

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

A Study on Definition of Travelling Time for Inter City Traffic

天野 光三^{*}、中川 大^{**}、加藤 義彦^{***}、波床 正敏^{****}

by Kozo AMANO, Dai NAKAGAWA, Yoshihiko KATO and Masatoshi HATOKO

This study, first of all, proposes two definitions, one of which is "Possible Staying Time" and the other is "Piled-Up Travelling Time". The former is based on duration of stay at destinations of return journey, while the latter is calculated as the sum of travelling time during one day; both are meant to be useful for model analysis as indices for spatial resistance. Furthermore, travelling time according to these definitions are actually given, and existence of advantages as well as disadvantages when applied to model analysis is examined.

As the result, many advantages of these proposed indices compared with commonly used but only vaguely defined ideas of travelling time have become clear, showing high aptitude for model analysis.

1. はじめに

都市間・地域間の相互作用を取り扱うモデル分析などにおいては、多くの場合「所要時間（時間距離など他の名称で呼ばれる類似の概念を含めて考える。）」が、その都市間・地域間の交流に対する空間的抵抗を表すものとして用いられる。しかし、この所要時間はモデルなどにおいて重要な役割を果たしているにもかかわらず、後述するように、実際には適切ではない算出方法がとられている場合が多い。

本研究では、この都市間・地域間の空間的抵抗を表す指標としての所要時間の概念について問題点を整理するとともに、滞在可能時間と積み上げ所要時間という2つの定義を示しその特徴について考察する。さらに、これらの考え方をを用いて、西日本の県庁所在都市相互間の所要時間を算出し、モデル分析などへの適用可能性について検討する。

このうち滞在可能時間については、その根拠や利点・問題点等は参考文献1)で考察しているので、本研究では、おもに積み上げ所要時間の特徴について論じ、それを従来の所要時間の考え方や滞在可能時間と比較する。

なお、都市間の空間的抵抗を表す指標として時間以外に重要な「費用」については、いずれの所要時間の定義についても一般化費用の考え方などへ拡張することができると考えられるので、本研究では時間に関する問題について考察する。

2. 都市間交通における所要時間

都市間の空間的抵抗を表す指標としての所要時間は、以下のような理由により、都市内の分析で用いられる所要時間の概念をそのまま採用することは適当ではない。

①都市間を接続する航空機や鉄道は、同じ所要時間・同じ待ち時間でいつでも乗れるという場合はむしろ少なく、便によって所要時間や待ち時間が

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学科
(京都市左京区吉田本町)
** 正会員 工博 京都大学講師 工学部交通土木工学科
*** 学生員 京都大学大学院工学研究科
**** 学生員 京都大学大学院工学研究科

異っておりその変動も大きい。

②出発してから到着するまでの実所要時間は同じでも、運行頻度に格段の差があれば同じ空間的抵抗とは言えない。

③乗り換え地点での待ち時間の変動も大きいので、都市内の分析で用いられるように運行間隔の1/2を乗り換え時間としたり、一定であると仮定する方法も考えにくい。

④最短所要時間の便が1日1～2便しかない場合も多く、その時間をもって所要時間としたのでは全体の利便性を反映できない。

以上の具体例として、表1は、鳥取－高知間のすべての先着便（その便より遅く出発して、早く到着するような他の便がないもの）について所要時間を示したものである。最も速い便は、大阪経由の航空便で、2時間20分で到着できるが、それ以外には翌日にわたるものを含めても3便のみである。所要時間の変動が大きく、特に乗り換え地点での待ち時間の変動による影響が大きいことなどがわかる。

地点間の所要時間は、表1からもわかるように各便ごとにのみ求められるもので、これらの値からどれをその地点間の所要時間としてモデル分析等に用いるかについては一般的な定義がなされていないが、通常用いられているものとしては、以下の定義が考えられる。

（1）結節点間ごとに最も速い便を採用する方法

この方法は、結節点間（リンク）ごとに所要時間を設定するもので、通常の最短経路探索によってOD間の所要時間を得ることができるので、最も多くの場合この方法が用いられていると考えられる。この場合乗り換え時間は、ダミーノードなどによって考慮することになる。しかし、この方法では、以下のような問題点がある。

