室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

通勤交通行動を考慮した最適職住割当問題について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 土木学会 公開日: 2013-03-08 キーワード (Ja): 通勤交通行動, プリファレンス曲線, 最適職住割当問題 キーワード (En): 作成者: 桝谷, 有三, 間山, 大輔, 藤井, 勝, 田村, 亨, 斎藤, 和夫 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1835

通勤交通行動を考慮した最適職住割当問題について*

Optimal Commuting Assignment Problem considering Journey-to-work Travel Behaviour*

桝谷有三**・間山大輔***藤井　勝****・田村　亨*****・斎藤和夫*****
By Yuzo MASUYA** • Daisuke MAYAMA*** • Masaru FUJII **** • Tohru TAMURA***** • Kazuo SAITO*****

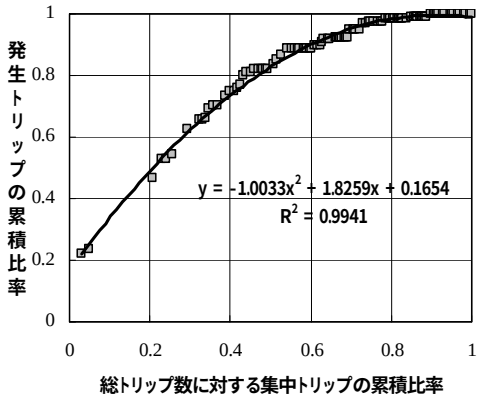
１.はじめに

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によって形成されていることから、通勤トリップ長は職住分布構造及び通勤交通行動によって大きな影響を受ける。通勤トリップ長の最適化（最小化あるいは最大化）を図る分析手法として、従来から最適職住割当問題が提案されている。この最適職住割当問題は、通勤トリップ長を最適化する居住地と従業地間のOD交通量（分布交通量）を求めることはできるが、解として求められる非０のOD交通量は、線形計画問題の数学的性質から高々（制約条件の本数－１）程度である。

このような数学的性質な面からも、最適職住割当問題の場合は通勤者の実際の通勤交通行動を考慮することができないため、目的関数としての通勤トリップ長の値も現状より大幅に小さい（最小化）あるいは大きい（最大化）値が算出される。その結果、既往の最適職住割当問題を基に算定される通勤トリップ長の最小値は、必ずしも職住分布構造を変えずに職住の入れ替えのみで削減可能な通勤交通の値ではないことが考えられる。また、既往の最適職住割当問題を基礎に算定されてきたwasteful commuting（excess commuting）あるいは過剰率の値も、現実の通勤トリップパターンからかけ離れた値として算出されていることとなる。

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二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。この成果を踏まえて、札幌都市圏の通勤交通を対象に実証的分析を行うとともに、既往の過剰率の値とも比較検討を行った。

*キーワーズ：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 工博 専修大学北海道短期大学教授 みどりの総合科学科
（〒079-0197　北海道美唄市光珠内町、
TEL0126-63-0250、E-mail masuya@senshu-hc.ac.jp
***　学生会員　　室蘭工業大学大学院　建設システム工学科
****　正会員　　室蘭工業大学大学院博士後期課程
***** 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



図－１　プリファレンス曲線の概念図

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」というストウファー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札幌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。

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

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立地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

通勤距離最小化に対する職住割当パターンを求める既往の最適職住割当問題は、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)を最小化する問題として定式化できる。本研究では、この最適職住割当問題を「既往最適」問題という。

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

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

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

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

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、前述のように対象とする都市のゾーン数が n のとき、非０の値をとる OD 交通は高々(2n-1)個のゾーンペアであり、他の多く(n^2-2n+1 個)のOD 交通は０の値を取ることとなる。「既往最適」問題は式（５）の目的関数の最小化を図っていることから、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、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現実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、この拡張した最適職住割当問題を「拡張最適」問題という。

