

IV-233 時間地図の作成に関する研究

岐阜大学工学部 正 員 清水英範
 岐阜大学工学部 学生員 青木隆裕
 名古屋役所 正 員 花木哲哉

1. はじめに

地図の上に定規をあてて任意の地点間の所要時間を把握できるような地図を作れないだろうか。これが本研究の問題意識であり、このような地図を本研究では時間地図と呼ぶ。時間地図を作成することができれば、地域の交通サービス水準はもちろんのこと、交通施設整備前後の時間地図や時間帯別、曜日別の時間地図を比較することによって、交通整備の効果や交通渋滞の様子を視覚的に分かりやすく示すことができる。

”時間地図”と呼ばれる地図はこれまでも数多く作成されてきた。しかし従来の時間地図は、例えば東京からの所要時間といったように、ある1点のみからの時間距離を再現するように地図を歪めたものである。この手法は簡単であるが、中心となる都市以外の都市間での所要時間は全く無視され、また環状道路のように、中心となる都市への所要時間をあまり変化させない交通施設整備による交通条件の変化を表現することはできない。これに対して本研究では、あくまで任意の地点間の時間距離を可能な限り小さな誤差で再現する手法を構築することを目的としている。

2. 時間地図の定義

ここでは時間地図を以下のように定義する。

① 時間地図は通常の地図(点の集合 V)からの写像: $(x, y) \rightarrow (u, v)$ の結果である。(ここでは2次元空間に限定して議論を進める)

② この写像は、集合 V のうち任意の2点間の時間距離が与えられている部分集合 W ($W \subset V$)によって以下のように同定される。

$$\min_{i < j} \sum (t_{ij} - d_{ij})^2 \quad (i, j \in W) \quad (1)$$

ただし、 t_{ij} : 点 i, j 間の時間距離

d_{ij} : 時間地図上での点 i, j 間の距離

3. 多次元尺度構成法の適用可能性

時空間の分析に関する研究は、これまで主に地理学の分野において行われてきた。最も代表的な研究は、多次元尺度構成法(Multi-dimensional Scaling: MDS)を適用したものである。MDSとは、任意の2点 i, j 間の距離 t_{ij} が既知である n 個の点を、与えられた次元数のユークリッド空間に配置する手法であり、距離 t_{ij} を間隔尺度として捉えるか順序尺度として捉えるかの違いにより、metric(計量的)MDSとnon-metric(非計量的)MDSに分けられる。

各々について数多くの定式化やアルゴリズムが提案されているが、ここでは、時間距離が与えられている2点 i, j の平面上での配置 (u_i, v_i) , (u_j, v_j) を求める問題を例として、metric MDSの定式化を示しておく。

$$\min_{i < j} \sum (t_{ij} - d_{ij})^2 \quad (2)$$

$$d_{ij}^2 = (u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2 \quad (3)$$

上記の定式化により、地図上において任意の2点間の時間距離が既知である n 個の点は、平面図上においてこれらの点間距離が時間距離を可能な限り反映するように配置されることがわかるであろう。しかしMDSは、本研究で意図する時間地図を作成する方法としては以下の理由により決して十分な方法ではない。

① MDSは点間距離のみの再現性を問題とする方法であり、地図上のグラフ(以後地図グラフ)の位相関係に対しては何ら規定しない。すなわち、MDSは同相写像である保証はない。このことは、地図上で交差していない道路が時間地図上で交差したり、地図上である行政区域に含まれる施設が時間地図上では他の行政区域に含まれるといった可能性があるということである。

② MDSによる地図グラフから時間地図への写像は、任意の2点間の時間距離が既知である n 点(集合 W)についてのみ適用され、地図グラフを構成す

る他の点(集合 $V-W$)については何ら規定するものではない。すなわち $V=W$ でない場合には、MDSを行った後に別途、写像： $(x,y) \rightarrow (u,v)$ なる座標変換式を推定し、これを集合 V に適用しなければならない。

