

# 移動中の利用を考慮した地域公共施設の施設配置計画

Location planning for local public facilities considering the flexible use during commuting trips

堀内 智司\*  
Satoshi HORIUCHI

\*地域計画学研究室 (指導教員: 奥村誠 教授)

In order to assure a high longitudinal accessibility for local public facilities, the effect of flexible use along commuting flows is analyzed in this paper. First, it is shown that permission of the flexible use during commuting trips can improve the accessibility to existing facilities, comparing to the rigid use only by the neighbor inhabitants, and also assure the stability of the accessibility under a change of residential distribution and closure of a facility. Second, it is shown that when a facility plan is set up, a location planning model minimizing the additional travel time for the facilities based on commuting flows can provide superior locations to that minimizing the home-facility travel time, in terms of the average travel time and its stabilities.

**Key Words** : local public facility, location planning, flexible use, stability of accessibility

## 1. はじめに

### (1) 背景

公共施設の多くは数十年という長期間使用されるため、利用者の利便性が高い水準で保たれることが望ましい。しかし、実際には、その数十年の間に住宅団地の郊外化などにより利用者の居住分布が変化し、さらに、利用者の減少などによって既存の公共施設のうちのいくつかを廃止する可能性があり、利用者の利便性が悪化する危険性が大きい。

### (2) 研究の目的と内容

本研究の目的は、公共施設の利便性を長期的に確保するために、利用者が通勤等の移動中に施設に立ち寄るといった利用形態 (移動中利用と呼ぶ) に着目し、その効果を明らかにすることにある。

第 1 に、既存の公共施設を利用するにあたって、居住地の最寄りにある施設を利用するという利用形態 (居住地利用と呼ぶ) に加えて、移動中利用を認めることが、利便性を改善できるだけでなく、長期的な利便性の安定性確保につながることを示す。

第 2 に、移動中利用を考慮して、初めからその利用形態の利便性を最適化するという新しい配置計画法を提案する。そして、その方法が、居住地利用の利便性を最適化する配置計画法よりも有効であることを示す。

### (3) 既存研究

Hodgson<sup>1)</sup>と鈴木<sup>2)</sup>は、移動中利用の施設の配置問題を、線形計画問題である p-median 問題に帰着させて最適配置解を求めた。その中で、Hodgson<sup>1)</sup>は、利用形態ごとの利便性を比較して、移動中利用の有効性を示している。しかし、各利用形態で、居住分布の変化や施設の廃止が利便性に与える影響を調べていない。また、配置計画法ごとの比較については、Hodgson<sup>1)</sup>は、移動中利用の利便性を最適化する配置計画法が高い利便性

を与えることを指摘している。鈴木<sup>2)</sup>は、各利用形態での利便性を最適化した時の施設配置解の特性を詳細に分析している。しかし、各配置計画法で、居住分布の変化や施設整備中止が利便性の安定性に与える影響の違いを調べていない。

## 2. 分析の方法と対象地域

### (1) 利便性の評価指標と施設利用モデル

本研究では、公共施設の利便性を評価する指標として利用者の公共施設までの移動時間の平均値を用いる。利用形態ごとの平均移動時間は、施設配置を所与として、以下に示す線形計画問題を解き、目的関数値を利用者数で割って求めることができる。なお計算は、線形ソルバーの **glpk (Ver.4.8)** を使用して行う。

#### 定義

居住地ゾーン (ノード)  $i$ , 従業地ゾーン (ノード)  $j$ ,  
施設候補地ゾーン (ノード)  $k$ ,  
 $ik$  間の移動時間  $t_{ik}$ ,  $kj$  間の移動時間  $t_{kj}$ ,  
 $ij$  間の移動時間  $t_{ij}$ ,  $ij$  間を通勤する利用者数  $w_{ij}$ ,  
 $X_{ijk} (\geq 0)$ :  $ij$  間の全利用者の  $k$  への配分比  
 $Y_k \in \{0,1\}$ :  $k$  における施設の存在を表す 0-1 変数

#### 居住地利用モデル

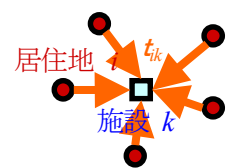
居住地から公共施設まで往復移動するのにかかる総移動時間  $Z$  を最小化するように既存の各施設への配分比  $X_{ijk}$  を求める問題は以下のように定式化できる。

$$\min_{X_{ijk}} Z = \sum_{i,j,k} w_{ij} t_{ijk}^{dev} X_{ijk} \quad (1)$$

$$s.t. \sum_k X_{ijk} = 1 \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$X_{ijk} \leq Y_k \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