①乗り換え時間を何らかの時間に設定する必要があるが、これは表1からもわかるように良い設定

値が見つからない場合が多い。

②同じく表1からわかるように最も速く到達できる経路や交通モードが時間によって異なる場合も多い。

③実際の運行では最も速い便同士が接続しているとは限らない。

④直通列車の有無や、一部の列車が結節点を通過する場合など、運転系統を考慮することが難しい。

従って、この方法は、自動車交通のみを考慮する場合や、所要時間の等しい便が、比較的等間隔で運行されている都市内交通などの場合にはある程度妥当であると考えられるが、都市間交通に同様に用いるのは無理がある。

（2）その区間の最短所要時間を採用する方法

この方法は、すべての便のうちで、乗り換え時間も含めた所要時間の最も短いものを採用する方法で、（1）の方法に比較するとその意味が明確である。しかし、以下のような問題点がある。

①最短所要時間となる便の運行頻度について考慮されない。例えば、表1のような場合は、1便だけしかない最短所要時間2時間20分が採用されることとなり、新幹線のように運行頻度の高い交通機関で2時間20分で結ばれた他の区間と同様の値となる。

②実際に用いる際の問題点として、算出が難しいことがあげられる。すなわち、利用可能なすべての便について起点から終点までの所要時間を算出し、そのなかで最短のものを探さなければいけない。すなわち、乗り換えの前後や代替路線を含めたすべての可能な経路のすべての便について時刻表にあたって検索する必要がある。また、このような計算は、通常の最短経路探索のためのネットワーク計算では行えない。

従って、この方法がとられていることは実際には少ないと考えられる。なお、都市間の所要時間を用いた分析を行っている文献のなかに、最短所

表1 鳥取→高知間の先着便（1991年3月現在）

鳥取空港発	経 由 地	高知空港着	所要時間
09:45	東京着10:55 発13:20	14:40	4:55
13:25	大阪着14:10 発14:50	15:45	2:20
15:35	東京着16:45 発17:45	19:05	3:30
18:45	東京着19:55 発 7:20	08:40	13:55

要時間を用いたという記述も多いが、これらは厳密な最短所要時間である（２）ではなく（１）を指している場合が多いと考えられる。

3. 「所要時間」の用途とそれの問題点

所要時間の用いられる場面としては、以下のようなものが考えられる。

①全国規模でのモデル分析

地域間産業連関分析における交易係数の算出、地域のポテンシャルやアクセシビリティなどを用いた立地モデル・人口移動モデル、都市間の交通需要予測など都市間・地域間の相互作用を取り扱うモデル分析には、時間距離・経済距離など概念の相違はあるものの多くの場合に用いられている²⁾。これらは都市間の空間的抵抗を表す指標として用いられる典型的な例であるが、運行頻度や、航空、鉄道、自動車のミックスモードを考慮できる指標を用いることが適切である場合が多い。

②国土の構造と交通利便性に関する分析

四全総で示されている全国一日交通圏の概念³⁾のように、都市や地域の相対的な交通利便性について論じる際にも用いられる。しかし、四全総においても最短到達時間（前章の（１）の定義）を用いており適切な指標であるとは言えない。

③交通の発達過程に関する分析

ある都市間や地域間において交通の発達過程を分析する場合にも用いられる⁴⁾。この際にも、運行頻度の増大という形の交通発達を考慮する必要があり、特に航空機のみから新幹線との併用への変化など交通モードの変化も含めた比較ができる指標が求められる。

4. 滞在可能時間と積み上げ所要時間

以上のような用途を考慮して、従来の所要時間の考え方の問題点を補うものとして、滞在可能時間と積み上げ所要時間の２つの指標を以下に示す。

・滞在可能時間

滞在可能時間は、出発地を、ある一定の時刻（例えば朝６時）以降に出発してある一定の時刻（例えば同日の深夜２４時）以前に再び出発地に帰着する際に、目的地において滞在することが可能な時間と定義する。その特徴については、参考文献¹⁾で考察しているが、運行頻度の影響や乗り換え地点での待ち時間がある程度考慮された実質的

