

ネットワーク上における競合施設配置問題の新たな枠組みとその解法

古田 壮宏

内田 麻衣子

稲川 敬介

鈴木 敦夫

南山大学

(受理 2005 年 6 月 7 日; 再受理 2006 年 3 月 9 日)

和文概要 本稿ではネットワーク上での競合施設配置問題を扱う。ネットワーク上に購買力を持つ需要点と既存の施設とが与えられるとき、最も多くの需要点を獲得できる新規施設の配置場所を求める。ここでは、各需要点は最も近い施設を利用すると仮定する。各需要点から最も近い既存の施設までの距離以内に新たに施設を配置すれば、その需要点は新しい施設を利用することになる。我々はこのような問題を解決するために、ネットワークを獲得できる需要点の組合せに応じて部分ネットワークに分割する。この部分ネットワークを需要点獲得ネットワークと呼ぶことにし、最も多くの購買力を獲得できる配置場所を求める方法を示す。また、具体例として瀬戸市の道路ネットワークを利用し、現実的な規模の都市における道路ネットワークに対しても解を得ることができることを示す。既存の競合施設配置問題の多くはネットワーク上の点を解としている。しかし、この点に対応する道路上に必ずしも配置できるとは限らない。これに対して、部分ネットワークとして解を得られることは、解となる部分ネットワークに対応する道路のいずれかに配置できれば良いことを意味し、現実の都市に適用する上で大きな利点となる。最も近い施設を利用するという仮定に限らず、小売吸引力など様々な要因を利用して各需要点の持つ範囲を決めることで、本稿で提案する手法は、より現実的な仮定の下での競合施設配置問題に適用可能である。

キーワード: 数理モデル, 競合施設配置問題, 最適化, 整数計画法

1. はじめに

施設配置問題のひとつとして小売店などの商業施設を扱う問題がある。このような問題では、施設間での競争を考慮する必要があり、多くの場合、その競争では利益を最大にするマーケットシェアという観点が考慮される。新たな施設の配置場所を考えるとき、その最適な場所はマーケットシェアを最大にする場所である。Hotelling [4] に始まる競合施設配置問題とその派生問題では、利用者が最も近い施設を利用することを仮定し、様々なモデル化が提案されている [2]。本稿では特に平面上での競合施設配置問題の 1 つとして提案されている Drezner [1] によるモデルを基に、ネットワーク上での競合施設配置問題への拡張を考える。

Drezner によるモデルは以下の通りである。平面上にいくつかの需要点を与えられたとする。それぞれの需要点では、人口を考慮した購買力に比例した需要が発生する。その平面上には複数の既存施設が存在し、各需要点は最も近い施設を利用するものと仮定する。つまり、ある需要点を考えるとき、新しい施設が最も近い既存施設までの距離よりも近い場所に配置すると、その需要点は新しい施設を利用する。このような条件の下で、新しく 1 施設もしくは複数の施設を配置する問題を考える。

この問題の解法は次のようになる。各需要点を中心として、各需要点から最も近い施設までの距離を半径とする円を描く。この円の内部に新たに施設を配置すれば、その円の中心となっている需要点を獲得できる。配置する施設数を 1 とする場合には、円の重なりによっ

て作られる領域の中で、獲得できる需要点の持つ購買力の合計が最も多くなる領域が解である。各需要点の持つ購買力が等価の場合、最も多くの円が重なる領域に新たな施設を配置することで最も多くの利益を得ることができる。4箇所の等しい購買力を持つ需要点と4箇所の既存施設を利用して、各需要点からそれぞれ最も近い施設までの距離を半径とする円を描いたものが図1である。図中の黒く塗られた部分が最も多く円の重なる領域であり、この領域内に新たな施設を配置することで最も多くの購買力を獲得できる。

配置する施設数を p とする場合は、円の重なりからなる各領域で獲得できる需要点の集合を考慮しつつ、すべての領域の中から p 個の領域を選択しなければならない。すなわち、この問題は p 個の点を配置して、なるべく多くの購買力獲得できるように需要点を被覆する問題となり、最大被覆問題としてモデル化できる。

より現実的な側面を考慮したものとして、単に距離の近さのみを見るのではなく、施設の小売吸引力を考慮したモデル化が提案されている [1, 2]。これらの論文では、円の半径に直線距離のみを利用するのではなく、その距離と各施設の小売吸引力とを利用して、半径を定める方法も提案している。

