

都市交通の効率性指標の提案と安定性について

大橋 健一* 大西 浩貴** 橋本 翼*** 浜田 惇****

Proposal and Stability for the Efficiency Index of Urban Transportation

Kenichi OHASHI, Hiroki OHNISHI, Tsubasa HASHIMOTO, Atsushi HAMADA

ABSTRACT

As the economy developed, urban areas enlarged hastily with a sprawl phenomenon in Japan. Transportation facilities had been prepared, and a convenient and mobile society was obtained. But the urban area was far from the compact city, so trip length has been increased and much energy is wasted by transportation every day. In order to achieve a sustainable city, it is important to reduce the waste of energy.

In this paper, we propose the efficiency index of urban transportation and investigate its stabilities. This index is calculated from the origin-destination traffic volume in an urban area and shows the distance resistance which transportation essentially possesses. Moreover, it is possible to compare the efficiency index of different areas, and the desirable plan of land-use in the urban area can be made clear.

KEY WORDS : urban transportation, sustainable city, origin-destination traffic volume, efficiency index, land-use

1. はじめに

第二次大戦後の高度経済成長期に急激な都市化が進行し、都市が肥大化していった。特に、わが国では土地神話の存在の下に大規模な市街化が進行したために、農地が虫食いの侵食され、スプロール的に拡散した市街地が形成されてきた。

人類の諸活動を歴史的にみるならば、交通や運搬の困難さから、人類は様々な活動制約を受けてきた。交通の制約からは、高密度でコンパクトな都市空間を形成してきた。また、この交通の制約を取り除くために、人類は交通手段の進歩発展に多大な労力を費やしてきた。この結果、今日のように交通技術が発展し、国民はその豊かさを享受することができるようになった。ところが、交通技術の発展は、自動車の普及によって

都市のスプロール化に拍車をかけている。

経済成長に連れて交通量は飛躍的に増大しており、エネルギーに占める運輸部門の割合は、1970 年の 16% から 2003 年の 24%¹⁾へと大きく上昇しており、民生部門が 18%から 28%に増加、産業部門が 66%から 48%に大きく減少している。民生部門の増加は生活の豊かさに貢献しており、産業部門の減少は技術開発や企業努力によるものである。スプロール的に肥大化した都市空間で交通をすることは、経済面や環境面からみても大変非効率な社会となっている。日常的に繰り返される交通の非効率性は、Sustainable City を目指すわが国にとっては大きな足かせになることが予想される。

交通の発生や分布は、都市圏の地勢・土地利用・交通施設の整備状況などによって変化するものであり、都市圏の交通のコンパクト性や効率性を示す指標は存在しない。

* 都市システム工学科

** 専攻科 建築・都市システム工学 専攻

*** 神戸大学 工学部 建設学科

**** 北海道大学 工学部 情報工学科

本研究では、交通の効率性を表す普遍的な指標を交通の距離抵抗から提案し、その指標の安定性を検討するとともに、本研究で提案した距離抵抗性を用いて現存する都市圏の交通の効率性を解析したものである。

2. 交通の定量化と空間分布

2.1 交通生成メカニズム

交通とは、不特定多数の移動のために供用される空間内の移動であり、人間の意思に基づく目的を持った移動である。多くの人が集まって、居住、労働、学習、娯楽、休息等の生活を営み、様々な社会活動や経済活動を行う場合、空間的な制約からこれらの活動を同一の場所で行うことは困難であり、必然的に交通が発生する。交通が人間生活の本質的目的行為となることはほとんどない。交通は、本質的目的の派生的な行為であるが、人間が生活を営む上で必要不可欠な行為である。また、派生的に生じるものであるため、移動量や所要時間は少ない方が望ましい。

交通の生成メカニズムを段階的に示したのが、図1の4段階推計法²⁾である。都市空間の土地利用により社会統計指標が存在し、この土地利用から交通が地域に発生集中する。地域に発生集中する交通のパターンによって、交通の分布形態が異なってくる。

