

IV-20

時間距離行列からの地図作成手法に関する研究

苫小牧工業高等専門学校

正員 榎谷 有三

室蘭工業大学工学部

正員 田村 亨

室蘭工業大学工学部

正員 斉藤 和夫

1. まえがき

本研究は、対象とする道路網のネットワーク形態及び既存道路網上における各都市の相対的位置づけを損なうことなく、高規格幹線道路等の道路網整備に伴う都市間の時間距離短縮を考慮した時空間マップ（地図）の作成手法について考察を試みたものである。

時空間上に再現された都市の配置による地図化は、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がどの程度図られたかを視覚的に把握するうえで有用である。また、地域格差の是正を図るためには今後どの都市間の道路整備を促進すべきかを考究できる。さらに、時空間マップの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解明することが可能となってくる。

そこで、本研究は対象とする道路交通システムがネットワークシステムである特質を踏まえて、クラスター分析及びグラフ理論を基礎に各都市を2次元の空間上に配置して時空間マップ（地図）を作成する手法について考察する。

2. 時空間マップの作成手法

時間距離行列（非類似度行列）から時空間マップを作成することは、地図上から都市間の距離を示す表（時間距離行列）を作成することとは逆に、与えられた都市間の時間距離行列（表）から地図を作成することである。この時空間マップの作成手法については、多次元尺度構成法の適用を中心に計量地理学の分野で多くの研究が行われてきた。著者等は、前述のように道路網形態及び各都市の相対的位置づけを損なうことのない時空間マップを作成するために、図-1に示す手順のうち Spanning Treeを構成



図-1 時空間マップの作成手順

するリンクを基にした座標値算定手法まで考察してきた。このとき、Spanning Tree を構成するリンク（以下、木リンクという）を基に作成された時空間マップにおいて、木リンクによって結合されている都市間の距離は当該都市間の時間距離に等しい。しかしながら、Spanning Tree に含まれていないリンク、すなわち Co-Tree（補木）に属するリンク（以下、補木リンクと言う）によって結合されている都市間の時間距離は、必ずしも当該都市間の時間距離に等しくなっていない。また、作成された地図も既存道路網の形態を反映したものになっていない場合もある。

そこで、本研究では木リンクを基に算定された各都市の座標値を踏まえて、さらに補木リンクの長さをも当該リンクによって結合されている都市間の時間距離に等しくなるような各都市の座標値修正法について次節で考察する。

3. 補木リンクの時間距離を考慮した座標値修正法

いま、 n 個のノード（都市）、 m 本のリンクからなる道路網を対象としたとき、木リンクは $(n-1)$ 、補木リンクは $(m-n+1)$ となる。このとき、 $(m-n+1)$ 本の補木リンクのうち、いずれの補木リンクより順次リンクの長さを当該リンクによって結合されている都市間の時間距離に等しくするかという問題がある。すなわち、補木リンクの長さを修正することは、リンク両端点いずれかの都市の座標値を修正させるとともに、修正された都市と木リンクとで順次結合されている他の都市の座標値をも修正させることになる。また、何本かの補木リンクが連結しているノードにおいては座標値修正の計算が困難な場合も考えられる。そこで、本研究では図-1の手順で求められる Spanning Tree に対してある基準ノードに対する根木（樹木）（Rooted Tree）を作成できること、及び補木リンクを Spanning Tree に付加すると閉路（ループ）ができることに着目して次のような大きく2つの手順を通して座標値修正法を試みた。

前者は、ある基準ノードに対して作成される根木を基に補木リンクを分類するとともに、座標値修正を行うための補木リンクの順位を決めるようとするものである。一方、後者は補木リンクを付加することによって作成される閉路を対象に、座標値修正計算を行おうとするものである。

