

IV-27

時間距離行列からの地図作成手法

苫小牧工業高等専門学校

正員 栢谷有三

室蘭工業大学工学部

正員 斉藤和夫

1. まえがき

本研究は、高規格幹線道路等の道路網の整備が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視覚的に把握するために、道路建設に伴う各都市間の最短所要時間から時間距離行列を求めるとともに、この行列から各都市を2次元の時空間上に配置するいわゆる時空間マップ(地図)の作成手法について考察を試みるものである。

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るかを視覚的に容易に考察できるとともに、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についても考究できる。また、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容易に説明することが可能となってくる。

本研究においては、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。その結果、道路網形態及び道路網上の各都市の相対的位置づけを損なうことなく、道路建設に伴う都市間の時間距離短縮を考慮した地図(時空間マップ)を作成することができる。

2. クラスター分析による樹形図作成(1) 非類似度行列について

各都市間の時間距離は、値が小さいとき当該都市間の移動が容易(類似性が高い)であり、大きいときには移動困難性が増す(類似性が低い)と言う、いわゆる非類似性を表す指標である。そして、すべての都市間の時間距離から作成される行列が非類似度行列(時間距離行列)である。この非類似度行列を分析す

ることは、地図上から地点間の距離を示す表(距離行列)を作成するのとは逆に、与えられた地点間の距離行列(表)から地図を作成することでもある。この非類似度行列に対する分析手法は、大きく2つに分けられている。1つは、非類似度行列をゾーン間の距離行列と見なしてユークリッド空間の n 個のゾーン間距離によって実現させる方法である。他の1つは、 n 個の個体(都市)を似た者同士にまとめて分類する方法である。前者の解析法としては、多次元尺度構成法および数量化理論が、後者としてはクラスター分析などがそれぞれ提案されている。本研究においては、多くのサンプル(都市)の中に類似性を求めて、比較的少数のグループにまとめるための統計的手法であるクラスター分析を基に考察を行う。

(2) 樹形図作成について

クラスター分析の手法は、大別すると階層的手法と非階層的手法に分けられるが、ここでは非類似度行列を入力データとしたときの中心的手法である前者の階層的手法を用いる。この手法は、「似ているもの同士」を順次結合させて樹形図を作成するものであり、分析のプロセスは一般に次のような手順で行われる。

- ① 1つずつの対象を構成単位とする n 個のクラスターから出発する。
- ② クラスター間の非類似度行列 D を参照して、最も類似性の高い2つのクラスター、すなわち非類似度の値が最も小さいクラスター同士を融合して1つのクラスターを作る。
- ③ クラスター数が1になっているときには終了。そうでないときには、手順④へ進む。
- ④ 手順②で新しく作成されたクラスターと、他のクラスターとの非類似度 d_{ij} を更新して手順②へ行く。

このような手順を通してクラスターは順次融合されていくとともに、融合過程を基に樹状の分類構造を構成する樹形図を作成することができる。なお、手順④におけるクラスター間の非類似度を更新する方法としては、最短距離法、最長距離法あるいは重心法などいくつかの方法が考えられているが、本研究においては対象とする指標の特質をも踏まえて、二つのクラスター間において非類似度が最も大きい値をとる最長距離法を用いることとする。そして、 n 個のゾーンからなる道路網においては $(n-1)$ 回クラスター同士の融合が逐次行われる。

樹形図は、横軸に各都市を、縦軸にクラスターを融合したときの非類似度の値(各都市間の時間距離)をそれぞれ割り当ててツリー状に表現していることから(後述の図-1 参照)、この樹形図からクラスターの融合過程を把握することができる。また、樹形図を適当な高さで切ることによって任意個数のクラスターに分けることができることから、非類似度の値によって都市をいくつかに分類することもできる。したがって、この分析を通してある程度数量的にあるいは視覚的に各都市間の近接性等を把握することはできる。しかしながら、樹形図作成だけでは道路網の形態および道路網上における各都市の相対的位置づけを考慮して、各都市を2次元の時空間上に配置することはできない。そこで、本研究においてはクラスター分析における樹形図作成の過程で得られた成果を基に、各都市を空間的に配置して時空間マップを作成する手法を次章で考察する。

