

# 都市間公共交通網の分析におけるゾーニングの影響に関する研究\*

A Study about Influences of Zoning in Analysis of Interurban Public Transportation Network\*

波床 正敏\*\*・池田 篤司\*\*\*

By Masatoshi HATOKO\*\*・Atsushi IKEDA\*\*\*

## 1. 都市間交通計画における諸課題

新幹線や空港整備といった大規模な交通インフラは都市間交通を目的として整備されるが、これら整備にあたっての交通計画は都市間交通の特徴を十分に考慮する必要がある。交通計画に関する技術は各種社会調査の充実とデータの処理力の向上により大きく発達してきているが、交通計画の新しい技術に関する研究や適用事例の多くが都市内交通を対象としており、都市間交通を対象とした例が少ない。都市間交通と都市内交通との相違については、旅客の流動だけを取り上げても次の各点が考えられる。

- 都市間交通は非日常的な目的や業務目的が多い
- 都市間交通では公共交通機関の役割が大きい、都市内交通のように頻繁運行されていない
- 都市間交通では乗車時間が長くなるため、座席確保がほぼ必須となる
- 都市内交通には、予約システム、各種の運賃割引、マイレージ制などの複雑なシステムがある
- 都市間交通ではトリップが1日では完結しないことが多く、宿泊行動と密接な関係がある
- 観光目的の場合等では、都市間交通そのものが目的の一部を構成していることがある
- 都市内交通の旅行者が比較的軽装であるのに対し、都市間交通では手荷物を伴うことが多く、乗換えに対する抵抗が大きい
- 都市内交通に関する社会調査では数百万～数千万トリップのデータが得られているが、都市間交通に対応する調査では全国で数十万トリップのデータしかない(特に公共交通のデータが少ない)

## 2. 都市間公共交通網評価における課題

本研究では前章のb)に着目するが、都市間公共交

\* キーワーズ：公共交通計画 交通網計画 公共交通需要ゾーニング

\*\* 正員 博士 (工)大阪産業大学工学部土木工学科

(大阪府大東市中垣内 3-1-1,

Tel:072-875-3001, E-mail:hatoko@ce.osaka-sandai.ac.jp)

\*\*\* 非会員 名工建設株式会社

通が間欠運行であるという特徴を考慮した分析方法として、これまで滞在可能時間や期待所要時間が考案されてきており<sup>1)</sup>、都市内交通と同じ方法で計測された時間距離指標に比べて説明力が高いことが説明され、国土構造の長期的変遷の分析や国際交通における空港選択の分析などに適用されている<sup>2) 3)</sup>。さらに期待所要時間の考え方を一般化費用に拡張した期待一般化費用の計測も試みられており<sup>4)</sup>、よりいっそうの精度向上が図られている。究極的には都市間交通行動の忠実な再現と考えられるが、さらなる精度向上あるいは計画実務への対応の観点から、いくつかの課題が存在していると考えられる。

- 既存の研究では、都道府県単位で分析されているが、実際に都市間交通計画を行う際には、さらに詳しいゾーニングが求められる場面も多い。だが、ゾーニング細分化の影響は明確ではない。
- 地点間の空間的抵抗の計測では、ダイクストラ法がよく用いられるが、複雑な運賃システムを考慮するためには、必ずしも最適ではない。
- 各種の属性の組み合わせに対応した都市間交通行動シミュレータとして発展させるためには、計算機の手数が大きなネックとなる。

本研究ではこれら課題のうち a) に着目し、細分化に伴う課題や影響について分析を行うことを目的とする。分析指標は、期待所要時間を用いる。細分化後のゾーン単位は、地方生活圏 207 ゾーンとする。また、主として以下の3点について分析する。