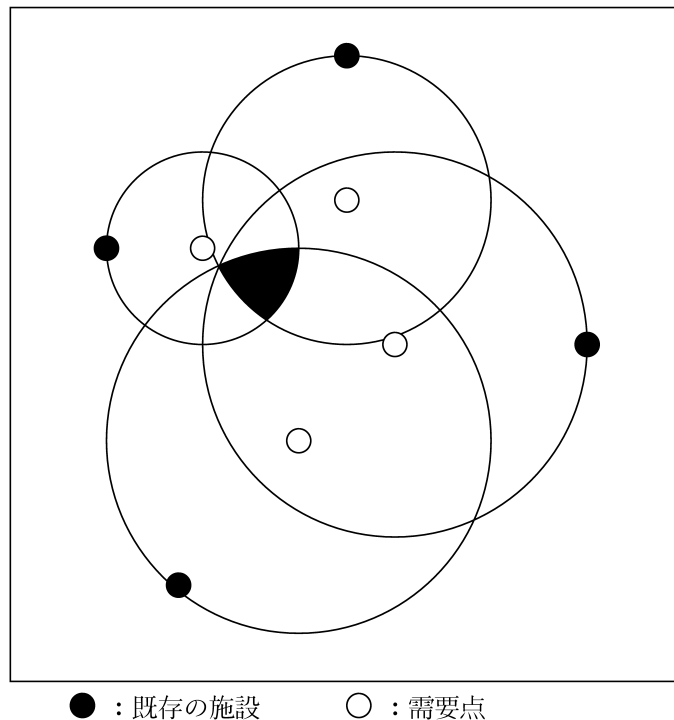


図 1: 円の重なりを利用した競合施設配置問題の解法。各需要点の購買力が等価の場合、図の黒い領域に新たな施設を配置することが最適

Drezner のモデル化は簡便で理解しやすいが、現実問題に適用する際には、次のような問題点がある。

- 1) 平面での距離が実際の移動距離と必ずしも一致しない。

比較的狭い領域を対象とし密に分布しているコンビニエンスストアのような商業施設を考えると、直線距離と道路距離との誤差が大きい場合に顕在化する。

- 2) 解となる場所に必ずしも配置できるとは限らない。

一般に，施設は道路沿いに配置される．平面でのモデル化により与えられた解となる場所は，必ずしも道路に面しているとは限らず，施設を配置するのに適した場所ではない可能性がある．

そこで，本稿ではネットワーク上でのこのような競合施設配置問題を考え，その解法について述べる．すなわち，需要点や施設をネットワーク上に存在するものとし，最適な新規配置場所を求めるための解法を提案する．問題をネットワーク上で考えることで，解となる道路に面した場所に配置することなどができ，より現実的に即した解を求めることができる．

従来の多くのネットワーク上での競合施設配置問題 [2, 3, 5, 6] は，その目的をネットワーク上の最適なある点を得ることとしている．Okunuki ら [6] は，ネットワーク上に連続的に存在する需要点と既存の競合施設とが与えられたとき，利用者数が最大となる新規施設配置場所を求める問題を扱っている．このとき，利用者の施設選択はハフモデルに従うものとして，確率的に与えている．この問題では，ネットワークの枝上の点を解として得ることができる．

しかしながら，現実の都市で考える上では，必ずしも解となる最適な点に配置できるとは限らない．そこで，平面上における Drezner の手法をネットワークに適用することで，最適な部分ネットワークを解とする問題を考える．本稿では，需要点を離散的に存在するものとし，利用者の施設選択は確定的に与えるものとする．解が部分ネットワークとして得られることで，その部分ネットワークに対応する道路沿いのいずれかに配置できれば良く，より現実の問題に適用しやすいであろう．

本稿の構成は以下の通りである．2 節では，Drezner が平面上で円の重なりを利用したのに対して，ネットワーク上で同様の重なりを考えるために需要点獲得ネットワークを提案し，その定義や算法について述べる．3 節では，ここで扱うネットワーク上での競合施設配置問題を定式化し，その解法を述べる．4 節では，瀬戸市の道路ネットワークと既存のコンビニエンスストアを利用した具体例を挙げる．

2. 需要点獲得ネットワーク

Drezner [1] による平面上での競合施設配置問題では，需要点を中心とする円を描き，その円の重なりに注目して解を求めている．ネットワーク上でこの問題を扱うために，平面と同様のアプローチを試みる．このために，円や重なりを表す部分ネットワークを定義する．まず，平面における円をネットワーク上で定義する．つまり，ネットワーク上にある各需要点を基準にして，それぞれ最も近い既存の施設までの距離内にあるネットワーク上の点で構成される部分ネットワークを定義する．以下の記号を用いる．

- $N(V, E)$: 頂点集合 V と枝集合 E を持つネットワーク (ただし，無限の点の集合とする)
- X : 需要点の集合 $\subseteq V$
- A : 既存施設の集合 $\subseteq V$
- $l(v_i, v_j)$: v_i と v_j を結ぶ枝の長さ
- $d_v(p)$: 頂点 $v \in V$ から点 $p \in N$ までの最短経路距離
- w_i : 需要点 $x_i \in X$ から最も近い施設までの距離 ($w_i = \min_{a_j \in A} d_{x_i}(a_j)$)

ここで， $X \cap A = \emptyset$ とし，枝 $e(v_i, v_j) \in E$ における $d_v(p)$ のグラフは，図 2 となり傾き $+1$ もしくは -1 の区分的関数である．

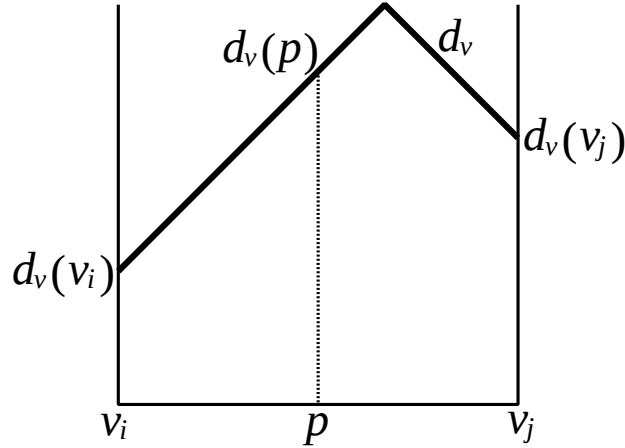


図 2: 枝 $e(v_i, v_j)$ 上における d_v のグラフ (傾き +1 もしくは -1 の区分的関数)

このとき, 新規施設を配置した場合に, 新規施設が需要点 x_i を獲得できる範囲を表す部分ネットワーク N_{x_i} を次のように定義する.

$$N_{x_i} = \{p \in N \mid d_{x_i}(p) \leq w_i\} \quad (2.1)$$

また, $d_{x_i}(p) = w_i$ となるような点 p を境界点と呼ぶことにし, N_{x_i} の境界点の集合 B_{x_i} を

$$B_{x_i} = \{p \in N \mid d_{x_i}(p) = w_i\} \quad (2.2)$$

とし, すべての需要点に対する境界点の集合を $B = \bigcup_{x_i \in X} B_{x_i}$ とする.

