

最適職住割当問題を基礎とした通勤トリップ長の推定*

Estimation of Journey-to-work Trip Lengths based on Optimal Commuting Assignment Problem*

梶谷有三**・加藤隆史***・藤井 勝****・田村 亨*****・斎藤和夫*****

By Yuzo MASUYA**・Takafumi KATOH***・Masaru FUJII ****・Tohru TAMURA*****・Kazuo SAITO*****

1. はじめに

都市の職住構造としての従業地と居住地の空間分布が与えられたとき、通勤距離（あるいは時間）を最適化する職住割当を求める問題、いわゆる最適職住割当問題は通勤交通におけるエネルギー消費、持続可能な都市の形成あるいは各種の交通政策等を考えるうえで有用な分析手法であることから多くの研究が行われている。最適職住割当問題においては、職住割当パターンとして起こりうる総通勤トリップ長の最小値（下限値）及び最大値（上限値）を算定することができる。そして、これら最小値と最大値及び実際のトリップ長から交通流動率を求めることができる。交通流動率の値を通して、ある都市構造において起こりうる通勤交通流動の範囲（総通勤トリップ長の最小値と最大値の差）のなかで、実際の通勤トリップ長はどの位置にあるかを把握することができる。

既往の研究において、交通流動率は都市規模、土地利用パターンあるいは CBD の規模及び位置にかかわらず一定の値を取っていることが考察されている。また、交通流動率はある職住分布構造としての居住地及び従業地の分布パターンに対する最小値と最大値及び実際のトリップ長の値から算定できることから、これら各値の関係から通勤トリップ長を推定することが可能である。

そこで、本研究においてはこの交通流動率算定に関する特性に着目した。そして、既存の職住分布パターンに対して新たに居住地あるいは従業地を立地しようとしたとき、通勤トリップ長をより小さくさせるような各ゾーンの立地量を算定することができる最適職住割当問題の拡張を試みた。通勤トリップ長の推定のためには、最小値及び最大値の算定が必要であることから、これら 2 つの値が算定可能な最適職住割当問題の拡張を行った。その結果、通勤トリップ長をより小さくするような各ゾーンの立地量を求めることができた。

2. 最適職住割当問題について

n 個のゾーンからなる既往の最適職住割当問題は、次のように式(1)から(3)の制約条件式の下で式(4)の目的関数を最適化する問題として定式化することができる。ここで、 R_{ij} 、 d_{ij} は、ゾーン ij 間の交通流動としての通勤 OD 交通及び交通抵抗としての距離（ここでは、道路網上の最短経路距離）である。また、 G_i はゾーン i における発生トリップ数（常住就業者数）、 A_j は集中トリップ数（従業就業者数）である。この問題は、典型的な Hitchcock 型輸送問題でもある。

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

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

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

$$T_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot R_{ij} \quad \rightarrow \text{Min or Max} \quad (4)$$

そうすると、式の目的関数 T （総通勤トリップ長の最小値 T_{\min} 及び最大値 T_{\max} ）と実際の総通勤トリップ長 T_{act} との関係から交通流動率は、式(5)のように定式化することができる。また、総通勤トリップ長は平均トリップ長に総トリップ数を掛けた値であることから、式(5)は平均トリップ長によって算定することもできる。

$$\text{交通流動率} = \frac{T_{\text{act}} - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (5)$$

式(5)が示すように、交通流動率は実際の通勤トリップ長が最小値と等しいとき 0、最大値と等しいとき 1 をそれぞれ取ることから、交通流動率の値は 0 から 1 の範囲を取る。そして、この値を通して実際の通勤トリップ長は最小値と最大値のどの位置にあるのか、あるいは最小値に比べてどの程度乖離しているかなどを考えることができる。

表 1 及び図 1 は、北海道においてパーソントリップ調査が実施された 5 都市・9 年次のデータを基に交通流動率を算定した結果である。5 都市・9 年次の限られ

