

道路網を対象とした時間距離行列の視覚化

Visualizing the Time Distance Matrix of Road Network

梶谷有三*・田村 亨**・斎藤和夫***

by Yuzo MASUYA, Tohru TAMURA and Kazuo SAITO

1. まえがき

道路網の整備効果あるいはサービス水準等の評価指標および評価法については従来から多くの研究が行われてきたが、道路網整備が地域間・都市間相互の所要時間（時間距離）の短縮にどの程度効果を発揮しているかを視覚的に把握する方法については必ずしも十分に行われていない。都市間の時間距離は、高速性、経済性あるいは快適性など道路利用者のサービス水準を表わす指標の中でも最も基本的なものである。そこで、本研究は高速道路等の高規格幹線道路網の整備が都市間相互の時間距離をどの程度短縮させ、ひいては道路利用者に対する利便性ある都市間の交流可能性等をどの程度増大させたかを視覚的に把握する手法について考察を試みる。すなわち、道路網整備に伴う都市間の最短所要時間から作成される時間距離行列の視覚化を試みるものである。このような視覚化は、道路網整備によって都市間の連絡強化あるいは交流の円滑化、さらには道路網全体の利便性がどの程度図られたかを視覚的に容易に把握することができる。特に、時系列的な比較検討は道路網の進展に伴う都市間の近接性や道路ネットワークの変容等をも容易に解明することが可能となってくる。

本研究においては、まず対象とする道路網がネットワークシステムである特質を踏まえて、グラフ理論および幾何学的手法を基礎に各都市を2次元の空間上に配置する時空間マップの作成手法について考察した。

キーワード：道路計画、時間距離行列、時空間マップ、近接性指標

* 正会員 工博 苫小牧工業高等専門学校助教授
土木工学科（〒059-12 苫小牧市錦岡443番地）
（TEL 0144-67-0211, FAX 0144-67-8028）

** 正会員 工博 室蘭工業大学助教授
建設システム工学科（〒050 室蘭市水元町27-1）

*** 正会員 工博 室蘭工業大学教授
建設システム工学科（〒050 室蘭市水元町27-1）

その結果、道路網形態および各都市の相対的位置付けを損なうことがなく、各都市間の時間距離を考慮した地図を作成することができた。しかしながら、時間距離行列を正確に表現するような地図の作成は不可能であることから、時空間上に再現された都市の配置による地図は、必ずしも通常の地図と同じような距離精度を期待することはできない。また、地図を通して道路網全体あるいは各都市においてどの程度道路網整備によって利便性が増大したかを計量的に評価することはできない。そこで、本研究ではさらに、道路利用者からみた道路網全体および各都市の利便性を計量的に評価することができる指標を近接性を表わすアクセシビリティ指標の考え方を基に考察した。その結果、道路網整備に伴う利便性の変化を計量的に、さらに視覚的に把握することができる近接性指標を開発することができた。そして、この指標を通して道路網全体および各都市ごとに種々の分析を試みた。

2. 時空間マップの作成手法

各都市を時空間上に配置するためには、多次元尺度構成法などと同様に時間距離行列から各都市の座標値を算定しなければならない。しかしながら、時空間上におけるすべての都市間の距離を当該都市間の時間距離に等しくするような地図作成は不可能である。本研究では、リンク（道路区間）によって結合されている都市間の時空間上の距離が当該都市間の時間距離に等しくなるような各都市の座標値算定をグラフ理論および幾何学的手法を基礎に試みた。

ネットワークとして表現できる道路網は、一般にノード（都市）、リンクおよびループ（閉路）から構成されている。そこで、本研究では各ループごとに、各ループを構成しているノードの座標値を順次算定する方法を考えた。いま、対象とする道路網が n 個のノード、 m 本のリンクおよび z 個のループから構成さ

れているものとする。各のノードの座標値算定のためのループの順位付けの手順は以下となる。

1) 対象とする道路網に対して接続行列 A ($n \times m$) およびループ行列 R ($z \times m$) を作成する。ここで、 A の要素はリンクがノードに接続しているとき 1、そうでないとき 0 を取る。また、 R の要素はループがリンクを含むとき 1、そうでないとき 0 を取る。

