

公共交通における交通時間に関する研究*

A Study on Inter-city Travelling Time in Japan

奥山 育英**・濱口 一起***・高梨 誠***

By Yasuhide OKUYAMA**, Kazuki HAMAGUCHI***, Makoto TAKANASHI***

In the 1960's, the rate of Japan's economic growth was remarkably high. During this time, the population and the socio-economic function were concentrated in cities on the coast of the Pacific Ocean. These cities were called the 'Tohoku Megalopolis'. This concentration resulted in a gap between this region and other regions. Inter-regional traffic is one cause of this gap because ease of travelling, which determines the range of human travelling, is a very important factor in selecting a permanent residence and social activities.

In this paper, authors analyze the degree of the public traffic service of each city in Japan with the measurement of the shortest travelling time, making use of the mass transit network and train and airplane time schedules.

The results of this study improves our understanding of inter-regional traffic service and gives a useful index in regional planning.

1. はじめに

昭和30年代の高度経済成長期における太平洋沿岸域偏重の国土開発政策により、東海道から山陽道にもおよぶ東海道メガロポリスと呼ばれる人口集積地帯が形成され、人口のみならず、経済、そしてあらゆる社会的諸機能がこれらの地域へと集中し、地域間の社会的・経済的格差が深刻な問題となった。

このような地域間格差が拡大した一要因として、地域間交通の利便性の差異が考えられる。すなわち、定住地選定および社会生活を営むうえで人間の

行動範囲を規定する移動、交流の容易さといった交通の利便性が重要な要因となるからである。このことは、新幹線の開通により通勤や営業活動等の移動距離が飛躍的に延びたという事実からも伺える。

そこで、過度に集中した諸機能を適切に地方に分散するために、昭和62年の第4次全国総合開発計画において、地域間を交流ネットワークで結び、相互補完し合う「多極分散型国土」の形成が叫ばれ、全国一日交通圏構想が打ち出された。その結果、全国各地で高速道路、空港、高速鉄道網等、多くの費用を投入し整備が行われ、都市間の交通は非常に便利になったように思われる。その中で、特に鉄道や航空機等の公共交通機関は、私的交通機関を持たない交通弱者の人々、あるいは比較的長距離の都市間移動を行う人々の交通行動に対して大きな影響を与えている。

従来、道路や鉄道網、空港などといった公共交通の基盤整備は国や自治体が行ってきた。しかし、そ

* キーワード：公共交通サービス、最短所要時間
乗り換え回数、最適性原理

** 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部社会開発システム工学科（〒680 鳥取市湖山町南4-101）

*** 学生員 鳥取大学大学院 工学部社会開発システム工学専攻（〒680 鳥取市湖山町南4-101）

の交通基盤の運営は民間企業に委ねられている。つまり、国民の税金によって整備されたはずの交通基盤は民間企業が決定した運行ダイヤでほぼ独占的に運営されているのである。そのために、人口の少ない地方都市では、ダイヤが少ない、乗り換えが不便であるなど公共交通は利用者に対して十分なサービスを提供していないのが実状である。

従って本研究では、急速に整備、拡大された交通基盤の機能を評価するためには、どれだけ整備されているかという単なるハード面からの評価のみならず、実際に利用者が都市間を移動する際の交通所要時間、あるいは乗り換えの状況など、どのように交通基盤が運営されているかというソフト面からの評価が重要ではないかと考えるのである。

なお、交通時間の算定に当たって用いた交通機関は、今回の解析・評価が全国の主要都市間を対象としたことから、JRと航空機に限定し、JRに関しては新幹線、特急および急行とし、一部地域においては快速電車も考慮した。交通機関の発着時刻のデータは1991年9月のJTB時刻表によった。

2. 各種の交通所要時間

地域間の移動に関する時間の評価に当たっては、最短所要時間で行うこととした。これは、現在の日本においては交通ネットワークが整備されており、到着できるか否かということよりも、いかに早く到着できるかということが重要視されていると考えたからである。