- 期待所要時間算出のための交通機関データに関する検討
- OD所要時間の計測精度に関する検討
- OD交通量推定における課題

## 3. 期待所要時間

期待所要時間は公共交通機関の利便性を表す指標として考案された時間距離指標<sup>1)</sup>であり、その定義は次のようになる。

2点間の所要時間は、図1の●点のように、便ごとに求まるが、他の時刻を出発時刻とした場合は、

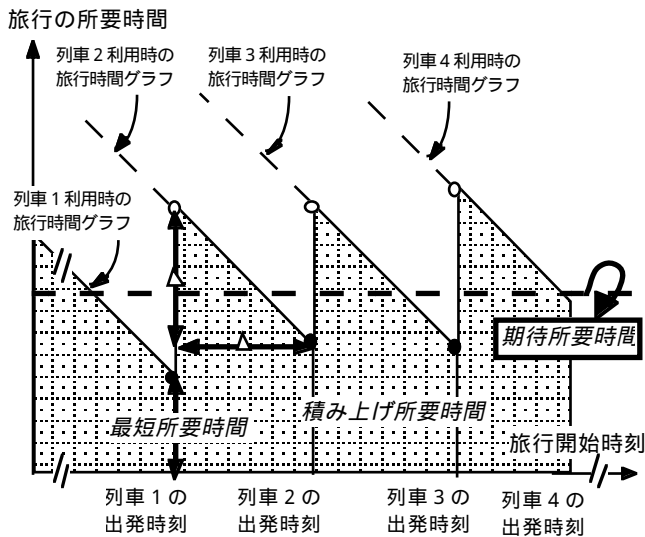


図1 期待所要時間の考え方

次便までの待ち時間が加わり、図中の斜め線のようになる。そこで、図ののこぎり状の線の下部分の面積を「積み上げ所要時間」と定義する。この値は、各便の所要時間が小さく、運行頻度が高いほど小さな値となり、また各便の所要時間や運行本数が同じ場合でも、団子運転のような実質的な利便性が低い場合には指標値が大きくなり、所要時間、運行頻度、ダイヤ設定のすべてを考慮した指標である。「積み上げ所要時間」は出発時刻に沿って所要時間を積分した形であり、出発時刻の時間帯の幅で除して平均値を求めることで、所要時間に相当する指標となる。これを「期待所要時間」と呼ぶ。また、計算対象とした時間帯内において最も所要時間の小さい値が厳密な「最短所要時間」である。なお、期待一般化費用<sup>4)</sup>は図の縦軸を一般化費用としたものである。

#### 4. 指標算出のための交通機関データへの影響

日本全国各地域間の期待所要時間の計算のためには、全都市間公共交通ネットワークの全便のダイヤを計算システムに入力して算出するが、以下のような路線や区間のデータ入力は省略することができる。

- a) 盲腸線(行き止まり式の路線)で、都市間交通には明らかに利用されない路線
- b) 収録対象とすべき路線であっても、末端区間など盲腸線と同様の扱いのできる区間
- c) 優等列車の運行が無い路線、航路、高速バスではない一般バス路線など、あらゆる時間帯において他の経路を経由した方が早い路線

また、収録対象路線のうち、次のような便のデータの入力は省略することができる。

- d) 便の運行区間内に含まれる計算対象あるいは乗

換地点を表すノード数が2未満の便

- e) 同、ノード数が2以上の場合でも、ノード間を運行中に他の便に追い抜かれるような便

このような基準で収録しているため、47都道府県庁所在都市間を結ぶネットワークでは、収録路線数200~300、収録ノード数200~300、収録便数7,000~15,000程度で十分な精度で計算ができる。

ゾーン数を地方生活圏207ゾーンにまで増加させた場合、代表ノード数の増加は160であるが、このほかに、これらゾーンを旧来のネットワークに接続するためのリンクやノード、追加したノード相互間を結ぶリンクも追加しなくてはならない。さらに、47都道府県間交通対象のネットワークに比べてノード間の距離が短くなるため、上記のd)e)に相当する便や運行区間が少なくなり、優等列車以外の便も収録する必要が生じてくる。

本研究の分析では、2001年10月における地方生活圏207ゾーンの中心都市相互間を結ぶ公共交通路線を抽出して収録した。収録した路線数は1,292、収録ノード数1,166となった。また、収録ノード間を結ぶ便として約52,000便のデータを入力した。

