

## IV-44

## ネットワーク特性を考慮した時空間マップの作成手法について

室蘭工業大学 学生員 倉重 祐 泰  
 苫小牧工業高専 正 員 栴 谷 有 三  
 室蘭工業大学 正 員 田 村 亨  
 室蘭工業大学 正 員 斎 藤 和 夫

## 1. まえがき

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容易に考察できるとともに、地域格差の是正を図るには今後どの都市間の道路を促進すべきかについても考察できる。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をも容易に解明することが可能となってくる。著者等は道路交通システムの特性を踏まえ、グラフ理論および幾何学公式を基礎に最短所要時間から作成される時間距離行列から各都市を2次元の空間上に配置するいわゆる時空間マップの作成手法について考察してきた。しかしながら、対象地域を広域にすることによる歪みが見られた。そこで、本研究においては、ネットワーク特性（道路網形態）および相対的位置付けを損なうことなく、歪みを少なくした時空間マップの作成について考察を試みたものである。

## 2. 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の作成は不可能である。そこで、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ことから、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てきた。<sup>1)</sup> しかしながら、この手法の順位付けは順位1のループから広がるように順位付けされた。したがって、結果的に順位1のループが中心となり、順位後半のループにおいて視覚的な歪みが見られた。そこで、本研究においてはネットワーク特性を考慮して、順位付けを対象地域全域にすることにより歪みを少なくしていくことを考えた。さらに、ループの相対的位置付けを損なわないために minimum Spanning Tree を作成し、順位付けする方法を考えた。次節では minimum Spanning Tree の作成手順とループの順位付けを行う手順について考察する。

## (2) minimum Spanning Tree の作成手順

いま、対象とする道路網は  $n$  個のノードと  $m$  本のリンク、そして  $z$  個のループから構成されているものとする。そしてこのネットワークの隣接行列を  $L(n \times n)$ 、接続行列を  $A(n \times m)$ 、そしてループ行列を  $R(z \times m)$  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を取り、 $A$  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。そして、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。まず minimum Spanning Tree の作成手順についてはネットワークを時間距離の重み付きグラフと考え、グラフ理論のKRUSKALを基に以下のような手順により作成する。

- ① 隣接行列Lにおいて値1をもつ要素を、当該リンクの時間距離の値に置き換えて重み付き行列Mを作成する。
- ② 行列Mのすべての要素のうち、最小の値を取る要素に該当するリンクを検索する。
- ③ ②で検索されたリンクのうち、ループを構成しない場合は木リンク、そうでない場合は補木リンクとする。
- ④ ③で木リンク、補木リンクとしたリンクに対する行列Mの要素を0に置き換える。
- ⑤ 手順②から手順④を繰り返し、行列Mの要素がすべて0となったら終了する。

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。したがって、任意の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、任意の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。この作成された Spanning Tree において、連結されている木リンクを当該都市間の時間距離になるように座標値を計算し仮座標値とする。

### (3)ループの順位付け

minimum Spanning Tree を基礎に各ノードの座標値を算定するために以下のような手順により順位付けを行う。

- ① ループ行列Rにおいて、各行ごとに各行要素を加えるとともにこれらの和を要素とする列ベクトルAを作成する。このとき、列ベクトルAの要素は各ループを構成するリンクの本数である。
- ② 列ベクトルAの要素のうち、値3をもつループ、すなわち三角形を形成するル

ープを取り出し、これら三角形に対して順次順位付けを行う。

- ③ ②において、三角形のループを構成するリンクに該当するループ行列の要素を1から0に値を置き換えた行列Sを作成する。
- ④ ③で作成された行列Sにおいて、手順①と同様に各行ごとに和を求めて列ベクトル $A_i$ を作成する。
- ⑤ 次に、列ベクトルAの要素のうち値4をもつループ、すなわち四角形を形成するループを取り出して順位付けを行う。このとき順位付けはループに該当する列ベクトル $A_i$ の値によって値の小大順に行う。
- ⑥ 手順③と同様にループを構成するリンクに該当する行列Sの要素を0に置き換える。
- ⑦ 順次列ベクトルAの要素が5以上のループに対して、四角形と同様に手順④から⑥を繰り返す。このとき、すべてのループの順位付けが終了すると、行列Sの要素はすべて0となる。