ここで、これまで都市間の最短所要時間と呼ばれていたものは、両都市間の一日のなかで最も短い所要時間のことであった。しかし、実際の利用者が都市間を移動する時間帯はそれぞれ異なるため、いつもその最短所要時間で到着できる訳ではない。もっとも、自家用車の場合、道路は渋滞しないと仮定すれば何時に出発したとしても目的地までの所要時間は一定である。しかし、公共交通機関の場合、あらかじめ定められたダイヤによって運行されているために、乗り継ぎの便が悪い、あるいは航空機や特急等の比較的高速の移動手段が利用できないなどの理由により、移動を行おうとする時間帯によって所要時間は変動する。

従って本研究では、公共交通機関の利用者に目的地に向かうための行動目的が発生し、希望時刻までに遅滞なく目的地に到着できるという制約のもとで許される最も遅い出発時刻である「最遅出発時刻」を探索する手法を提案し、最遅出発時刻から目標到着時刻までの時間で定義される最短所要時間を求めて、都市間交通の評価を行うことにする。

2.1 従来の研究における交通所要時間の概念

奥山・田中の研究¹⁾は出発時刻に依存した最短所要時間を、奥山・西村・山本の研究²⁾は、目標到着時刻に依存した最短所要時間を、いずれの研究もダンチヒの最短経路探索法を応用した手法を用いて求めている。

また、天野・中川ほかの研究^{3) 4)}では、運行頻度や滞在可能時間を定義して全体的な利便性を考慮した「積み上げ所要時間」を提案し、新しい所要時間の概念を示している。

道路などの交通基盤や交通機関の整備状況によって交通の特性を考察する研究が数多くされていた中で、これらの研究は、整備状況ではなく公共交通機関における交通の頻度、接続といったスケジュール面に注目し、利用者の利便性を評価しようとする極めて先駆的な研究であった。

しかし、上記の1), 2)の研究ではデータの入力形式を次のように行っている。

71	40	735	755
↑	↑	↑	↑
出発地	到着地	出発時刻	到着時刻
ノード番号	ノード番号		

なお、出発地と到着地は、相い隣り合うノードどうしである。

従って、車輛の運行するルートを定めていなかったため、あるノードが出発地あるいは到着地に選ばれたとき、そのノードから隣のノード、そしてそのまた隣のノードへと逐次最短所要時間で行けるノードを繰り返し探索していき、最終的に目的地あるいは出発地の時刻を抽出するという方式をとっていた。また航空機が使用される場合は、出発地と到着地が1対1対応であるが、JRは複数のノードを次々と経由していくため、車輛の運行時刻がぶつ切りにされたデータ入力方式では、非常に多くの演算

回数が必要となり、さらに乗り換え回数も把握することはできない。

そこで、多数のノードを取り扱う場合は、演算回数をできるだけ少なくすることによって演算時間を節約する効率的な方法を見いだすことが望まれる。

そして、上記の問題を考慮した研究に、奥山・山根・河合の研究⁵⁾がある。この研究では、鳥取市の公共交通機関つまり、バス、JRの運行時刻をルートの経由ノードに対応した形式で入力するといった方式を採用して、あるノードが発源地あるいは到着地に選ばれたとき、そのノード番号を各ルートごとに探索し、ルート上にその番号があればそのルートを記憶し、そのルート上で運行する車輛スケジュールのなかで最短となる所要時間を算定した。また乗り換え回数を制限し、その制限のもとで最短所要時間を求めている。

2.2 本研究での交通所要時間の捉え方

本研究は、2.1 で述べた研究⁵⁾に最も近い立場をとっている。しかし、本研究においては、すべてのノード間について、結ばれているルート番号をあらかじめデータを加工して記憶させておくことによって演算時間をさらに短縮した。また研究⁵⁾では、鳥取市内の移動は2回乗り換えを行えば到着不可能なノードはなく、4回以上の乗り換えを行って所要時間が短縮することはないと考え、3回の乗り換え制限で最短所要時間を求めている。