3. 時空間マップの作成手法

(1) 時空間マップの作成

各都市を空間的に配置するためには、多次元尺度構成法などと同様に非類似度行列 D から各都市の座標値を算定しなければならない。本研究においては、前述のようにクラスター分析の成果を踏まえて次のような点から時間距離短縮に伴う各都市の座標値算定を試みる。

(1) 2. で作成された樹形図がツリー状に表現されているように、各クラスターの融合過程を基にクラスター間を結合すると、すなわち都市間を結合すると Spanning Tree が作成される。

(2) Spanning Tree は連結グラフの極小なものであり、各都市間は互いにただ1つの経路で結ばれ、

閉路も孤立点も存在しない。

(3) そうすると、ある基準とする都市から他のすべての都市へはただ1つの経路を辿って到達できることから、基準都市の座標値に対する他のすべての都市の相対的な座標値が算定できる。

しかしながら、(1) で作成される Spanning Tree は必ずしも道路網を構成するリンクのみによって結合されているとは限らない場合もある。前述の道路網の形態及び道路網上における各都市の相対的位置づけ等を十分に考慮して時間距離短縮に伴う各都市の座標値を算定するためには、道路網を構成するリンクのみからなる Spanning Tree の作成が必要である。

本研究では、まず道路網を構成するリンクのみから形成される Spanning Tree の作成手法について考察する。次に、作成された Spanning Tree を基に各都市の座標値を算定する方法について考察する。

(2) Spanning Tree の作成手法

いま、対象とする道路網が n 個の都市(ノード)と m 本のリンクから構成されているとする。そして、このネットワークの隣接行列を L (L は $(n \times n)$ 行列)とする。ここで、 L の要素は都市間にリンクが存在すれば1、そうでないとき0を取る。そうすると、Spanning Tree の作成手順は以下となる。

- ① 非類似度行列 D に対して、2. で述べたクラスター分析を行う。このとき、 n 個の都市からなる道路網においては $(n-1)$ 回クラスター同士の融合が逐次行われる。
- ② クラスター同士を逐次融合する過程における、 i 回目において最も類似性の高いクラスターとして取り上げられた2つのクラスターをクラスター p_i 、クラスター q_i とする。そして、それぞれのクラスター p_i 、 q_i に含まれている都市の集合を P_i 、 Q_i とする。
- ③ P_i に含まれている都市と Q_i に含まれて都市間において、隣接行列 L の要素が1である都市間、すなわち道路網を構成しているリンクで結合されている都市間をすべて取り上げる。
- ④ 取り上げられた都市間のうちで、行列 D の非類似度の値が最も小さい都市間を求める。そして、この都市間を結合するリンクが Spanning Tree を構成するものとする。
- ⑤ クラスター分析の過程で得られた $(n-1)$ 個の

都市集合 P_i, Q_i に対して手順③, ④を繰り返す。

- ⑥ そして、手順④で取り上げられた $(n-1)$ 本のリンクによって n 個の都市を連結させる Spanning Treeを作成する。

(3) 各都市の座標値算定

次に、(2)の手順で作成された Spanning Treeを基に、各都市を2次元の時空間上に配置するための各都市の座標値算定について考える。いま(2)の手順④で、非類似度の値が最も小さい都市間として取り上げられた都市間の非類似度の値のみからなる行列を E (E は $(n \times n)$ 行列)とする。行列 E は $(n-1)$ 個の要素のみが d_{ij} を取り、他の要素はすべて0である。また、道路網上における各都市の座標値を (X_i, Y_i) とする。そうすると、時間距離の短縮に伴う各都市の新たな座標値は以下によって算定できる。

