

# 避難場所の収容密度を考慮した 広域避難計画と避難場所配置問題に関する研究

工学部第一部 経営工学科  
沼田研究室  
440892 吉村遼

# 目次

1. はじめに
2. 神奈川県横浜市青葉区の例
3. 本研究の目的
4. 提案する割当てモデル
5. 青葉区への適用
6. 実験 (割当て)
7. 避難場所の配置・割当て
8. 実験 (配置・割当て)
9. まとめと課題

# 1. はじめに

## 広域避難計画

災害時、周辺住民を適当な広域避難場所に割り当てる計画。

### 求められること

- 短く、偏りのない避難距離
- 避難場所の過大な収容密度の防止

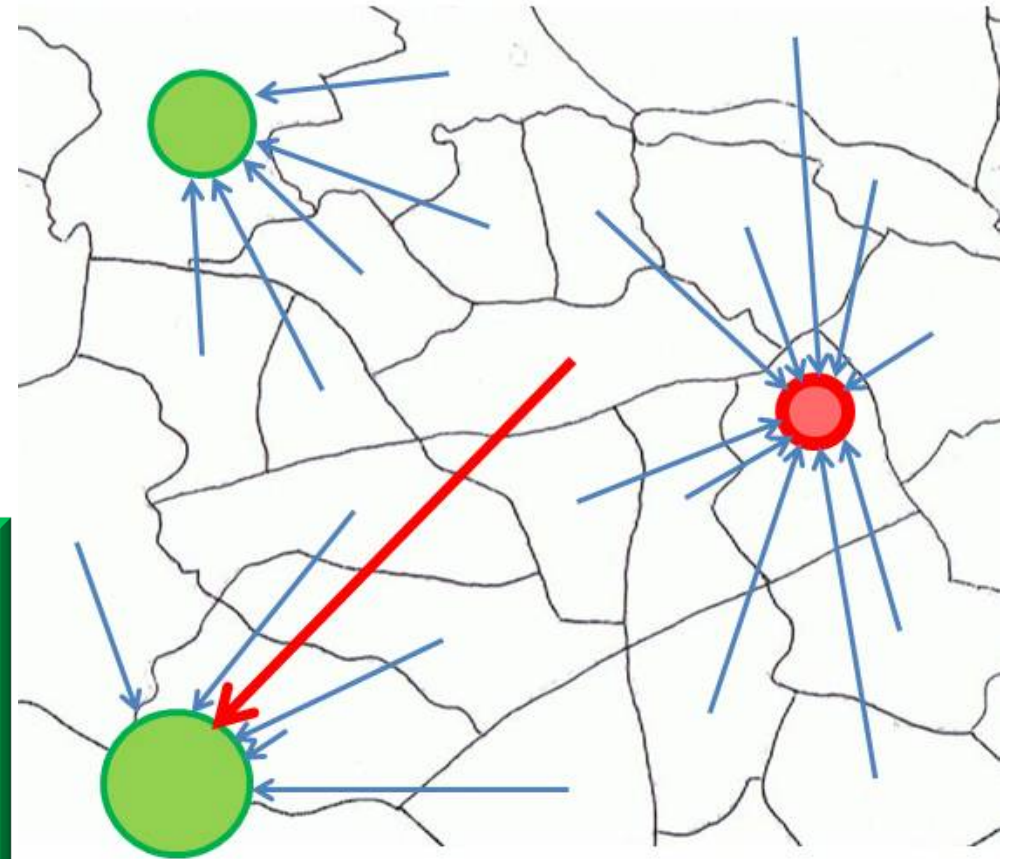


図1：広域避難計画

## 2. 神奈川県横浜市青葉区の例

現在の割当て

主に区や町内会の話し合  
いで決定

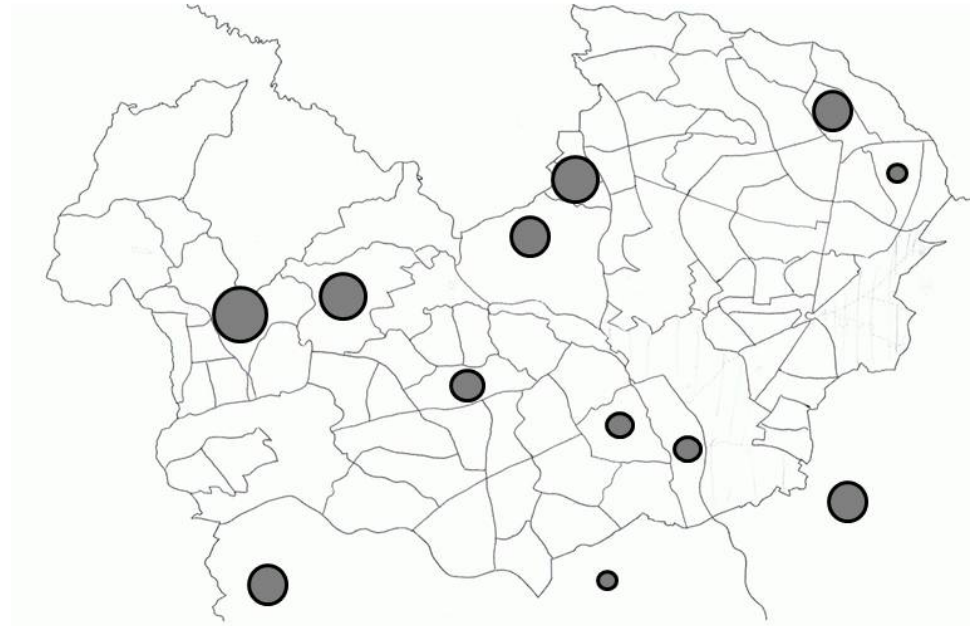


図2: 青葉区の町丁目と避難場所[1]

### 問題点

- 避難距離の長い町丁目の存在
- 特定の避難場所への避難住民の集中

