# 通行の障害となる
# 大規模施設の最適配置問題

筑波大学　　鈴木　勉

GIS-ASA科研2014年度全体報告
＠東北大学
2015年3月7日

# はじめに

- 施設配置問題では施設は点として扱われるが，実際の都市に当てはめる時にはその大きさによる影響を無視できないことがある．
- 例えば，一部の工場や大学，空港，ターミナル駅，基地などは，それを跨ぐ通過交通を迂回させるケースが見られる．
- また，大規模跡地の活用等によって出現することの多いショッピングコンプレックスやテーマパークの場合は，それ自体の規模は大きくなくとも，周辺の交通渋滞を引き起こしている場合は，大規模施設と同じ働きを持つと考えることができる．

# 東京都市圏の工場分布

# 目的

- 通行の障害となり得る大規模施設等に適用できる施設配置問題を定式化する.
- 解の特徴を計算例から読み取る.

# $p$-median問題の一般的な表現

$$\min \quad Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} w_i d_{ij} X_{ij}$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \qquad \forall \quad i$$

$$X_{ij} \le Y_j \qquad \forall \quad i, j \mid i \ne j$$

$$\sum_{j=1}^{n} Y_j = p$$

点集合と枝集合より構成されるグラフ内の点または枝上, または空間内の任意の点に顧客集合, 施設の配置可能地点が与えられており, さらに選択する施設の個数($p$)が与えられたとき, 顧客から最も近い施設への距離の総和を最小化するように施設を配置する問題

$m$: the number of demand points $i$.

$n$: the number of potential facility location points $j$.

$w_i$: the demand weight at $i$.

$d_{ij}$: the distance between $i$ and $j$.

$X_{ij}\ \varepsilon\ 1{,}0$ = 1 if the demand at $i$ allocates to a facility at $j$, 0 if not.

$Y_j\ \varepsilon\ 1{,}0$ = 1 if the facility at $j$ exists, 0 if not.

# グラフ上の*p*-median問題の最小費用流表現

$$\min_{f_l, y_j, u_j} \sum_{l \in E} a_l f_l \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{l \in E | Out(l)=k} f_l - \sum_{l \in E | In(l)=k} f_l = w_k - u_k, \forall k \in V \quad (2)$$

$$0 \le f_l \le c_l, \forall l \in E \quad (3)$$

$$0 \le u_j \le M y_j, \forall j \in V \quad (4)$$

$$\sum_j y_j = p \quad (5)$$

辺の流量と距離の積和

辺の収支条件

流量の容量制約と非負条件

施設存在下で流動がシンク

施設数

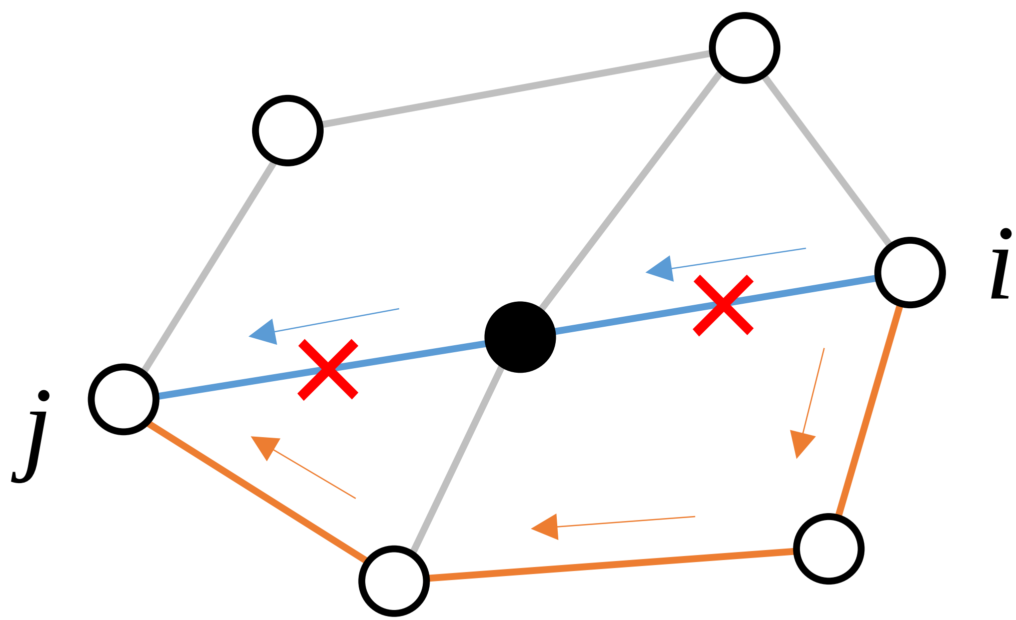
$w_i$：頂点$i$における需要量（人口）
$a_l$：辺$l$の長さ
$f_l$：施設利用者の辺$l$の流動量
$c_l$：辺$l$の容量
$In(l)$, $Out(l)$：辺$l$の始点，終点
$y_j$：頂点$j$における施設の有無（0-1変数）
$u_j$：頂点$j$における施設利用者集中量
$p$：施設数
$M$：十分大きな数