まず、補木リンクの分類及び順位付けに関する手順は次のとおりである。

- (1) 対象とする道路網に対して接続行列を作成するとともに、接続行列からある基準ノード（都市）に対する頂点行列 A (Vertex Matrix) を作成する。
- (2) 図-1の手順で作成された Spanning Tree に着目して、行列 A の最初の $(m-n+1)$ 個の列を補木リンクに、残りの $(n-1)$ 個の列を木リンクに対応させた式 (1) に示す行列 A^* を作成する。

$$A^* = [A_{11} \quad A_{12}] \quad (1)$$

- (3) 行列 A^* のうち、木リンクに対応する行列 A_{12} に

対する逆行列及びその逆行列の転置行列を求めて式 (2) に示す木道行列 D (Tree-path Matrix) を作成する。

$$D = [(A_{12})^{-1}]^t \quad (2)$$

- (4) 行列 D から根木を表す行列 R を作成して根木の道 (Path) の本数を求めるとともに、接続行列から各ノードがいずれの道に属するかを求める。
- (5) 行列 A^* のうち、補木リンクに対応する行列 A_{11} に対して、(4) で求められた根木の道ごとに、当該道に属するすべてのノードの各列を加えた行列 C を求める。
- (6) 行列 C の各列の要素の値から、補木リンクを同じ道に属するノード間を結合しているリンクか、基準ノードと結合しているリンクか、さらに他の道に属するノード間を結合しているか、など3つに分類する。
- (7) (4) で求めた根木の道及び(6)で分類された補木リンクを考慮して、座標値修正を行うための補木リンクの順位を決める。

次に、手順(7)で決められた順位にしたがって補木リンクを順次 Spanning Tree に付加して座標値修正の計算を行う。このとき、補木リンクを付加して作成されるループを対象に、すなわちループを構成しているすべてのノード（都市）を対象に座標値修正計算を行うことも考えられる。しかしながら、ループを構成しているすべての都市を対象としたときは、計算が一層困難になることから、本研究では補木リンクの両端点の都市をベースに三角形のループを作成して順次座標値修正の計算を行う。

補木リンクの長さを当該リンクによって結合されている都市間の時間距離に変えて、各都市の座標値修正計算を行う手順は次のとおりである。なお、ここでは図-2に示す例を通して手順を説明する。

- (1) 補木リンクを付加したときにできる三角形のループにおいて、座標値を修正すべき未知点を A 、他の座標既知点を B 、 C とする。このとき、 B 、 C は A 点を基準に左回りに定める。（図-2 参照）また、Spanning Tree を基に求められている各ノードの座標値をそれぞれ、 (x_A, y_A) 、 (x_B, y_B) 、 (x_C, y_C) とする。
- (2) 補木リンクの長さを、当該リンク両端点の都市

$$\left. \begin{aligned} x_{A'} &= \frac{a^2 - b^2 + c^2}{2a} \\ y_{A'} &= \frac{\sqrt{\{b^2 - (a - c)^2\} \cdot \{(a + c)^2 - b^2\}}}{2a} \end{aligned} \right\} (3)$$
$$\left. \begin{aligned} x_{A''} &= x_B + x_A \cos \theta - y_A \sin \theta \\ y_{A''} &= y_B + x_A \sin \theta + y_A \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (4)$$
$$S = \sqrt{\{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2\}}$$
$$\left. \begin{aligned} x_5' &= x_5 + (x_A'' - x_A) \\ y_5' &= y_5 + (y_A'' - y_A) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

