

通勤距離最小化行動の職住割当パターンについて

Journey-to-work Travel Pattern based on the Distance Minimizing Behavior

室蘭工業大学大学院	学生員	間山大輔	(Daisuke MAYAMA)
専修大学北海道短期大学	正会員	○ 榎谷有三	(Yuzo MASUYA)
室蘭工業大学大学院	正会員	藤井 勝	(Masaru FUJII)
室蘭工業大学	フェロー	田村 亨	(Tohru TAMURA)
室蘭工業大学	フェロー	齋藤和夫	(Kazuo SAITO)

1. はじめに

通勤交通は、日常的に繰り返されるとともに、都市交通における主要な部分を占めていることから、都市構造及び通勤者の交通行動等の面から通勤トリップ長を分析することは、エネルギー消費及び環境負荷などの地球環境問題を考える上で重要である。通勤トリップ長は、居住地と従業地の空間分布、CBDの位置と規模などに関する職住分布構造、さらには通勤者がそれぞれの居住地から近い従業地を勤務先としているか（通勤距離最小化行動）、あるいは遠くの従業地を勤務先としているか（通勤距離最大化行動）に関する交通行動などによって影響を受ける。

これら通勤距離最小化及び最大化行動に対する職住割当パターンについては、従来から線形計画問題を基礎とした最適職住割当問題を基に算定が行われてきた。その結果、線形計画問題を基礎とした職住割当パターンは必ずしも実際の通勤交通行動を考慮したものではなかった。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。

本研究においては、通勤距離最小化及び最大化行動のうち最小化行動を対象に問題の定式化を試みた。そして、正方都市形態におけるモデル計算を通して通勤交通行動を考慮した場合の職住割当パターンの及び通勤トリップ長について考察を行った。さらに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。

2. 通勤交通行動を考慮した最適職住割当問題について

通勤距離最小化行動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(1)から(3)の制約条件の下で式(4)の目的関数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。

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

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

$$d_{ij} \geq 0 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min \quad (4)$$

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

次に、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は、式(5)～(14)の制約条件の下で式(15)を目的関数とする問題として定式化できる。その結果、式(15)の目的関数の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、通勤トリップ長を最小化するような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。

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq F_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq G_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (6)$$

$$ug_j = G_i/T \quad (i=1, \dots, n) \quad (7)$$

$$c g_{ij} = c g_{i(j-1)} + u g_{ij} \quad (8)$$

$$(i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n)$$

$$c f_{i(j-1)} = a_i c g_{i(j-1)}^2 + b_i c g_{i(j-1)} + c_i \quad (9)$$

$$(i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n)$$

$$c f_{ij} = a_i c g_{ij}^2 + b_i c g_{ij} + c_i \quad (10)$$

$$(i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n)$$

$$f_{ij} = cf_{ij} - cf_{i(j-1)} \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} = 1 \quad (12)$$

$$x_{ij} = F_i \cdot f_{ij} \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (13)$$

$$a + b + c = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot d_{ij} \rightarrow \min \quad (15)$$

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
- a_i, b_i, c_i : プリファレンス曲線の回帰係数・定数 (変数)

3. 問題の定式化による職住割当パターンの相違

通勤交通行動を考慮した最適職住割当問題の職住割当パターンが既往の最適職住割当問題とどの程度異なるかについて、図-1 に示す正方都市形態を通して比較検討を行なった。

居住地及び従業地は各ゾーンに均等に分布しているものとし、各ゾーン間距離は 2.0km、内々トリップに対する距離はゾーン距離の半分の 1.0km とする。職住分布としての居住地及び従業地の分布パターンは、表-1 に示す発生交通量及び集中交通量の相対比率のようにそれぞれ 3つの分布パターンを考えた。そして、それぞれの分布パターンの組合せとして表-2 に示す 9つの土地利用パターンを考えるとともに、総通勤トリップ数を 250,000 トリップ数とした。

9つの土地利用パターンに対して、それぞれ 2つの定式化された「拡張最適」及び「既往最適」問題を通して平均通勤トリップ長を算定した結果が図-2 である。いずれの土地利用パターンにおいても、「拡張最適」問題の値は「既往最適」問題より大きい値を取っていると、2つの問題の通勤トリップ長の差は同じ程度である。これらの結果から、既往の最適職住割当問題を基礎に算定されてきた通勤距離最小化の値は、実際の通勤交通行動等を考慮した値より小さい値であったことが理解できる。