・有向グラフ$G(V,E)$の頂点集合$V$に施設需要が所与
・$V$が施設の立地候補点の集合でもあると仮定
・その中から$p$個の施設立地点を，利用者の総移動距離，すなわち$E$に含まれる全ての辺上の流動量と距離の積和を最小化するように選ぶ

混雑により最寄りの施設選択とはならないことも，容量$c_l$に適切な値を与えることにより表現可能

# 施設立地と通過交通の迂回

- 仮定
  - 施設利用者とは別に，頂点間を移動する通過交通を行うものがいると仮定
  - 施設が配置された頂点は，通過交通はそこを起終点とするODを除いて通行できず，迂回を強いられる



# 通行障害となる施設の最適配置問題

$$\min_{f_l^1, f_{lij}^2, y_j, u_j} (1-\alpha)\sum_{l\in E} a_l f_l^1 + \alpha \sum_{l\in E}(a_l \sum_{i,j\in V} f_{lij}^2) \quad (1')$$

subject to

$$\sum_{l\in E|Out(l)=k} f_l^1 - \sum_{l\in E|In(l)=k} f_l^1 = w_k - u_k, \forall k \in V \quad (2')$$

$$\sum_{l\in E|Out(l)=k} f_{lij}^2 - \sum_{l\in E|In(l)=k} f_{lij}^2 = v_{kij}, \forall k \in V \quad (6)$$

$$f_l^1 + \sum_{i,j\in V} f_{lij}^2 \leq c_l, \forall l \in E \quad (3')$$

$$f_l^1 \geq 0, f_{lij}^2 \geq 0, \quad \forall l \in E \quad (3'')$$

$$f_{lij}^2 \leq M\left(1 - y_{Out(l)}\right), \forall l \in E,$$
$$\forall i \neq In(l), i \neq Out(l), j \neq In(l), j \neq Out(l) \in V \quad (7)$$

$$f_{lij}^2 \leq M\left(1 - y_{In(l)}\right), \forall l \in E,$$
$$\forall i \neq In(l), i \neq Out(l), j \neq In(l), j \neq Out(l) \in V \quad (8)$$

$$0 \leq u_j \leq M y_j, \forall j \in V \quad (4)$$

$$\sum_j y_j = p \quad (5)$$

施設利用者の総移動距離と通過交通の総移動距離の重み付き和を最小化

$w_i$:頂点$i$における需要量(人口)
$a_l$:辺$l$の長さ
$f_l^1$:施設利用者の辺$l$の流動量
$c_l$:辺$l$の容量
$In(l)$, $Out(l)$:辺$l$の始点,終点
$y_j$:頂点$j$における施設の有無(0-1変数)
$u_j$:頂点$j$における施設利用者集中量
$p$:施設数
$M$:十分大きな数
$f_{lij}^2$:始点$i$から終点$j$への通過交通の辺$l$の流動量
$v_{kij}$:頂点$k$における出発地$i$から目的地$j$へのOD需要の発生・集中量
$\alpha$:通過交通の移動距離の重み

# 通行障害となる施設の最適配置問題

$$\min_{f_l^1, f_{lij}^2, y_j, u_j} (1-\alpha)\sum_{l\in E} a_l f_l^1 + \alpha \sum_{l\in E}(a_l \sum_{i,j\in V} f_{lij}^2) \qquad (1')$$

subject to

$$\sum_{l\in E|Out(l)=k} f_l^1 - \sum_{l\in E|In(l)=k} f_l^1 = w_k - u_k, \forall k \in V \ (2')$$

$$\sum_{l\in E|Out(l)=k} f_{lij}^2 - \sum_{l\in E|In(l)=k} f_{lij}^2 = v_{kij}, \forall k \in V \qquad (6)$$

