

MDSによる時間地図と線形変換による時間地図の比較

筑波大学 *住谷 優友 SUMIYA Yusuke
01009480 筑波大学 大澤 義明 OHSAWA Yoshiaki

1 はじめに

これまで時間地図の作図方法については、ネットワークによるもの [1] や、MDS(写像制約つきを含む)によるもの [2] など様々な方法が考案されている。

今回の研究では、一般的な MDS による時間地図(位相崩壊)と線形変換の制約を与えた MDS による時間地図(位相保持)について、特に任意の位置の精度に着目して、両者の時間地図の特徴を比較する。

2 今回適用する作図方法

2.1 MDS(多次元尺度構成法)について

MDS による作図方法は、時間地図上の都市の位置を (u_i, v_i) 、都市間の所要時間を t_{ij} と置き、

$$\min \sum_{i < j} \left(t_{ij} - \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2} \right)^2 \quad (1)$$

を満たすような、 (u_i, v_i) の配置を決定する方法である。MDS による解法では、位相の崩壊や、任意の位置での処理に問題が起こり得る。

2.2 線形変換について

MDS による諸問題を解決する 1 つの方法として、行列の線形変換による制約を与えた MDS を考える。

作図方法は、時間地図上の都市の位置を (u_i, v_i) 、都市間の所要時間を t_{ij} 、実地図上の位置を (x_i, y_i) と置き、

$$\min \sum_{i < j} \left(t_{ij} - \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2} \right)^2 \quad (2)$$

$$\text{ただし、} \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} \quad (3)$$

を満たすような、行列 A を求める方法である。この行列 A により位相を保持したまま任意の位置での所要時間を求められる。

2.2.1 行列の固有値、固有ベクトルの意味

行列 A の固有値 λ とその固有ベクトル \mathbf{a} を用いて、固有ベクトル方向の速さ v を次のように求められる。

$$v = \frac{\|\mathbf{a}\|[\text{km}]}{\|A\mathbf{a}\|[\text{分}]} = \frac{\|\mathbf{a}\|}{|\lambda| \cdot \|\mathbf{a}\|} = \frac{1}{|\lambda|} [\text{km/分}] \quad (4)$$

2.2.2 線形変換の逆変換による等時間線

逆変換を利用して、等時間線を描くことができる。時間地図上で 30 分間隔の円を描き、それを逆行列 A^{-1} を用いて実地図上に逆変換することで等時間線を描くことができる。

3 対象都市

作図対象として、図 1 のように茨城県内 16 都市を対象とし、位相を見るため対象都市についてドローネ三角形分割した。さらに、任意の位置の精度を確かめるため下妻市、阿見町、那珂町の 3 都市を付加し、各々の誤差を考察する。

移動手段は、茨城県内の高速道路を含む道路網を自動車で行うものとする。所要時間は全対象都市から 2 都市の組合せ全てを測定した。

時間地図の作図は、どちらの方法も準ニュートン法による数値計算を用いた。

4 時間地図の作図結果

4.1 MDS による作図

MDS による時間地図を図 3 に示す。まず、任意都市の下妻市、阿見町、那珂町を除く 16 都市について作図を行った。MDS では、任意の都市の位置を定めることができないので、任意の都市を含む三角形に着目し、その三角形内の位相を保つように任意の都市を配置した。大子町-水戸市、大子町-ひたちなか市の位相が崩壊している。相関図を図 4 に示す。

4.2 線形変換による作図

線形変換による時間地図を図 5 に示す。MDS との大きな違いは、線形変換により市町村界も変換されていることである。また、図形的性質として、行列 A の固有値 λ から式 (4) を用いて、その速度を知ることができる。固有ベクトル①の方向へ、時速 39.3km で移動でき、固有ベクトル②の方向へ、時速 17.5km で移動できる。この結果から、茨城県は南北方向へ東西方向の約 2.2 倍の速さで移動できることがわかる。相関図を図 6 に示す。

最後に、つくば市中心の等時間線を図 2 に示す。

5 任意の位置の精度と時間地図の特徴

任意の位置の精度を詳しく見るために、下妻市、阿見町、那珂町について個別に誤差 $|t_{ij} - t'_{ij}|$ を測定した。

表 1 誤差の平均値(分)

	パラメータ数	全体	下妻市	阿見町	那珂町
MDS	32	10.75	12.38	9.79	21.57
	√	∧	∧	∧	∨
線形変換	4	18.52	17.25	15.46	16.35

全体的に MDS の方が線形変換よりも精度は良いが、線形変換は求めるパラメータ数が 4 つということも考慮すれば良い作図方法と言える。

ここで注目すべきところは、MDS で位相が崩壊している那珂町について線形変換の方が精度が良いという点である。これは、MDS では所要時間が与えられた代表点のみ精度良く配置を行うため任意の点の精度は悪くなるのであろう。一方、線形変換の場合は MDS に比べて全体的に精度は劣るが、任意の点については位相の保持により安定した精度を確保できる。また、行列の固有値から移動速度という指標で、時間地図の図形的性質も明らかにすることができる。

6 おわりに

時間地図には精度の良さも重要だが、どこに住んでいる人でも利用できることや、図形的解釈を与えることも大事であると思う。線形変換は、このような使い勝手の良さを考慮した 1 つの事例である。

今回は、茨城県という限られた事例でもあるので、今後、他の県などに対象を広げ一般的な性質や特徴、また理論的背景について研究していきたい。

参考文献

- [1] 古藤浩. 地域構造と視覚化時間距離網. GIS-理論と応用 Vol.5 No.2, 1997.9.
- [2] 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, 1992.11.