$t_{ijk}^{dev} = 2 \times t_{ik} (\geq 0)$ : 居住地  $i$  から  $k$  の施設を利用するた



めの往復の移動時間

**移動中利用モデル**

通勤移動の途中で公共施設までの移動に余分にかかる総移動時間  $Z$  を最小化するように既存の各施設への配分比  $X_{ijk}$  を求める問題は以下のように定式化できる。

$$\begin{aligned} \min_{X_{ijk}} Z &= \sum_{i,j,k} w_{ij} t_{ijk}^{dev} X_{ijk} & (4) & \text{居住地 } i \text{ から } j \text{ の移動時間} \\ \text{s.t. } \sum_k X_{ijk} &= 1 \quad \forall i, j & (5) & \text{居住地 } i \text{ から } j \text{ への移動に } k \text{ を利用する割合} \\ X_{ijk} &\leq Y_k \quad \forall i, j, k & (6) & \text{施設 } k \text{ の利用可能な人数} \end{aligned}$$

$t_{ijk}^{dev} = t_{ik} + t_{kj} - t_{ij} (\geq 0)$ :  $ij$  間の利用者が  $k$  を利用する場合に、余分にかかる移動時間 (迂回時間)

制約条件の式(2)と式(5)は、全ての利用者がいずれかの公共施設に配分されることを表し、式(3)と式(6)は、配分される施設候補地ゾーンに公共施設が存在しなければならないことを表している。

ここで、居住地利用は移動中利用の特殊なケースであることを考えると、移動中利用の総移動時間は居住地利用の値を上回ることは有り得ないことがわかる。

**(2) 対象地域の選択**

対象とする公共施設として保育所を考える。利用者を0歳から5歳の未就学児を持つ就業者と考え、通勤・通学する人数が多い図-1に示した扇形の地域を対象地域とする。2002年の仙台都市圏PT(パーソントリップ)調査の中ゾーンの区分に従って分割するが、ゾーン内に国勢調査の500mメッシュデータの中心点が存在しないゾーンは除外した。ゾーンの大きさは、実際の保育所がおおむね1つ以下に配置されるような大きさになっている。

**(3) 使用データ**

保育所の利用者は、0歳から5歳までの未就学児を持つ就業者であり、園児1人を就業者1人が送迎する。各ゾーンに居住する就業者の従業地の分布は、PT調査における居住地ごとの従業地の比率に等しいと仮定する。ここで、0-5歳人口は総務省統計局の国勢調査(500mメッシュ、2000年)データを使用し、

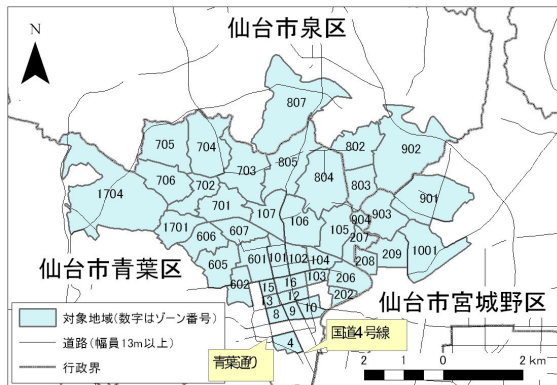


図-1 対象地域と道路ネットワーク

ゾーン間の移動時間は、仙台都市圏PT調査で、自家用車を利用して中ゾーン間を移動したトリップの移動時間の平均値とした。ただし、サンプルが得られないODペアを補うため、ダイクストラ法を適用した。

**3. 移動中の施設利用の有効性**

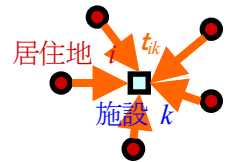
**(1) 既存の施設配置案の想定**

既存の公共施設の配置として、仮に居住地利用に合わせて最適化された配置を与える。つまり、以下のモデルで求めた施設配置解を居住地配置と呼ぶ。

**居住地配置モデル**

居住地から公共施設まで往復移動するための総移動時間  $Z$  を最小化するように  $p$  個の施設配置解  $Y_k$  と施設への配分比  $X_{ijk}$  を求める問題は、以下のように定式化できる。

$$\begin{aligned} \min_{X_{ijk}, Y_k} Z &= \sum_{i,j,k} w_{ij} t_{ijk}^{dev} X_{ijk} & (7) \\ \text{s.t. } \sum_k X_{ijk} &= 1 \quad \forall i, j & (8) \\ X_{ijk} &\leq Y_k \quad \forall i, j, k & (9) \\ \sum_k Y_k &= p & (10) \end{aligned}$$