$$f_l^1 + \sum_{i,j\in V} f_{lij}^2 \le c_l, \forall l \in E \qquad (3')$$

$$f_l^1 \ge 0, f_{lij}^2 \ge 0, \qquad \forall l \in E \qquad (3'')$$

$$f_{lij}^2 \le M\left(1 - y_{Out(l)}\right), \forall l \in E,$$
$$\forall i \ne In(l), i \ne Out(l), j \ne In(l), j \ne Out(l) \in V \ (7)$$

$$f_{lij}^2 \le M\left(1 - y_{In(l)}\right), \forall l \in E,$$
$$\forall i \ne In(l), i \ne Out(l), j \ne In(l), j \ne Out(l) \in V \ (8)$$

$$0 \le u_j \le My_j, \forall j \in V \qquad (4)$$

$$\sum_j y_j = p \qquad (5)$$

施設利用者の総移動距離と通過交通の総移動距離の重み付き和を最小化

通過交通に関する辺の収支条件

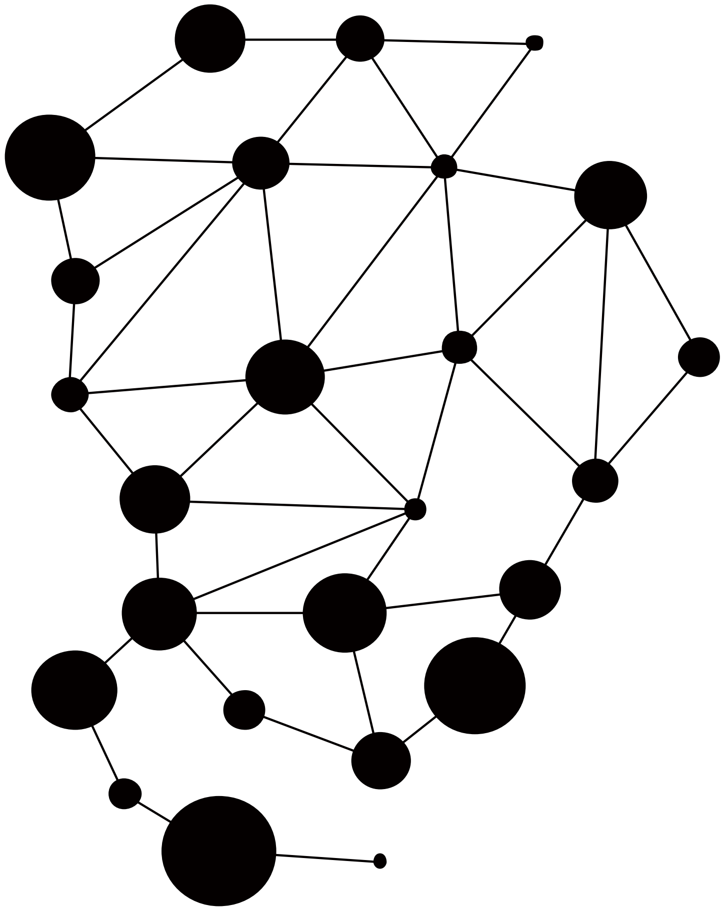
通過交通が施設の立地する辺を通過できない．ただし，端点が起終点となるODは通行可能