2) ループ行列 R と接続行列 A の転置行列から行列 S を求める。ここで、行列 S ($z \times n$) の要素は、ループがノードを含むとき 2、そうでないとき 0 を取る。

$$S = R \cdot A^T \quad (1)$$

3) 基準ノードを 2 つ決め、そのノードを含むループの順位を 1 とする。

4) 手順 2) で求められている行列 S の要素の値から、順次各行 (ループに対応する) を検索して、他のすべてのループの順位付けを行う。

以上のような手順を通してループの順位付けを行うとともに、ループを構成する各ノードの座標値を順次算定する。このとき、ループは 3 個、4 個および一般には n 個のノードから構成されるが、ここではノードの個数が 3 および 4 個の場合の座標値算定について考えた。

1) ループを構成するノードが 3 個の場合

この場合は、3 つのノードのうち 2 つのノード A , B の座標値 (X_a, Y_a) , (X_b, Y_b) が既知であることから、他の 1 つのノード C の座標値 (X_c, Y_c) を式 (2)、(3) 三角形の幾何公式を通して求める問題となる。

$$X_c = \frac{c^2 - a^2 + b^2}{2c} \quad (2)$$

$$Y_c = \frac{\sqrt{\{a^2 - (c-b)^2\} \{ (c+b)^2 - a^2 \}}}{2c} \quad (3)$$

ここで、 a : ノード B , C 間の時間距離

b : ノード A , C 間の時間距離

c : ノード A , B 間の時間距離

なお、式 (2)、(3) から求められる座標値は、ノード $A(0,0,0)$, $B(c,0,0)$ がそれぞれ X 軸上にあるとしたときの値であることから、実際にはノード A の座標値を基準に、さらに修正する必要がある。

2) ループを構成するノードが 4 個の場合

この場合は、4 つのノードのうち 2 つの座標値が既知であることから、他の 2 つのノードの座標値を求め

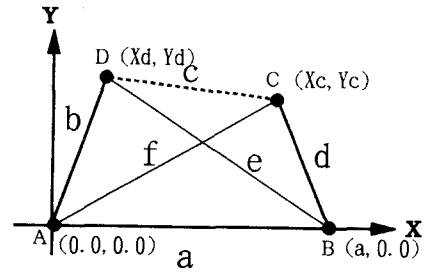


図-1 座標値算定の概念図

る問題となる。いま、図-1 に示すように、 X 軸上のノード A , B を座標値既知点とし、ノード C , D を未知点とする四角形を考える。図中の $a \sim f$ は、それぞれ都市 (ノード) 間の時間距離である。未知点 C , D の座標値は、それぞれ三角形 ABC , ABD から式 (2)、(3) で求められるが、ここではさらにノード間の距離が当該都市間の時間距離 c に等しくなるような座標値算定を試みた。そして、2 つの対角線の長さの比を $m (= f/e)$ としたとき、ノード C , D の座標値は e あるいは f に関する 6 次方程式 (実際には 3 次方程式) として求めることができる。なお、この場合も基準とするノードの実際の座標値を基に修正する必要がある。

ループを構成するノードの個数が 5 以上の場合においては、幾何学的手法を通して直接算定することが困難であることから、前述の三角形および四角計を基に座標値算定を試みた。

3. アクセシビリティに基づいた近接性指標

アクセシビリティ (Accessibility) を定量的に示す定義としては、道路サービス・レベルを表す指標としても、ある地点に関する回りの移動の可能性、活動の可能性を表すポテンシャルの概念に至るまで、種々の幅広い概念がある。本研究においては、後者の活動の可能性の尺度いわゆる「活動の機会 (Opportunity) のポテンシャル」を表すアクセシビリティ指標のうち、累積機会指標 (Cumulative-opportunity Measures) に属する Black 等の指標を基に考察する。この指標は、アクセシビリティを図示的に表現できるとともに、指標の算定も容易である。

前述のように都市 (ノード) の数を n としたとき、時間距離行列は $(n \times n)$ となることから、近接性指標の算定は対角要素を除く $n(n-1)$ 個の OD ペアを対象に算定を試みる。近接性指標を算定するための概念図が図-2 である。図-2 の横軸は、都市間の時間距離を、縦軸は対象とするすべての OD ペアのうち、