### 3. 本研究の目的

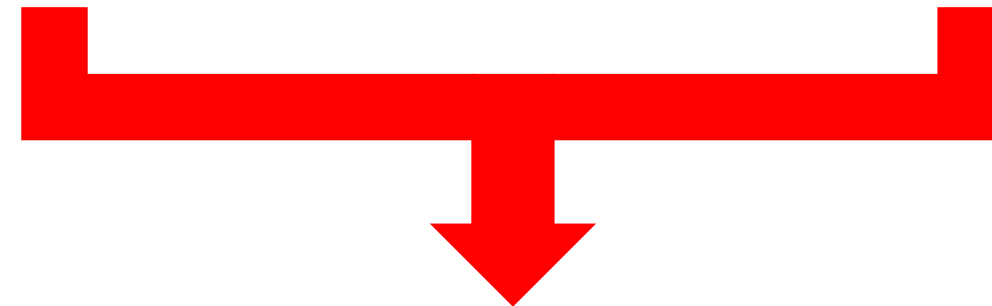
本研究では、神奈川県横浜市青葉区を対象とする。

- ① 2つの既存モデルを統合した割当てモデルを提案し、他のモデルと比較して評価する。
- ② 避難場所を自由に配置する状況で、2つの既存モデルを統合した配置・割当てモデルを提案し、他のモデルと比較して評価する。

## 4.1 提案する割当てモデル

min-max型モデル[2]  
⇒ 最大避難距離最小化

min-sum型モデル[2]  
⇒ 平均避難距離最小化



統合型割当てモデル  
⇒ 短く, 偏りのない避難距離を目指す

## 4.2 統合型割当てモデル

Step1

min-max型モデルを解き、割当てにおける最大避難距離を求める。

Step2

Step1で求めた最大避難距離を避難距離の上限値とするmin-sum型モデルを解く。

この統合型割当てモデルを、各避難場所の収容密度に上限を設けた環境で求める。

## 5.1 問題設定

### 設定状況

町丁目と避難場所の中心点[3]  
ネットワークを避難経路とする。  
(図3)