# 求解例

- Simchi-Levi & Bermanのネットワークにおける求解例

- α=0の場合は*p*-medianと同じ目的関数→便利な場所に立地
- ただし，(7) (8)式の存在により，クルドサック部の途中を避けて立地する結果に

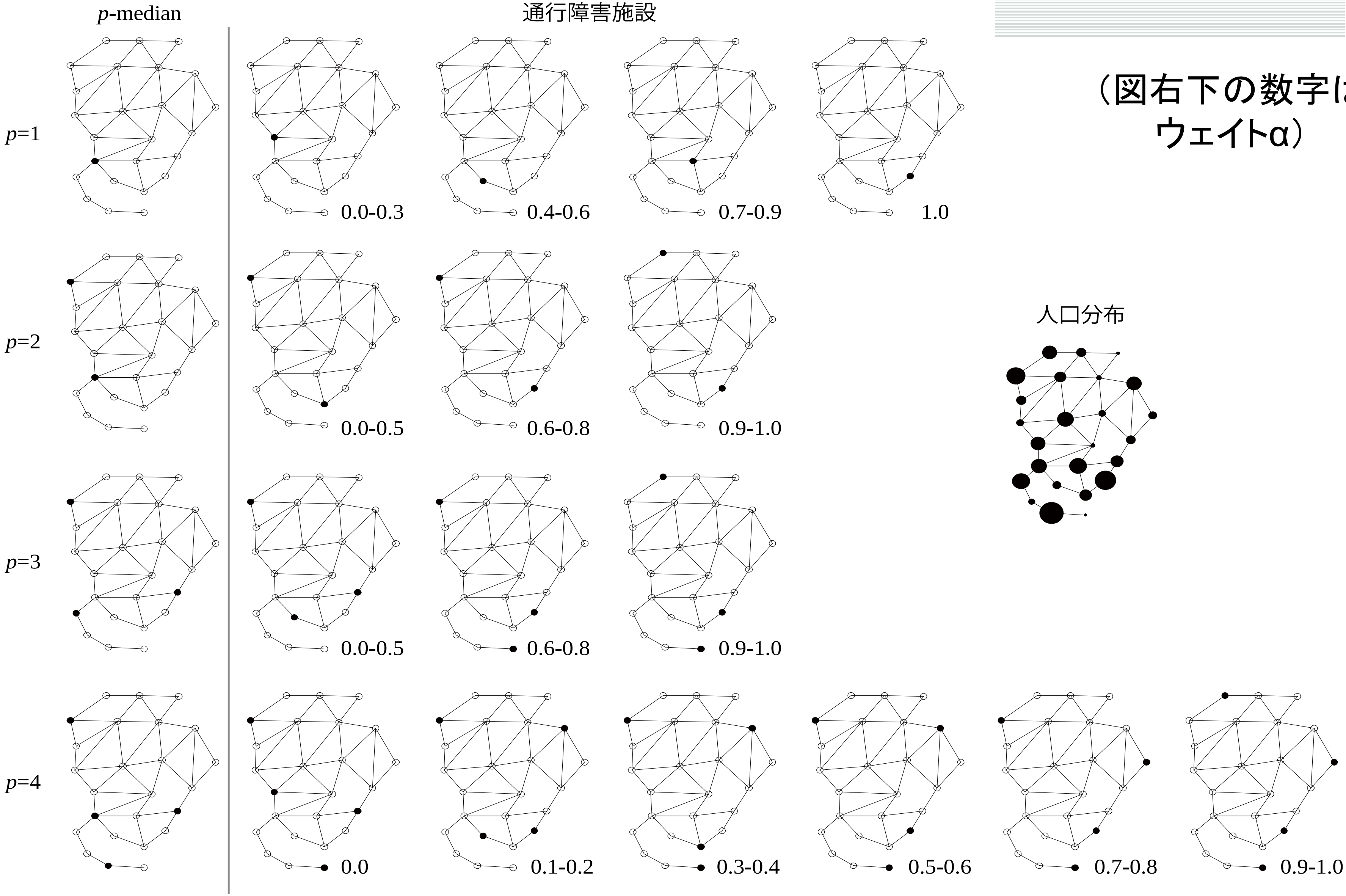
- αを増加させて1に近づけていくにつれ，便利な場所から通過交通の少ない縁辺部等の頂点へと立地場所が移っていく．