本研究での演算時間の短縮は、さらに多くの乗り換え回数が必要とされる全国主要都市間を対象地域に指定し、乗り換え回数を制限するのではなく、最短所要時間が算定されたときの乗り換え回数が何回であったかを求めることにより、公共交通機関の利用者の時間的要求を最優先することを可能にした。

3. 交通所要時間の算定法

本章では、まず取り扱う都市間の交通ネットワークについて説明し、公共交通機関とノードおよびアクセス交通の取り扱い方法や作成したデータの入力形式、最遅出発時刻の算定法について説明し、求めた最遅出発時刻から目標到着時刻に依存する所要時間を求めるまでの一連の手法を述べる。

3.1 都市間交通ネットワーク

本研究で取り扱う交通機関は以下のような公共交通機関である。

[a] JRの急行、特急および新幹線

[b] 航空機

[c] 例外として、瀬戸大橋線の快速列車

また、本研究で取り扱う代表ノードは原則として各都道府県庁所在地の各JR駅であるが、以下の代表ノードは便宜上、次のように設定する。

群馬・・・高崎駅
岐阜・・・岐阜羽島駅
滋賀・・・米原駅
大阪・・・新大阪駅
山口・・・小郡駅
鹿児島・・・西鹿児島駅

以上の代表ノードのほかに、乗り換えのために必要な連絡駅および空港を必要ノードとして取り扱うことにする。

ここで、以下に挙げる県庁所在地は、3大都市である大阪、名古屋、東京から100km圏内にあり、私鉄や地下鉄、バス等も発達しており、それぞれ大阪圏内、名古屋圏内、東京圏内と考えても差し支えないので代表ノードから外すことにする。

千葉、横浜、津、和歌山、奈良、神戸

以上のことから、本研究では図1に示す40の代表ノードと68の必要ノードの計108のノードを取り扱うことにした。

3.2 近接ノード間の交通の取り扱い

代表ノードと必要ノードの近接ノード間の交通の取り扱いは、両ノード間にバス、タクシー、地下鉄、私鉄などのアクセス交通が十分発達しているという仮定のもとで、両ノード間の距離から移動時間をあらかじめ設定しておき、アクセス交通を利用する場合は自動的にその移動時間を加算することにより、いつ何時でも自由に往来できるようにした。例えば、各JR駅と最寄りの空港、あるいは東京駅、新宿駅、上野駅の3つのノード間、新幹線駅と在来線駅等は近接ノード関係にあり、上で述べたような処置を施している。