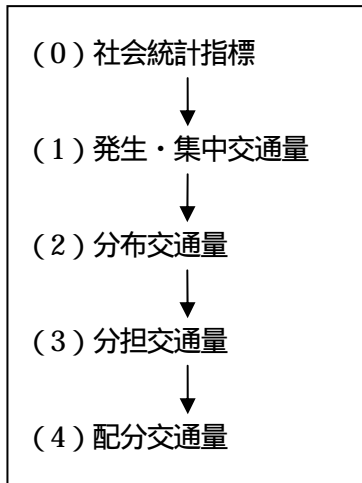


図1 4段階推計法

2.2 分布交通

分布交通とは空間分布する移動量であり、起終点間交通量やOD交通量(Origin-Destination Traffic Volume)ともいわれ、一般に起終点を示したOD表(図2)で表される。交通生成のメカニズムからは、土地利用を与件とし、土地利用に従属する発生集中交通から分布交通が決定される。

本研究では、交通の効率性指標を交通の距離抵抗から算定するために、距離抵抗の考慮の度合いが極端な

LP交通とランダム交通の2つを用いる。これらの交通は分布交通予測に一般的に用いるものではなく、実際の交通に比べると特異な交通である。

		終点側ゾーン					
		1	2	...	...	n	
起点側ゾーン	1	X_{11}	X_{12}	...	...	X_{1n}	U_1
	2	X_{21}	X_{22}	...	...	X_{2n}	U_2

	n	X_{n1}	X_{n2}	...	...	X_{nn}	U_n
		V_1	V_2	...	...	V_n	

図2 OD表

ここに、 x_{ij} : ゾーンiからjへの推定交通量

U_i : ゾーンiからの発生交通量

V_j : ゾーンjへの集中交通量

2.3 LP交通

LP交通とは、総移動距離最小化の線形計画問題を解いたときの分布交通である。総移動距離最小化の目的関数と制約条件は、次のように示される。

目的関数 $\sum_{i,j} d_{ij}x_{ij} \quad \min. .$ 制約条件 $x_{ij} = U_i \quad (i=1, \dots, n)$ $x_{ij} = V_j \quad (j=1, \dots, n)$ (1)
--	-----------

ここに、 d_{ij} : ゾーンij間の距離

x_{ij} : ゾーンiからjへの推定交通量

U_i : ゾーンiからの発生交通量

V_j : ゾーンjへの集中交通量

である。LP交通はゾーン間の距離を最大限考慮した交通であるため、交通がOD表の対角要素に集中する傾向があり、移動コストや時間制約からみて最も効率的な交通であるといえる。

2.4 ランダム交通

ランダム交通とは、ゾーン間の距離を全く考慮しないで、OD表の周辺分布確率(発生交通や集中交通の占める割合)に従って分布する交通であり、次のように示される。

$$x_{ij} = X(U_i/X)(V_j/X) = U_iV_j/X \quad \dots\dots (2)$$

ここに、Xは都市圏全体の総交通量である。図1の交

通生成メカニズムにも示しているように、OD 表の発生集中交通は土地利用に従属するものであり、ランダム交通は、土地利用を与件としたときの交流機会を最大化させた交通であり、都市空間の距離抵抗を無視して利便性だけを追求した結果の交通である。このため、ランダム交通は OD 表全体に交通が分散する傾向が強く、移動コストや時間制約からみれば非効率な交通である。

3. 都市交通の効率性指標³⁾

距離抵抗を最大限考慮する LP 交通と、距離抵抗を全く考慮しないランダム交通は両極端に位置しており、都市圏に現存する交通（実交通）はこれら両者の中ほどに位置するものと思われる。この実交通が LP 交通とランダム交通のどちらの交通に近いかを定量化すれば、都市圏に現存する交通の効率性を判断することができる。LP 交通に近ければ集中性の高い効率的な交通といえ、ランダム交通に近ければ分散性の高い非効率な交通といえる。

以下のように、実交通と LP 交通・ランダム交通を重み結合した交通の RMS 誤差最小化の重み P から距離抵抗性を求める。

目的関数

$$RMS = \sum_{i,j} (P_1 x_{ij}^1 + P_2 x_{ij}^2 - t_{ij})^2 \quad \min.$$

制約条件

$$P_1 + P_2 = 1$$

$$P_1, P_2 \geq 0$$

… (3)