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

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

$$ug_j = G_i / T \qquad (i = 1, \cdots, n) \qquad (8)$$

$$cg_{ij} = cg_{i(j-1)} + ug_{ij} \qquad (i = 1, \cdots, n)(j = 1, \cdots, n) \qquad (9)$$

$$cf_{i(j-1)} = a_i cg_{i(j-1)}^{\ 2} + b_i cg_{i(j-1)} + c_i \qquad (i = 1, \cdots, n)(j = 1, \cdots, n) \qquad (10)$$

$$cf_{ij} = a_i cg_{ij}^{\ 2} + b_i cg_{ij} + c_i \qquad (i = 1, \cdots, n)(j = 1, \cdots, n) \qquad (11)$$

$$f_{ij} = cf_{ij} - cf_{i(j-1)} \qquad (i = 1, \cdots, n)(j = 1, \cdots, n) \qquad (12)$$

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

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

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

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

ここで、

T ： 総トリップ数

ug_j ： 従業地の立地量の相対比率

ug_{ij}, cg_{ij} ： 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

$cf_{i(j-1)}, cf_{ij}$ ： 2 次曲線の回帰係数を用いたゾーンにおける $j-1$ 番目及び j 番目の累積比率

f_{ij} ： 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

a_i, b_i, c_i ： プリファレンス曲線の回帰係数・定数（変数）

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次曲線は図―１に示されているように、座標値(1.0、1.0)を頂点とする下に凸な曲線（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。

４.札幌市の通勤交通を対象にした分析結果について

本研究においては、1972年、1983年及び1994年に実施された道央圏パーソントリップ調査のうち、札幌市の通勤交通の発生・集中交通量を対象に分析を試みる。OD区分としてのゾーン区分は、図－２に示す1972年の53ゾーンに区分して分析を行った。また、各年次の通勤総トリップ数は、表－１に示すそれぞれ1972年335,218トリップ数、1983年498,434トリップ数、1994年606,116トリップ数である。また、従業地分布はCBDであるゾーン１の集中トリップ数が1972年の95,432 (28.47%：総トリップ数に対する比)を示すように一極集中型である。

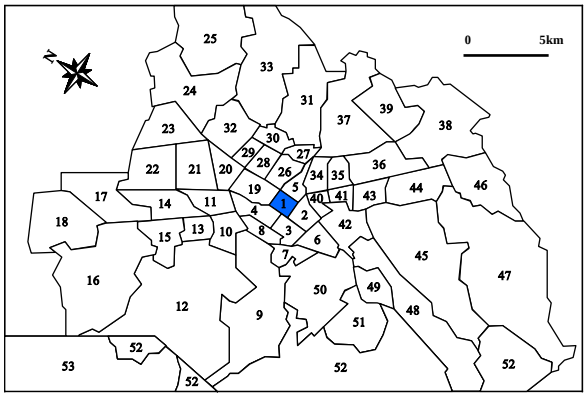
各年次の実際の通勤交通、「既往最適」及び「拡張最適」問題に対するそれぞれの平均トリップ長等を取りまとめたのが表−1である。また、図－３には各平均トリップ長の値を総トリップ数（年次）との関係で図示した。これらの結果から、実際の通勤交通行動としてのプリファレンス曲線を組み込んだ「拡張最適」問題の値は「既往最適」問題の値より大きく、より実際の平均トリップ長に近い値を取っている。このように、従来から提案されてきた「既往最適」問題の値は、実際の通勤交通行動と大きく異なった値を取っていることが理解できる。

また、職住割当の変更によって削減可能な通勤距離（excess commuting）を明にすることができる過剰率を式（17）で算定するとともに、結果を表－３に示した。「既往最適」問題の最小値（T_{min}）を基に算定したときの過剰率は40%程度であるのに対して、通勤交通行動を考慮した「拡張最適」問題の場合は10～20%程度である。これら過剰率の値から、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、「拡張最適」問題の値から実際に削減可能な無駄な通勤距離は、必ずしも大きくないことが窺える。

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

表－３に示す「拡張最適」問題を基にした過剰率の場合も、0.1046(72 年),0.1312(83 年)、0.1830(94 年)と総トリップ数の増加とともに年次にしたがって増加している。このことは、都市規模の増大とともに従業地分布がゾーン１（CBD）を中心とした一極集中から周辺部、さらには郊外部への分散化に伴って無駄な通勤交通が増加していることが窺える。