4. 計算例

図-2 座標値修正のための概念図

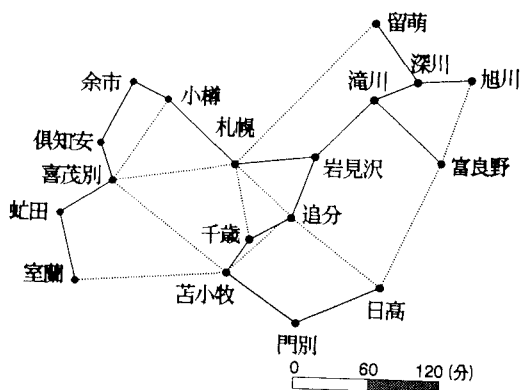


図-3 対象道路網及び1970年のSpanning Tree

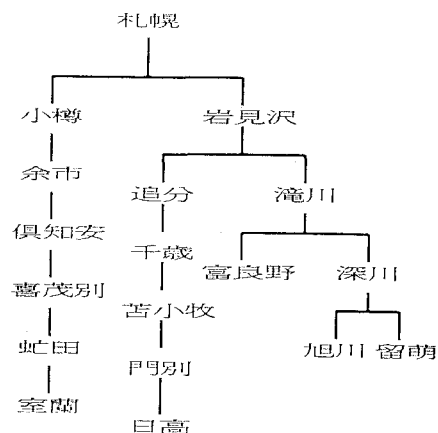


図-4 1970年のSpanning Treeに対する根木

及び根木を構成する道を求めたものが図-4である。この図からも、札幌からそれぞれ室蘭、留萌、旭川、富良野及び日高へ辿る5本の道が求められていることが理解できよう。そして、この求められた根木の道、各道に属する都市及び各都市間を結合している補木リンクから、座標値修正を行うための図-3の破線の補木リンクの順位を決めた。ここでは、他の道への影響等を考慮して、始めに日高の道に属する補木リンクを対象に座標値修正を試みたあと、室蘭、富良野、旭川そして留萌の順にそれぞれの道に属する補木リンクを対象に計算を行う。

次に、この決められた各道の補木リンクの順に従って、3. で述べた後半の手順を通して各都市の座標値修正計算を行った。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時空間マップが図-5である。図-5には計算対象とした他の年次の時空間マップをも示した。なお、クラスター分析から作成される Spanning Treeは1989、2020年それぞれ異なるが、各年次のネットワークの変容をも考察するため、1970年の Spanning Treeを基に図-5のマップを作成した。ネットワークの変容を探るため、X、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、1970を1.00としたとき、1989及び2020年はそれぞれ0.695、0.548であった。

さらに、これらの時空間マップの再現性を評価するため、3つの適合度指標に対して計算して取りまとめたのが表-1である。この結果よりも作成された時空間マップは良い適合結果を得た。

5. あとがき

以上、本研究ではSpanning Tree を構成するリンクを基に算定された各都市の座標値を踏まえて、さらに補木に属するリンクの長さも当該リンクによって結合されている都市間の時間距離に等しくなるような座標値修正法について考察した。その結果、道路網整備に伴う各都市間の時間距離短縮を視覚的に把握できる時空間マップを作成することができた。今後は、大規模な道路網を対象にした時空間マップの作成を試みるとともに、さらに時間距離短縮の効果を大きく発揮する他の公共輸送システムへの適用可能性についても考察を行う。

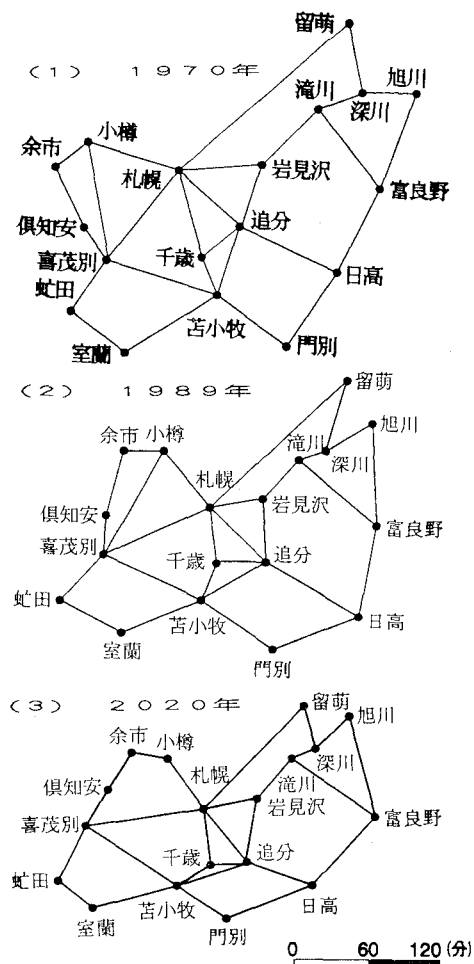


図-5 各年次に対する時空間マップ

表-1 各年次に対する適合度指標の結果

	RMS 誤差	不一致係数	クラスカル
1970年	17.87	0.049	0.097
1989年	19.78	0.065	0.130
2020年	24.63	0.094	0.200

<参考文献>

- 榎谷・斉藤：震災時における道路交通システムの構造の視覚化，交通工学，Vol.26No.6，1991
- 榎谷・斉藤：時間距離行列からの地図作成手法，土木学会北海道支部論文報告集，第48号，1992
- 清水英範：時間地図の作成手法と応用可能性，土木計画学・論文集，No.10，1992