これら 2つの問題に対する職住割当パターンの相違を分析するため、全ての OD 交通を対象に累積頻度分布曲線の作成を試みた。累積頻度分布曲線は横軸に各ゾーンの距離を、縦軸には対象とする全ての OD 交通のうち、ある距離以内に到達可能な OD 交通量の累積比率をそれぞれ表したものである。図-3 は、ひとつの例として土地利用パターン 4 を対象作成したものであ

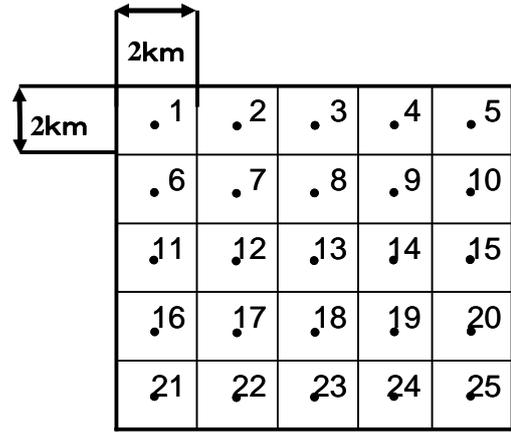


図-1 都市形態モデル

表-1 発生・集中交通量の相対比率

ゾーン番号	1	2	3	4	5
中心高密	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
周辺高密	0.060	0.040	0.040	0.040	0.060
全域均等	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
ゾーン番号	6	7	8	9	10
中心高密	0.025	0.050	0.050	0.050	0.025
周辺高密	0.040	0.039	0.025	0.039	0.040
全域均等	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
ゾーン番号	11	12	13	14	15
中心高密	0.025	0.050	0.200	0.050	0.025
周辺高密	0.040	0.025	0.025	0.025	0.040
全域均等	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
ゾーン番号	16	17	18	19	20
中心高密	0.025	0.050	0.050	0.050	0.025
周辺高密	0.040	0.039	0.025	0.039	0.040
全域均等	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
ゾーン番号	21	22	23	24	25
中心高密	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
周辺高密	0.060	0.040	0.040	0.040	0.060
全域均等	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040

表-2 土地利用パターンの組み合わせ

発生 \ 集中	集中		
	中心高密	周辺高密	全域均等
中心高密	パターン1	パターン2	パターン3
周辺高密	パターン4	パターン5	パターン6
全域均等	パターン7	パターン8	パターン9

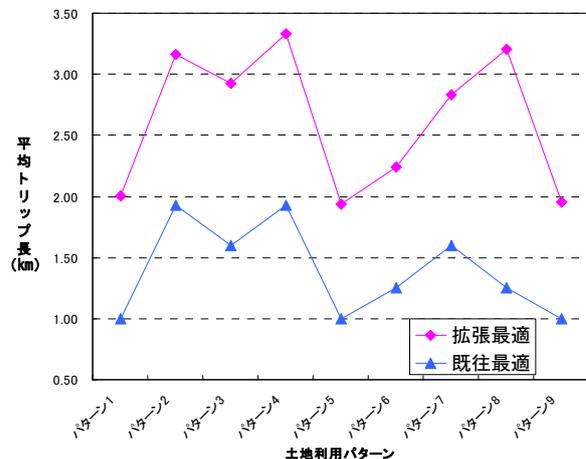


図-2 各土地利用パターンに対する平均トリップ長

る。図に示す「拡張最適」及び「既往最適」問題に対する2つの累積頻度分布曲線の形状からも、それぞれの問題に対する職住割当パターンの相違が理解できる。すなわち、「既往最適」問題の場合は、2km 以内の近距離トリップが多く、全ての OD 交通の通勤は通勤距離 4km の範囲だけで行われているという極端な職住割当パターンとなっている。

一方、通勤交通行動を考慮した「拡張最適」問題の場合は、近距離トリップも含めて通勤トリップ長がある程度長い OD 交通が求められている。このような結果から、「拡張最適」問題の職住割当パターンは、「既往最適」問題に比べてより実際の通勤交通行動を反映したものであるのが窺える。

次に、各ゾーンにおける職住割当パターンの相違を把握するため、各ゾーンごとに「既往最適」及び「拡張最適」問題それぞれに対するプリファレンス曲線の作成を行った。25 のゾーンを対象に作成を行ったところ、「既往最適」問題に対する職住割当パターンからプリファレンス曲線は図-4 及び図-5 に示すように大きく2つの形状となった。ひとつは、図-4 に示すように「既往最適」問題に対する職住割当が最近距離ゾーン、すなわち自ゾーンのみで他のゾーンへの OD 交通量が0の場合である。