N の頂点集合と境界点集合の和集合を $V' = V \cup B$ とし, E' を境界点集合 B によって分割された枝の集合とする. この頂点に境界点を用いたネットワークを $N'(V', E')$ とする. このとき, N' における N_{x_i} を構成する頂点集合 V'_{x_i} を,

$$V'_{x_i} = \{v \in V' \mid d_{x_i}(v) \leq w_i\} \quad (2.3)$$

とし, 枝集合 E'_{x_i} を,

$$E'_{x_i} = \{e(v_j, v_k) \in E' \mid v_j, v_k \in V'_{x_i} \wedge d_{x_i}(p) \leq w_i, \forall p \in e\} \quad (2.4)$$

とする. ネットワーク N' では境界点も頂点となっているので, $d_{x_i}(p) \leq w_i$ となる点 p と $d_{x_i}(q) > w_i$ となる点 q の両方が 1 つの枝上に存在することはない. 両端の頂点が V'_{x_i} の要素であり, なおかつ x_i からその枝上のある点までの距離も w_i より小さくなるとき, その枝は E'_{x_i} の要素となる.

境界点も頂点とした N' を用いることで, 需要点 x_i の部分ネットワーク N_{x_i} は, V'_{x_i} と E'_{x_i} とからなるネットワークと捉えることができる. つまり, 各需要点の部分ネットワークは, (2.1) 式を満たす点の無限集合であるが, (2.3) 式を満たす頂点集合と (2.4) 式を満たす枝集合として捉えることが可能となる.

次に各部分ネットワークの重なりを考える. 平面での円の重なりは, 仮に新規施設がそこに配置されたとき, その重なりを構成する円の中心となる需要点すべてを獲得できる領域を表しており, 各領域はそこで獲得できる需要点の組合せによって区別することができる. こ

ここで、部分ネットワークの重なりを、平面の場合と同様に、そこに配置することで獲得できる需要点の組合せによってネットワークを分割したものとする。獲得できる需要点の取り得るすべての組合せの集合は $X^c = \mathcal{P}(X)$ となる。ここで $\mathcal{P}(X)$ を集合 X のべき集合とする。このとき、 $X_i \in X^c$ を獲得できるネットワークは

$$N_{X_i} = \{p \in N \mid \bigwedge_{x_j \in X_i} p \in N_{x_j}\} \quad (2.5)$$

となり、これを X_i の需要点獲得ネットワークと呼ぶことにする。 N_{X_i} 上に施設を配置することで、 X_i の要素となる需要点すべてを獲得できることを表している。ただし、 $N_\emptyset$ はいずれの需要点も獲得できないネットワークとし、すべての需要点獲得ネットワークの集合を N_{X^c} とする。ここで、 N' 上で考えることで、 N_{X_i} は

$$V'_{X_i} = \{v \in V' \mid \bigwedge_{x_j \in X_i} v \in V'_{x_j}\} \quad (2.6)$$

と

$$E'_{X_i} = \{e \in E' \mid \bigwedge_{x_j \in X_i} e \in E'_{x_j}\} \quad (2.7)$$

とで定義できる。 N' を利用することで、 N_{x_i} と同様に、(2.5) 式を満たす点の無限集合である X_i の需要点獲得ネットワーク N_{X_i} は、(2.6) 式を満たす頂点集合と (2.7) 式を満たす枝集合として捉えることが可能となる。

このような N' を求める算法の概略を以下に示す。

N' の算法

Step 1: $M(v)$ を頂点 v で $d_{x_i}(v) \leq w_i$ となる x_i を保持する集合とする。各頂点 v に対して、 $M(v) = \emptyset$ 。

Step 2: ネットワーク N 上で、各需要点 x_i から最短経路距離が $w_i = \min_{a_j \in A} d_{x_i}(a_j)$ 以下の距離となる頂点 $v \in V$ において、 $M(v) \leftarrow M(v) \cup \{x_i\}$ とする。

Step 3: 各枝 $e(v_j, v_k)$ において境界点を求める。すべての境界点を求めることで、 $N'(V', E')$ を得ることができる。

なお、Step 3 において、 $e(v_j, v_k)$ 上に x_i の境界点を持つのは

- 1) $x_i \in M(v_j) \wedge x_i \notin M(v_k)$
- 2) $x_i \notin M(v_j) \wedge x_i \in M(v_k)$
- 3) $x_i \in M(v_j) \wedge x_i \in M(v_k) \wedge 0 < 2w_i - d_{x_i}(v_j) - d_{x_i}(v_k) < l(v_j, v_k)$

のいずれかのときである。図 3 は、1) のときを表しており、 N_{x_i} の境界点 b が $e(v_j, v_k)$ 上に存在していることを意味し、この境界点は w_i と $d_{x_i}(v_j)$ から容易に求めることができる。図 4 は、3) のときを表しており、 N_{x_i} の境界点が e 上に 2 つ存在する場合を示したものである。

N' を用いて N_{X_i} を求めるための算法は以下ようになる。

N_{X_i} の算法

Step 1: $M(v)$ を頂点 v で $d_{x_i}(v) \leq w_i$ となる x_i を保持する集合とする。各頂点 v に対して、 $M(v) = \emptyset$ 。 $M(e)$ を $e \in E'_{x_i}$ となるとき x_i を保持する集合とする。各枝 e に対して、 $M(e) = \emptyset$ 。

Step 2: ネットワーク N' 上で、各需要点 x_i から最短経路距離が w_i 以下となる頂点 $v \in V'$ において、 $M(v) \leftarrow M(v) \cup \{x_i\}$ とする。