人口分布

# *p*-median問題の解と通行障害施設の最適配置

（図右下の数字はウェイトα）

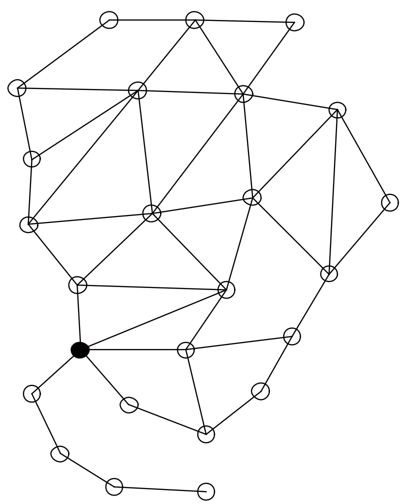


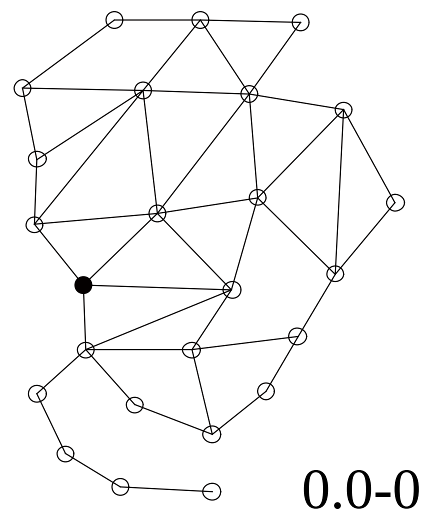
# *p*-median問題の解と通行障害施設の最適配置

*p*-median

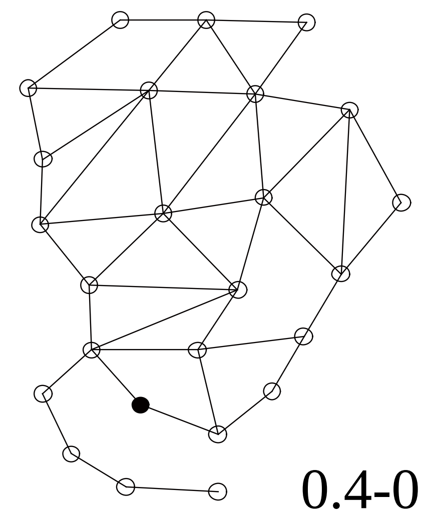
通行障害施設

*p*=1



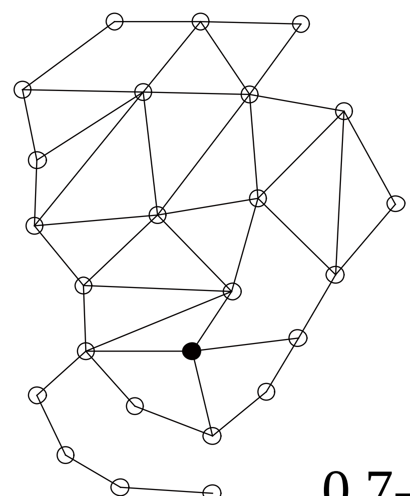


0.0-0.3

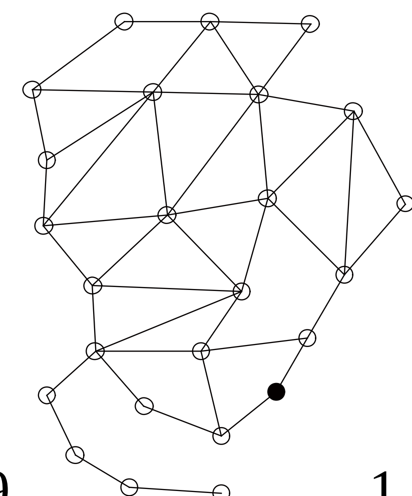


0.4-0.6

（図右下の数字はウェイトα）



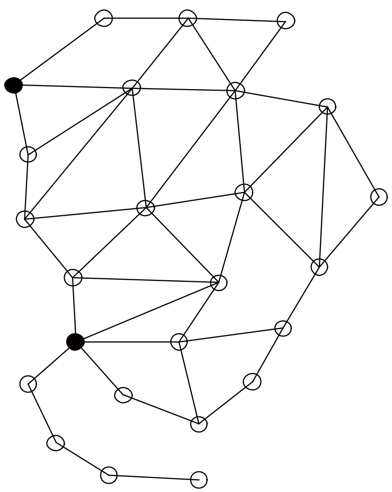
0.7-0.9



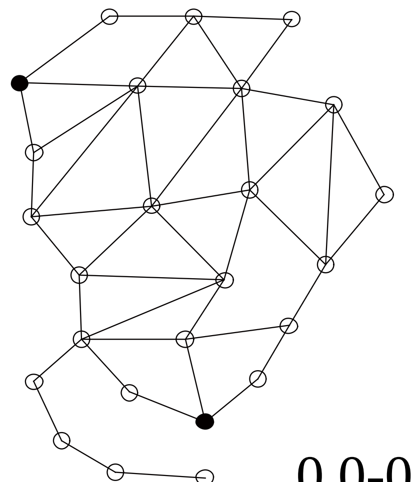