$t_{ijk}^{dev} = 2 \times t_{ik} (\geq 0)$ : 居住地  $i$  から  $k$  の施設を利用するためにかかる移動時間

式(10)は、総施設数を  $p$  個に制約している。

**(2) 利便性の改善効果**

居住地配置を所与として、居住地利用モデルと移動中利用モデルをそれぞれ解き、平均移動時間を計算して、2つの利用形態における利便性の差異を検討する。結果を図-2に示す。移動中利用の平均移動時間は、施設数に関わらず居住地利用よりも短く、おおよそ半分程度に抑制でき、利便性が高いことが確認できた。

**(3) 居住分布の変化に対する利便性の安定性**

公共施設を長期間使用する間に居住分布が変化してしまうことを想定して、2つの利用形態における利便性の安定性の差異を検討する。

居住地配置のもとで、式(11)で求めた居住分布変化後の利用者数  $w_{ij}^f$  を所与として居住地利用モデルを解き、居住分布変化後の平均移動時間を求める。この作業を100回繰り返し、値の小さな方から順に並べ、95番目の値を「95%で確保される平均移動時間」とする。つまり、この値は様々な居住分布の変化の中で95%の確率でこの値以下の移動時間を提供できるというサービスレベルを示すものである。その値から居住分布変化前の値を引いた値を、「居住地利用の95%レベル悪化時間」とする。また、同様の計算を移動中利用モデルを用いて行ったものを、「移動中利用の95%レベル悪化時間」とする。

$$w_{ij}^f = w_{ij}^{2000} (1 + \sigma \cdot R) \quad (11)$$

$w_{ij}^{2000}$  : 2000年時点の  $ij$  間を通勤する利用者数

$\sigma$  : 居住分布の変化の大きさを表すパラメータ.  $w_{ij}^f$

がほぼ正という条件で最大に近い  $\sigma=0.3$  とする

$R$  : 正規分布に従う乱数

結果を図-3 に示す. ほとんどの場合において, 移動中利用の方が居住地利用よりも 95%レベル悪化時間は小さく, 利便性の悪化が抑制されている. これは, 居住分布が変化しても, 通勤の経路は大きく変わらないため, 同じ公共施設に立ち寄ることのできる可能性が高いためだと考えられる.

(4) 1施設廃止に対する利便性の安定性

供用期間中に 1 施設を廃止する場合で, 2 つの利用形態における利便性の安定性の差異を検討する.

居住地配置を所与とし, それらのうちから 1 施設を選んで廃止する際に, 廃止後の居住地利用と移動中利用のそれぞれの利便性が最大となるように廃止施設を選び, 平均移動時間を求める. 2 つのケースにおける施設廃止による平均移動時間の悪化時間をそれぞれ, 「居住地利用の悪化時間」, 「移動中利用の悪化時間」とする.

結果を図4 に示す. 廃止前の施設数に関わらず, 移動中利用の悪化時間は, 居住地利用の悪化時間よりも小さく, 利便性の悪化が抑制されている. これは, 廃止するゾーンの居住者が, 居住地利用の場合には直接的な影響を受けるが, 移動中利用の場合には通勤途中にある残された施設を利用して, 影響を小さくできるためだと考えられる.

4. 移動中の利用を考慮した施設配置計画法の有効性

(1) 移動中利用を最適化する施設配置計画モデル

地方公共団体などが, 移動中利用に合わせて公共施設の配置を最適化する場合を考える. この時, 以下のモデルで求めた施設配置解を移動中配置と呼ぶ.

移動中配置モデル

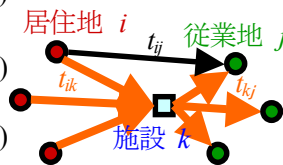
居住地から公共施設まで移動するのに余分にかかる総移動時間  $Z$  を最小化するように  $p$  個の公共施設の配置解  $Y_k$  と公共施設への配分  $X_{ijk}$  を求める. 定式化すると, 以下のようになる.

$$\min_{X_{ijk}, Y_k} Z = \sum_{i,j,k} w_{ij} t_{ijk}^{dev} X_{ijk} \quad (12)$$

$$s.t. \sum_k X_{ijk} = 1 \quad \forall i, j \quad (13)$$

$$X_{ijk} \leq Y_k \quad \forall i, j, k \quad (14)$$

$$\sum_k Y_k = p \quad (15)$$



$t_{ijk}^{dev} = t_{ik} + t_{kj} - t_{ij} (\geq 0)$ :  $ij$  間の通勤者が  $k$  の施設を利用する時, 余分に必要な移動時間 (迂回時間)

※ 以下の図にある割合の値は, 居住地利用の値を基準とした, 移動中利用の値の割合を示す. ただし, 分母が 0 の場合を除く.