ある時間以内に到達可能なODペアの累積比率である。そうすると、道路網全体の近接性指標は、対象とする都市間のODペアを時間距離の大小順に並び変えるとともに、並び変えられたODペアの順に累積比率をプロットすることによって図示できる。また、各都市の近接性指標は、対象とする都市*i*と他の都市*j*間の時間距離によって都市*j*を並び変えるとともに、並び変えられた都市*j*の累積比率を求めることによって同様に図示できる。

道路網全体の近接性指標の値ANは式(4)に示すように、横軸の時間軸、累積比率を表す曲線およびある設定された時間(*T*)の縦軸で囲まれた面積として求めることができる。また、都市*i*の値*Ki*も同様に式(5)で算定できる。なお、本研究ではある設定された時間*T*を限界時間という。

$$AN = \int_0^T A(x) dx \quad (4)$$

$$Ki = \int_0^T Ai(x) dx \quad (5)$$

指標ANおよび*Ki*を算定するとき、曲線*A(x)*、*Ai(x)*を定式化することは一般に困難であることから、実際には台形公式等を用いて求められる。なお、式(4)を部分積分すると式(6)となることから、指標ANを式(6)で算定することも可能である。

$$AN = A(T) \cdot (T - t_T) \quad (6)$$

ここで、*t_T*: 限界時間*T*以内に到達可能なすべてのODペアの平均時間

この近接性指標は図-2からも理解できるように、近接性が優れているときには囲まれる面積も大きくなることから、指標の値も大きな値をとる。すなわち、近接性指標が大きい値を取るときには、時間距離が短い所に到達可能な多くの都市があることを意味している。したがって、これらの指標を通して道路網全体あるいは各都市における道路利用者に対する利便性の程度を視覚的、さらには計量的に容易に評価することができる。この指標は図-1に示されているように、異なる限界時間に対する近接性指標の値をも容易に算定できるとともに、指標の違いも視覚的に容易に算定できる。また、異なる年次の近接性指標を同じグラフ上に描くことができることから、道路網整備に伴う利便性の増大等も視覚的に容易に理解できる。さらに、各都市の近接性指標をも同じグラフ上に描くことができることから、各都市の近接性の違いも容易に把握することができる。

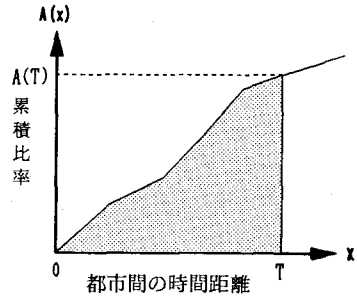


図-2 近接性指標の概念図

4. 計算例

本研究においては、高規格幹線道路等の整備が地域全体の利便性あるいは都市間相互の時間距離短縮にどの程度効果を発揮しているかを把握するために、図-3に示す札幌を中心とした18市町を対象に1970、1989、2020年それぞれを対象に時空間マップの作成および近接性指標の算定を試みた。各年次の時間距離行列は、当該年次の道路網の整備状況をもとに各都市間の最短所要時間から作成した。すなわち、1970年は高規格幹線が整備されていない道路網、1989年は高速道路の一部が開通(札幌および道央自動車道)した道路網、さらに2020年は日高自動車道等の高規格幹線が整備された道路網である。

時空間マップは、図-3に示すように18個のノード、28本のリンクおよび11個のループを対象に作成を試みた。ここでは、苫小牧と室蘭を基準ノードとし、これらの都市を含むループを順位1として、式(1)の行列*S*から順次他のループの順位づけを行って座標値算定を行った。そして、すべてのリンクの長さを当該都市間の時間距離に等しくした各年次の時空間マップが図-4である。これらの時空間マップの再現性を評価するための3つの適合度指標(RMS誤差、不一致係数、クラスカル)は、それぞれ1970年(17.87、0.049、0.097)、1989年(19.78、0.065、0.130)、2020年

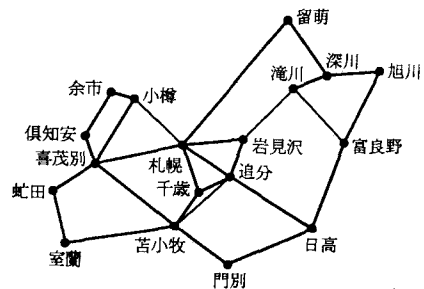


図-3 対象道路網

(24.63, 0.094, 0.200) であった。これらの結果よりも、2.で述べたアルゴリズムを通して再現性の高い時空間マップを作成することができた。

道路網の変容を探るため、X軸、Y軸それぞれの最遠点の都市間の座標値から面積の変化を求めたところ、それぞれ7842、5450、4299であった。また、面積の比率の変化は、70年を1としたとき、89年および20年はそれぞれ0.695、0.548であった。

