

IV-3

噴火湾地域の道路網を対象とした時空間マップの作成について

室蘭工業大学工学部	学生員	倉 重 祐 泰
苫小牧工業高等専門学校	正会員	桝 谷 有 三
室蘭工業大学工学部	正会員	田 村 亨
室蘭工業大学工学部	正会員	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、道路網整備による整備効果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、クラスター分析およびグラフ理論の Spanning Tree を基礎に各都市を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、Spanning Tree を基に時空間マップを作成するときには、いずれの補木リンク (Co-tree) から順次 Tree に付加していくという演算上の困難が伴う。また、本研究が対象とする噴火湾地域のような場合には、湾の沿岸都市間において時空間マップ上の距離が実際の時間距離より非常に小さくなる。そこで、本研究においては、道路網形態及び各都市の相対的位置付けを損なうことなく、さらに、噴火湾のような地形をも踏まえた時空間マップの作成について幾何学的手法を基礎に考察を試みたものである。

2. 時空間マップの作成手法

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。本研究においては、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時間距離が当該都市間の実際の時間距

離に等しくなるように各都市の座標値算定を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、そしてループ (閉路) より成っているが、本研究においては各ループごとに、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、対象とする道路網は n 個のノードと m 本のリンク、そして z 個のループで構成されているものとする。ここでは、まず各ノードの座標値を算定するためのループの順位づけについて以下のように考察した。

- ① 対象とする道路網に対し接続行列 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 $S = R \cdot A^t$ 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、そうでないときは0を取る。
- 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、他の全てのループの順位付けを行う。

決定した順序に従ってループに含まれてい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個及び一般には n 個のノードから構成され

るが、ここではまずノードの個数が3個及び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つの場合

ループを構成するノードが3つの場合は三角形を形成する。このとき、3つのノードのうち2つのノードの座標値は既知であることから、他の1つのノードの座標値を求める問題となる。いま、座標値既知のノードをA (Xa, Ya)、B (Xb, Yb) としたとき、未知のノードの座標値C (Xc, Yc) は三角形の幾何公式である式(1)、(2)から求めることができる。

$$X_{c'} = \frac{c^2 - a^2 + b^2}{2c} \quad (1)$$

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

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
点C' (Xc', Yc') は既知点A' (0.0, 0.0)、B' (c, 0.0)、つまり2点がX軸上にあるとしたときの値であることから、式(3)、(4)に示す既知点Aの座標値を基準にした値に修正する。

$$X_c = X_a + X_{c'} \cos \theta - Y_{c'} \sin \theta \quad (3)$$

$$Y_c = Y_a + X_{c'} \sin \theta + Y_{c'} \cos \theta \quad (4)$$

ここで、

$$\sin \theta = \frac{Y_b - Y_a}{S}, \quad \cos \theta = \frac{X_b - X_a}{S}$$

$$S = \sqrt{\{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2\}}$$

2) ループを構成するノードが4つの場合

ループを構成するノードが4つの場合は四角形を形成する。このとき、4つのノードのうち2つのノードの座標値は既知であることから、他の2つのノードの座標値を求める問題となる。いま、座標値既知のノードをA (Xa, Ya)、B (Xb, Yb) とし、座標値未知のノードをC (Xc, Yc)、D (Xd, Yd) とすると、C、Dは次のように求められる。

いま、図-1に示すとおり、既知のノードをA' (0.0, 0.0)、B' (a, 0.0) のようにX軸上にとり、座標値未知のノードをC' (Xc', Yc')、D' (Xd', Yd') とする四角形A' B' C' D'を考える。

2つのノードC'、D'は、四角形の2つの対角線の長さをe、fとしたとき、それぞれ三角形A' B' D'、三角形A' B' C'から式(1)、(2)にて求められるが、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る。いま、2つの対角線の長さの比を $m (= f/e)$ としたとき、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。