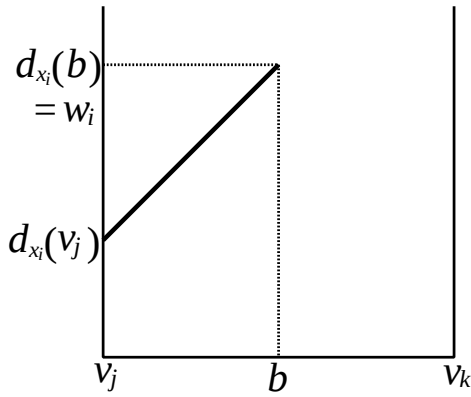


図 3: N_{x_i} が $e(v_j, v_k)$ 上に 1 個の境界点を持つときの d_{x_i} のグラフ

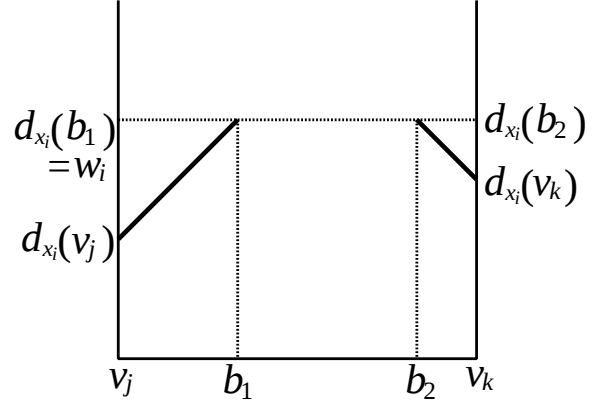


図 4: N_{x_i} が $e(v_j, v_k)$ 上に 2 個の境界点を持つときの d_{x_i} のグラフ

Step 3: 各需要点 x_i ごとに, 各枝 e で, (2.4) 式を利用して $e \in E'_{x_i}$ となるか調べる. $e \in E'_{x_i}$ となるとき $M(e) \leftarrow M(e) \cup \{x_i\}$ とする.

Step 4: V_{X_i} として, 各頂点で獲得できる需要点の組合せ ($M(v)$) から, 対応する $X_i \in X^c$ を求める. また同様に, E_{X_i} として, 各枝で獲得できる需要点の組合せ ($M(e)$) から, 対応する $X_i \in X^c$ を求める.

Step 3 において, $e \in E'_{x_i}$ となるか否か, つまり, e 上のすべての点において $d_{x_i}(p) \leq w_i$ となるか否かは, 枝上に $d_{x_i}(p) \leq w_i$ となる点 p と $d_{x_i}(q) > w_i$ となる点 q の両方が 1 つの枝上に存在することはないことから, 枝上のある 1 点までの距離が w_i 以下となるかどうかを調べればよい.

以下で具体例を示す. ネットワーク上に需要点 $X = \{x_1, x_2, x_3\}$, 既存の施設 $A = \{a_1, a_2\}$ が与えられたとする (図 5). 図 6 は部分ネットワーク N_{x_1} であり, Drezner の例における円に相当する. この部分ネットワーク上のいずれかに新規施設を配置することで, その新規施設は需要点 x_1 にとって最も近い施設となり, x_1 を獲得できることを表している.

このネットワークでは,

$$X^c = \{\emptyset, \{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_1, x_2\}, \{x_2, x_3\}, \{x_1, x_3\}, \{x_1, x_2, x_3\}\} \quad (2.8)$$

となり, 需要点獲得ネットワークを表したものが図 7 となる. 図中の各線種はそれぞれの需要点獲得ネットワークを表している. ただしこの例では $N_{\{x_2, x_3\}} = \emptyset$ である. このとき, $N_{\{x_1, x_2, x_3\}}$ はすべての需要点を獲得することができることを意味し, このネットワーク上に施設を配置することがここで扱う競合施設配置問題の最適解となる.

しかし, この例のようにすべての需要点を獲得できる解を得られるというのは, 実際の道路ネットワーク上で現実的な規模の問題を考える場合にはまれであろう. 次節で, 最も多くの購買力を獲得できる p 個の施設を配置する問題を考える.

3. ネットワーク上での競合施設配置問題とその解法

異なる購買力を持つ需要点と既存の競合施設が存在するネットワーク上に p 個の競合施設を配置する問題を考える. 各需要点は, ネットワーク距離で最も近い施設を利用すると仮定する. つまり, ある需要点に対してより近い場所に新たに施設が配置されるとき, この需要点