他のひとつは、「既往最適」問題に対する職住割当が図-5 のように、自ゾーンへの OD 交通量が0であるとともに、0以上のOD交通量が近隣の2,3のゾーンのみである場合である。このように、「既往最適」問題の職住割当パターンは、特定のゾーン間のみで OD 交通量が算定されるような解しか求められない。

一方、プリファレンス曲線を組み込んだ「拡張最適」問題の場合は、図-4 及び図-5 に示すように実際の通勤交通行動を反映するような職住割当パターンが求められている。このような職住割当パターンの相違からも目的関数としての通勤距離の相違も理解できる。また、各ゾーンのプリファレンス曲線に対する回帰係数の a、b 及び c も目的関数を最適するように求められている。

4. 札幌都市圏における職住割当パターンの相違

25ゾーンからなる正方都市形態モデルにおいて「拡張最適」及び「既往最適」問題に対する職住割当パターンの相違を確認するなかで、本研究においては実証的な分析も行った。分析は、図-6 に示す札幌市における3年次（1972, 1983 及び 1994 年）のパーソントリップ調査データのうち通勤交通を対象に行なった。札幌市における各年次の総トリップ数及び平均トリップ長（実際値）は表-3 及び図-7 に示した。

各年次に対して、「既往最適」及び「拡張最適」問題を基に通勤トリップ長を算定した結果を表-3 及び図-7 に示した。モデル計算と同様に、「拡張最適」の値は「既往最適」の値より大きく、より実際の平均通勤トリップ長に近い値を取っている。このように、「既往最適」問題の場合は、通勤交通行動を考慮した場合に比べて大きく小さい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

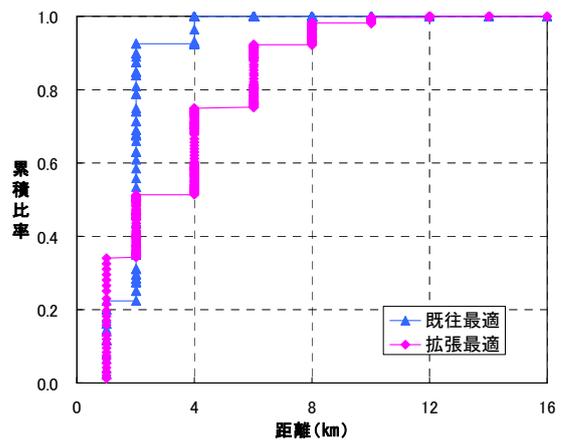


図-3 累積頻度分布曲線の例（土地利用パターン4）

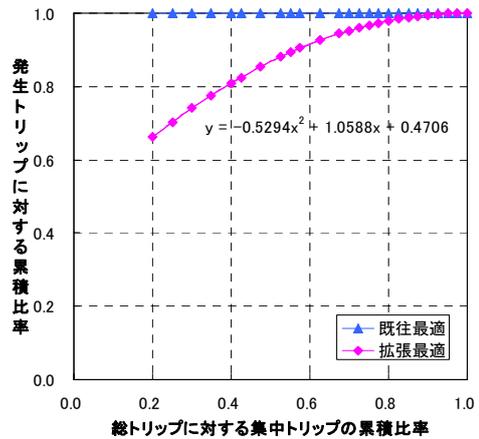


図-4 プリファレンス曲線の例（ゾーン13）

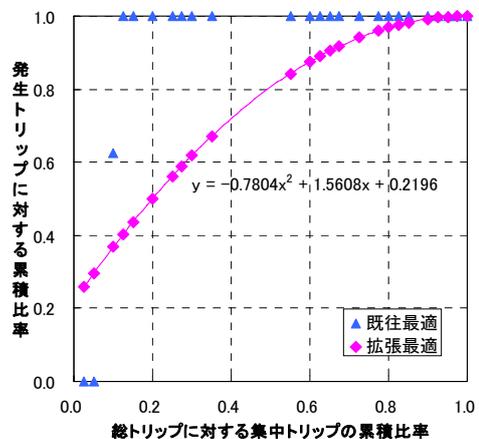


図-5 プリファレンス曲線の例（ゾーン10）

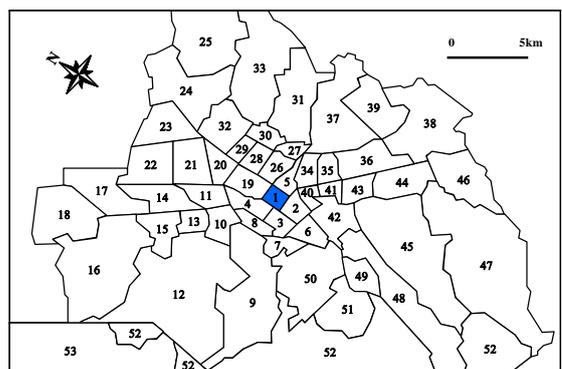


図-6 分析対象都市及びゾーン区分

表-3 札幌都市圏のトリップ数

年次	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	
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	
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)	最小値	2.836	4.342	2.938	4.879	3.066	4.874
	実際値	4.850		5.616		5.966	
/人	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