以上のような、手順を通してループの順位付けを行う。

### (4)各ノードの座標値算定

(3)の順位付けにしたがって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、ループを構成するノードが3個の場合は、2つのノードの座標値が既知であることから、他のノードの座標値は三角形の幾何公式を用いて容易に算定できる。

次に、ノードが4個の場合は、図-1に

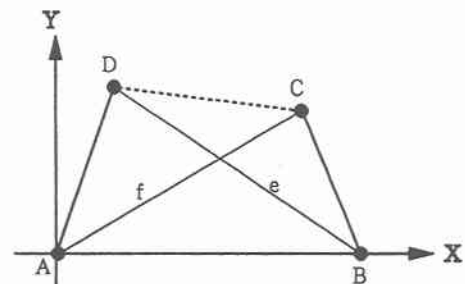


図-1 座標値算定の概念図

示すように4つのノードのうち2つのノード（例えば、ノードA、B）の座標値が既知であることから、他の2つのノード（C、D）の座標値を求める問題となる。ノードC、Dの座標値は、四角形の2つの対角線の長さをe、fとしたとき、三角形ABDおよび三角形ABCから前述の三角形の幾何公式によって算定できるが、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に等しくなるような座標値算定を試みた。すなわち、2つの対角線の長さの比を $m (=f/e)$ としたとき、Cおよび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。

ループを構成するノードの個数が5個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となることから、ここでは前述の三角形および四角形を基に座標値算定を試みた。

### 3. 計算例

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、道央地方を対象に時空間マップの作成を試みた。対象とする道路網は18個のノード、28本のリンクおよび11個のループからなる。ここでは、1970、1989および2020年それぞれの年次に対する道路網を対

象に時間距離行列を作成した。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(札幌および道央(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年は高速道路およ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-2の実線リンクからなる Spanning Tree は、2020年の重みつき隣接行列から作成された最小木(minimum Spanning Tree)である。この minimum Spanning Tree をもとに各ループの順位付けを行うとともに各座標値算定を行った。図-3は、1970年、1989

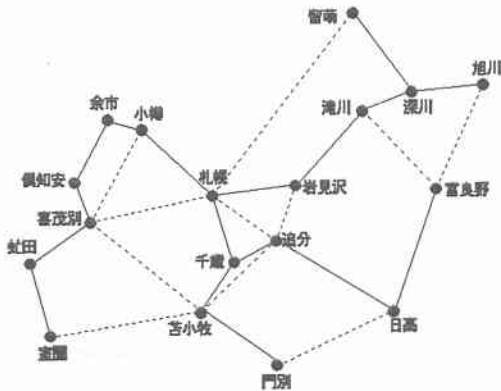


図-2 対象道路網及び Spanning Tree

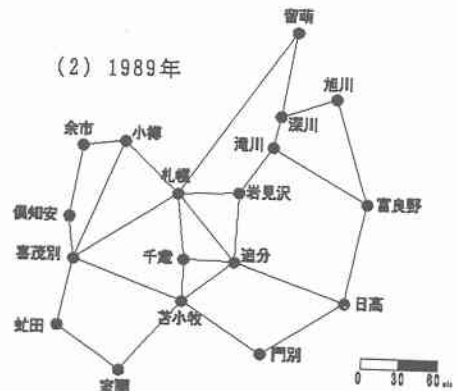
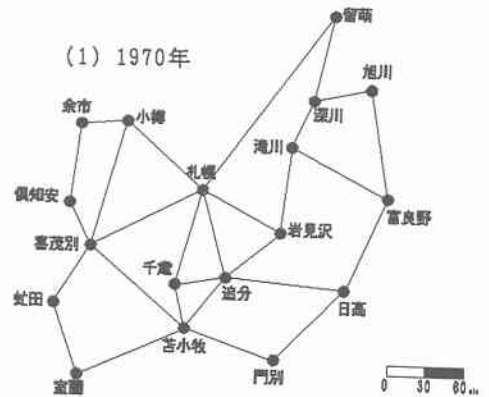


図-3 各年次の時空間マップ