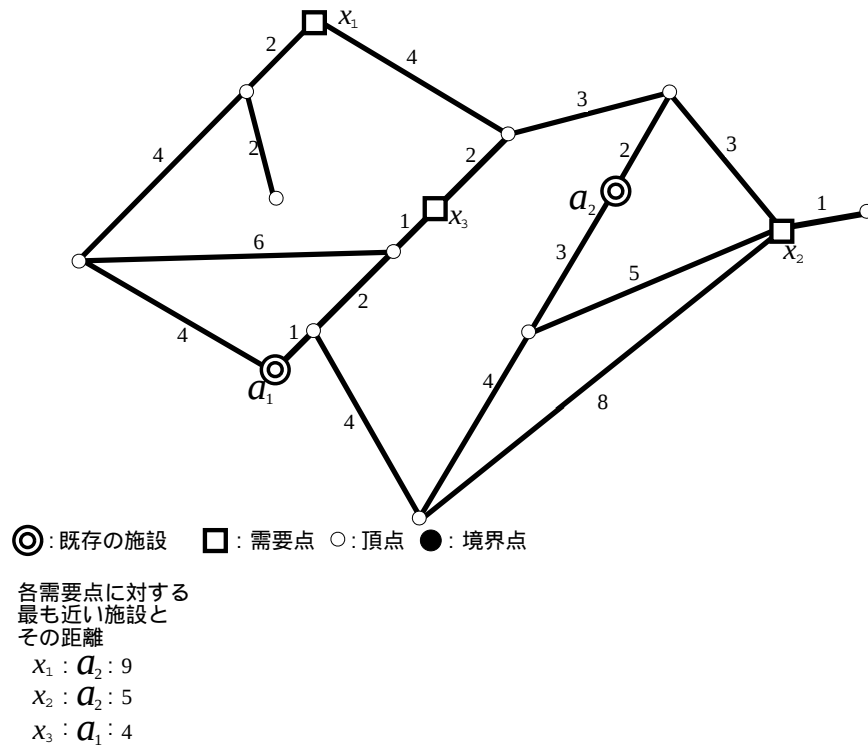


図 5: 需要点数 3, 既存の施設数 2 を持つネットワーク. それぞれの需要点は最も近い施設とその距離を持つ

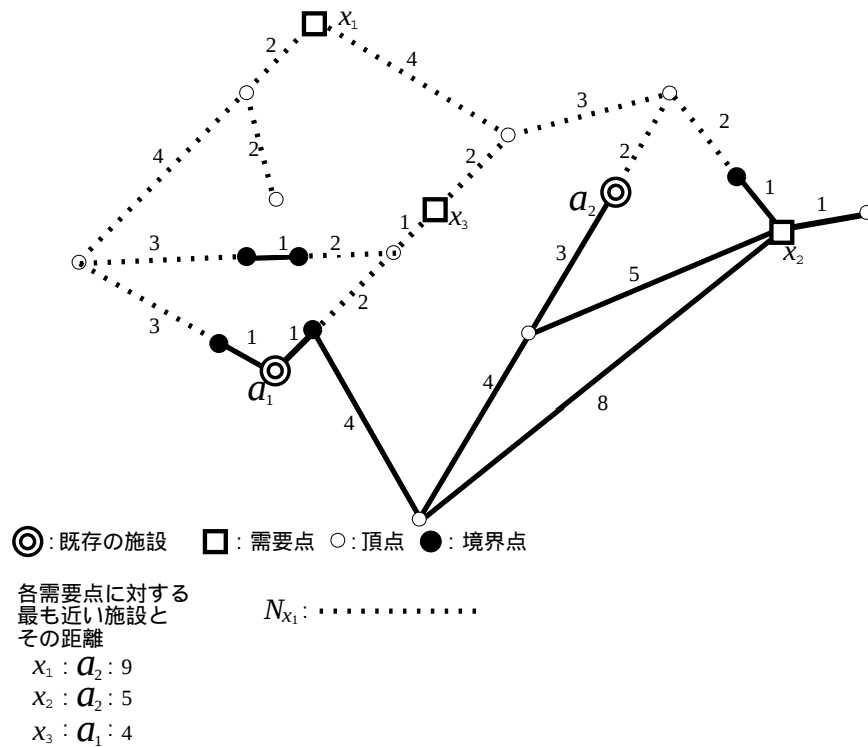


図 6: 部分ネットワーク N_{x_1} . このネットワーク上のいずれかに新規施設を配置することで, 需要点 x_1 を獲得できる

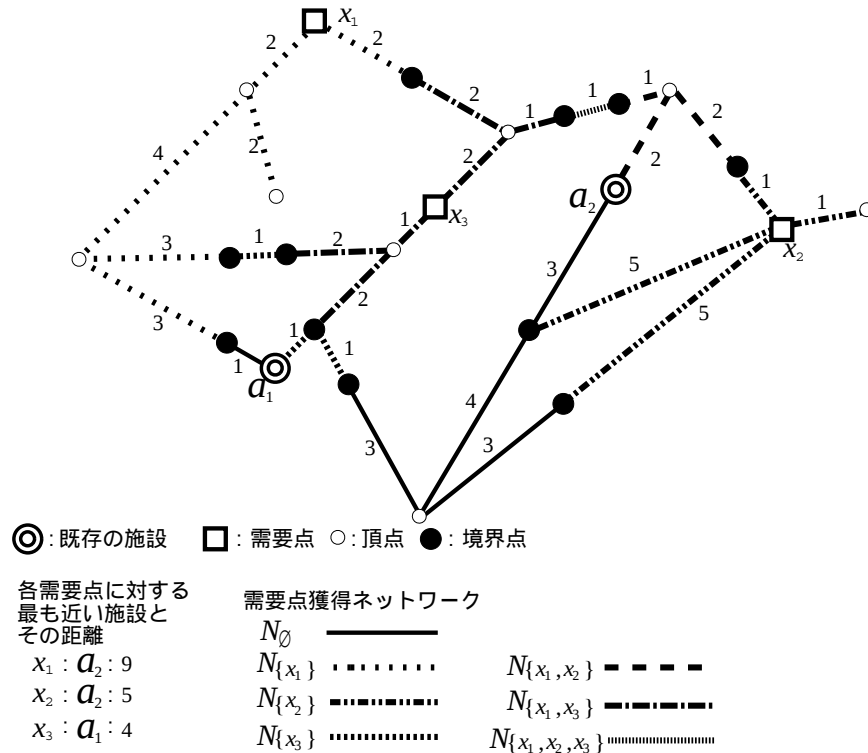


図 7: 需要点獲得ネットワークの例．需要点数 3，既存の施設数 2 としたときのそれぞれの需要点の組合せを獲得できる部分ネットワークを表している

はその施設を利用する．このような条件の下で，最適な新規配置場所を求めたい．以下で，前節で示した需要点獲得ネットワークを利用して， p 個の競合施設を配置する問題の定式化とその解法を示す．

p 個の施設を配置するためには，需要点獲得ネットワークの中から p 個選択する必要がある．したがって，この問題は p 個の施設を配置してなるべく多くの需要点を被覆する問題となり，最大被覆問題として定式化できる．問題の解法は次のようになる．

- 1) 需要点獲得ネットワークを求める．
- 2) 実際に施設を配置する候補となる需要点獲得ネットワーク（これを，候補ネットワークと呼ぶことにする）を求める．
- 3) p 個の施設を配置する最大被覆問題を解く．