次に、「既往最適」及び「拡張最適」問題、さらには「実際の通勤交通」を対象に作成した累積頻度分布曲線が図－４である。ここでは、1994 年のデータを対象に図示したが、いずれの年次も図－４に示すように Y 軸から「既往最適」、「拡張最適」そして「実際の通勤交通」の順に累積頻度分布曲線が図示された。これらの



図－２ 分析対象都市及びゾーン区分

表-1 各年次に対する平均トリップ長及び過剰率

年次 / 交通行動		1972		1983		1994	
		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	
総走行距離 (人･km)	最小値	950543	1455581	1464593	2432082	1858126	2954232
	実際値	1625681		2799269		3615997	
平均トリップ長距離 (km/人)	最小値	2.836	4.342	2.938	4.879	3.066	4.874
	実際値	4.850		5.616		5.966	
	差	2.014	0.507	2.678	0.737	2.900	1.092
過剰率		0.4153	0.1046	0.4768	0.1312	0.4861	0.1830

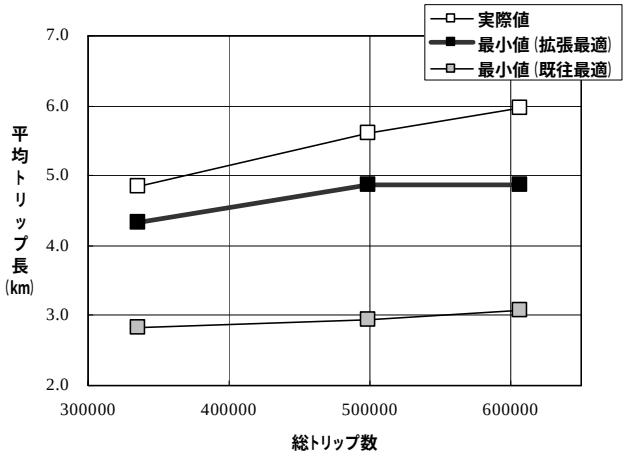


図-３ 各最適問題及び実際の通勤交通に対する平均トリップ長

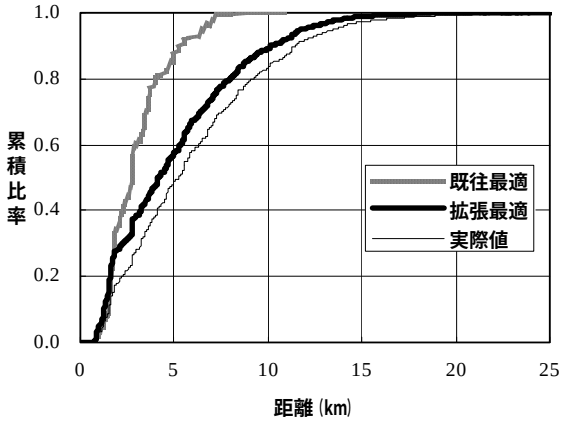


図-４ 各最適問題及び実際の通勤交通に対する累積頻度分布曲線

結果からも、「既往最適」問題の場合は近距離トリップ長を中心とした特定のゾーンからなる職住割当パターンであることが分かる。一方、「拡張最適」問題の場合には実際の交通行動としてのプリファレンス曲線に従うように、トリップ長のある程度長い距離のゾーン間の OD 交通量も含めた解が求められていることが窺える。

さらに、これらの 2 つの最適問題に対する職住割当パターンの相違を把握するために、「既往最適」、「拡張最適」問題及び「実際の通勤交通」を対象に全てのゾーンに対してプリファレンス曲線を作成した。図－5に示す例のように、「既往最適」と「拡張最適」問題の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」問題の場合は、実際の通勤交通行動に近い OD 分布パターンであることが理解できる。このような各ゾーンの OD 交通量の相違が、前述の累積頻度分布曲線にも大きな影響を及ぼしていることとなる。また、これらゾーンレベルでの結果を取りまとめたのが図－6及び図－7である。

図－6は、各ゾーンの平均トリップ長をゾーン１からの距離との関係で図示したものである。「既往最適」問題に対する値がゾーン１からの距離に関わらず全体的に小さな平均トリップ長であるのに対して、「拡張最適」問題の値は実際の通勤交通行動を再現するような値となっている。また、図―7は、「拡張最適」問題及び実際の通勤交通におけるプリファレンス曲線の回帰係数及び定数を図示したものである。特に、「拡張最適」問題の回帰定数の値は、より総通勤距離を最小化するように、実際の通勤交通に対する値より大きい値を取っていることが窺える。