ここに、 P_1 : LP 交通の重み係数

P_2 : ランダム交通の重み係数

x_{ij}^1 : ゾーン ij 間の LP 交通量

x_{ij}^2 : ゾーン ij 間のランダム交通量

t_{ij} : 実交通量

である。重み係数は上式の条件式より 0~1 の値をとり、 P_1 が 1 に近ければ LP 交通に近い交通、 P_2 が 1 に近ければランダム交通に近い交通といえる。 P_1 と P_2 を求めることで、実交通の距離抵抗性を容易に判断することが可能になる。

4. 距離抵抗性の感度分析

4.1 仮想都市の設定

本研究で明らかにする交通の距離抵抗性はゾーンングや都市圏の違いなどに影響されない普遍的な指標であるが、距離抵抗性に及ぼす交通量の影響を解釈する

ために、現実の都市を単純化した仮想都市を用いて距離抵抗性の感度分析を行う。

感度分析に用いる仮想都市を図 3 に示す。非常に単純化した都市ではあるが、都市空間の密度変化を中心に郊外部へと低減させており（表 2）、現実の都市の性質を損ねるものではない。また、複雑に空間分布する交通の距離抵抗性においても、単純化した都市圏の方がより適正な解釈が下せるものと思われる。

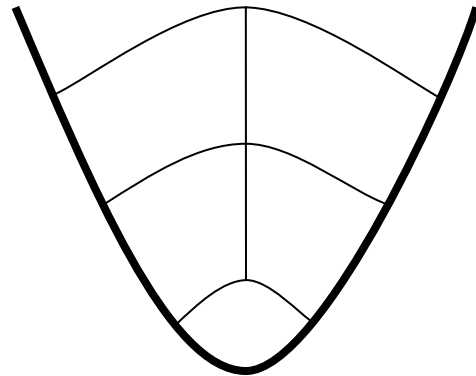


図 3 仮想都市

ゾーン を都市中心部とし、ゾーン に隣接するゾーン およびゾーン は市街地の周辺部とし、更に、郊外のゾーン およびゾーン はこれから都市化が進もうとする外縁部と設定する。また、各ゾーン間の距離を表 1 に示す。

表 1 仮想都市のゾーン間距離 d_{ij} [km]

	1	5	5	13	13
	5	1	7	8	12
	5	7	1	12	8
	13	8	12	1	10
	13	12	8	10	1

4.2 仮想都市の交通と感度分析

感度分析の主な分析手順を図 4 に示す。

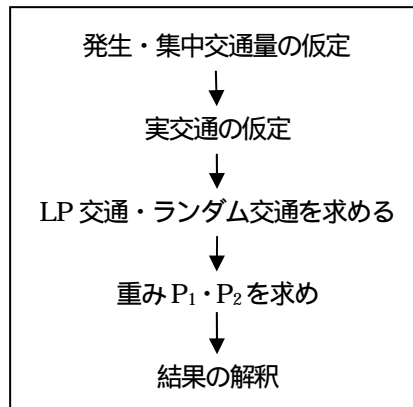


図 4 感度分析の手順

仮想都市の発生・集中交通量と実交通を表2のように仮定した。ゾーンは都市中心部であるため、集中交通量大・発生交通量小とし、ゾーン～の発生交通を大きく仮定した。また、ゾーン・は都市圏の外縁部に位置するため、集中交通を小さくし、住宅用途に特化した地域と仮定した。実交通の分布量は、都心部への交通が多い1点集中型の都市を仮定した。

表2 仮想都市の実交通 (単位:トリップ)

						発生
	10	0	0	0	0	10
	18	12	0	0	0	30
	18	0	12	0	0	30
	2	8	0	5	0	15
	2	0	8	0	5	15
集中	50	20	20	5	5	100