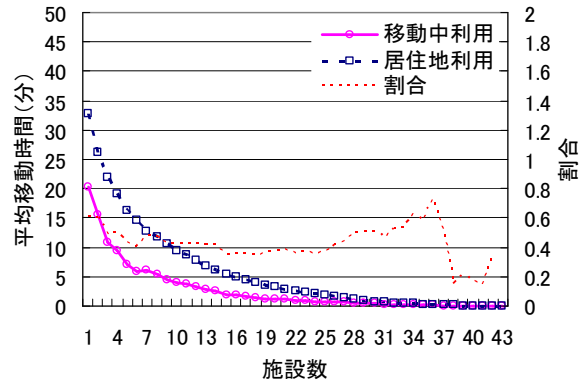


図-2 2つの利用形態における平均移動時間の比較

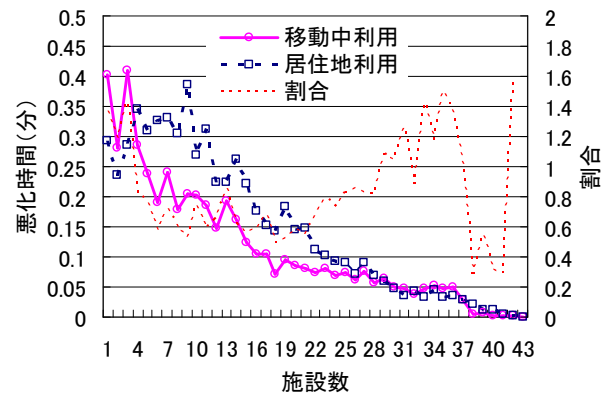


図-3 居住分布変化での95%レベルの悪化時間の比較

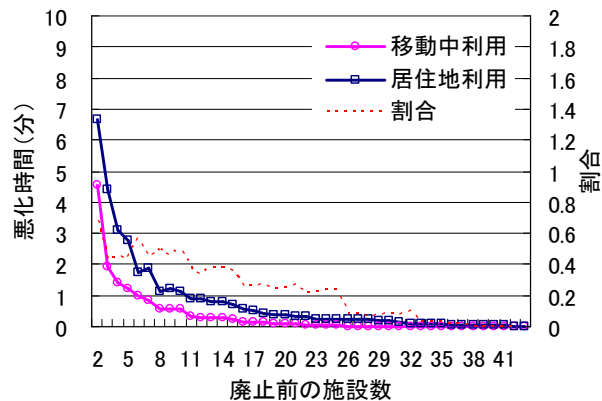


図-4 1施設廃止による悪化時間の比較

(2) 移動中利用時の利便性の差異

2 つの配置計画法による施設配置案の利便性の差異を検討する.

居住地配置と移動中配置を所与として移動中利用モデルをそれぞれ解き, 平均移動時間を求める.

計算の結果, 施設数に関わらず, 移動中配置は, 居住地配置より利便性が高いことがわかった.

(3) 居住分布の変化に対する利便性の安定性

公共施設を長期間使用する間に居住分布が変化して



しまうことを想定して、2つの配置計画法による施設配置案における利便性の安定性の差異を検討する。

居住地配置と移動中配置をそれぞれ所与として、式(11)で求めた居住分布変化後の利用者数  $w_{ij}^f$  を与えて、移動中利用モデルを解き、居住分布変化後の平均移動時間を求める。さらに、2つのケースにおいて、3.と同様にして「95%で確保される平均移動時間」から居住分布変化前の値を引いた値をそれぞれ、「居住地配置の95%レベル悪化時間」、「移動中配置の95%レベル悪化時間」とする。

結果を図-5に示す。両悪化時間の割合は1.0付近であり、安定性は同程度であることがわかる。

(4) 1施設整備中止に対する利便性の安定性

当初の計画よりも利用者が少ないなどの理由で、1施設の整備を中止する場合を考え、2つの配置計画法における利便性の安定性の差異を検討する。

居住地配置と移動中配置をそれぞれ所与とし、それらのうち1施設を選んで整備を中止する際に、中止後の移動中利用の利便性が最大となるように廃止施設を選び、平均移動時間を求める。2つのケースにおける施設の減少による平均移動時間の悪化時間をそれぞれ、「居住地配置の悪化時間」、「移動中配置の悪化時間」とする。