### 記号の定義

- $\alpha$  : 収容密度の上限
- $D_{\alpha}^*$  : min-max型割当て  
で得る最大避難距離

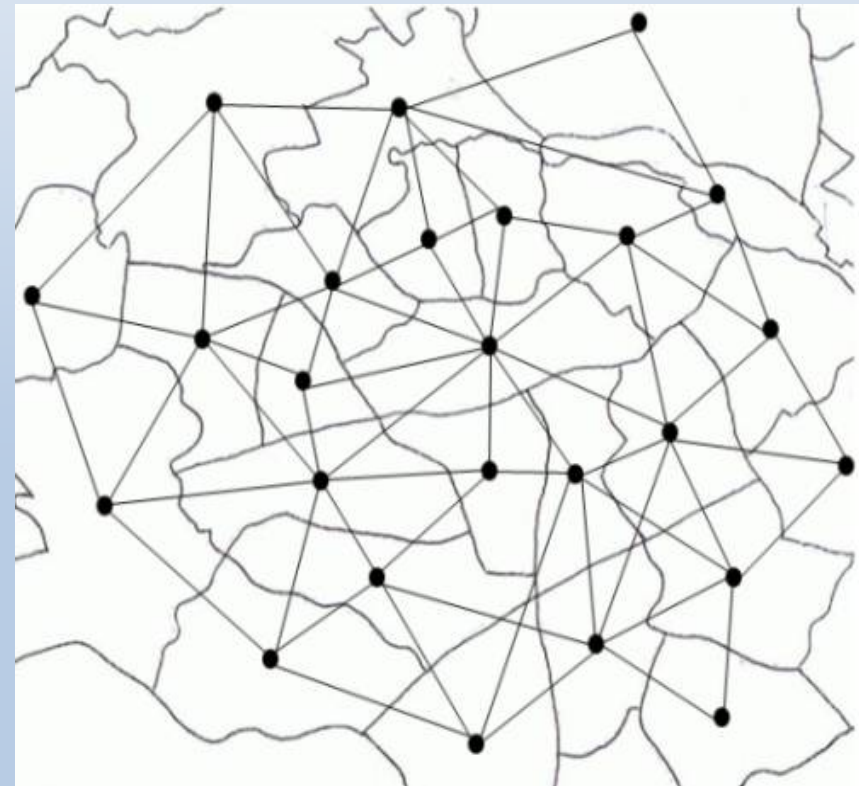


図3: 町丁目ネットワーク



## 5.2 制約条件と目的

Step1 min-max型割当て

<制約条件>

1. (収容密度)  $\leq \alpha$
2. 全町丁目は必ずどこかの避難場所に割当てられる.

最大避難距離を最小にする割当てを求める.

Step2 min-sum型割当て

<制約条件>

1. (避難距離)  $\leq D_{\alpha}^*$

これに加えてStep1の制約条件1, 2を用いる.

平均避難距離を最小にする割当てを求める.

## 6.1 実験概要

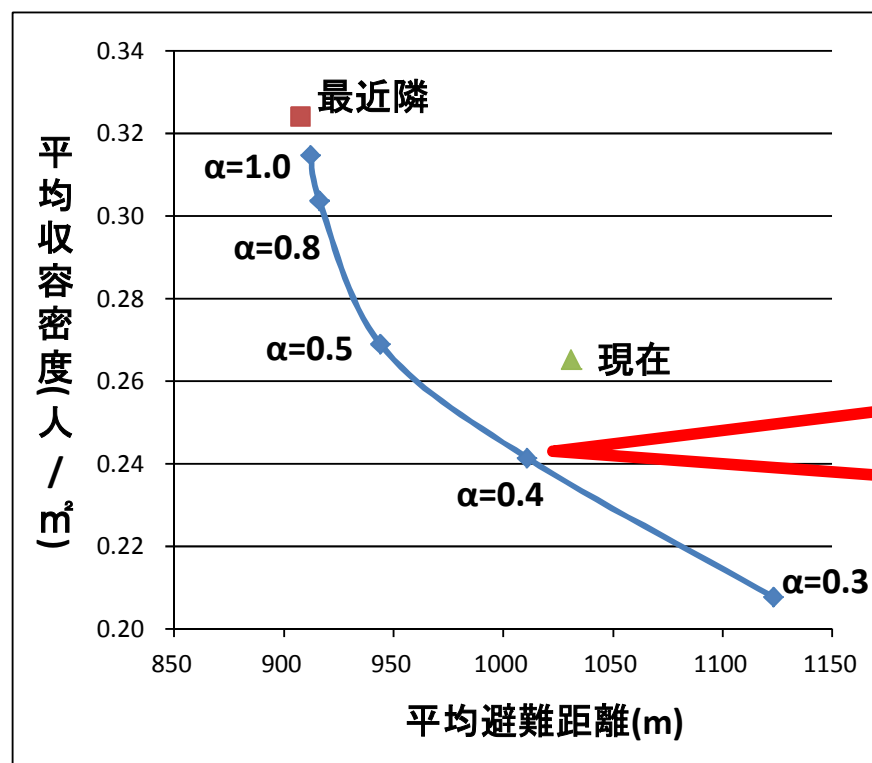
- 以上の状況を定式化し, 汎用ソルバーGurobi[4]で解いた.
- 最近隣割当て(最寄りの避難場所への割当て)を比較対象として求めた.
- 収容密度に上限を設けたmin-sum型/min-max型/統合型割当てについて, 収容密度の上限 $\alpha$ を1.0, 0.8, 0.5, 0.4, 0.3と変化させて求めた.