1.0

# *p*-median問題の解と通行障害施設の最適配置

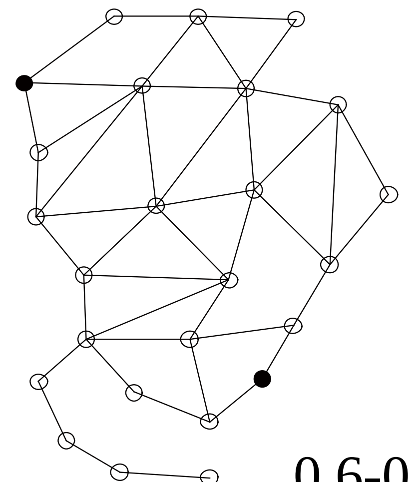
*p*-median



通行障害施設

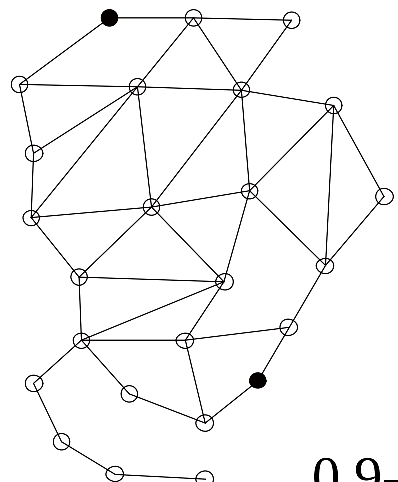


0.0-0.5



0.6-0.8

$p$=2



0.9-1.0

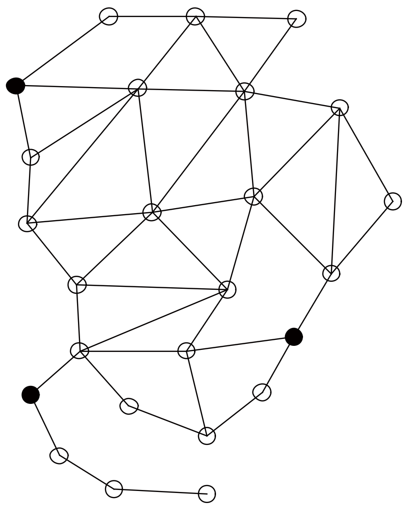
（図右下の数字はウェイトα）

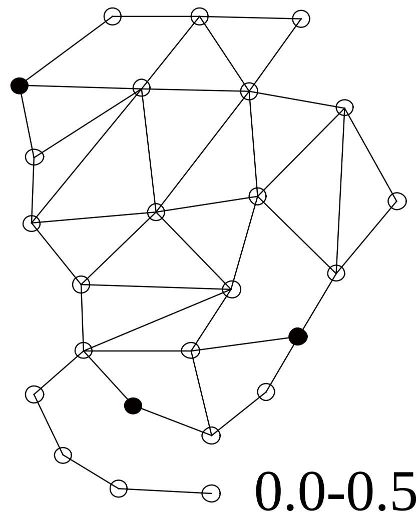
# $p$-median問題の解と通行障害施設の最適配置

$p$-median

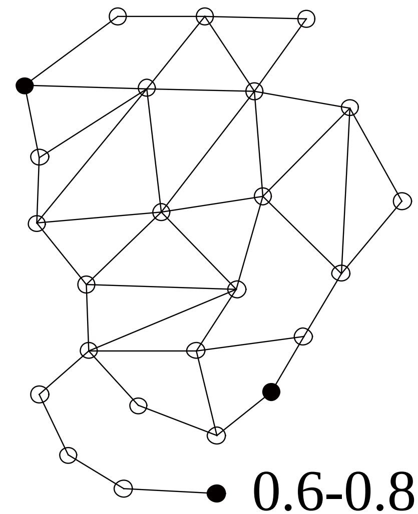
通行障害施設

$p$=3



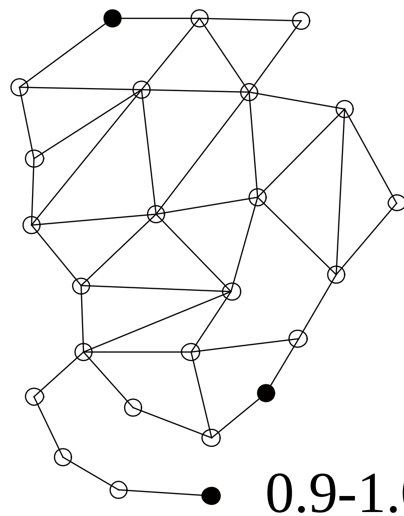


0.0-0.5



0.6-0.8