*キーワード：最適職住割当問題、職住分布構造、通勤交通
**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 北海道美幌市光珠内町、
TEL01266-3-0250、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
*****正会員 工博 室蘭工業大学工学教授 建設システム工学科

たデータであるが、実際の通勤トリップ長は都市の規模としての総通勤トリップ数に関わらず最小値と最大値のある範囲のなかで一定の位置づけにあることが理解できる。5都市・9年次に対する交通流動率の平均値は、0.3511である。

3. 通勤トリップ長推定のための最適職住割当問題の拡張

交通流動率は、式(5)に示すようにある職住分布パターンに対する最小値と最大値及び実際のトリップ長から算定することができる。その結果、この式から導かれる式(6)を基に、ある職住分布パターンに対するトリップ長を当該職住分布パターンの最小値と最大値及び交通流動率から推定することができる。

$$T_{\text{推定}} = T_{\text{min}} + (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \times \text{交通流動率} \quad (6)$$

したがって、新たに居住地あるいは従業地を立地したときのトリップ長を推定しようとするときには、新規立地に伴う職住分布パターンに対する通勤トリップ長の最小値及び最大値の算定が必要である。最小値については、いくつかの都市あるいは土地利用パターンにおいて職住分布パターンが多少変化しても変動が小さいことが既往の研究で確認されている。一方、最大値については職住分布パターンの変化あるいは土地利用パターンによって値も大きく異なってくるとともに、推定値にも大きな影響を及ぼしていることが指摘されている。

そこで、本研究においては以下のように通勤トリップ長の最小値及び最大値の両者を同時に考慮した問題の定式化を試みた。職住分布パターンの変化に対して変動の小さい最小値に関しては制約式として、一方、変動の大きい最大値に関しては目的関数とする問題を定式化して最適職住割当問題の拡張を試みた。すなわち、前述の式(1)~(4)の既往の最適職住割当問題を基礎に、式(7)~(15)を制約式として、式(16)の目的関数を最大化するLP問題として定式化することができる。そして、式(10)の最小値(T_{min})及び目的関数の式(16)の最大値(T_{max})及び交通流動率から新規の居住地あるいは従業地の立地に伴う通勤トリップ長を推定することができる。ここでは、ある土地利用パターンに対して新規に従業地を立地させる場合についての定式化を行った。

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

$$\sum_{i=1}^n R_{ij} = A_j + \Delta A_j \quad (j=1, \dots, n) \quad (8)$$

表-1 各都市の平均通勤トリップ長と交通流動率

都市	年次	総トリップ数	平均トリップ長(km)			交通流動率
			最小値	実際値	最大値	
札幌	1972	335218	2.836	4.850	8.850	0.3348
	1983	498434	2.938	5.616	10.517	0.3533
	1994	606116	3.066	5.966	11.609	0.3395
旭川	1982	126691	1.610	3.592	7.692	0.3259
函館	1986	115602	1.740	3.909	7.433	0.3810
	1999	116274	1.665	4.290	8.087	0.4088
釧路	1987	81088	1.439	3.532	7.991	0.3194
	1999	93417	1.561	4.054	8.773	0.3457
室蘭・登別	2001	64258	2.703	5.880	11.738	0.3516

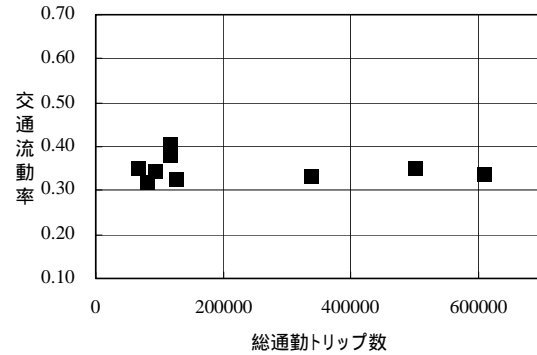


図-1 総通勤トリップ数と交通流動率の関係

$$R_{ij} \geq 0 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot R_{ij} \leq T_{\text{min}} \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n Q_{ij} = G_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_{ij} = A_j + \Delta A_j \quad (j=1, \dots, n) \quad (12)$$

$$Q_{ij} \geq 0 \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta A_j = A \quad (14)$$

$$\Delta A_j^L \leq \Delta A \leq \Delta A_j^U \quad (j=1, \dots, n) \quad (15)$$

$$T_{\text{max}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot Q_{ij} \quad \text{最大化} \quad (16)$$