#### 5. 期待所要時間の計測結果に与える影響

全国の任意の地域相互間の所要時間を、47都道府県庁所在都市を代表地点として計測した場合と地方生活圏207ゾーンの中心都市を代表地点として計測した場合では、実際の所要時間に対する誤差は前者の方が大きく、後者の方が小さいと考えられる。このような誤差は、交通プロジェクトの評価や経路選択、機関分担率の推定等、地域間の空間的抵抗を利用して計測する場合には無視できないと考えられる。

図2は生活圏207ゾーン間相互の期待所要時間を全国207ゾーンで計測した結果(T<sup>207j</sup>;横軸)と47ゾーンでの計測結果

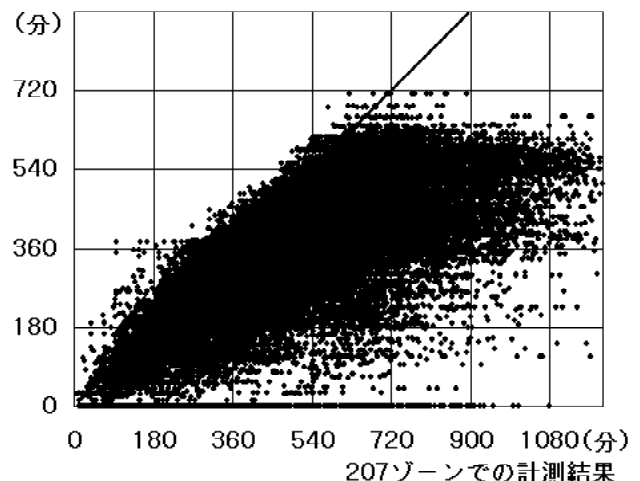


図2 ゾーンの大きさが計測結果に与える影響

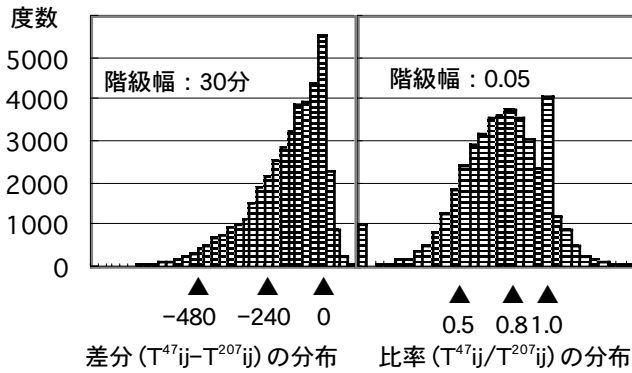


図3 代表地点の違いによる計測結果の比較

ンで計測した結果( $T^{47ij}$ ;縦軸)を比較したものである。例えば兵庫県の但馬生活圏と宮崎県の日南生活圏との間の期待所要時間は、207ゾーンの場合は豊岡市と日南市をそれぞれ代表地として計測するが、47ゾーンの時は都道府県庁所在都市である神戸市と宮崎市を代表地として計測する。

直線距離で考えれば、ゾーン細分化によって、ゾーン間の距離が長くなる場合もあれば短くなる場合もあり、全体としては $T^{207ij}=T^{47ij}$ となる斜め線付近に分布すると考えられる。だが、期待所要時間の計測結果については、図のように、斜め線よりも下に分布する傾向が強く、多くの場合で $T^{207ij}>T^{47ij}$ となる。 $T^{207ij}$ が $T^{47ij}$ の倍以上に達する例も珍しくない。

図3(左)はこれらの差分( $T^{47ij}-T^{207ij}$ )の分布を示したものであり、図3(右)は比率( $T^{47ij}/T^{207ij}$ )の分布を示したものである。これら図からもわかるように、 $T^{207ij}=T^{47ij}$ となる度数が最も多いものの、差分を示した図3(左)では( $T^{47ij}-T^{207ij}$ )が-480分(-8時間)に達するケースも多い。平均値は-154分(-2時間34分)であり、日本の都市間交通網が都道府県庁所在都市を含む地域を中心に階層的に形成される傾向にあること、交通拠点までのアクセスとイグレスに概ね2時間半程度かかっていることを反映しているものと考えられる。比率を示した図3(右)では、( $T^{47ij}/T^{207ij}$ )の値は0.8付近を中心に分布する傾向(平均値は0.728)にあり、全行程の2~3割をアクセス・イグレスに費やしていると考えられる。