な所要時間を反映するものである。しかし、出発時刻・帰着時刻に、結果が大きく左右されかねないことなどの問題点がある。

・積み上げ所要時間

積み上げ所要時間は、滞在可能時間の問題点をさらに補うもので、以下のように定義する。

２地点間の所要時間は、図１の●点の箇所のように、まず便ごとに求めることができるが、その他の時刻を出発時刻としたときに目的地に到着するまでに要する時間は、次の便の出発時刻までの時間が加わって、図中の右下がりの斜め線のようにになる。そこで、各時刻における目的地までの時間を足し合わせたもの、すなわちこの図ののこぎり状の線の下の部分の面積を積み上げ所要時間と定義することとする。

図１からわかるように、この積み上げ所要時間は、各便の所要時間が小さく、運行頻度が高いほど小さくなり、所要時間と運行頻度の両方を考慮した指標となっている。さらに図２は、２地点間にいくつかの交通モードがある場合の例を示したものである。各時刻ごとの目的地に到着するまでに要する時間を太線に示したように得るので、このような場合にも積み上げ所要時間を定義することができる。

積み上げ所要時間の計算例として、表２は、仙台から東京への利便性の向上を表したものである。航空機から新幹線に変わることによって、最短所要時間の変化よりも、むしろ運行頻度の増加という形でサービスレベル向上が図られた区間であるが、積み上げ所要時間ではそれを示すことができる。同様に、北陸本線や鹿児島本線のように、交通モードが変化しなくても運行頻度が増加している場合などにも用いることができると考えられる。

また、一部の航空路線にみられるように、所要時間も運行頻度も同程度であっても、便が接近して運行されている場合などは同様の利便性であるとは必ずしも言えないが、表３に示した例からもわかるように、このような利便性の差をも、積み上げ所要時間では、明らかにすることができる。