ここで、

R_{ij}, Q_{ij} ; 最小値及び最大値に対する OD 交通量

ΔA_j ; 従業地 j における新規の立地量

A ; 新規の立地量の総和

$\Delta A_j^L, \Delta A_j^U$; 従業地 j における立地可能な下限値、上限値

4. 計算例

本研究においては、道央圏パーソントリップ調査のうち、図-2に示す53ゾーン区分からなる札幌市の通勤

交通を対象に分析を試みる。札幌市においては、過去3回のパーソントリップ調査が行われているが、各回の総トリップ数及び平均トリップ長を取りまとめた結果が表-2である。札幌市の通勤交通の特徴としては、中心ゾーンであるゾーン1の従業地トリップ比率が1983年22.3%（111,103トリップ数）1994年19.5%（117,979トリップ数）と、いわゆる一極集中型である。ここでは、1983年の従業地分布（498434トリップ数）に1994年の居住地分布（606116トリップ数）が想定されているとき、新規の従業地としての立地量の和107682トリップ数をいずれのゾーンに立地させれば、より通勤トリップ長を小さくさせることができるかについて考えた。すなわち、1994年の居住地の分布に対してはどのような新規の従業地分布であれば、1994年の実際の通勤トリップ長に比べてより小さくすることができるかについて計算を試みた。なお、交通流動率としては北海道における5都市・9年次を対象に算定された平均値0.3511を用いることとする。

まず、新規従業地の立地に伴う通勤トリップ長の最小値、最大値及び推定値の各値の取りうる範囲を把握するため、式(10)の右辺の最小値を平均トリップ長3.5Kmから0.25Kmきざみに減少させてパラメトリックLP問題を解いた。表-3及び図-3には、各最小値に対する最大値及び式(6)から算定される推定値を示した。これらの結果から、ある特定のゾーンに立地される等の立地量の偏りはともかくとして、新規従業地の立地に伴う平均トリップ長の範囲として最小値は2.55~3.5Km程度、最大値は12.35~13.26Km程度、そして推定値は5.88~6.60Km程度をそれぞれ把握することができる。

これらの各値の範囲及び表-3の実際の値等を基に、ここでは式(10)の最小値の限度として3.0Kmを設定するとともに、式(15)の各ゾーンの立地可能量の上下限値をパラメトリックに適宜設定してトリップ長をより小さくするような従業地の分布パターンについて計算を行った。各ゾーンの上限値を30000トリップ数から順次パラメトリックに減少させるとともに、下限値の値もパラメトリックに変化させて平均トリップ長の推定値を算定して取りまとめた結果が表-4及び図-4である。各ゾーンに同じ値の上・下限値を設定する場合には、上限値をより小さくさせる一方、下限値はできるだけ大きくして各ゾーンに均等に立地させるような分布パターンが平均トリップ長をより小さくさせることが窺える。このケースの場合、1994年の実際の平均トリップ長5.966Kmより小さい5.939Kmの立地パターンが求められた。このときの各ゾーンの立地量は、図-2に示すゾーン1を始めとする中心ゾーン（図中の濃い部分）における1050トリップ数、周辺から郊外部のゾーンにおける2400トリップ数の立地となった。そして、各ゾーンの集中トリ

