

通勤交通行動を考慮した通勤トリップ長の削減可能性について*

Reducing the length of commuting trips considering Journey-to-work Travel Behaviour*

間山大輔**・内藤利幸***・榎谷有三****・田村 亨*****・斎藤和夫*****

By Daisuke MAYAMA **・Toshiyuki NAITO***・Yuzo MASUYA ****・Tohru TAMURA*****・Kazuo SAITO*****

1. はじめに

通勤交通は、都市交通における主要な部分を占めていることから、通勤トリップ長削減に関する各種の交通政策を考えることは、持続可能な都市の形成あるいは低炭素交通システム実現などを考慮するうえで重要である。そして、通勤交通は、居住地から発生する交通と従業地へ集中する交通から成り立っているため、通勤トリップ長は居住地及び従業地それぞれの規模あるいは地理的位置関係等の職住分布構造、さらには通勤者がそれぞれの居住地からいずれの従業地を勤務先としているかに関する通勤交通行動などによって大きく影響を受ける。

本研究においては、職住分布構造に変化を促すことなく通勤交通行動に変化を促す面から考える。すなわち、各居住地及び従業地ゾーンにおける発生・集中交通量は所与のもとで、職住割当パターンとしてのOD交通パターンを入れ替えることによって、通勤トリップ長の削減可能性について考察を試みるものである。通勤交通行動に変化を促して通勤トリップ長の減少程度を考察した研究としては、鈴木¹⁾及び円山等²⁾がある。いずれも最適職住割当問題を基礎としているが、これらの研究においては各ゾーンの就業者は居住地から従業地をどのように選好して通勤しているかという、いわゆる実際の通勤交通行動については必ずしも十分考慮されていない。

そこで、本研究では実際の通勤交通行動としてプリファレンス曲線を組み込んだ最適職住割当問題の拡張を試みた。プリファレンス曲線については、すでに北海道の主要都市を対象に2次曲線によって曲線回帰できることについて実証的な考察を行ってきた³⁾。この成果を踏まえて、北海道の主要都市圏の通勤交通を対象に実証的分析を行うとともに、職住割当の変更によって削減可能な無駄通勤を示す過剰率の値を基に種々考察を試みる。

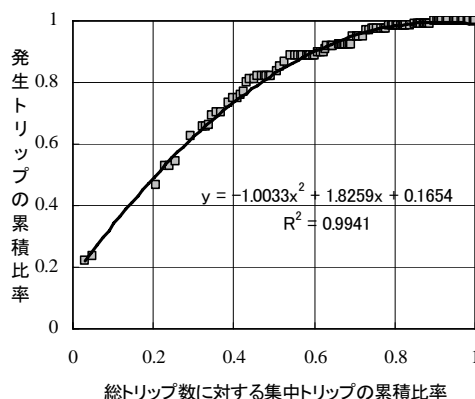


図-1 プリファレンス曲線概念図

2. プリファレンス曲線について

プリファレンス曲線は、図-1に示されているように従業地の分布状況を表わす集中トリップの累積比率と、居住地における就業者の発生状況を表わす発生トリップの累積比率の関係を示したものである。この曲線は、「ある出発地からある到着地までのトリップ数(比率)は、到着地点の機会数に比例し、その途中に介在する機会数に反比例する」というストウファアの介在機会モデルの概念を基礎としている。そして、この曲線を通して就業者が居住地からある確率に従って従業地を選好して通勤するという行動を把握することが可能となる。

図における横軸(X軸)は、対象とするゾーン*i*から他のゾーン*j*間を、交通抵抗(空間距離等)の小大順に並べかえるとともに、並びかえられたゾーン*j*までの集中トリップ数の累積和の総トリップ数に対する比(累積比率)を表す。また、縦軸(Y軸)は、当該ゾーンを発生する総トリップ数に対するゾーン*j*までの累積比率を表す。その結果、実際のプリファレンス曲線は図中のデータに関するプロットのように描くことができる。

プリファレンス曲線を通して交通行動の相違を分析するためには、計量的に算定できる曲線回帰によるパラメータの推定が必要である。本研究で対象としている北海道主要都市の通勤交通においても、図-1に見られるように、曲線の特性及び形状等から式(1)に示す2次曲線によって回帰曲線することができる。

