される傾向が見られ、山手線の場合には池袋駅、新宿駅、渋谷駅といった流量の多い区間に集中して配置された。さらに、家電量販店の店舗立地との比較分析では、複数回捕捉モデルの配置により近いことが確認された。

今後の展開として、鉄道利用者の行動特性に着目した新しいモデルを開発することが挙げられる。例えば、鉄道利用者にとって移動の起点駅と終点駅および路線の乗り継ぎ駅にある施設は、途中下車を伴う経由駅にある施設よりもアクセスが容易である。この点は、各フローにとって、施設が経路上のどのタイプの駅にあるかにより異なる捕捉割合を導入することで記述できる。この例に留まらず、鉄道利用者の行動に着目した新しいモデルを開発し、鉄道流動データを用いた分析を行

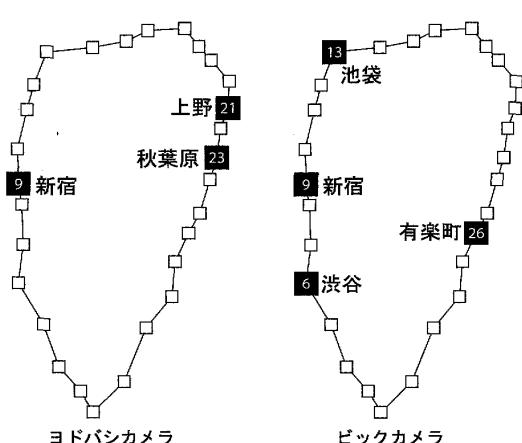


図 11 大型家電店舗の立地状況

うことは今後の重要な展開であると考える。

**謝辞** 匿名の査読者からのコメントに基づき、4節の後半部と5節について新しい分析を追加することができました。論文を改善する機会を頂戴いたしましたことに心より感謝申し上げます。

### 参考文献

- [1] Averbakh, I. and Berman, O., Locating flow-capturing units on a network with multi-counting and diminishing returns to scale, *European Journal of Operational Research*, 91, 495–506, 1996.
- [2] Berman, O., Bertsimas, D. and Larson, R.C., Locating discretionary service facilities, II: maximizing market size, minimizing inconvenience, *Operations Research*, 43, 623–632, 1995.
- [3] Berman, O., Hodgson, M.J. and Krass, D., Flow-interception problems, In *Facility Location : A Survey of Applications and Methods*, 389–426, edited by Z. Drezner, New York : Springer-Verlag, 1995.
- [4] Berman, O., Larson, R.C. and Fouska, N., Optimal location of discretionary service facilities, *Transportation Science*, 26, 201–211, 1992.
- [5] Church, R. and ReVelle, C., The maximal covering location problem, *Papers of the Regional Science Association*, 32, 101–118, 1974.
- [6] Hodgson, M.J., A flow-capturing location-allocation model, *Geographical Analysis*, 22, 270–279, 1990.
- [7] Hodgson, M.J. and Berman, O., A billboard location model, *Geographical and Environment Modeling*, 1, 25–45, 1997.
- [8] Hodgson, M.J., Rosing, K.E. and Zhang, J., Locating vehicle inspection station to protect a transportation network, *Geographical Analysis*, 28, 299–314, 1996.
- [9] Kuby, M. and Lim, S., The flow refueling location problem for alternative-fuel vehicles, *Socio-Economic Planning Sciences*, 39, 125–145, 2005.
- [10] Zeng, W., Castillo, I. and Hodgson, M.J., A generalized model for locating facilities on a network with flow-based demand, *Networks and Spatial Economics*, 10, 579–611, 2010.
- [11] 財団法人運輸政策研究機構, 平成17年大都市交通センサス, 2007.
- [12] ヨドバシカメラ ホームページ（ヨドバシカメラ店舗のご案内）：<http://www.yodobashi.com/ec/store/list/index.html>
- [13] ビックカメラ ホームページ（各店フロア案内）：<http://www.biccamera.co.jp/shoplist/>