5. 積み上げ所要時間の実証分析

(1)分析の概要

積み上げ所要時間の概念は、運行頻度も考慮した全体的な利便性を表しており、直感的にも利点

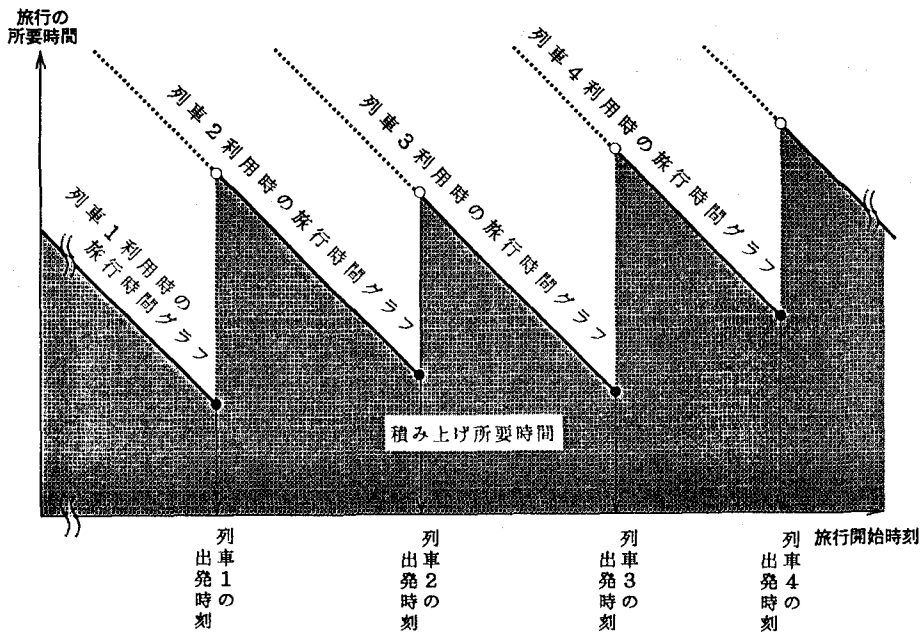


図1 積み上げ所要時間の考え方

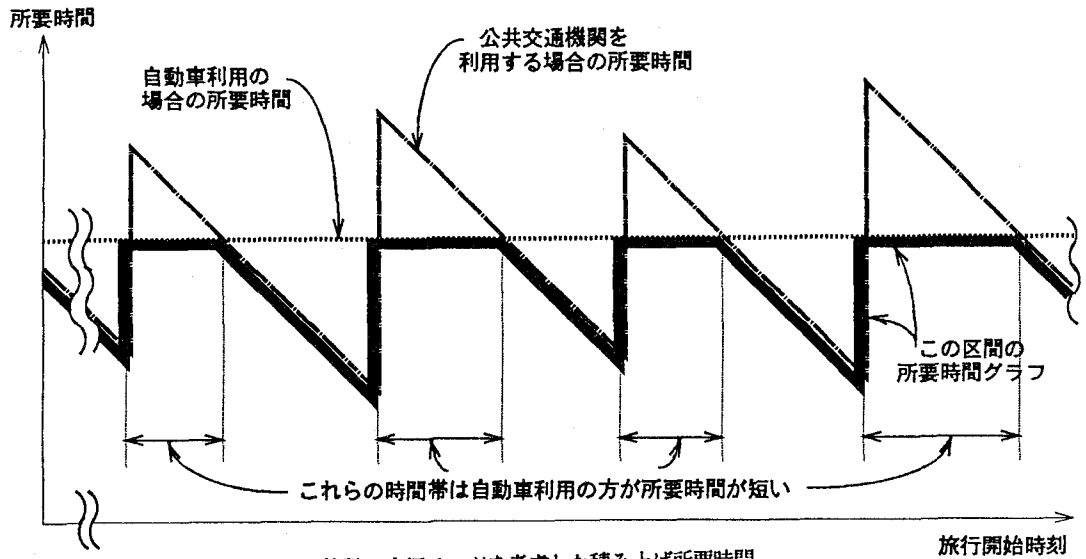


図2 複数の交通モードを考慮した積み上げ所要時間

表2 仙台→東京間の交通利便性の向上

(24時間当たり)

年	最短所要時間	先着便の本数	積み上げ所要時間
1965	2 : 53	11 本/日	150.67 時間 ²
1975	2 : 48	22 本/日	131.92 時間 ²
1985	2 : 30	33 本/日	93.20 時間 ²

が多いと考えるが、以下では、実際のモデル分析に用いたときの妥当性について計算例を用いて検討する。

そのため、まず、西日本の13府県の府県庁所在都市相互間において最短所要時間、滞在可能時間、積み上げ所要時間の概念を用いてそれぞれ所要時間を算出して比較する。次に、各府県間の旅客流動を説明するグラビティタイプのモデルをそれぞれ作成し、その適合性を比較検討する。

(2) 分析の対象と条件

代表地点は各府県庁所在都市の中心駅（鉄道駅）とし、それらの地点相互の所要時間を上記の3つの定義によって求める。

最短所要時間は、最もよく用いられている2章の(1)の定義によるものとし、滞在可能時間は、朝6時出発、夜24時到着の条件で算出する。また、積み上げ所要時間は、定義上24時間を対象とすることもできるが、通常の生活時間帯を考慮して6時～21時における値を算出することとする。

いずれの指標においても、鉄道、航空機の時刻はJR時刻表（1990年3月版）より、自動車の所要時間は、道路時刻表（道路整備促進期成同盟会1990年6月発行）より求める。また、自動車の所要時間は、時間によらず一定とする。

(3) 積み上げ所要時間算出プログラム

積み上げ所要時間は、対象とする時間帯に運行されている利用可能なすべての便の運行ダイヤを検索する必要があり、最短所要時間を求める通常のネットワークプログラムでは算出されない。本研究では、すべての路線のすべての便の時刻表をデータとして入力すれば、駅間・空港間の結節関係や、それぞれの路線の運行系統も考慮したネットワークを自動的に作成し、指定した出発時刻ごとに、すべての目的地の到着時刻が求められるプログラムを作成した。今回の計算では、このプログラムを用いて上述の時間帯における10分刻みの所要時間を算出し、それを積み上げて求めた。