次に、3.で述べた道路網全体の近接性指標を算定するために作成した各年次のグラフが図-5である。高速道路をはじめとする高規格道路の整備に伴って、道路網全体の利便性が增大していることがグラフからも視覚的に容易に理解できよう。すなわち、グラフが70年から89年、そして89年から20年へと全体的に左にシフトしていることから把握できよう。限界時間を360分としたときの近接性指標の値は、それぞれ70年193.7、89年221.7、20年247.1であった。式(5)を通して各都市の近接性指標を求めてみたところ、70年においては岩見沢の最大値(238.1)から留萌の最小値(155.4)であった。全体的には道路網上の地理的位置によって値も異なっているようである。一方、年次別の変化をみると、70年から89年においては滝川、深川、室蘭、89年から20年においては余市、虻田、留萌などいずれも高規格道路が整備された都市において近接性が增大している。

5. あとがき

以上、本研究においては高速道路等の道路網整備が道路利用者に対する利便性あるいは都市間の交流可能性などをどの程度増大させたかを視覚的に、また計量的把握するために、時間距離行列をもとに時空間マップの作成および近接性指標の開発を行った。時空間マップは、グラフ理論の接続行およびループ行列を基に道路網を構成するループの順位付けを行うとともに、幾何学的手法を基礎に各都市の座標値算定を行って作成した。その結果、簡単な行列演算を基礎にしたアルゴリズムを通して時空間マップを作成することができた。また、道路利用者の利便性を計る指標としての近接性指標をアクセシビリティの考え方を基礎に開発した。その結果、異なる限界時間に対する近接性指標をも容易に算定できるとともに、指標の違いも視覚的に把握できる。さらに、異なる年次の近接性指標も同じグラフ上に描くことができることから、道路網整備に伴う利便性の増大等をも視覚的に容易に理解することができる。

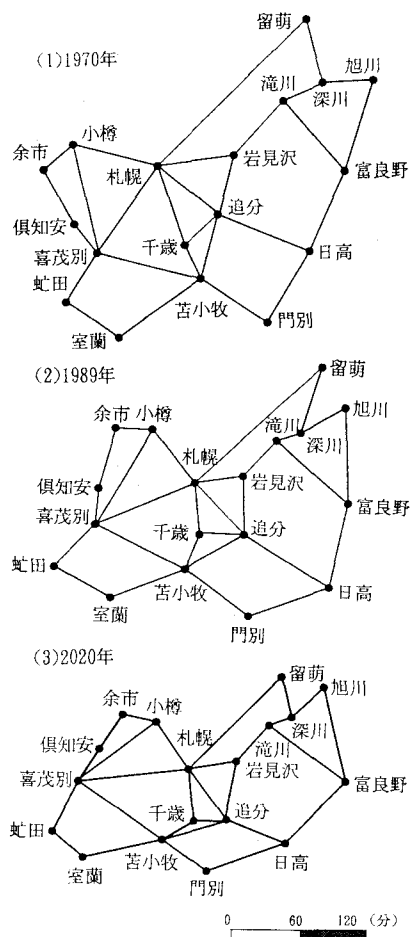


図-4 各年次に対する時空間マップ

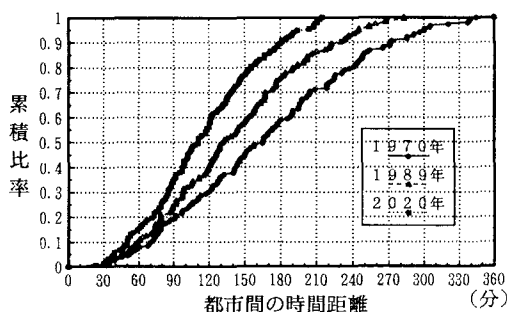


図-5 各年次に対する近接性指標

<参考文献>

- 1) 清水英範：時間地図の作成手法と応用可能性、土木計画学研究・論文集、No.10、1992
- 2) J A Black・M Conroy: Accessibility measures and the social evaluation of urban structure, Environment and Planning A, Vol.9, 1977