- ① n 個の都市のうち、基準とする都市 a (いずれの都市でもよい)の座標値を (X_a, Y_a) とする。
- ② Spanning Tree上において、都市 a から他の都市 i へ到達するために通過する都市の集合 R_i を行列 E から求める。
- ③ 都市 i の時間短縮に伴う新たな座標値 (X'_i, Y'_i) を都市 a から経由する都市の集合 R_i によって式(1)～(3)で求める。

$$L_{n_i^{j+1}, n_i^j} = \sqrt{\{(X_{n_i^{j+1}} - X_{n_i^j})^2 + (Y_{n_i^{j+1}} - Y_{n_i^j})^2\}} \quad (1)$$

$$X'_i = X_a + \sum_{n_i^j \in R_i} d_{n_i^{j+1}, n_i^j} \times \{(X_{n_i^{j+1}} - X_{n_i^j}) / L_{n_i^{j+1}, n_i^j}\} \quad (2)$$

$$Y'_i = Y_a + \sum_{n_i^j \in R_i} d_{n_i^{j+1}, n_i^j} \times \{(Y_{n_i^{j+1}} - Y_{n_i^j}) / L_{n_i^{j+1}, n_i^j}\} \quad (3)$$

ここで、

n_i^j, n_i^{j+1} ; 集合 R_i に含まれている j 番目及び $j+1$ 番目の都市の番号

$L_{n_i^{j+1}, n_i^j}$; 道路網上における都市 n_i^{j+1} と n_i^j 間の距離

$d_{n_i^{j+1}, n_i^j}$; 都市 n_i^{j+1} と n_i^j 間の非類似度の値 (時間距離)

- ④ 手順②, ③を基準都市以外のすべての都市に対して行う。

- ⑤ 手順③で求められた各都市の座標値を基に、各都市を空間的に配置するとともに、各都市間

を道路網を構成するリンクで結合して時空間マップを作成する。

このような手順を通して、道路網の形態および道路網上における各都市の位置づけを損なうことなく時間距離短縮に伴う各都市を二次元空間上に配置することができる。すなわち、時間距離行列から時空間マップを作成することができる。なお、手順③は都市間の道路網上の距離を当該都市間の非類似度の値(時間距離)に置き換えて、基準とする都市から経由する都市間ごとに順次 X および Y 軸の座標値を算定するものである。各都市を結合するリンクのうち、Spanning Tree を構成するリンクの長さは非類似度の値に対応することから、道路網整備に伴う各都市間の時間距離の短縮及び近接性をも視覚的に容易に把握することができる。

4. 計算例

簡単な適用例を通して、時間距離行列からの地図作成手法について考察する。本研究においては、高規格幹線道路等の整備が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視覚的に把握するために、図-2に示す札幌を中心とする15市町を対象に1970, 1989及び2020年それぞれの年次に対する時空間マップの作成を試みた。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時間距離から作成した。すなわち、1970年は高規格幹線道路等が整備されていない道路網、1989年は高速道路が一部開通(札幌及び道央(登別～深川)自動車道)した道路網を対象にそれぞれ都市間の時間距離を求めた。さらに、2020年は高速道路及び日高自動車道等の高規格幹線道路が整備された道路網を対象に求めている。

図-1は、各年次の非類似度行列(時間距離行列)からクラスター分析によって樹形図を作成した結果である。この図からも、ある程度高規格幹線道路等の整備によって各都市間の時間距離が短縮している状況を窺うことができる。また、樹形図を縦軸の適当な高さ(時間距離)で切ることによって、各都市からある時間距離以内で到達可能な都市をも把握できる。図-2は、3. で述べた手法を通して作成された各年次の時空間マップである。各年次の地図は同じ時間軸上で作成されたものであるから、道路整備に伴う各都市間の時間距離短縮の状況が視覚的に容