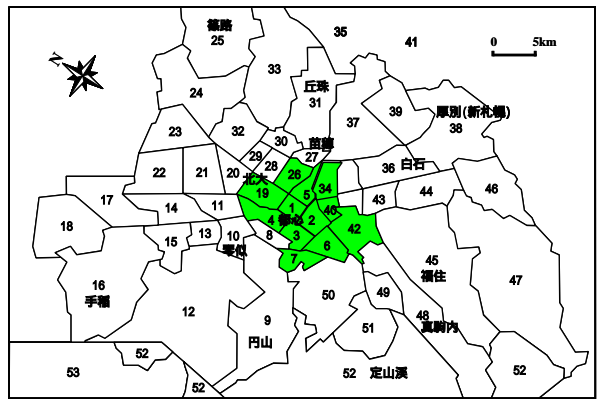


図-2 分析対象とする札幌市のゾーン区分

表-2 札幌市における通勤トリップ長の変化

年次	総トリップ数	平均トリップ長(km)		
		最小値	実際値	最大値
1972	335218	2.836	4.850	8.850
1983	498434	2.938	5.616	10.517
1994	606116	3.066	5.966	11.609

表-3 各最小値に対する最大値及び推定値の結果

最小値	最大値	推定値
2.55	12.351	5.877
2.75	12.633	6.105
3.00	12.907	6.364
3.25	13.114	6.599
3.50	13.264	6.815

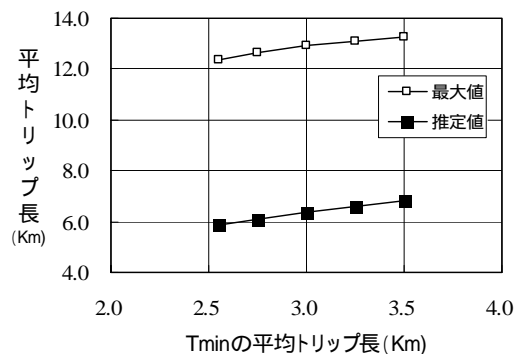


図-3 最小値と最大値及び推定値の関係

表-4 各上限値と下限値に対する平均トリップ長

上限値	下限値なしに対する平均トリップ長	下限値1000に対する平均トリップ長	最大下限値	最大下限値に対する平均トリップ長
2400	5.961	5.943	1050	5.939
5000	6.146	6.071	1784	5.950
10000	6.275	6.145	1790	5.951
15000	6.341	6.165	1790	5.951
20000	6.362	6.165	1790	5.951
30000	6.364	6.165	1790	5.951

ップ数を1994年の実際の値とともに図-6（2400立地量）に示した。

次に、既存の各ゾーンの立地量としての従業地の分布パターンを踏まえて、各ゾーンにおいて少なくとも立地させるべき量としての下限値を式(10)で算定して各ゾーンの立地量の算定も試みた。

$$\text{下限値} = \frac{\text{1983年の各ゾーンの立地量}}{\text{1983年の総トリップ数}} \times 107682 \times \text{下限値率} \quad (17)$$

下限値率を0(特定のゾーンのみ)の立地)から順次各ゾーンの立地すべき量を増加させるとともに、上限値を適宜設定して平均トリップ長を推定した結果が表 - 5 及び図 - 5 である。下限値率の増加、上限値の減少とともに平均トリップ長も減少している。実際の平均トリップ長が1983年の5.616Kmから5.966km(1994年)へ増加しているなかで、従業地の立地パターンによっては前述のケースと同様に、1994年のトリップ長をより減少させることが可能な従業地の分布パターンについても算定することができた。図 - 5 に示す下限値率0.6及び上限値7590トリップ数に対する平均トリップ長は、5.941Kmである。このときの各ゾーンの集中トリップ数は図 - 6 に示した。ここでは、2つのケースを通して通勤トリップ長をより減少させることができる各ゾーンの立地量について種々考察を試みた。

4. あとがき

以上、本研究においては、既存の職住分布パターンに対して新たに居住地あるいは従業地を立地しようとするとき、通勤トリップ長をより小さくさせるような各ゾーンの立地量の算定について考察を試みた。そして、各ゾーンの立地量算定は最適職住割当問題を基礎に、通勤トリップ長の最小値及び最大値を同時に考慮できる問題に拡張を図って行った。その結果、簡単な線形計画問題を通して通勤トリップ長をより小さくするような各ゾーンの立地量を求めることができた。本研究においては、札幌都市圏の通勤交通を対象に実証的考察を試みるなかで、最適職住割当問題の拡張の妥当性について確認することができた。