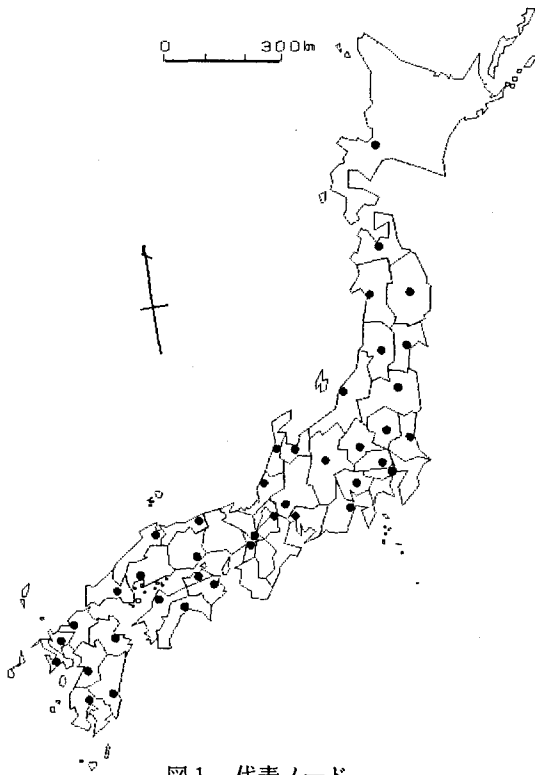


図1 代表ノード

3.3 必要な情報の入力方法

最遅出発時刻算定のために作成したデータは次の3種類である。

【a】対象とした交通機関の路線ルート

【b】【a】のルートに対応する各経由ノードでの発着時刻

【c】【a】のルート上で運行する車両番号

データ【a】は、ある交通機関が経由するルート上のノード番号を並べたものである。本研究では、取り扱うノードを車両の運行状況に応じて決定したルートで結んだ。その際、新幹線駅と在来線駅あるいは空港と駅のような近接のノード間を結ぶルートをも考慮している。このようなルートはタクシーやバスあるいは私鉄、地下鉄などの交通機関で結ばれるために、時刻表で表すことは困難であり、またある意味では、時刻表で表すよりも所要時間を与えて接続を説明しても差し支えないといえる。よって、この場合は2点間のノード番号を並べて入力した後に、その2点のノード番号とその地点間の所要時間を入力している。結果的に、193本のルートです

べてのノードを連結することとなった。

データ【b】は、1991年9月のJTB時刻表をもとにデータ【a】のノードにおける発着時刻を並べたもので、単位は時刻表の形式に従って時分で入力している。

データ【c】はそのルートを運行している車両番号を表したものであるが、例えば、1番ルートを運行している車両は車両番号1番から355番まで、2番ルートを運行している車両は車両番号356番から484番であるといった情報を入力したものである。このデータ【c】を導入することによって、出発地と到着地を結ぶルート番号を計算機が認識したとき、その番号のルートを運行している車両番号の運行時刻のみを判別するだけでよく、計算速度を飛躍的に縮めることが可能になった。

なお、入力した時分単位の詳細は計算の便宜上すべて分単位のデータに変換した。

3.4 最短所要時間の算定手法

最短所要時間の算定に当たっては、目的地に設定した目標到着時刻から逆算する方法で電子計算機を用いているが、多数のノードと膨大な時刻データを扱う場合、通常の最短経路探索のためのネットワーク計算の応用では算定が非常に困難である。

そこで本研究では、より効率的な最短所要時間算定法を開発し、以下にその手順と概要を示す。

- ① 通常の最短経路探索ではノードとリンクによってネットワークを形成しているが、本研究では、車両（列車や航空機）の始発ノードから終着ノードまでを一本のルートとして捉え、車両の運行ルートによってすべてのノードを連結する。従って、例えばJRの列車であれば、始発駅から終着駅までに経由する複数のノードが一本のルートの中に含まれていることになる。
- ② 時刻データは①のルートに対応した形式（3.3で説明した方法）でルート上の各経由ノードにおける発着時刻を入力する。この入力方法により、車両認識番号によって乗り換えを明確に把握することが可能になる。
- ③ 初めに、設定した目標到着時刻までに一度も乗り換えをしないで目的地に到着できる出発地ノードの最遅出発時刻を求める。

次に、乗り換えを行うときの最遅出発時刻を以下の手順で求める。

1回の乗り換えを行って目的地に到着する出発地の最遅出発時刻は、先に求まっている乗り換えを行わない場合の各出発地の最遅出発時刻までに到着できれば最終目的地に到着することができることから、乗り換えを行わないときの出発地ノードを目的地に、その最遅出発時刻を目標到着時刻に置き換えて、新たな出発地ノードの最遅出発時刻を乗り換えなしのときと全く同じアルゴリズムで求めることができる。その際求まった最遅出発時刻が最終目的地への最遅出発時刻となる。これは、以下に示すようなRichard Bellmanの“最適性の原理”による最短経路問題⁶⁾の概念を利用したものである。

- ④ 出発地を i 、到着地を j 、乗り換えなしで移動する場合の列車番号あるいは便名を m としたとき、目標到着時刻 d までに j に到着する場合の出発地 i における出発時刻を $t(i, j, d, 0, m)$ 、 N 回の乗り換えを行い、その他は同一の条件で交通機関を特に問題としない場合の最遅出発時刻を $T(i, j, d, N)$ と定義する。到着地 j へ、乗り換え 0 回で到着できる出発地の集合を K_0 、乗り換え 1 回で到着できる出発地の集合を K_1 、乗り換え n 回で到着できる出発地の集合を K_n とすると、出発地 i から到着地 j への最遅出発時刻 $T^*(i, j, d)$ は次の方法で求めることができる。