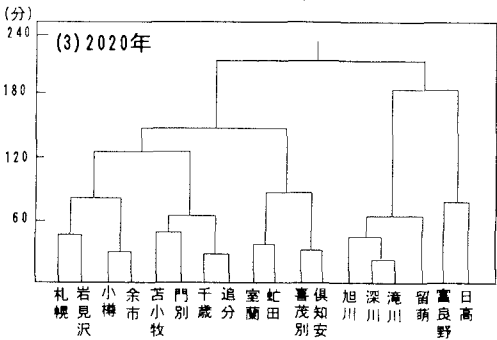
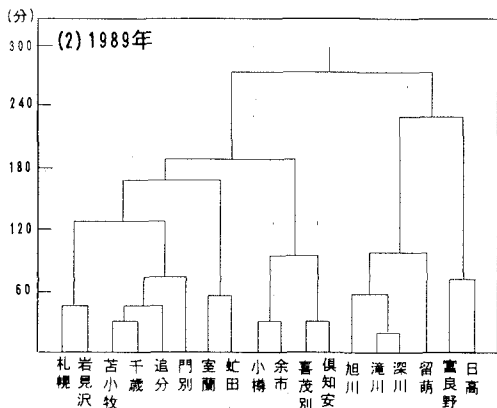
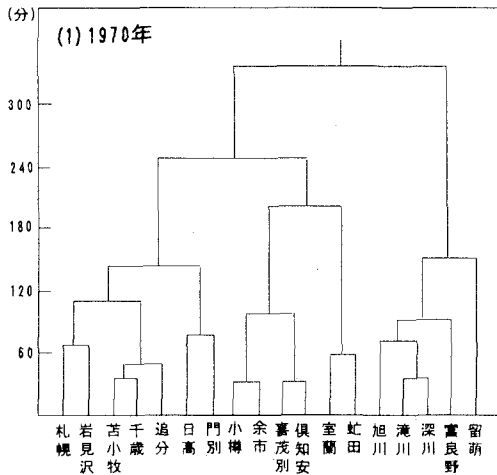


図-1 各年次に対する樹形図

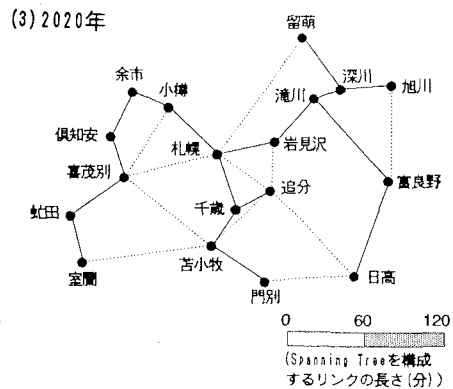
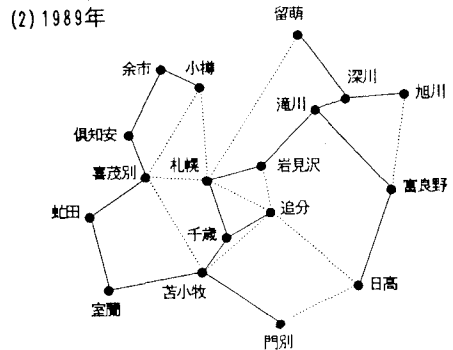
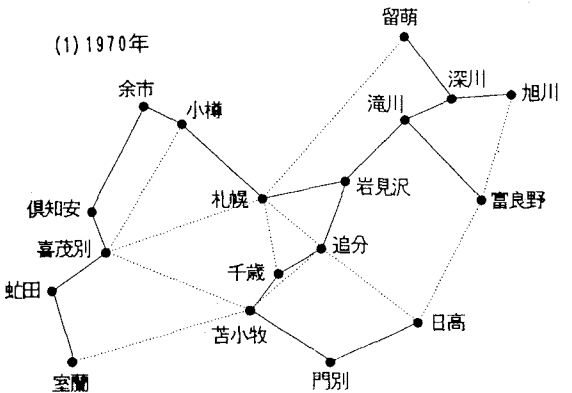


図-2 各年次に対する時空間マップ(地図)

易に把握することができる。なお、図-2の実線はSpanning Treeを構成するリンクである。

5. あとがき

以上、本研究はクラスター分析及びグラフ理論を基に各都市を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

覚的に把握できる地図を作成することができた。今後はこれらの成果を踏まえて、作成された地図上における各都市の相対的位置づけ及び各都市間の地図上と与えられた実際の時間距離の比較検討などから地図の再現性についても考察を進めていく。

<参考文献>樹谷・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