なお、このプログラムは、滞在可能時間の算出

にも応用することができる。

(4) 計算結果とその考察

積み上げ所要時間を求めた結果は、例えば図3、図4のように示すことができ、この図の太線の下面積が積み上げ所要時間となる。図から、1日のうちのある特別な時刻における値のみを表している最短所要時間と比較して全体の利便性を反映できることがわかる。このようにして、13都市相互間において積み上げ所要時間を表4のように求め、さらに、この指標と最短所要時間、滞在可能時間を比較したものを図5、図6に示した。なお、3つの定義を比較するため、滞在可能時間については、目的地に滞在するための移動に必要な実質的な所要時間である（18時間－滞在可能時間）/2を用い、積み上げ所要時間は、積み上げた結果を対象時間帯である15時間で除した平均所要時間を用いている。

図5では、最短所要時間が2～4時間の間に入る区間が非常に多いのに対して、それらの区間の積み上げ所要時間はかなりばらついていることがわかる。これは、積み上げ所要時間では便数の違いが反映されていることによると考えられる。また、図6に示すように、滞在可能時間と積み上げ所要時間は極めて相関が高い。滞在可能時間の計算で用いられる便の利便性が、全体の利便性をかなりよく反映しているものと考えられる。なお、自動車利用の所要時間がどの時間帯でも最も短くなる区間では、3つの定義による所要時間は一致する。

(5) モデル分析

13府県間の旅客ODを表5のような条件で説明するモデルを作成した。その結果も同表に示したが、滞在可能時間、積み上げ所要時間、最短所要時間の順に大きな相関係数を得た。さらに、積み上げ所要時間と最短所要時間を比較するために、実測値とモデル式から算出した計算値の分布を図7に示した。図5の考察で述べたように最短所要時間は、2～4時間のところに値が多く集中して

表3 積み上げ所要時間に現れる利便性の差

(24時間当たり)

区間	最短所要時間	運行本数	積み上げ所要時間
那覇→大阪	1 : 4 5	6本/日(間隔が比較的接近)	224.07 時間 ²
東京→長崎	1 : 5 5	6本/日(比較的等間隔)	151.93 時間 ²