このように、ゾーンを細分化することにより、これまで考慮できなかった都道府県内の移動時間を考慮できるようになった。便益計測のような場面では、所要時間計測が分析結果に直結しており、この差は無視できない場合も多いと思われる。なお、期待一般化費用についても期待所要時間と類似の考え方であり、ゾーニングの影響は大きいと考えられる。

## 6. 地域間の旅客流動量との比較

期待所要時間を使用する局面としては、地域間の交通量推定なども考えられる。そこで、次のような基本式に基づいて、ゾーニングが期待所要時間の地域間の旅客流動量の説明力に与える影響を分析する。

$$Q_{ij} = \alpha \cdot P_i^\beta \cdot P_j^\gamma \cdot T_{ij}^\delta \dots (1)$$

$Q_{ij}$ : 地域iから地域jへの年間旅客流動量(単位:人, 1995年, 全公共交通機関, 第2回全国幹線旅客純流動調査(国土交通省)による)

$P_i$ : 地域iの人口(単位:人, 2000年, 国勢調査)

$P_j$ : 地域jの人口(単位:人, 2000年, 国勢調査)

$T_{ij}$ : 地域iから地域jへの公共交通機関利用時の期待所要時間(単位:分, 2001年10月)

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ : パラメータ

モデルは表1に示す3種を作成した。モデル1は47都道府県間の旅客流動量を47都道府県庁所在都市間の期待所要時間で説明するモデルであり、比較の基本となるものである。モデル2はゾーンを細分化した影響を分析する目的のものである。モデル3は人口の区分だけを細分化し、所要時間指標は生活圏が含まれる都道府県の都道府県庁所在都市間相互の期待所要時間を用いたものである。

表1 旅客流動量モデルの変数の内容

	従来ゾーン (モデル1)	207ゾーン (モデル2)	時間だけ従来ゾーン (モデル3)
$Q_{ij}$	47都道府県相互間の旅客流動量	207地方生活圏相互間の旅客流動量	207地方生活圏相互間の旅客流動量
$P_i$	出発地側の都道府県人口	出発地側の地方生活圏人口	出発地側の地方生活圏人口
$P_j$	目的地側の都道府県人口	目的地側の地方生活圏人口	目的地側の地方生活圏人口
$T_{ij}$	都道府県庁所在都市間の期待所要時間	地方生活圏中心都市間の期待所要時間	地方生活圏が含まれる都道府県の県庁所在都市間の期待所要時間

表2 モデルの構築結果(括弧内はt値)

	モデル1	モデル2	モデル3
$\alpha^*$	-12.15	-0.3001	-3.844
*) $\log \alpha$ 値	(17.84)	(1.061)	(15.99)
$\beta$	1.026	0.6189	0.7227
	(39.79)	(67.97)	(84.41)
$\gamma$	1.001	0.6090	0.7178
	(38.89)	(66.39)	(83.62)
$\delta$	-1.108	-1.300	-1.226
	(28.52)	(63.24)	(64.07)
修正済 $R^2$	0.7256	0.5240	0.5263
サンプル数	2,128	17,918	17,918

モデルの構築結果を表2に示す。モデル1と比較すると、ゾーン区分を207の地方生活圏としたモデル2では定数項以外のパラメータに関する検定結果が改善され信頼度が増しているものの、精度が大きく低下している。参考のためにモデル2の期待所要時間の算出方法だけを47都道府県単位にしたモデル3では、精度はモデル2とほぼ同じであり、パラメータに関する検定結果もほぼ同様の傾向を示している。このことから、少なくとも期待所要時間の算出方法が推定精度を大きく下げているとは考えにくい。また、人口指標についても国勢調査人口を用いているので厳密な値と考えて良いと思われる。このことより、推定精度を大きく下げた原因は地域間の旅客流動量 $Q_{ij}$ の集計データにあると考えられる。