それぞれについて，以下で示す．

まず，1) として，与えられたネットワーク N とそこに存在する需要点 X と既存の施設 A から，前節の手法を用いて， N' と需要点獲得ネットワークの集合 N_{X^c} を求める．しかし， N_{X^c} のすべての要素を求めるのは現実的ではないので，実際に施設配置場所が存在する需要点の組合せのネットワークのみを求めることにする．

そこで，2) として，需要点獲得ネットワークの中から実際に施設を配置する候補となる候補ネットワークを求める． N_{X^c} はすべての需要点の組合せに対する需要点獲得ネットワークを対象としている．しかし，実際には既存の施設や需要点の場所によって，解の候補とならない需要点獲得ネットワークが存在することが多い．具体的には，以下の 3 種類の需要点獲得ネットワークは解の候補とならない．

- $N_\emptyset$ (いずれの需要点も獲得できないネットワーク)
いづれの需要点も獲得できないので解の候補とならない.
- $N_{X_i} = \emptyset$ となるような需要点獲得ネットワーク
施設を配置する場所が存在しないので解の候補とならない.
- ある需要点の集合 X_i に対して, $X_i \subset X_j$ かつ $N_{X_j} \neq \emptyset$ とする X_j が存在する需要点獲得ネットワーク N_{X_i}
このような N_{X_i} と N_{X_j} が存在するとき, N_{X_i} で獲得できる購買力の合計は, N_{X_j} で獲得できる購買力の合計よりも必ず少ない. よって, 解の候補とならない.

これらの需要点獲得ネットワーク以外の需要点獲得ネットワークを候補ネットワークと呼ぶことにし, この集合を T とする.

最後に 3) として, p 個の施設を配置する最大被覆問題を解く. 我々は, これを整数計画問題として次のような記号を用いて定式化する.

入力, パラメータ

- $t_j \in T, j = 1, \dots, |T|$: 候補ネットワーク.
- $x_i \in X, i = 1, \dots, |X|$: 需要点.
- p : 配置する施設数.
- b_i : 需要点 x_i の購買力 (≥ 0).
- m_{ij} : 需要点 x_i が候補ネットワーク t_j で被覆されるとき $m_{ij} = 1$ とし, 被覆されないとき $m_{ij} = 0$ となる. 各候補ネットワークで獲得できる需要点から容易に作成できる.

決定変数

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{: 新規施設が需要点 } x_i \text{ を被覆する場合} \\ 0 & \text{: 被覆しない場合} \end{cases}, \quad (i = 1, \dots, |X|)$$

$$z_j = \begin{cases} 1 & \text{: 新規施設配置場所に候補ネットワーク } t_j \text{ を選択する場合} \\ 0 & \text{: 選択しない場合} \end{cases}, \quad (j = 1, \dots, |T|)$$

これらの記号を用いて, 次のように定式化できる.

$$\text{maximize} \quad \sum_{i=1}^{|X|} b_i y_i \quad (3.1)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j=1}^{|T|} z_j = p, \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^{|T|} m_{ij} z_j \geq y_i, \quad i = 1, \dots, |X|, \quad (3.3)$$

$$y_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, |X|. \quad (3.4)$$

$$z_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, |T|, \quad (3.5)$$

目的関数 (3.1) は, 獲得できる需要点の購買力の和を最大にすることを意味している. 制約条件 (3.2) は, 正確に p 個の施設が配置されることを表している. 制約条件 (3.3) は, z_j が

値を持った場合のみ, y_i は値を持つことが可能である．つまり, 候補ネットワークが選択された場合にのみ, 需要点はその施設に割り当て可能であることを規定している．制約条件 (3.4) および (3.5) は, 標準的な整数制約である．

4. 問題例

本稿で扱うネットワーク上の競合施設配置問題の例として, 愛知県瀬戸市の道路ネットワーク上で町丁目の代表点を需要点としてコンビニエンスストアの新規配置場所を考える．瀬戸市の道路ネットワークは国土地理院による数値地図 2500 [7] を基に作成した．この道路ネットワーク (頂点数: 70425, 枝数 75538) 上で, 需要点として 361 の町丁目の代表点, 既存の競合施設として 32 のコンビニエンスストアをそれぞれ用いる．各需要点の購買力はそれぞれの町丁目の人口とする．瀬戸市の人口は約 13 万人である．図 8 は瀬戸市の道路ネットワーク上に町丁目の代表点とコンビニエンスストアを示したものである．ここで, 各町丁目の代表点には, 各町丁目に属している道路ネットワークの頂点の重心に最も近い頂点を利用した．これらの条件の下で, 3. 節で述べた解法を用いてコンビニエンスストアの新規配置場所を求める．

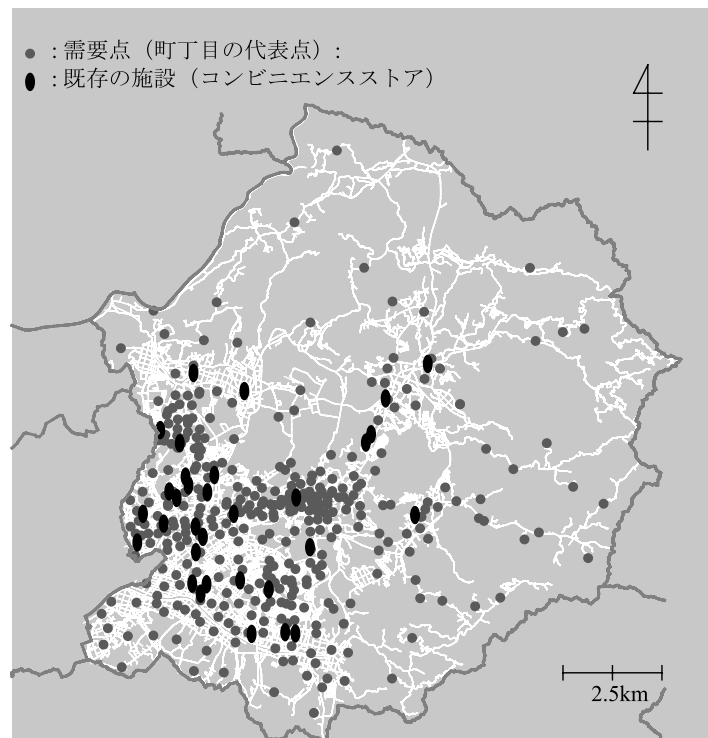


図 8: 瀬戸市の道路ネットワーク上での需要点と既存の施設

まず, 需要点獲得ネットワークを求め, その中から候補ネットワークを求める．実際に瀬戸市の道路ネットワークを用いて候補ネットワークを求めたところ, その数は 373 であり, これらの候補ネットワークから最適な新規配置場所となるネットワークを求める．