*キーワード：通勤交通行動、プリファレンス曲線、最適職住割当問題

** 正会員 工修 防衛省

*** 正会員 工修 (株)ドーコン

**** 正会員 工博 専修大学松戸中学校高等学校

***** フェロー 工博 室蘭工業大学工学教授 建設システム工学科

***** フェロー 工博 室蘭工業大学工学特任教授 建設システム工学科

$$y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

ここで、 a 、 b : 回帰係数、 c : 回帰定数

そこで、本研究においては各ゾーンの通勤交通行動は、2次曲線によって曲線回帰されたプリファレンス曲線に対する回帰係数及び定数の値に従って行われるものとする。そうすると、ある土地利用パターンとしての各ゾーンの従業地に対する集中交通量が与えられたとき、居住地と従業地間のOD交通量は、各ゾーンのプリファレンス曲線を通して算定することができる。

3. 通勤交通行動を考慮した最適職住割当問題について

既往の最適職住割当問題を基にした職住割当パターンは、次のように式(2)～(4)の制約条件の下で式(5)の目的関数(総通勤距離)を最小化する問題によって求めることができる。本研究では、この最適職住割当問題を「既往最適」問題⁴⁾という。

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = F_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = G_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (3)$$

$$d_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min \quad (5)$$

ここで、

- x_{ij} : ゾーン*i*における*j*番目のゾーン間とのOD交通量
- F_i : ゾーン*i*(居住地)における発生交通量
- G_i : ゾーン*i*(従業地)における集中交通量
- d_{ij} : ゾーン*ij*間の距離

この問題の場合は、与えられた各ゾーンの発生・集中交通量のもとで考えられる数多くある職住割当パターンのうちで、総通勤距離を最も小さくする職住割当パターンを求めることができる。しかしながら、線形計画問題の数学的性質(非0のOD交通の数)からも実際の通勤交通行動を考えたとき、求められる職住割当パターンは必ずしもない実際的な値ではないと思われる。

そこで、本研究は実際の通勤交通行動としてのプリファレンス曲線を組み込んだ最適職住割当問題の拡張を試みた。問題は、式(6)～(15)の制約条件の下で式

(16)を目的関数とする問題として定式化できる。その結果、式(16)の目的関数の総通勤距離を最小化する各ゾーンのプリファレンス曲線の係数 a 、 b 、 c を求めることができるとともに、職住割当パターンとしてのOD交通量 x_{ij} も算定することができる。本研究では、この拡張

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq F_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq G_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (7)$$

$$ug_j = G_i/T \quad (i=1, \dots, n) \quad (8)$$

$$c g_{ij} = c g_{i(j-1)} + u g_{ij} \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (9)$$

$$c f_{i(j-1)} = a_i c g_{i(j-1)}^2 + b_i c g_{i(j-1)} + c_i \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (10)$$

$$c f_{ij} = a_i c g_{ij}^2 + b_i c g_{ij} + c_i \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (11)$$

$$f_{ij} = c f_{ij} - c f_{i(j-1)} \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} = 1 \quad (13)$$

$$x_{ij} = F_i \cdot f_{ij} \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (14)$$

$$a + b + c = 1 \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot d_{ij} \rightarrow \min \quad (16)$$

ここで、

- T : 総トリップ数
- ug_j : 従業地の立地量の相対比率
立地量変化後のゾーン*i*における*j*番目のゾーン間とのOD交通量
- $u g_{ij}, c g_{ij}$: 2次曲線の回帰係数を用いたゾーン*i*における*j*番目のゾーン間とのOD交通量の相対比率
- $c f_{i(j-1)}, c f_{ij}$: プリファレンス曲線の回帰係数・定数(変数)
- f_{ij} : (変数)

張した最適職住割当問題を「拡張最適」問題という。

プリファレンス曲線は2次曲線によって曲線回帰されていることから、式(10)及び式(11)に示されているように、定式化された問題は非線形の最適化問題となる。また、式(10)、(11)及び(12)に示す各ゾーンの通勤交通行動としてのプリファレンス曲線を通して、総通勤距離最小化を図る各OD交通の相対比率を求めることができる。さらに、2次曲線は座標値(1.0、1.0)を頂点とするとともに凸な曲線($a < 0$)を考えていることから、式(15)に示す関係式を定式化している。