乗り換えが 0 回の場合の出発地 K_0 の最遅出発時刻 $T(i, j, d, 0)$ は、

$$T(i, j, d, 0) = \max_m t(i, j, d, 0, m)$$

乗り換えが 1 回の場合の出発地 K_1 の最遅出発時刻 $T(i, j, d, 1)$ は、

$$\begin{aligned} T(i, j, d, 1) &= \max_m t(i, j, d, 1, m) \\ &= \max_m t(i, k, d_k, 0, m) \end{aligned}$$

(ただし、 $k \in K_0$ 、 $d_k = T(k, j, d, 0)$)

乗り換えが 2 回の場合の出発地 K_2 の最遅出発時刻 $T(i, j, d, 2)$ は、

$$\begin{aligned} T(i, j, d, 2) &= \max_m t(i, j, d, 2, m) \\ &= \max_m t(i, k, d_k, 0, m) \end{aligned}$$

(ただし、 $k \in K_1$ 、 $d_k = T(k, j, d, 1)$)

一般に、乗り換えが n 回の場合の最遅出発時刻 $T(i, j, d, n)$ は、

$$\begin{aligned} T(i, j, d, n) &= \max_m t(i, j, d, n, m) \\ &= \max_m t(i, k, d_k, 0, m) \end{aligned}$$

(ただし、 $k \in K_{n-1}$ 、 $d_k = T(k, j, d, n-1)$)

これを乗り換え回数が N 回になるまで繰り返して、 $T(i, j, d, n)$ ($n=0, 1, 2, \dots, N$) を求める。

- ⑤ ④の作業によって出発地 i から到着地 j への最遅出発時刻 $T^*(i, j, d)$ は次式で与えられる。

$$T^*(i, j, d) = \max_n T(i, j, d, n)$$

つまり、出発地 i における N 個の最遅出発時刻の中の最大値が、求めようとする $O D$ ペアの最遅出発時刻 $T^*(i, j, d)$ として与えられる。

- ⑥ 最終的に、目標到着時刻 d に依存する最短所要時間 T^* は次式によって求めることができる。

$T^* =$ 目標到着時刻 d - 最遅出発時刻 $T^*(i, j, d)$ 従って、この T^* は交通時間と乗り換え待ち時間の合計値である。

4. 算定結果

4.1 結果

目的地における目標到着時刻を 10 時、12 時、14 時、16 時、18 時に設定し、取り扱った 108 個のすべてのノードにおいて最遅出発時刻および最短所要時間とその際の乗り換え回数を求めて、以下のような算定結果が得られた。なお本研究では、状況に応じて山本・西村・奥山の研究で算定された 1988 年の算定結果との比較を行っている。

また、以下の記述で用いられる(出発地)とは、全国 36 の主要都市を対象として、ある都市を出発してその都市を除いた他の 35 都市へ行く場合を意味する。また(到着地)とは、ある都市へその他の都市から来る場合を意味する。

1) 到着時刻に依存する最短所要時間(出発地)

出発地の都市から設定された時刻に出発し、他の各都市に到着する最短所要時間を 5 つの出発時刻について平均をとり、上から小さい順に並べた結果を図 2 に示した。図中の縦の破線は平均値を表す。また、同時に算定された乗り換え回数の平均を表 1 に示した。さらに、1988 年の平均最短所要時間との差をとって、その結果を図 3 に示した。

2) 最短所要時間の(出発地)と(到着地)の相関

縦軸に出发地、横軸に到着地の最短所要時間の平

均をとって、その相関結果を図4に示した。

ここで、傾き45度の直線上では両方の最短所要
均をとって、その相関結果を図4に示した。

ここで、傾き45度の直線上では両方の最短所要
時間が等しいことを意味している。

3) 最短所要時間と距離の相関（出発地）

縦軸に最短所要時間の平均、横軸に各都市間の平
均距離をとって、その相関結果を図5に示した。

ここでいう平均距離とは、1つの都市からその他
の35都市間を直線距離で測り、その総和を35で
除した値である。

4.2 考察

図3より、ほとんどの都市の最短所要時間が3年
間で短縮されていることが分かり、交通サービス
の中でも特に速達性の向上が見られる。また、新幹線
の沿線以外の都市でも、航空便が増えたり新幹線駅
へアクセスするダイヤが充実すれば所要時間が短縮
されることが明らかになった。