発生・集中交通量、ゾーン間距離より、LP交通とランダム交通を求め、これらの交通と表2に仮定した実交通より、仮想都市の距離抵抗性を求める。LP交通の重み係数は $P_1=0.866$ 、平均トリップ長4.04km(総移動距離404km)となる。

4.3 距離抵抗性の普遍性の検討

発生交通量と集中交通量を固定し、表2に示す実交通の分布量を変化させる。都心に集中している交通を、住宅の郊外化(スプロール化)に伴って距離抵抗性がどのように変化するかをみるために、交通を表3, 4, 5のように変化させた。

表3の変更では、LPの重み係数 $P_1=0.840$ 、平均トリップ長4.2kmとなり、都市圏全体の2%の交通を中心部から郊外移転することにより、交通の集中生が3%低下し、分散性は反対に3%上がっている。即ち、距離抵抗性は3%減少している。ただし、最も距離抵抗を考慮する交通が、LP交通の距離抵抗性100%(重み $P_1=1.0$)であり、最も距離抵抗を考えない交通が、ランダム交通の距離抵抗性0%($P_2=0.0$)である。

表4の変更では、 $P_1=0.739$ 、平均トリップ長4.84kmとなり、都市圏全体の交通の6%を郊外化することは、距離抵抗性を約13%減じることになり、かなり大きな影響を及ぼしている。表5の変更では、 $P_1=0.665$ 、平均トリップ長5.32kmとなり、都市圏全体の8%の交通の郊外化では、距離抵抗性を20%減じることになる。このような土地利用変化は中心ゾーンだけみれば、相当大きな変更量である。

表3から5に示す交通変化は、距離抵抗性に顕著に

現れており、また、その距離抵抗性は0から1までで表されるため、都市圏の交通の移動効率を示す指標として適するものと思われる。

表3 実ODの変更(ケース1)

						発生
	8	1	1	0	0	10
	19	11	0	0	0	30
	19	0	11	0	0	30
	2	8	0	5	0	15
	2	0	8	0	5	15
集中	50	20	20	5	5	100

表4 実ODの変更(ケース2)

						発生
	4	2	2	1	1	10
	20	10	0	0	0	30
	20	0	10	0	0	30
	3	8	0	4	0	15
	3	0	8	0	4	15
集中	50	20	20	5	5	100

表5 実ODの変更(ケース3)

						発生
	2	2	2	2	2	10
	20	10	0	0	0	30
	20	0	10	0	0	30
	4	8	0	3	0	15
	4	0	8	0	3	15
集中	50	20	20	5	5	100

4.4 距離抵抗性の変動傾向

次に、発生交通量と集中交通量を固定し、ゾーン間でトリップを微小変化(1トリップずつ変化)させて得られた結果を基に、重み係数の変化の傾向の検討を行う。本研究では、LP交通を基準として、図5のように実交通のODを変化させた。

図5のように順次変化させた実交通から算定したLP交通の重み P_1 より図6のような結果が得られ、同一ゾーン間での連続的なトリップ変化は重み P_1 に対して直線的に影響を及ぼしている。他のゾーン間の微小変化に対しても同様な影響がみられるが、その影響度は異なっており、ゾーン間距離や発生・集中量に占める変化の割合などによって変動している。

このような微小変化も距離抵抗性に反映されており、都市圏の交通の効率性を表す指標となっている。

						U
	10	0	0	0	0	10
	20	10	0	0	0	30
	20	0	10	0	0	30
	0	10	0	5	0	15
	0	0	10	0	5	15
V	50	20	20	5	5	100



						U
	9	1	0	0	0	10
	21	9	0	0	0	30
	20	0	10	0	0	30
	0	10	0	5	0	15
	0	0	10	0	5	15
V	50	20	20	5	5	100



						U
	0	10	0	0	0	10
	30	0	0	0	0	30
	20	0	10	0	0	30
	0	10	0	5	0	15
	0	0	10	0	5	15
V	50	20	20	5	5	100

図5 実ODの変更

(ゾーン間の連続的な変更)