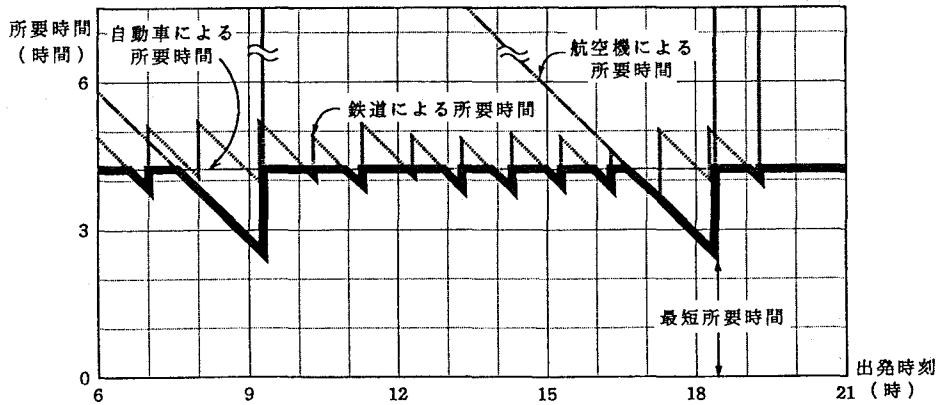


図3 福岡→鹿児島間の積み上げ所要時間

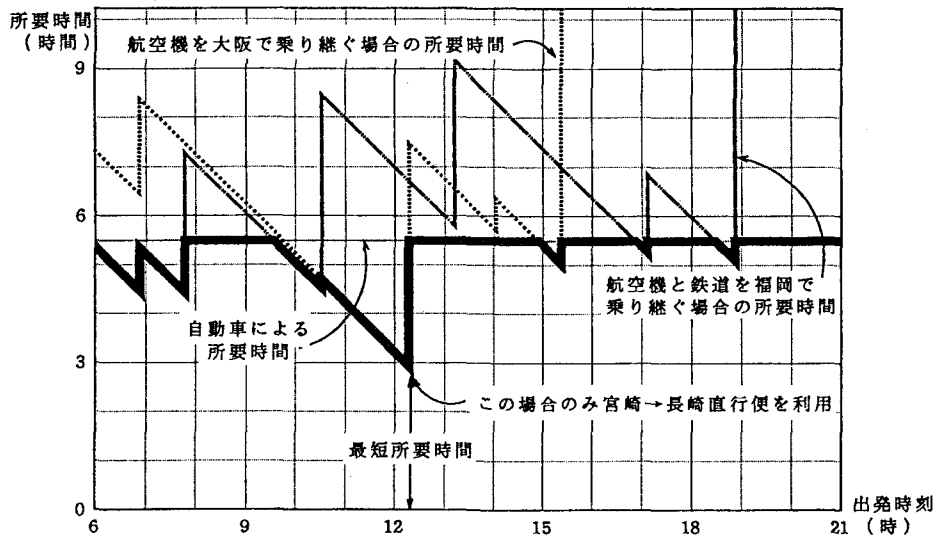


図4 宮崎→長崎間の積み上げ所要時間

表4 積み上げ所要時間より算出した平均所要時間

		目 的 地												
出 発 地	大阪	鳥取	松江	岡山	広島	山口	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	
	大阪	3:37	4:40	1:31	2:27	4:31	3:52	4:55	6:13	5:18	5:23	6:00	7:02	
	鳥取	3:36	2:48	3:11	4:22	5:36	6:17	7:12	8:20	7:55	8:18	9:08	9:46	
	松江	4:52	2:50	3:34	3:18	4:26	5:34	6:26	7:44	6:57	7:29	7:45	8:21	
	岡山	1:29	3:10	3:31	1:06	2:51	2:32	3:41	5:26	4:21	4:14	7:11	7:20	
	広島	2:20	4:21	3:13	1:03	1:51	1:41	2:47	4:21	3:27	3:21	6:03	5:57	
	山口	4:09	5:37	4:22	2:44	1:44	1:47	2:33	3:58	3:12	3:30	5:32	5:27	
	福岡	3:37	6:18	5:39	2:32	1:38	1:47	0:55	2:26	1:39	2:37	3:41	3:39	
	佐賀	4:50	7:14	6:29	3:58	2:46	2:36	0:55	1:41	1:34	3:12	4:02	3:56	
	長崎	6:11	8:37	7:50	6:01	4:31	3:56	2:21	1:37	2:52	4:30	5:15	5:01	
	熊本	5:25	7:55	7:03	4:48	3:34	3:16	1:36	1:35	3:00	3:02	2:58	2:46	
	大分	5:13	8:20	7:35	4:43	3:28	3:33	2:33	3:18	4:42	2:59	4:14	5:46	
	宮崎	5:36	8:31	7:53	6:28	5:45	5:28	3:38	3:59	5:17	2:56	4:14	2:18	
	鹿児島	6:29	9:20	8:10	7:03	5:41	5:25	3:35	3:52	5:02	2:44	5:46	2:17	

いるため、図7（その2）のようにモデルによる計算値も集中して、実績値のばらつきを表現できていない。それに対して積み上げ所要時間の方では実績値に近づく方向に計算値が改善されていることがわかる。なお、滞在可能時間は、図6のように積み上げ所要時間と相関が非常に高いので図示していないが、積み上げ所要時間と同様の傾向である。

(6)分析結果の考察

最短所要時間は、問題点として前述したように、都市間の交通利便性を表しているとは言い難く、特にこのモデル分析から運行頻度に差がある場合に適合性の悪いことが示された。