さらに表1より、九州地方から他の地方に移動す
る際に、全体的に多くの乗り換え回数が必要とする
傾向が見られる。これは、特急や航空機などの長距
離を運行する交通機関の運行頻度が少ないという現
状を反映しているためであると考えられる。

また図4からは、所要時間が大きい九州地方や首
都圏である関東地方において、他の地方への移動能
力が優れていることが分かる。逆に、四国地方や松
江、佐賀といった都市は移動能力が乏しいことも浮
き彫りにされる。

次に図5を見ると、約7割の都市は他の35都市
への平均距離が600km以内である。その中で、
鳥取、松江、四国地方の最短所要時間の大きいこと
が注目される。また、札幌、青森、鹿児島等の各都市
の最短所要時間は大きい、それは距離に依存して
いるためである。

この札幌、青森、鹿児島等の最短所要時間につい
ては、鳥取、松江、四国地方の最短所要時間と似か
よっていることから、平均距離が大きくても航空機
の便数や長距離特急などの運行などによって比較的
移動能力が優れていると考えられる。

最後に、本研究で開発した多数のノードを取り扱
うときの最短所要時間算出法をより汎用性のあるも

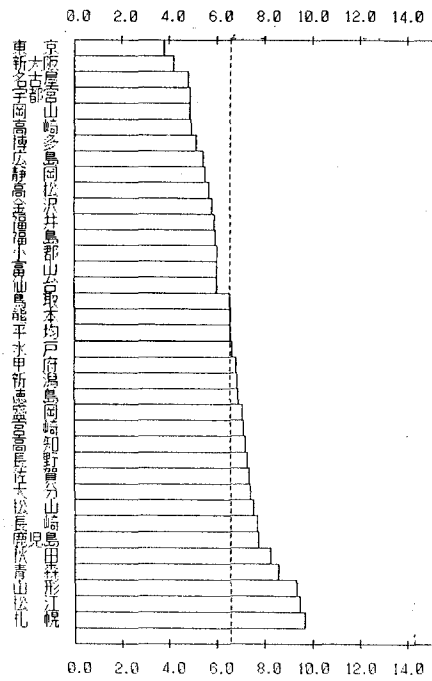


図2 平均最短所要時間（出発地）

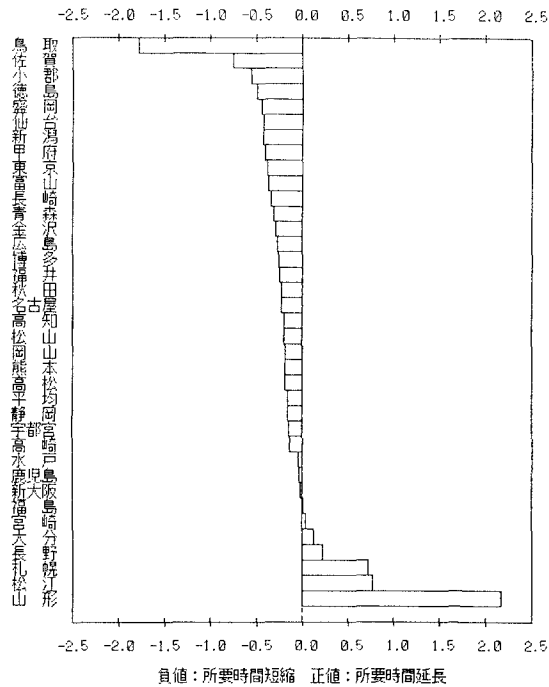


図3 1988年の平均最短所要時間との差（出発地）

表1 乗り換え回数の平均（出発地）

番号	ノード名	平均乗換回数	番号	ノード名	平均乗換回数
1	札幌	3.1回	20	新大阪	1.5回