3. 節で示した定式化を用いて, $p = 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30$ のときの解を求めた．図 9 では, 新規配置施設数に対する総獲得購買力を示しており, 上に凸のグラフとなっている．これは, 施設数が少ない段階で効率良く購買力を獲得できること示している．瀬戸市の人口約 13 万に対して, 施設数 1 で人口の 10%, 施設数 10 で人口の 50%, 施設数 30 でほぼすべての人に

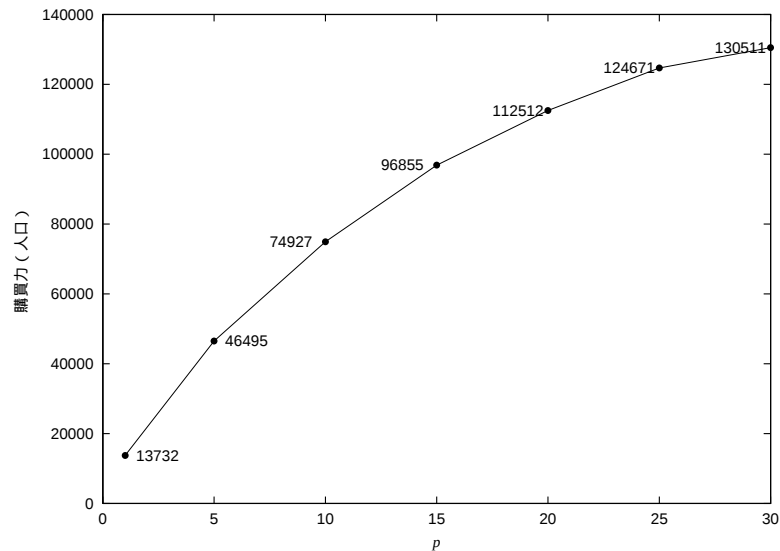


図 9: 新規配置施設数に対する総獲得購買力の推移

として，新規施設が最も近い施設となった．

図 10 は $p = 5$ のときの解となる 5 個の候補ネットワークと，そこに配置することによって獲得できる町丁目の代表点を示したものである．図中の R1, R2 をそれぞれ拡大したものが，図 11 と図 12 である．これらは解となる候補ネットワークの周辺 1km 四方を拡大したものである．R1 では 500m 以上ある道路の中に，また，R2 では約 70m の道路の中に施設を立地できれば良いことを示している．これらの 5 個の施設をそれぞれの候補ネットワークに配置することで，133 の町丁目の代表点を獲得でき，その購買力の合計は 46495 であった．新たに配置する施設は 46495 人にとって最も近い施設となることができる．

需要点獲得ネットワークを求めるプログラムは Java で作成した．最大被覆問題の計算には，What's Best! 7.0 [8] を用いた．プロセッサ Pentium-M 1GHz (メモリ 512MB) の計算機上で，最大被覆問題は $p = 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30$ のいずれにおいても 30 秒以内という実用的な時間で解を得ることができた．

5. まとめ

本稿では，ネットワーク上の競合施設配置問題を考えるための新たな枠組みを提案した．ここではネットワーク上に購買力を持つ需要点と既存の施設が与えられたとき，新たに施設を配置するための最適な部分ネットワークを求める方法を示した．ここで提案した手法を用いることのひとつの大きな利点は，既存の競合施設配置問題と異なり，解を部分ネットワークとしていることである．多くの競合施設配置問題の解法では，解をある 1 点としておりその解となる場所に必ずしも配置できるとは限らない．これに対して，我々の手法のように解が部分ネットワークで与えられるということは，その部分ネットワーク上のいずれかに配置できれば良いということになり，より現実の都市に適用しやすくなると考える．また，その競合施設配置問題を解くための道具として，需要点を獲得できる領域を表す需要点獲得ネットワークを定義し，その算法を示した．各需要点獲得ネットワークで獲得できる総購買力を基に解を求める．