また、積み上げ所要時間は、運行頻度も加味した指標で、モデル分析においても有効な指標であることが示された。従って、この指標を用いれば、接続の利便性向上や、線増などの輸送力増強による運行頻度の改善など、最短所要時間には反映されにくい交通整備事業の評価を行うことができるほか、航空、鉄道、自動車のミックスモードによる所要時間の算出が可能な点などが利点としてあげられる。しかし、算出に時間がかかること、対象時間帯を設定するとその設定によって結果が異なることなどが欠点としてあげられる。

さらに、滞在可能時間も、出発時刻、帰着時刻の設定によって値が変わるが、積み上げ所要時間

とはほぼ同様の結果が得られており、算出時間が積み上げ所要時間と比較すると格段に短いことを考えると有効な指標であると考えられる。

なお、この分析結果は、重力タイプのモデルを用いて得られたものであり、他の手法に対してもひきつづき分析、検証することが望ましいと考ええる。

6. おわりに

本研究では、都市間の空間的抵抗を表す指標としての所要時間に対して、滞在可能時間と積み上げ所要時間の考え方を示し、おもに積み上げ所要時間についてその特徴等を考察した。これらの指標はいくつかの問題点があるものの、従来の所要時間の考え方と比べて多くの利点を有しており、またモデル分析等への実用可能性も高いことを示した。2つの指標のうちでは、滞在可能時間は実際に滞在できる有効時間を示していることからその意味が理解しやすくまた計算時間も比較的短い、積み上げ所要時間の方がより欠点が少ないと考えられる。

所要時間と運行頻度の両方を考慮したこれらの指標を用いることによって、交通の発達過程の分析や、国土の交通の利便性比較をよりの確に行うことができると考える。また、本研究で作成した積み上げ所要時間計算プログラムは、これらの分

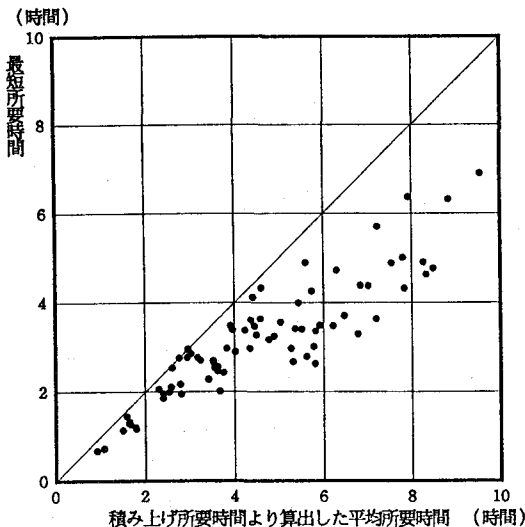


図5 最短所要時間と積み上げ所要時間より算出した平均所要時間との比較

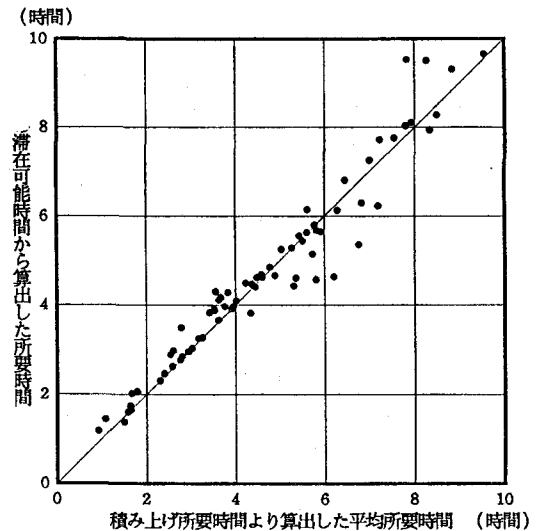
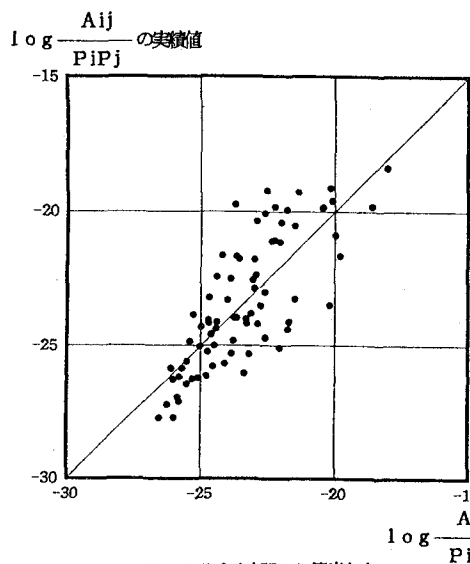