2	青森	2.7回	21	鳥取	2.1回
3	盛岡	2.4回	22	松江	2.4回
4	仙台	2.2回	23	岡山	1.6回
5	秋田	2.4回	24	広島	1.9回
6	山形	2.7回	25	小郡	2.4回
7	福島	2.2回	26	徳島	2.8回
8	水戸	2.3回	27	高松	2.3回
9	宇都宮	2.3回	28	松山	2.7回
10	高崎	2.2回	29	高知	2.9回
11	東京	1.4回	30	博多	2.2回
12	新潟	2.1回	31	佐賀	3.0回
13	富山	2.2回	32	長崎	2.8回
14	金沢	2.1回	33	熊本	2.8回
15	福井	2.1回	34	大分	3.0回
16	甲府	2.6回	35	宮崎	3.1回
17	長野	2.4回	36	西鹿児島	3.0回
18	静岡	1.8回		平均	2.3回
19	名古屋	1.5回			

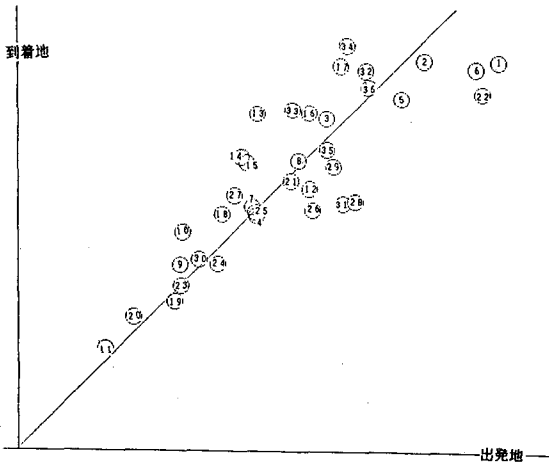


図4 最短所要時間の出発地と到着地の相関

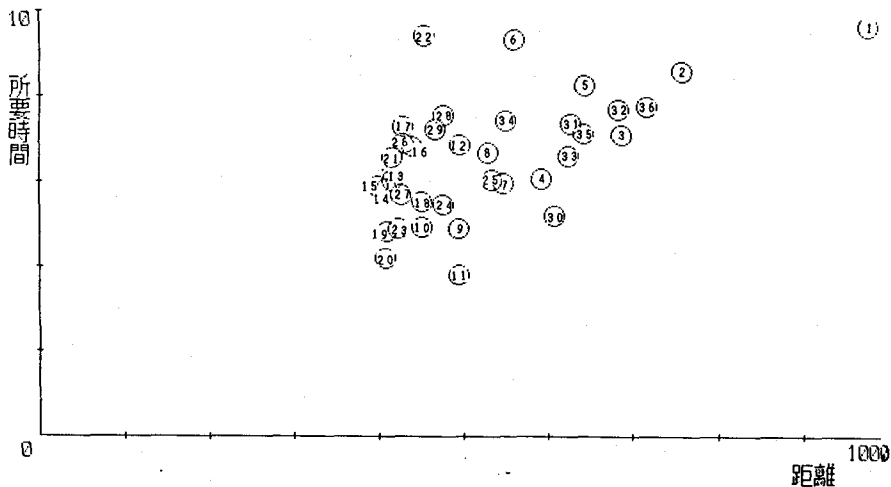


図5 平均最短所要時間と平均距離との相関（出発地）

のに発展させるために、次のような点において考察をしておく必要がある。

1) ノードの数について

本研究で扱ったノード数は108個であったが、これよりさらに2倍、3倍ものノード数を取り扱う場合、本研究で提案した方法が有効であるかどうかには若干の疑問が残る。多くの配列を使用するために、配列宣言の段階で言語自体が持つメモリ領域を確保することができないためである。