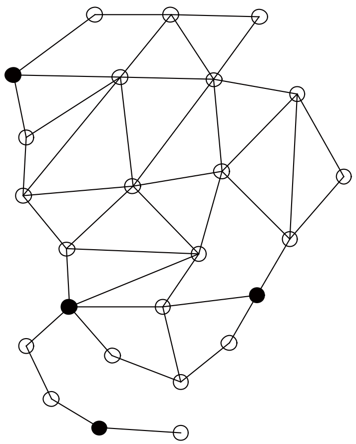
（図右下の数字はウェイトα）



0.9-1.0

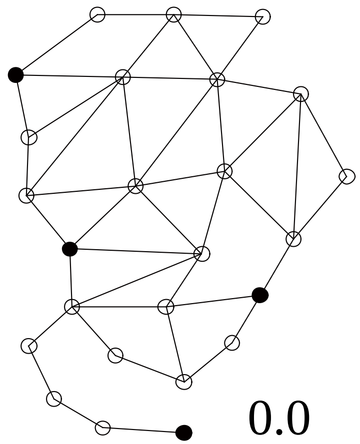
# $p$-median問題の解と通行障害施設の最適配置

$p$-median

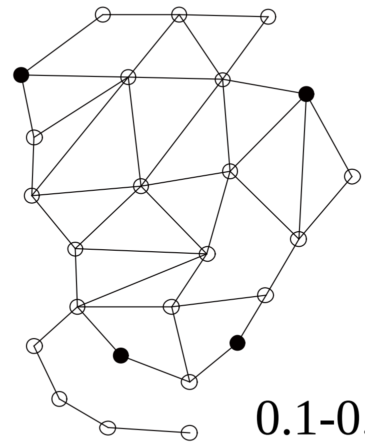


通行障害施設

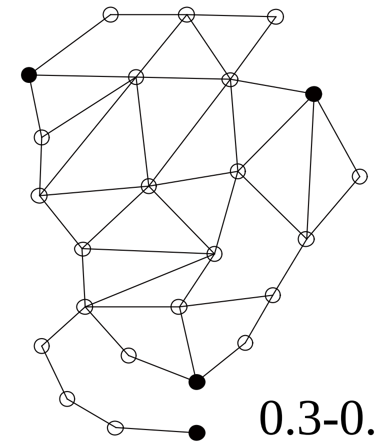
$p$=4



0.0

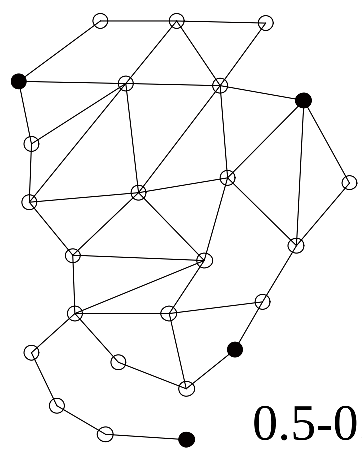


0.1-0.2

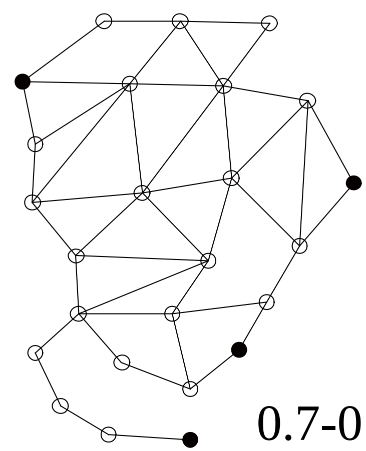


0.3-0.4

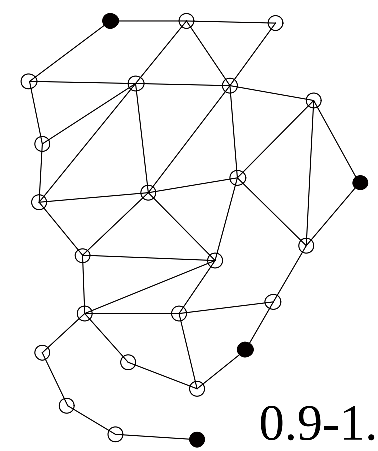
（図右下の数字はウェイトα）



0.5-0.6