207生活圏間相互のODの組み合わせは、調査対象外となっている自地域相互や大都市圏内相互の組み合わせを除き、約42,000組あるが、これに対して、第2回全国幹線旅客純流動調査における公共交通関係のサンプル(個票)数は表3のようにになっている。このトリップデータを207ゾーン相互間のODとして集計すると、個々のOD交通量データの根拠となるデータ数は極めて少なくなり、わずか1票のデータを根拠としなければならないODデータが約4,400ある。また、調査時に流動が観測されなかった区間も多く、OD交通量が零となっている区間が約24,000(全体の57%)であった。

以上のように、第2回全国幹線旅客流動調査は、地方生活圏を意識して調査されているにもかかわらず、調査データ数が少ないために地方生活圏相互間の流動を直接的・集計的に分析することが難しい。

**表3 第2回全国幹線旅客純流動調査のサンプル数**

モード	サンプル数	モード	サンプル数
航空	161,596	幹線バス	23,104
幹線鉄道	74,740	幹線旅客船	9,060

## 7. 比較方法の改良

前章の分析では、207ゾーン間の流動量 $Q_{ij}$ の実測値に課題があることがわかったが、本章では実測値として47ゾーン間の流動量を用いて比較を行う。比較は次の3つの間で行う。

- 表2のモデル1そのもの[比較の基準]
- モデル2のパラメータを使い、207ゾーン相互間について流動量を計算、この値を47ゾーン間の流動量として再集計し、結果を実測値と比較
- 前項と同様の方法で計算値を算出するが、パラ

メータは表2のモデル1の値を用いる

比較の結果を表4に示す。b)に相当するモデル2'は表2のモデル2よりは推定結果が改善されているものの、基準となるモデル1よりも推定精度が悪い。これはパラメータの推定段階(表2)において、実測値の根拠となるサンプル数が原因で、パラメータ推定が適切に行われなかったことを反映していると考えられる。これに対し、モデル1のパラメータ値を使ったモデル4では、モデル1よりも精度が向上している。これは、パラメータ推定段階でのサンプル数の問題を回避できただけでなく、ゾーンを細分化することにより、地域間の所要時間をより正確に計測できたことを反映しているものと考えられる。

**表4 比較方法の改良結果**

	モデル1	モデル2'	モデル4
説明	表2のモデル1そのもの	表2の <b>モデル2'</b> のパラメータを使って $Q_{ij}$ を207ゾーン相互間で算出( $T_{ij}$ も207ゾーン間)。これを47ゾーン相互の値として再集計し、実測値と比較。	表2の <b>モデル1</b> のパラメータを使って $Q_{ij}$ を207ゾーン相互間で算出( $T_{ij}$ も207ゾーン間)。これを47ゾーン相互の値として再集計し、実測値と比較。
R <sup>2</sup> 値	0.7256	0.7038	0.7321
サンプル数	2,128	2,127	2,127

## 8. おわりに

本研究の分析では、地域間の期待所要時間計測において、完全に公共交通機関だけを使う場合を想定したが、近年は主要交通機関が公共交通の場合でも末端のアクセス交通が自動車利用の場合も多い。今後の研究課題としては、末端交通に自動車利用を許した場合についての分析なども考えられる。

最後に、第25回土木計画学研究発表会の「鉄道交通需要」のセッションにおいて、貴重なご意見を賜りました皆様に感謝の意を表します。

### 【参考文献】

- 1) 天野・中川・加藤・波床:「都市間交通における所要時間の概念に関する基礎的研究」,土木計画学研究論文集 9,pp.69-76,1991
- 2) 中川・波床・加藤:「交通網整備による都市間の交流可能性の変遷に関する研究」,土木学会論文集 No.482/IV-2,pp.46-56,1994
- 3) 中川・波床・伊藤・西澤:「国際交通における利便性指標としての積み上げ所要時間に関する研究」,土木学会論文集 No.590/IV-39,pp.43-50,1995
- 4) Y.Aoyama,D.Nakagawa,R.Matsunaka:"The benefits of large-scale transport projects using the expected value of generalized costs(EVGC)",6th RSAI World Congress 2000, 2000