4. 同相写像制約付き多次元尺度構成法の構築

本研究では、多次元尺度構成法(MDS)を時間地図作成に適用する際の不十分な点を解決するため、以下の2点について拡張した新たなMDS手法を提案する。

- ①地図グラフの時間地図グラフへの写像は同相写像であるとする。
- ②この写像を従来のMDSと同様の最適基準によって直接推定する。

(1) 同相写像の条件

ある写像： $(x,y) \rightarrow (u,v)$ が同相であるとは、それが1対1の連続写像であり、かつその写像の逆写像も連続であるときをいう。代表的な同相写像である、アフィン変換を以下に示す。

$$u=ax+by+c; v=dx+ey+f; \begin{vmatrix} a & b \\ d & e \end{vmatrix} \neq 0 \quad (4)$$

ただし、 $a \sim f$ ：未知のパラメータ

(2) 同相写像制約付きMDS

同相写像を制約とした metric MDS は、式(2),(3)に以下のような座標変換関数を加えた最適化問題と

して定式化できる。

$$u_i=f(x_i,y_i); v_i=g(x_i,y_i) \quad (5)$$

ただし、 $f(x_i,y_i); g(x_i,y_i)$ ：同相写像

座標変換関数： $f(x,y), g(x,y)$ の同定については、未知パラメータに適当な初期値を与えて準ニュートン法によって最適化する。

なお、non-metric MDS についても、本研究で提案した方法により定式化が可能である。

5. 応用

東海3県の主要都市間の道路時間距離を与え、これらの都市と県境、海岸線が記載された簡単な時間地図を作成した。図1に東海3県の地図グラフを、図2にアフィン変換を3次式に拡張した関数を用いて作成した昭和63年時、平成22年時の時間地図を示す。なお、昭和63年においては道路時間距離の実測値を、また、平成22年においては現在計画・建設中の高速道路等が完成・供用されることを想定し、道路時間距離は推定値を与えている。

これらを見ると、東海3県の現況時間地図は、実際の地図の形状と比較的一致おり、この地方の道路網は、主要都市間に限って言えば、ほぼ片寄りなく整備されていることが分かる。さらに現在計画・建設中の道路整備が完了すれば、時間地図は名古屋を中心にはほぼ2/3程度に縮小し、特に、伊勢湾口道路建設により、豊橋-伊勢間がかなり近づく様子などが読みとれる。

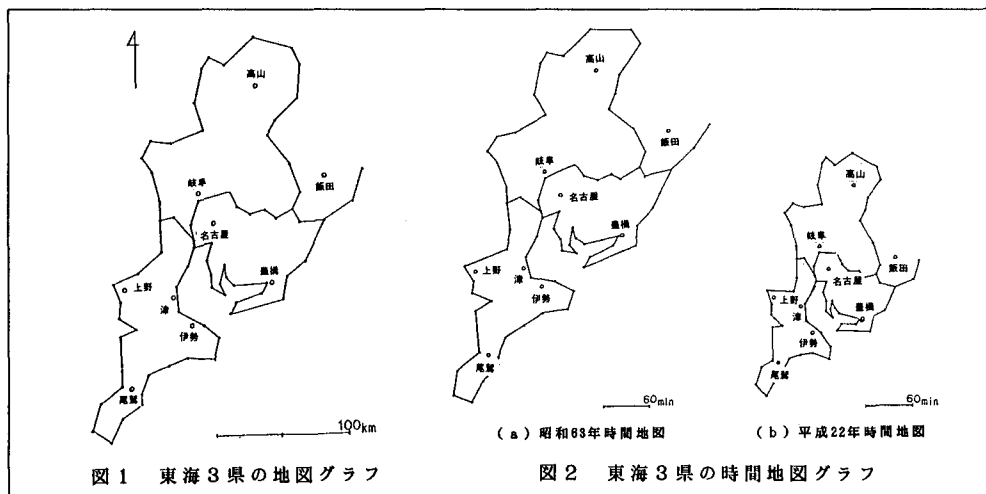


図1 東海3県の地図グラフ

図2 東海3県の時間地図グラフ