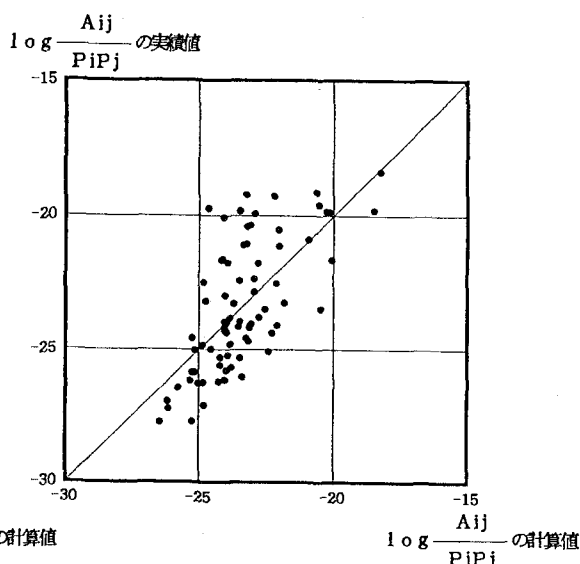
図6 目的地での滞在可能時間から算出した所要時間と積み上げ所要時間より算出した平均所要時間との比較

表5 モデル分析の方法

基本式： $A_{ij} = \alpha \cdot \frac{P_i \cdot P_j}{t_{ij}^a}$		
ただし； A_{ij} ：府県間旅客輸送人員（全機関） 単位：千人／年 （昭和63年度 旅客地域流動調査： 運輸省運輸政策局情報管理部編（財）運輸経済研究センター発行、1990.3） P_i, P_j ：府県人口 単位：人 t_{ij} ：それぞれの所要時間の定義により算出した所要時間 α, β ：パラメータ		
計算方法： 基本式の両辺の対数をとった下式を用いて、線形の回帰分析を行う。 この際、 t_{ij} は区間ijと区間jiの平均をとる。 $\log \frac{A_{ij}}{P_i \cdot P_j} = a + b \cdot \log t_{ij}$		
計算結果： <u>積み上げ所要時間より算出した 平均所要時間を用いた場合</u> $a = -18.31$ $b = -3.65$ $R = -0.7803$ ($R^2 = 0.609$)	<u>潜在可能時間より算出した 平均所要時間を用いた場合</u> $a = -17.75$ $b = -3.99$ $R = -0.7951$ ($R^2 = 0.632$)	<u>最短所要時間を用いた場合</u> $a = -19.67$ $b = -3.52$ $R = -0.6767$ ($R^2 = 0.458$)



その1 積み上げ所要時間より算出した
平均所要時間の分析結果



その2 最短所要時間の分析結果

図7 モデル分析結果

析に対して有効に活用することができる。と考える。

今後の方向としては、費用を考慮できるように拡張することや、重力モデル以外の分析にも応用して有効性の検証を行うことなどが考えられる。

<参考文献>

- 1) 中川大、加藤義彦：都市間交流に対する空間的抵抗を表す指標としての所要時間と潜在可能時間、高速道路と自動車第33巻第12号、pp21～30、1990

- 2) 極めて多数あるが例えば、アイザード（笹田友三郎訳）：地域分析の方法、朝倉書店、1969では、いくつかのモデルが解説されている。
- 3) 国土庁計画・調整局四全総研究会編：第四次全国総合開発計画、40の解説、時事通信社、1987
- 4) 例えば、佐貫利雄：交通機関の高速化と都市の未来像、運輸と経済第33巻第1号、pp11～221、1972