次に、これら最小値(T_{\min})と実際の通勤トリップ長(T_{act})との比較のなかで、職住割当の変更によって削減可能な通勤距離(excess commuting)を明らかにすることができる過剰率は、式(17)で算定することができる。

$$\text{過剰率} = \frac{T_{act} - T_{\min}}{T_{act}} \quad (17)$$

4. 北海道主要都市の通勤交通を対象にした 分析結果について

4.1 過剰率について

本研究においては、北海道においてパーソントリップ調査が実施された都市圏のうち、表-1に示す札幌都市圏（1972年、1983年及び1994年）、旭川都市圏及び函館都市圏を対象に分析を試みる。各都市圏のOD区分としてのゾーン区分及びCBDを図-2に示しているが、各都市圏のゾーン数は、それぞれ札幌53、旭川52及び函館55ゾーンである。

3都市圏を対象に「既往最適」及び「拡張最適」問題を基に、平均通勤トリップ長の最小値を算定した結果を取りまとめたものが表-1及び図-3である。いずれの都市圏においても、「拡張最適」問題によって得られた平均通勤トリップ長は実際の通勤トリップ長と「既往最適」問題の間にある。また、平均トリップ長の値も「既往最適」問題の値よりも実際の通勤交通に近い値に分布していることが分かる。このように、従来から提案されてきた「既往最適」問題の値は、理論的な最適値であるとともに前述の線形計画問題の数学的性質から、実際の通勤トリップ長に比べて大きく異なっている。一方、プリファレンス曲線を組み込んで通勤交通行動を考慮した「拡張最適」問題の値は、実際の通勤トリップ長の値に近い値となっているとともに、入れ替え可能な職住割当パターンであることが窺える。

これら実際の通勤トリップ長及び「既往最適」、「拡張最適」の最小値を基に、過剰率を算定した結果が表-1及び図-4である。「既往最適」の最小値を基にした過剰率は、札幌都市圏の値が0.5以下であるのに対して、旭川及び函館の地方都市においては0.5を超える値のように、都市規模によって異なっている。この値の差は職住分布構造、特に従業地の分布状況（札幌市の一極集中）の相違が大きな影響を及ぼしていることが考えられる。「既往最適」を基にした過剰率から、地方都市は札幌都市圏に比べて無駄な通勤交通が多いようである。

一方、「拡張最適」の最小値を基にした過剰率の値は、都市規模に係わらず0.1から0.2程度の値を取っている。したがって、通勤交通行動を考慮した「拡張最適」に対する過剰率の値から、従来から考えられてきた「既往最適」問題を基にした値は過大であり、実際に削減可能な無駄な通勤交通は、必ずしも大きくないことが考えられる。すなわち、通勤交通行動を考慮したとき職住割当パターンの変更によって削減可能な通勤トリップ長は、実際の通勤トリップ長に対してせいぜい10～20%程度であることが窺える。

このような過剰率の値に対する分析結果ら、「既往最適」を基にした値は、無駄な通勤交通をより削減させる

表-1 各年次に対する平均トリップ長及び過剰率

| 都市圏 | 札幌 | | | | | | 旭川 | | 函館 | |
|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 1972 | | 1983 | | 1994 | | 2002 | | 1999 | |
| 交通行動 | 既往最適 | 拡張最適 | 既往最適 | 拡張最適 | 既往最適 | 拡張最適 | 既往最適 | 拡張最適 | 既往最適 | 拡張最適 |
| 総トリップ数 | 335218 | | 498434 | | 606116 | | 165746 | | 113235 | |
| 平均トリップ長 | 2.836 | 4.342 | 2.938 | 4.879 | 3.066 | 5.056 | 1.524 | 3.574 | 1.683 | 3.216 |
| 最小値 | 4.850 | | 5.616 | | 5.966 | | 4.277 | | 4.197 | |
| 距離 | 2.014 | 0.507 | 2.678 | 0.737 | 2.900 | 0.910 | 2.753 | 0.703 | 2.514 | 0.981 |
| (km/人) | 2.014 | | 2.678 | | 2.900 | | 2.753 | | 2.514 | |
| 差 | 0.4153 | | 0.1046 | | 0.4768 | | 0.1312 | | 0.4861 | |
| 過剰率 | 0.1525 | | 0.1525 | | 0.6437 | | 0.1644 | | 0.5990 | |
| | 0.2337 | | | | | | | | | |