今後、土地利用パターンとの整合性を踏まえた各ゾーンの立地量の上下限値の設定方法及び居住地と従業地を同時に考慮できる問題の定式化等についても考察を行っていく。

参考文献

- 1) Yuzo MASUYA, M. SHITAMURA, K. SAITO, J. A. BLACK、「AN ANALYSIS OF JORNEY-TO-WORK TRAVEL BEHAVIOUR BASED ON THE OPTIMAL COMMUTING ASSIGNMENT PROBLEM」, Journal of the Eastern Asia for Transportation Studies, Vol. 5, pp1422-1435, (2003)
- 2) 榎谷・劉・田村・斎藤、「都市構造と通勤トリップ長について」, 第38回日本都市計画学会学術論文集, pp415-420, (2003)
- 3) 榎谷・神子島・下村・田村・斎藤、「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, No.20, No.3, pp.605-612, (2003)

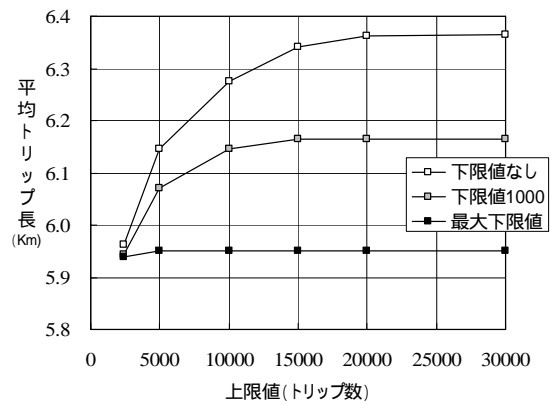


図 - 4 各上限値と下限値に対する平均トリップ長

表 - 5 各下限値率と上限値に対する平均トリップ長

下限値率	立地可能量の上限値	
	10000	7590
0.0	6.275	6.223
0.1	6.240	6.191
0.2	6.203	6.158
0.3	6.158	6.124
0.4	6.100	6.088
0.5	6.028	6.022
0.6	5.947	5.941

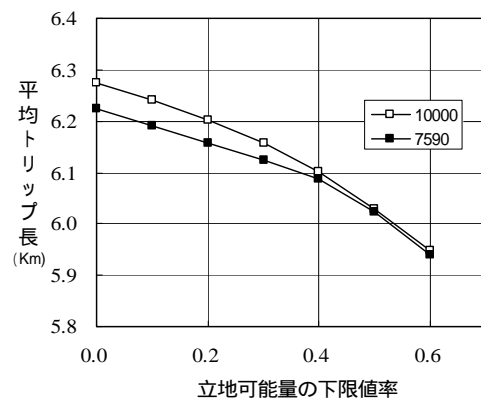


図 - 5 各下限値率と上限値に対する平均トリップ長

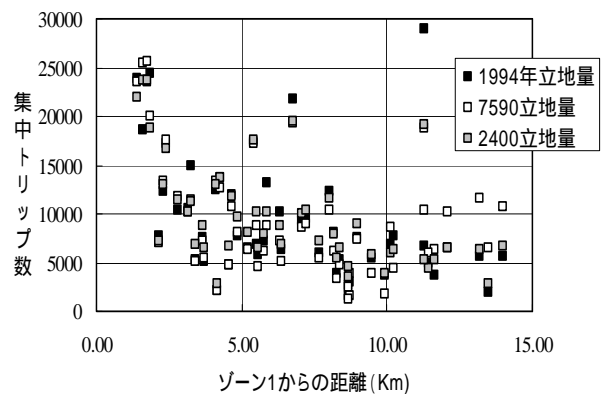


図 - 6 各ゾーンの集中トリップ数