現実の道路ネットワークの規模においても，解を得ることができることを示すために瀬戸

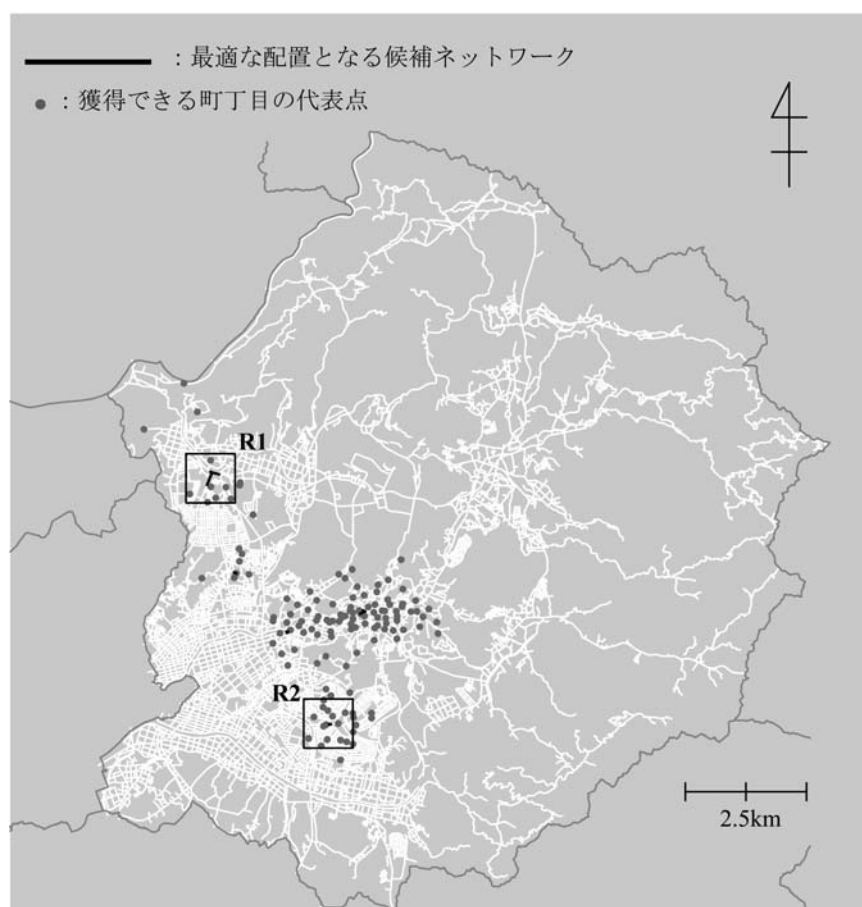


図 10: 新規配置施設数 5 のときの最適な配置となる候補ネットワークと獲得できる町丁目の代表点

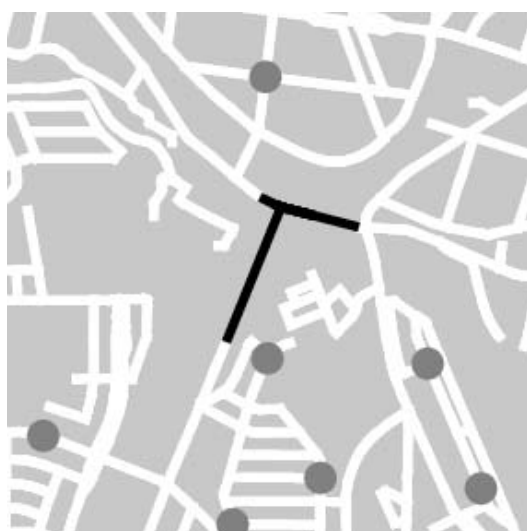


図 11: 図 10 における R1 . 1km 四方を拡大 図 12: 図 10 における R2 . 1km 四方を拡大した図

市の道路ネットワークを用いた例を挙げた．70000 以上の頂点と枝からなるネットワーク上で約 300 の需要点と 32 の既存のコンビニエンスストアに対して計算を行った．実際に解の候補となる部分ネットワークは 373 となった．これらの部分ネットワークを用いて，獲得できる総購買力が最大となるように最大被覆問題を解いた．施設数 1 から 30 までこの計算を行ったところ 30 秒以内で解を求めることができ，この解法の実用性を示した．

平面上において，各施設の小売吸引力が異なる状況での解法が Drezner [1] によって提案されている．そこでは，単に最も近い施設までの距離を用いるのではなく，距離と各施設の小売吸引力を利用して各需要点の持つ半径を決めるための手法を提案し，この半径の円の重なりから競合施設配置問題の解法を与えている．同様に，本稿で考えたネットワーク上での競合施設配置問題においても，最も近い施設までのネットワーク距離と各施設の小売吸引力から各需要点のもつネットワーク距離を求め，これを基に需要点獲得ネットワークを考えることでより現実的な解を得ることがきる．本稿では，そのための枠組みの提案として最も近い施設までの距離を利用した．

参考文献

- [1] T. Drezner: Locating a single new facility among existing, unequally attractive facilities. *Journal of Regional Science*, **34** (1994), 237–252.
- [2] Z. Drezner: *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*, (Springer, New York, 1995).
- [3] S.L. Hakimi: On locating new facilities in a competitive environment. *European Journal of Operational Research*, **12** (1983), 29–35.
- [4] H. Hotelling: Stability in competition. *Economic Journal*, **39** (1929), 41–57.
- [5] P.B. Mirchandani, R.L. Francis: *Discrete Location Theory*, (John Wiley & Sons, Inc, New York, 1990).
- [6] K. Okunuki and A. Okabe: Solving the Huff-based competitive location model on a network with link-based demand. *Annals of Operations Research*, **111** (2002), 239–252.
- [7] GSI Home Page. <http://sdf.gsi.go.jp/>.
- [8] LINDO Systems. Inc. <http://www.lindo.com/>.

古田壮宏

南山大学大学院数理情報研究科

〒489-0863 愛知県瀬戸市せいれい町 27 番地

E-mail: d06k501@seto.nanzan-u.ac.jp

ABSTRACT

A NEW APPROACH FOR LOCATING MULTIPLE FACILITIES IN
A NETWORK COMPETITIVE ENVIRONMENT

Takehiro Furuta Maiko Uchida Keisuke Inakawa Atsuo Suzuki
Nanzan University

In this paper, we investigate location problems of one or more facilities in a network in which several competing facilities already exist. Consider some demand points on the network. Each demand point has demand in proportion to the buying power of all customers of the point. It is assumed that customers patronize the nearest facility. If a facility is newly located within the distance from a demand point to its nearest existing facility, customers of the demand point will use the new facility. In this situation, we would like to locate given number of facilities to maximize the buying power to obtain from the existing facilities.

In order to solve the problem, the network is divided into a sub-network according to the combination of the demand points and the existing facilities. And we calculate the buying power of the demand points when we locate a new facility on the sub-network. Then we formulate the problem as a maximum covering problem with p facilities. As an example, we use the road network and existing convenience stores of Seto City. This example shows that our method can be used in the city of real size.