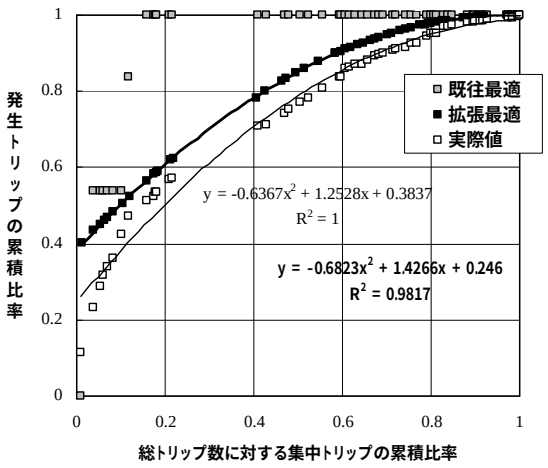


図-5 各最適問題及び実際の通勤交通に対するプリファレンス曲線

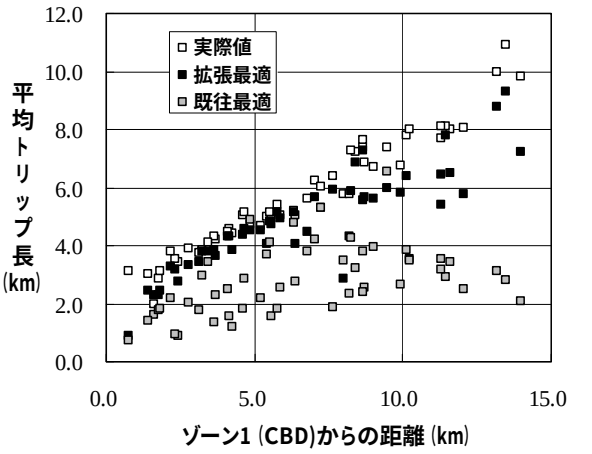


図-6 各最適問題及び実際の通勤交通に対する平均トリップ長

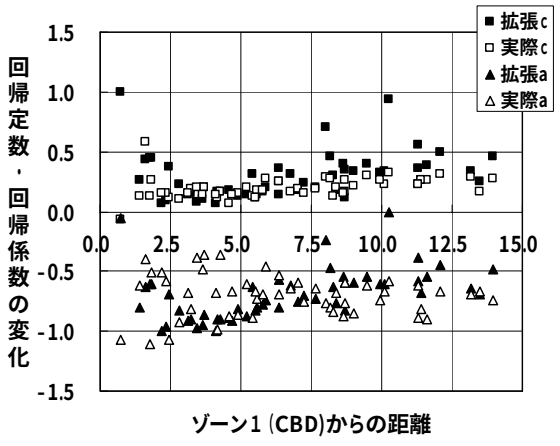


図-7 拡張最適問題及び実際の通勤交通に対する回帰係数･定数

5.あとがき

以上、本研究においては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拡張最適職住割当問題を定式化した。そして、札幌市の通勤交通を対象とした実証的研究を通して、既往の最適職住割当問題との相違等について考察した。その結果、通勤交通行動を考慮した拡張最適職住割当問題から求められる職住割当パターンは、求められる OD 交通量等からも通勤者がより最適な通勤交通行動を行ったときのパターンとして考えられる。また、「過剰率」の算定を通して、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、「拡張最適」問題の値から実際に削減可能な無駄な通勤距離は、必ずしも大きくないことが分かった。

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) 桝谷・神子島・下タ村・田村・齋藤(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.
3) Kang-Rae Ma・David Banister(2007):Urban spatial change and excess commuting, Environment and Planning A, Vol.39.
4) 桝谷・下タ村・田村・斉藤(2001)：「通勤交通におけるプリファレンス曲線の曲線回帰分析について－札幌市の通勤交通を例として(1972-1983-1994)」、土木計画学研究・論文集、Vol.18 No.3、pp445-453.