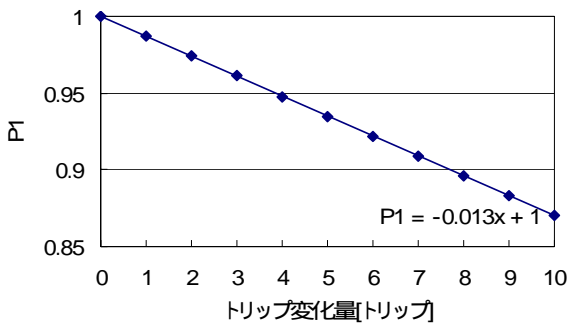


図6 OD変更後の距離抵抗性

4.5 土地利用政策と距離抵抗性との関連性

これまでの分析は、発生・集中交通量を固定して、OD表の中身だけを変更したが、ここでは、発生交通量や集中交通量を変化させて距離抵抗性を求め、その結果より土地利用政策が距離抵抗性に与える影響を検討する。

土地利用に応じて発生・集中交通量を変化させ、そのときの重み係数を求める。具体的には、住宅の郊外化が進展し、中心部ゾーンの交通が減少し、外縁部ゾーンが増えた場合であり、このような郊外化が進んだ場合の実ODを表6のように仮定する。表2と比較して、表6のように郊外化した交通の距離抵抗性は

0.412、平均トリップ長は4.64kmとなっており、距離抵抗性から都市圏の交通の分散性や集中度が把握できる。

表3から5までの変更や図5の変更は、発生集中を固定した変化であり、より現実的な都市圏の土地利用変化を想定したのが表6の変更である。このような発生集中の両方の変更では距離抵抗もより大きく変動している。

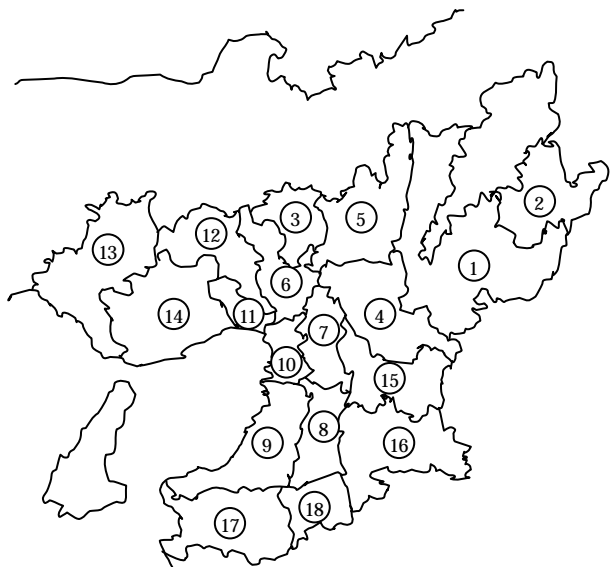
郊外を宅地開発して外縁部ゾーンの発生交通の増加策や、都心部開発による都心部ゾーンの雇用増大策などは、距離抵抗性を減少させ、都市圏の交通をより非効率なものにしている。現状の都市では、このような発生集中のギャップを埋めるために、都心部に住宅を呼び戻し、郊外部に職場を移転させることが望まれる。

表6 実ODの変更(発生集中の変化)

						発生
	5	0	0	0	0	5(-5)
	18	12	0	0	0	30
	18	0	12	0	0	30
	2	8	0	5	0	15
	7	0	8	0	5	20(+5)
集中	50	20	20	5	5	100

5. 京阪神都市圏における交通の距離抵抗性

5.1 対象地域と交通データ



- 滋賀県南部 滋賀県中部 南丹 京都府南部
- 京都市 北大阪 東大阪 南河内 泉州
- 大阪市 阪神臨海 阪神内陸 東播
- 神戸市 奈良県北部 奈良県南部
- 和歌山県西部 和歌山県東部

図7 京阪神都市圏ゾーン図

京阪神パーソントリップデータ³⁾の過去4時点の目的別 OD (出勤、登校、自由、業務、帰宅、全目的) を用いる。図7のように京阪神都市圏を18個の大ゾーンで表す。