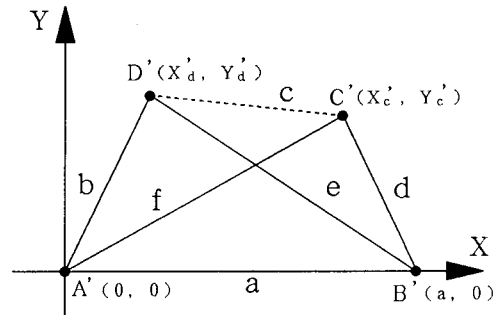


図-1 ノードが4つの場合の座標値算定

しかしながら、C'、D'は既知点A'を原点、B'をX軸上にあるとしたときの値である。したがって、手法1)と同様に式(3)、(4)により座標値C' D'をそれぞれC、Dに修正する。

ループを構成するノードの個数n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. 地形を踏まえた時空間マップの作成手法

本研究で対象とする噴火湾のような地形の場合、2.で述べた手法においては湾の沿岸都市間において時空間マップ上の距離が実際の時間距離より非常に小さくなる。したがって、湾のような地形を持つ場合、地形を踏まえた作成手法が必要となる。そこで、以下のような手順により時空間マップを作成する。

- 1) 地形を踏まえた時空間マップを作成するために、座標値を事前に求めるべきノードの個数をpとする。

- 2) p 個のノードのうち任意の2つの基準ノードA、Bを選ぶ。
- 3) AB間に仮想リンクを設定し、そのリンクの長さ(時間距離)を実際の時間距離との比 w から求める。
- 4) 仮想リンクを設定することによって、事前選ばれた p 個のノードは p 多角形を構成することから、前述の三角形および四角形の算定手法を基に各ノードの座標値を算定する。
- 5) 道路網を構成する n 個のノードのうち、他の $(n-p)$ 個のノードは前述の2.の手法に従って順次ループごとに算定する。

4. 計算例

簡単な適用例を通して、時空間マップの作成手法について考察する。本研究においては、図-2に示す噴火湾地域を中心とする22市町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、22個のノード、32本のリンクおよび11個のループから成る。なお、ここでは1970年の道路網を対象に時間距離行列を作成した。

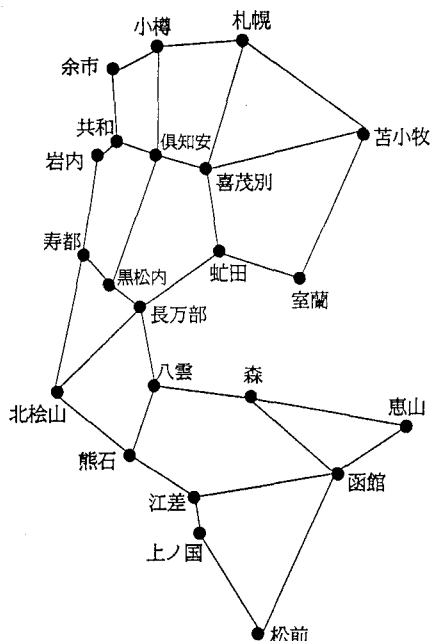


図-2 対象道路網

ここでは基準ノードを室蘭、虻田とし、室蘭、虻田、苫小牧および喜茂別からなるループを順位1として順次他のループの順位づけを行った。図-3は、2.で述べた手順に従って各都市の座標値を算定して作成した時空間マップである。図-4には各都市間の時間距離と図-3の時空間マップ上から求めた