## 6.2 実験結果①

表1: 各割当てでの最大避難距離と平均避難距離

		最大避難距離(m)	平均避難距離(m)
min-sum型	$\alpha=1.0$	2367	909
	$\alpha=0.8$	2367	915
	$\alpha=0.5$	1961	944
	$\alpha=0.4$	2177	976
	$\alpha=0.3$	2258	1089
統合型	$\alpha=1.0$	1961	912
	$\alpha=0.8$	1961	916
	$\alpha=0.5$	1961	944
	$\alpha=0.4$	1961	1011
	$\alpha=0.3$	2007	1123
min-max型	$\alpha=1.0$	1961	1071
	$\alpha=0.8$	1961	1154
	$\alpha=0.5$	1961	1160
	$\alpha=0.4$	1961	1106
	$\alpha=0.3$	2007	1199

## 6.3 実験結果②



$\alpha = 0.4$ の場合、  
現在の割当てよりも  
改善がみられる。

図4: 統合型割当てモデルと現在の割当ての比較

青葉区の広域避難計画において、  
統合型割当てモデルは有効である。

## 7.1 避難場所の配置・割当て

ここまでは・・・

- 避難場所の配置が決定済
- 町丁目の割当て

次に・・・

- 避難場所を候補点から**選択して配置**
- 避難場所の配置と町丁目の割当て

避難場所 {●, ●, ●, ...}

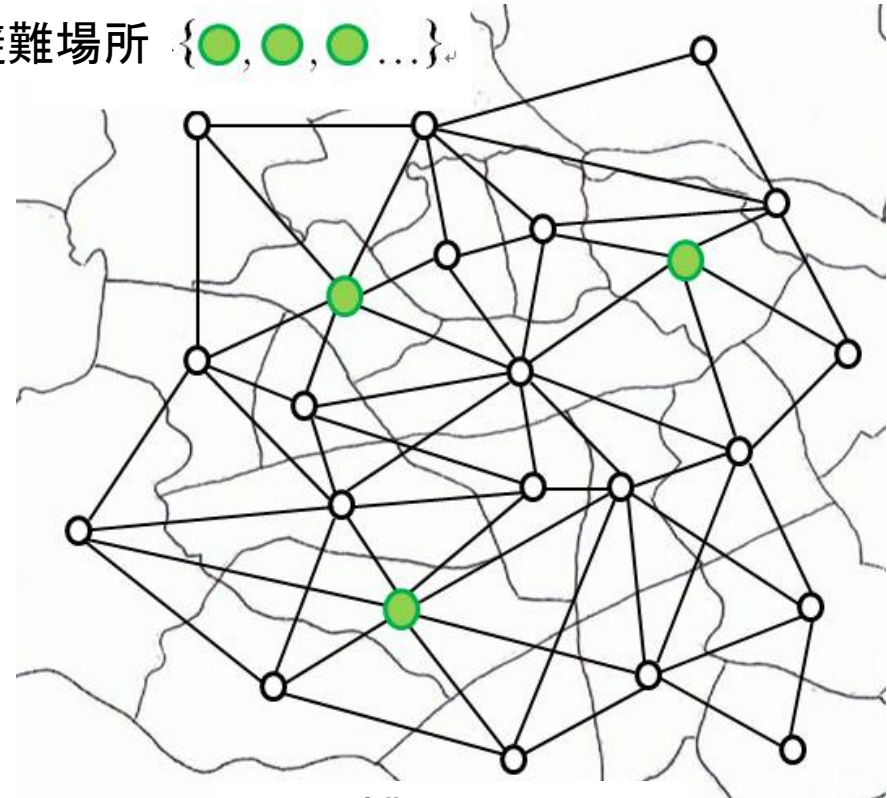
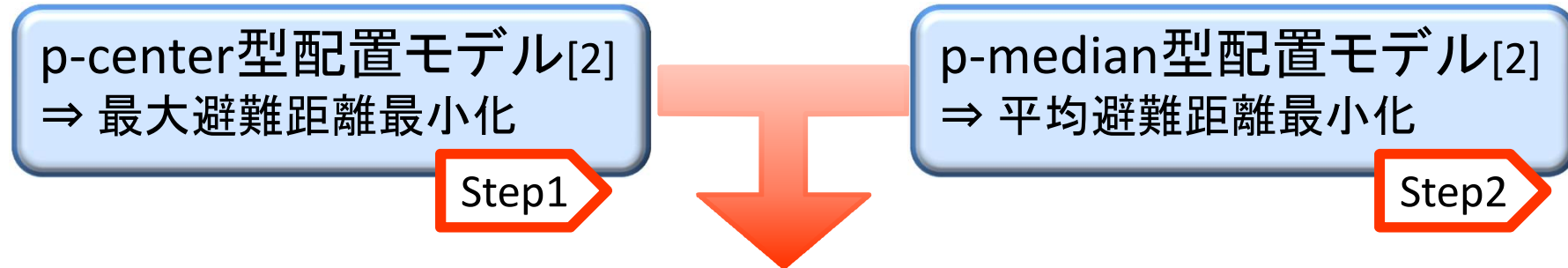