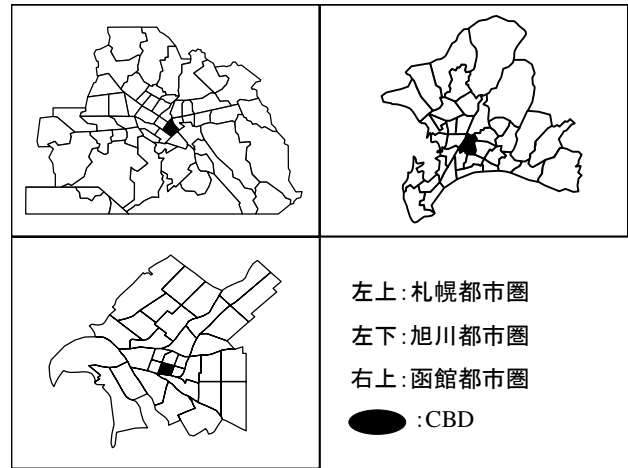


図-2 分析対象都市のゾーン区分及びCBD

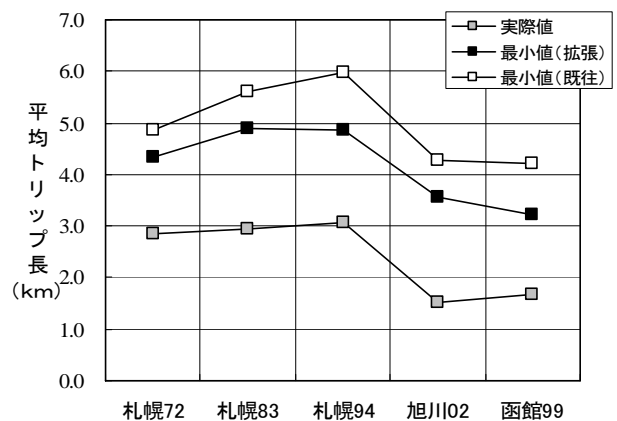


図-3 各最適問題及び実際の通勤交通に対する平均トリップ長

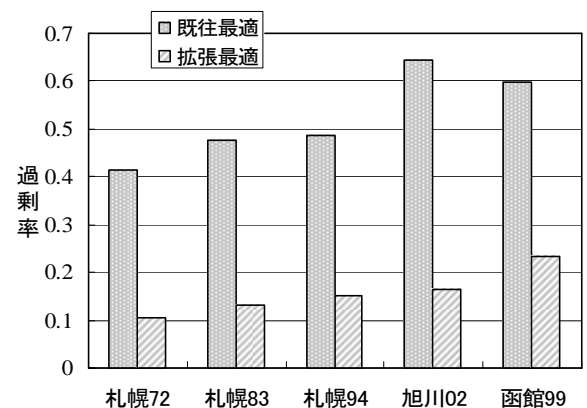


図-4 「既往最適」及び「拡張最適」問題に対する過剰率

ような職住分布構造を考えるとときに大きな示唆を与えるものと思われる。一方、「拡張最適」の場合は、プリファレンス曲線を通して通勤交通行動を考慮していることから、通勤トリップ長を削減させることが可能なより実際の職住割当パターンを示していると思われる。

4.2 職住割当パターンの変化

職住割当パターンの変化による通勤トリップ長削減策は、居住地の住み替えあるいは従業地の変更等によって行うことができる。「既往最適」及び「拡張最適」の職住割当パターンが「実際の通勤交通」に比べてどの程度異なるかは、各ゾーンのプリファレンス曲線を通して把握することができる。図-5は、札幌市のゾーンを対象に作成したもので、各通勤交通行動によって職住割当パターンに大きな違いがあることが分かる。そして、「拡張最適」の場合は、「既往最適」に比べて「実際の通勤交通」に近いODパターンであることが理解できる。

図-6及び図-7は、旭川都市圏のゾーンを対象に「実際の通勤交通」及び「拡張最適」に対して作成したプリファレンス曲線である。「拡張最適」における各ゾーンのプリファレンス曲線は、式(16)の総通勤距離を最小化するように通勤交通行動が近距離化したゾーンと遠距離化したゾーンが混在した結果となっている。これらの結果を基に、3つの通勤交通行動に対して累積頻度分布曲線を作成したものが図-8である。実際の通勤交通に近い曲線形状を示す「拡張最適」の頻度分布からも、通勤交通行動を考慮したときの通勤トリップ長の削減可能性を「拡張最適」の結果を通して考えることができる。