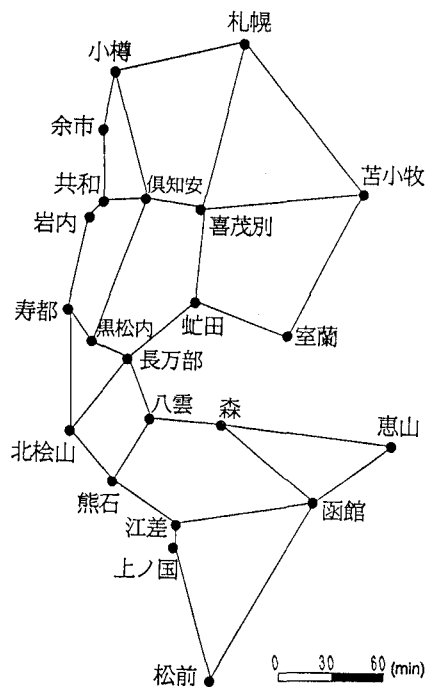


図-3 時空間マップ

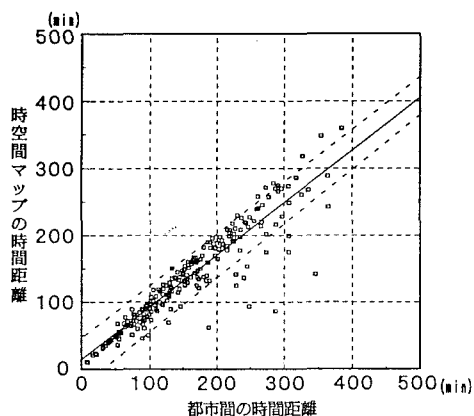
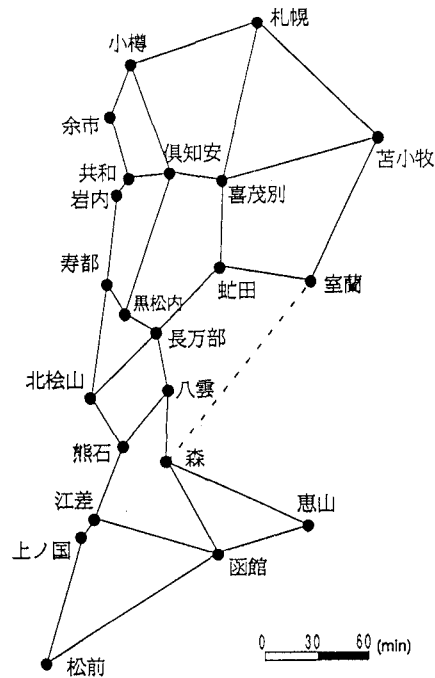
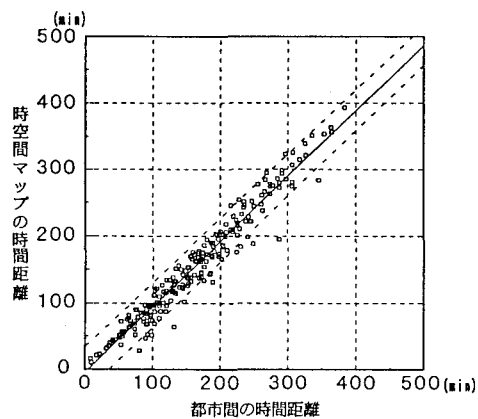


図-4 時間距離の関係

時間距離との関係 ($R=0.910$) を図示した。図に示されているように、時空間上の時間距離が実際の時間距離より小さい都市間がいくつかあるが、これらの都市間の多くは室蘭－森のように噴火湾沿岸の都市間である。そこで、ここではさらに3. で述べた手順に従って座標値算定を試みた。室蘭、虻田、長



図－5 地形を踏まえた時空間マップ



図－6 地形を踏まえたマップの時間距離の関係

万部、八雲および森を沿岸都市として事前に座標値を求めた。なお、仮想リンクは室蘭－森間に設定し、 w は0.70とした。その結果、図－5に示すマップを作成することができた。そして、各都市間の実際の時間距離と時空間上の時間距離との関係 ($R=0.971$) をプロットしたのが図－6である。さらに、2つの時空間マップに対し、そ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たものが表－1である。この結果からも地形を踏まえることにより、適合度の良い時空間マップを作成することができた。

表－1 各手法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
図－3のマップ	17.83	0.113	0.211
図－5のマップ	9.22	0.055	0.113

5. あとがき

以上、本研究においては、グラフ理論の接続行列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づけ、すなわち各都市の座標値算定順序を決定した。そして、各都市の座標値を幾何学的手法を基礎に算定するとともに時空間マップを作成した。また、本研究では噴火湾のような地形を踏まえた座標値算定手法についても考察を試みた。

今後は、他の年次に対する時空間マップを作成して時系列的な比較検討も試みていく。また、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、さらに震災等に伴う道路損壊が、各都市間の時間距離にどの程度影響を及ぼすかを視覚的に把握する手法についても考察を試みて行く。

<参考文献>

梶谷・田村・斎藤：道路網を対象とした時空間マップの作成手法に関する研究，土木計画学研究・講演集，No.16，1993
 梶谷・田村・斎藤：時間距離行列からの地図作成手法に関する研究，土木学会北海道支部論文報告集，第49号、1993
 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