図5: 避難場所の配置

避難場所を自由に配置する状況において、  
統合型モデルの有効性を示す。

## 7.2 統合型配置モデル



### 統合型配置モデル

Step1 ⇒ 最大避難距離を求める。

Step2 ⇒ Step1の最大避難距離を避難距離の上限とする。

各避難場所の収容定員に上限を設けた環境で求める。

## 7.3 問題設定

- 5.1と同様のネットワークを用いる.
- 町丁目の集合を避難場所配置の候補点集合とし, その集合から配置する点を選択する.

### 記号の定義

- $p$ : 避難場所数
- $\beta$ : 収容定員の上限值
- $D_{\beta}^*$ :  $p$ -center型配置モデルを解くことで得る最大避難距離

## 7.4 制約条件と目的

### Step1 p-center型モデル

<制約条件>

1. (避難場所設置数) =  $p$
2. (避難場所の収容定員)  $\leq \beta$
3. 全ての町丁目は必ずどこかの避難場所に割当てられる.
4. 避難場所候補点は町丁目集合から選択.

最大避難距離を最小にする配置・割当てを求める.

### Step2 p-median型モデル

<制約条件>

1. (避難距離)  $\leq D_{\beta}^*$

これに加えてStep1の制約条件1~4を用いる.

平均避難距離を最小にする配置・割当てを求める.



## 8.1 実験概要

- 以上の状況を定式化し, 汎用ソルバーGurobi[4]で解いた.
- 避難場所数 $p = 12$ として各配置・割当てを求めた.
- 収容定員に上限を設けたp-center型/p-median型/統合型配置・割当てについて, 収容定員の上限 $\beta$ を50000, 45000, 40000, 35000, 30000と変化させて求めた.

## 8.2 実験結果

表2: 各モデルの最大避難距離と平均避難距離

		最大避難距離(m)	平均避難距離(m)
p-median型	$\beta = 50000$	1924	621
	$\beta = 45000$	1924	622
	$\beta = 40000$	1924	625
	$\beta = 35000$	1924	639
統合型	$\beta = 50000$	1319	689
	$\beta = 45000$	1319	691
	$\beta = 40000$	1319	730
	$\beta = 35000$	1476	834
p-center型	$\beta = 50000$	1319	764
	$\beta = 45000$	1319	782
	$\beta = 40000$	1319	790
	$\beta = 35000$	1476	978