計算の結果、2つの悪化時間には大きな差がないが、施設数が16個以上になると、移動中配置の悪化時間は、居住地配置よりも大きいことがわかった。

次に、2つの配置計画法における施設整備中止後の利便性の差異を検討した結果を図-6に示す。施設数に関わりなく、移動中配置の平均移動時間は常に短い。これは、移動中配置の傾向として、中央部の幹線道路沿いに集中するため施設同士が近く、整備を中止しても、利用者が中止された施設に近い別の施設を利用できるためだと考えられる。

5. おわりに

(1) 研究のまとめ

本研究では、公共施設の利便性を長期的に確保するための方策として、通勤等の移動中に施設を利用するという形態に着目し、その効果を明らかにした。

第1に、既存の公共施設に対して、居住地利用に加えて、移動中利用を認めることにより、平均移動時間をおおよそ半分程度に抑制でき、利便性を改善できることを確認した。また、居住分布の変化や1施設廃止に対しても、利便性の悪化時間を抑制でき、より高い利便性を維持できることが示された。このように、既に公共施設の配置場所が与えられているという短期的な状況において、移動中利用という利用形態を認めることは有効であり、促進させるべきであると考えられる。

第2に、今後、移動中利用を導入できるような新しい公共施設の配置計画を立てる際には、移動中利用の

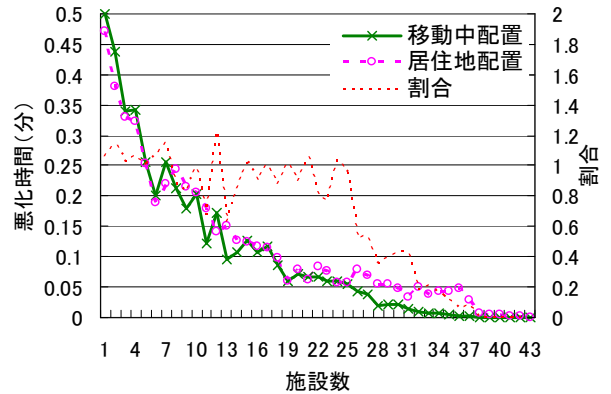


図-5 居住分布変化での95%レベル悪化時間の比較

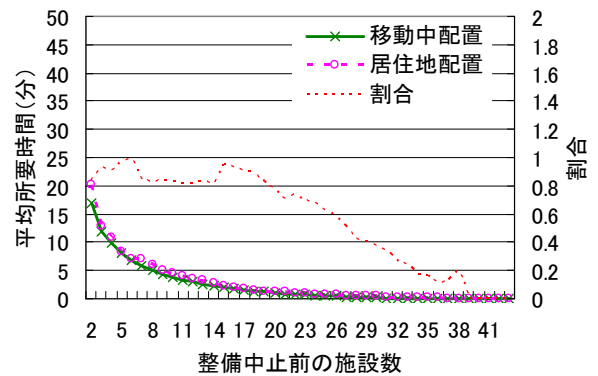


図-6 1施設整備中止後の平均所要時間の比較

利便性を最適化する配置計画法が、居住地利用を最適化する配置計画法よりも、高い利便性を実現できることを確認した。また、居住分布が変化する場合や、1個の施設の整備を中止する場合でも、事後の利便性は常に高く、利便性の安定性をより確保できる。今後、長期的な視点で施設の配置計画を立てる際には、移動中利用の利便性を最適化するという、新しい配置計画法を導入するべきだと考える。

(2) 今後の課題

その他の地域やその他の年齢層においても適用し、結論の一般性を確かめる必要がある。また、年少者や高齢者等の車利用のできない利用者の移動負荷の導入、乗り換え費用の導入、施設選択の導入といった目的関数の改良や、公共施設の容量、就業などの最大移動時間の制約などの制約条件の改良を行うことが望ましい。

参考文献

- 1) M. John Hodgson : The location of public facilities intermediate to the journey to work, *European Journal of Operational Research*, Vol.6 (2), pp.199-204, 1981.
- 2) 鈴木勉：フロー需要に基づく施設配置モデルと需要構成が施設配置に与える影響，都市計画論文集，No.37, pp.115-120, 2002.

(2009年2月5日提出)