5.2 距離抵抗性分析

過去4時点の目的別 OD の距離抵抗性を求めたのが、図8である。

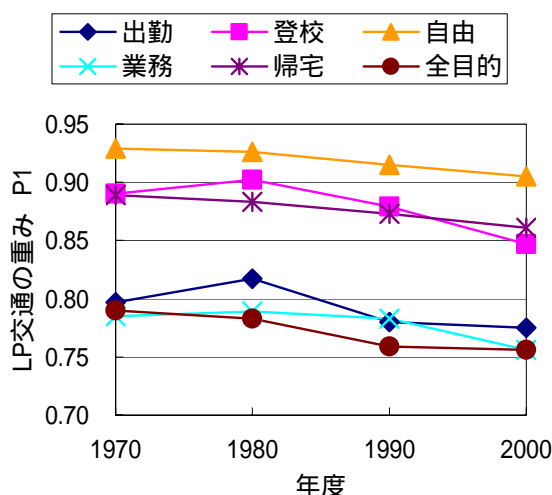


図8 京阪神都市圏の交通目的別距離抵抗性

いずれの交通目的も、LP交通の重み係数 P_1 の値が1に近いことが分かる。即ち、京阪神都市圏の交通は、LP交通に近くて集中性が高くなっており、大ゾーンレベルでみるならば、それほど分散した状況にはない。豊かになってはいるが、効率化を目指した形跡もみられる。

自由目的の交通に関しては、 P_1 が他の目的に比べ1に近い値をとることが分かり、最もLP交通に近い分散性の少ない交通といえる。つまり、個人の自由な状況下で目的を達成しようとする交通では、できるだけ近くで済ませようとする傾向がある。また、登校目的も P_1 が他の目的より1に近い値をとっており、通勤などと比較して近くを選択する傾向が強い。

距離抵抗性が小さい交通目的は出勤と業務であり、他の交通目的に比べ交通が分散する傾向にある。つまり、大都市が肥大化して住宅地の郊外化が進み、通勤交通は長距離化した、学校・買い物・医療・習い事などは近くでする傾向が現れている。

また、年度によっても距離抵抗性に変化が生じてい

る。いずれの目的も時間の経過とともに距離抵抗が減少する傾向にある。京阪神都市圏の交通が、効率性の高いLP交通から徐々に離れて、ランダム交通に移行しつつある。即ち、京阪神都市圏の郊外化が進み、交通負荷が小さく省資源の理想的な都市(コンパクトシティ)から離れた方向に向かっていることが推察される。

6. おわりに

本研究では、都市交通の効率性を表す指標として距離抵抗性を提案し、その指標の利用に関する妥当性を検討した。また、その距離抵抗性を用いて現存する交通の効率性の解析を行った。

距離抵抗性の感度分析では、仮想都市を用いて交通が生じる条件を変化させ、色々なケースの距離抵抗性を求めた。距離抵抗性は交通条件を的確に反映しており、都市空間に分布する交通の効率性を判断する指標として適するものと思われる。また、距離抵抗の算定ではLP交通が1でランダム交通が0となっており、0から1の範囲で定義されるため、解釈し易い指標となっている。

現存する交通(京阪神都市圏パーソントリップ調査データ)では、交通目的によって距離抵抗性に大きな差異が生じている。また、距離抵抗を時系列的にみるならば、1970年から2000年にかけて距離抵抗性は減少傾向にあり、京阪神都市圏の交通が非効率なランダム交通に推移しつつある。

今後は、より多くの都市圏で距離抵抗性を分析して、実用面での安定性を確認するとともに、住宅や事業所などの配置に関する土地利用政策が効率性に及ぼす詳細な効果などを検討する必要があるものと思われる。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁編：エネルギー消費の動向、エネルギー白書(2005)
- 2) 佐佐木綱監修、飯田恭敬編著：交通工学、国民科学社(1992)
- 3) 青山・大橋・柳本：OD交通量予測の評価と総合化、交通工学、Vol.13, No.2, pp.15 - 22(1977)
- 4) 京阪神パーソントリップ調査委員会編：京阪神パーソントリップ調査報告、第1回(1970年)～第4回(2000年)