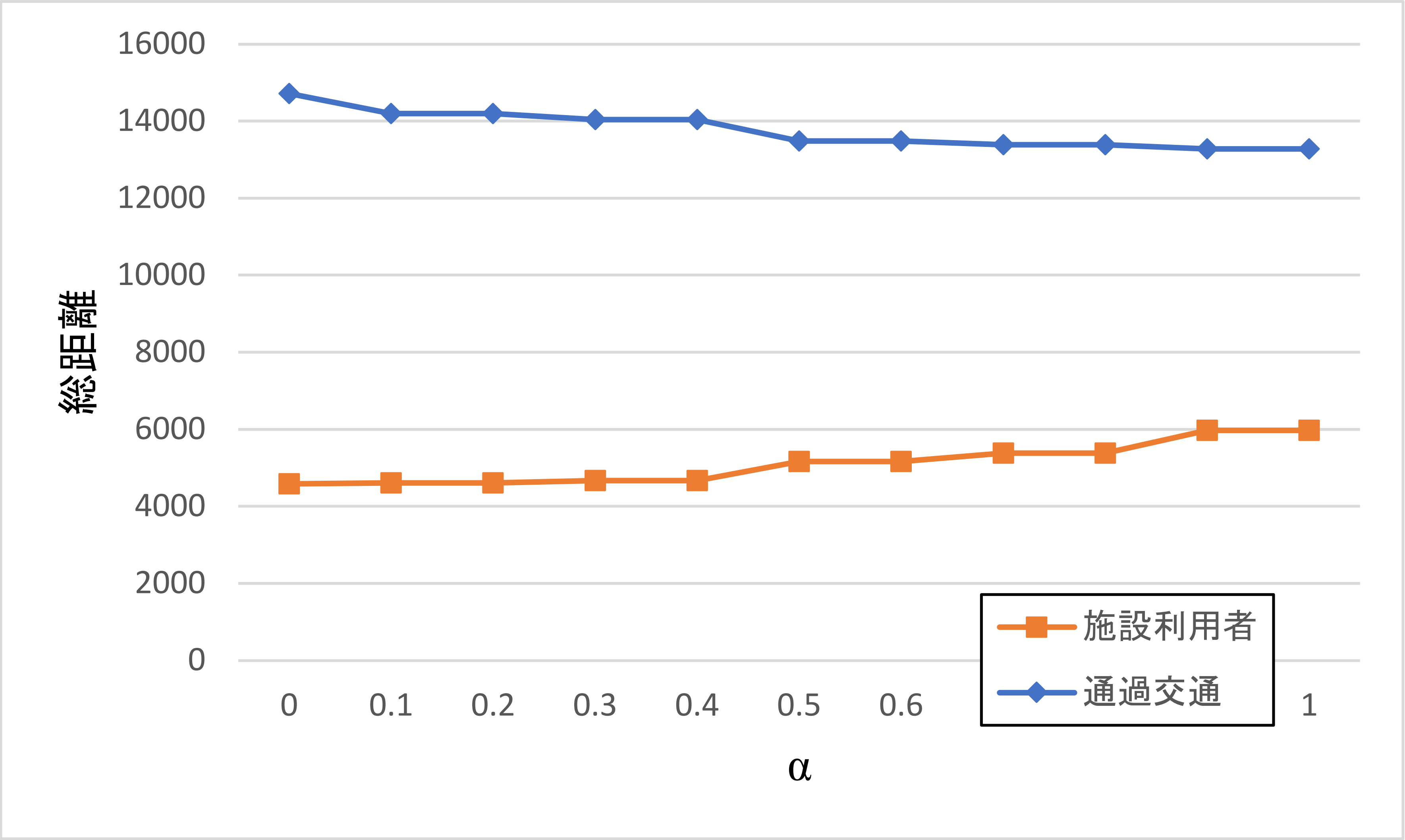
0.7-0.8



0.9-1.0

# 施設利用者の平均距離と通過交通の平均距離のトレードオフ

（$p$=4の場合）



# 結論

- 費用最小流表現による*p*-median問題をベースに，施設利用者の移動距離と通行障害による通過交通の迂回距離とのトレードオフに着目して，通行の障害となる施設の最適配置問題を定式化
- 大規模施設の立地が交通の要衝となる結節点を避けて縁辺部に立地する傾向を記述

# 謝辞

- 本研究は, JSPS科学研究費補助金24241053, 26289170, 26560162および大林財団研究助成による助成を受けた.

# 参考文献


- (財)東京市町村自治調査会 (2013) 企業等が所有する大規模画地に対する自治体施策のあり方についての調査研究報告書.
- 鈴木勉 (2013) 通過交通の侵入を防ぐ住区内道路網設計問題, 日本OR学会秋季研究発表会アブストラクト集, 48-49.