5. あとがき

以上、本研究においては通勤交通行動を考慮した通勤トリップ長の削減可能性について考えるために、プリファレンス曲線を組み込んだ最適職住割当問題を定式化するとともに過剰率を基礎に考察を試みた。3都市圏を対象とした分析結果から、通勤交通行動を考慮したときの削減可能な通勤トリップ長は、実際の通勤トリップ長に対して10~20%程度であることが分かった。

参考文献

- 1) 鈴木勉(1994): 職住割当の最適化による通勤交通エネルギーの削減効果、オペレーションズ・リサーチ、5月号、pp243-248
- 2) 円山琢也・原田 昇 (2003)、「ネットワーク上での混雑を考慮した最適職住配置手法の構築とその実証研究」、都市計画論文集、No. 38-3、pp517-522
- 3) 梶谷・塚田・田村・斎藤(2007): 北海道の主要都市における通勤交通行動について、北海道都市地域学会「都市学研究」、Vol. 44、pp39-44
- 4) 梶谷・神子島・下夕村・田村・斎藤(2002): 都市市構造と通勤交通流動特性について、土木計画学研究・論文集 Vol.20 no.3.

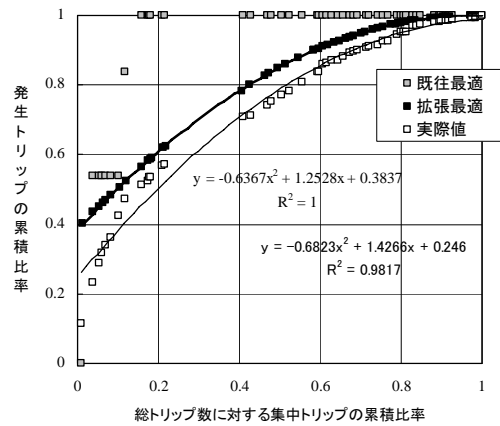


図-5 各最適問題及び実際の通勤交通の職住割当パターン

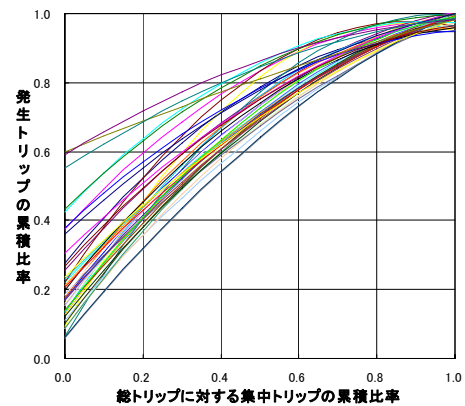


図-6 実際の通勤交通に対するプリファレンス曲線

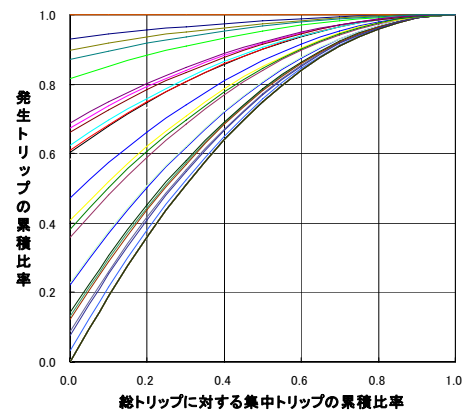


図-7 「拡張最適」に対するプリファレンス曲線

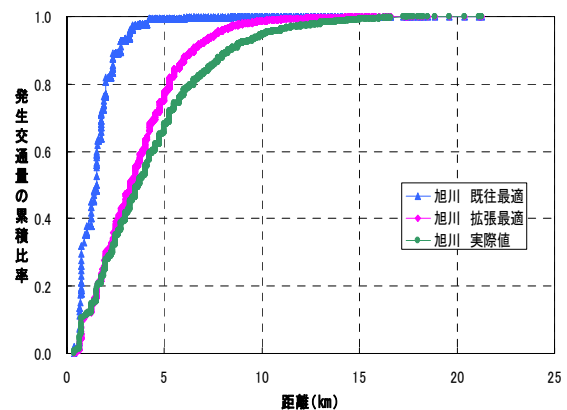


図-8 各最適問題及び実際の通勤交通の累積頻度分布曲線