避難場所を自由に配置できる状況においても、  
統合型配置モデルは有効である。

## 9. まとめと課題

### まとめ

本研究では、青葉区の広域避難計画について統合型モデルを提案し、その有効性を示した。また、避難場所を自由に配置できる状況下での統合型モデルの有効性を示した。

### 課題

本研究では、町丁目ネットワークを用いたが、実際の道路網や避難における二次災害の危険性なども考慮する必要がある。

# 参考文献

- [1] 横浜市青葉区役所(2008),  
横浜市青葉区広域避難場所冊子抜粋.
- [2] 加藤 直樹(2008), 数理計画法, 初版, コロナ社, 221pp.
- [3] 地図上で2点間の直線距離を測る,  
[http://www.benricho.org/map\\_straightdistance/](http://www.benricho.org/map_straightdistance/)(2012/12/20).  
(2012/1/5).
- [4] gurobi , <http://www.gurobi.com/> (2011/12/20).

ありがとうございました.

# 付録：記号化 (統合型割当てモデル)

- $I = \{1, 2 \dots n\}$ : 町丁目の集合
- $J = \{1, 2 \dots m\}$ : 避難場所の集合
- $w_i$ : 町丁目  $i$  の人口
- $S_j$ : 避難場所  $j$  の面積
- $d_{ij}$ : 町丁目  $i$  から避難場所  $j$  までの避難距離
- $D_\alpha^*$ : min-maxモデルで求める最大避難距離
- $x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{町丁目 } i \text{ から広域避難場所 } j \text{ に避難する} \\ 0 & \text{町丁目 } i \text{ から広域避難場所 } j \text{ に避難しない} \end{cases}$
- $\alpha$ : 収容密度の上限値

# 付録：定式化 (統合型割当てモデル)

Step1 min-max型

$$\text{minimize } \{ \max d_{i j} x_{i j} \} \cdots (1)$$

$$\text{s. t. } \max \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_{i j}}{S_j} \right\} \leq \alpha$$
$$(\forall j \in J) \cdots (2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{i j} = 1 \quad (\forall i \in I) \cdots (3)$$

Step2 min-sum型

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_i d_{i j} x_{i j} \cdots (4)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^m d_{i j} x_{i j} \leq D$$
$$(\forall i \in I) \cdots (5)$$

これに加えて  
Step1式(2),(3)を用いる

# 付録：記号化 (統合型配置モデル)①

- $V = \{1, 2 \dots n\}$ : 町丁目の集合
- $w_i$ : 町丁目  $i$  の人口
- $S_j$ : 避難場所  $j$  の面積
- $d_{ij}$ : 町丁目  $i$  から避難場所  $j$  までの避難距離
- $p$ : 避難場所数
- $D_\beta^*$ :  $p$ -center型モデルで求める最大避難距離
- $\beta$ : 収容定員の上限值
- $M$ : 避難距離の上限值



## 付録：記号化 (統合型配置モデル)②

- $x_{i j} = \begin{cases} 1 : \text{町丁目 } i \text{ から広域避難場所 } j \text{ に避難する} \\ 0 : \text{町丁目 } i \text{ から広域避難場所 } j \text{ に避難しない} \end{cases}$
- $y_j = \begin{cases} 1 : \text{町丁目 } j \text{ に避難場所を配置する} \\ 0 : \text{町丁目 } j \text{ に避難場所を配置しない} \end{cases}$

# 付録: 定式化 (統合型配置モデル)

Step1  $\triangleright$  p-center型

$$\text{minimize } M \quad \dots (6)$$

$$\text{s. t. } d_{i,j} x_{i,j} \leq M \quad (\forall i, j \in V) \dots (7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1 \quad (\forall i \in V) \quad \dots (8)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p \quad \dots (9)$$

$$x_{i,j} \leq y_j \quad (\forall i, j \in V) \quad \dots (10)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i x_{i,j} \leq \beta \quad (\forall j \in V) \quad \dots (11)$$

Step2  $\triangleright$  p-median型

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{i,j} x_{i,j} \quad \dots (12)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n d_{i,j} x_{i,j} \leq D \quad (\forall i \in V) \quad \dots (13)$$

これに加えて

Step1式(8)~(11)を用いる.