しかし、この程度、あるいはこれ以下のノード数を取り扱う場合、本研究のようにルートを定め、そのルートに対応した形式で時刻データを入力するとともに、配列を計算機の限界に近い状態まで確保することにより、すべての2点間ノードを結ぶルート番号を記憶させることや、演算回数自体を減らすために、必要な車両の運行時刻データを呼び出す制御データなどの多くの情報を記憶しておくことによって、演算速度の飛躍的な短縮化が可能であるという

ことが実証された。

2) ルートの数と決定方法

本研究が提案した手法においてルート数はさほど演算時間に影響はない。すべての2点間ノードのルート番号が配列に記憶されているために、ルートのデータの中で出発地なり到着地なりのノード番号を探索する作業がなくなったためである。

また、ルートの決定方法についても比較的自由に決定されることが許されるが、ルートに対応した時刻データを入力するといったことを考慮して、できるだけ始発駅から終着駅までを1つのルートにすることにより、時刻データの入力が容易になる。

5. 今後の方向

本研究では、従来あいまいにされていた最短所要時間が算定された場合の乗り換え回数を明確に表すことが可能になったが、その乗り換えが生じる際、車輛番号もしくはルート番号を追求していくことによって、どのような経路が利用されたかが把握することができ、具体的にどの路線の運行スケジュールが都市間移動の際のボトルネックになっているかを明らかにすることが可能となる。

また、何時に出発すれば希望時刻に目的地に遅滞なく到着できるかを利用者に伝える情報提供ソフトとしての可能性も秘めている。

さらに、新たなルートを代替案として組み込み、そのルートを運行する車輛のスケジュールを仮想的に設定すると、その都市の交通所要時間がどのように変動するかを把握することも可能である。そうすることにより、本研究のようなソフト面での評価が交通基盤整備を実施する上での評価の重要な裏付けにもなり得る。

6. おわりに

本研究は、都市間の交通移動の利便性を交通基盤の整備状況といったハード面での評価ではなく、実際の公共交通機関における都市間の交通所要時間といった運行スケジュールに重点をおいたソフト面の評価を行うための基礎的な研究であるということが出来る。

また本研究では、従来より用いられていた到着時刻に依存した最短所要時間の算定に関して、演算時間の大幅な短縮と乗り換え回数の明確化を実現し、最短所要時間に関する様々な指標を作成して、過去の算定結果と比較しながら考察を行った。ただし、計算結果は非常に膨大であり、ここで述べたのはそのうちの一部であることを明記しておく。

総じて、最短所要時間により利便性が高いとされた都市群、低いとされた都市群が浮き彫りにされたが、全体としては3年前よりも利便性が良くなっているといえる。しかし、今回の解析では公共交通機関の利用者数には全く触れておらず、地方の人口の少ない都市が交通サービスの面から良くない結果が出たが、今後、利用者数で重み付けをすることにより、人口過密地域でのサービス不足や人口過疎地域でのサービス過剰というケースも割り出すことができると思われる。さらに、利用者の交通の目的、交通機関の容量、交通費用なども考慮して、より客観的な評価指標を算定することが望まれる。

最後に、本研究によって得られた算定方法と算定結果が、今後の地域開発計画における地域間交通格差是正のための評価指標として広く認識され、有用なものとして利用されることを期待して止まない。

参考文献

- 1) 奥山育英・田中善之：地域間交通の利便性の観点から見た地域格差に関する一考察，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集，pp. 140~141，1989.
- 2) 奥山育英・西村耕志・山本篤志：全国主要都市間交通の利便性に関する研究，鳥取大学工学部研究報告第21巻，pp. 249~256，1990.
- 3) 天野光三・中川大輔：滞在可能時間を用いた地域間移動時間の変遷，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集，pp. 632~633，1991.
- 4) 天野光三・中川大輔：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.
- 5) 奥山育英・山根哲朗・河合宏：鳥取市の公共交通サービスに関する研究，土木計画学研究・講演集13，pp. 639~644，1990.
- 6) 杉山昌平：動的計画法，pp. 7~34，日科技連，1975.