(Excess commuting) を明らかにすることができる過剰率の算定結果も表-3 に示した。「既往最適」問題を基礎にしたときには 40%程度であるが、通勤交通行動を考慮したときには 10%程度である。この値からも、無駄な通勤距離は従来から考えられてきた値よりも必ずしも大きくないことが理解できる。

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-8 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-8 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。これらの結果からも、「既往最適」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」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も含めて最適な通勤交通行動を行うような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」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-9 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。

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通勤距離最小化行動問題としての拡張最適職住割当問題を定式化した。そして、正方都市形態を対象としたモデル計算及び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職住割当パターン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、求められる分布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、「拡張最適」問題を基に無駄な通勤交通に関する「過剰率」について算定することができた。

今後は、通勤距離最大化行動問題の定式化についても考察を試みていく。

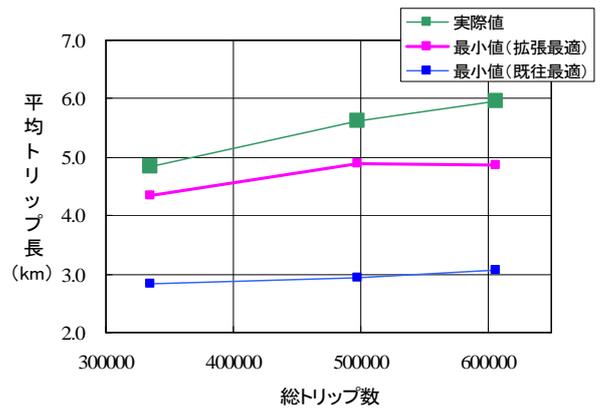


図-7 各最適問題に対する平均トリップ長

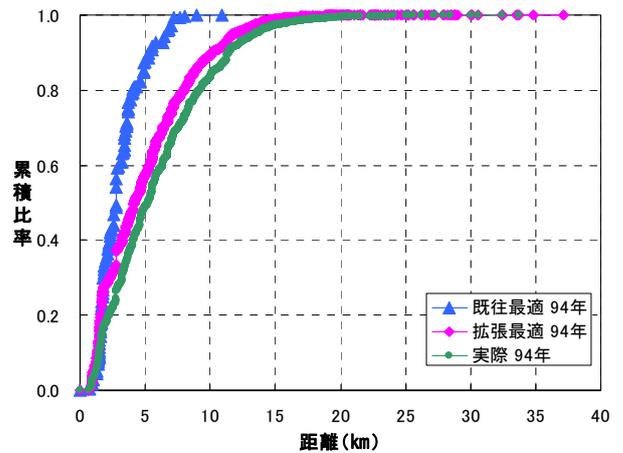


図-8 札幌都市における累積頻度分布曲線

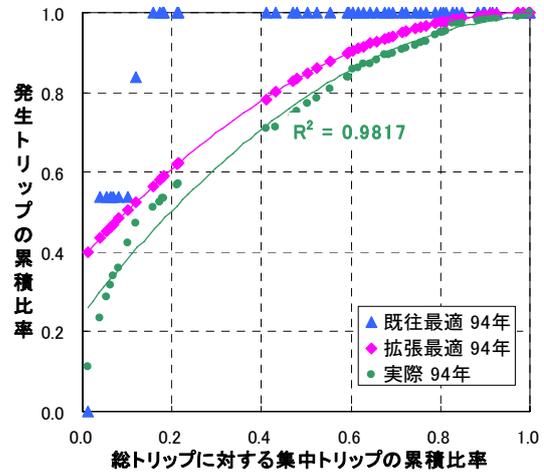


図-9 札幌都市におけるプリファレンス曲線の例 (ゾーン13)

参考文献

- 1) 金平真道・榎谷有三・藤井勝・田村亨・齋藤和夫 (2006): 職住分布構造と通勤交通行動について, 平成18年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第63号.
- 2) 榎谷有三・神子島喬・下村光弘・田村亨・齋藤和夫 (2002): 都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.