

拡張MDSによる認知地図作成に関する研究*

Cognitive Mapping Methodology
by Integrating Map Transformation with Conventional MDS

清水英範** 鈴木崇児*** 浅井敦司***

by Eihan SHIMIZU, Takaji SUZUKI and Atsushi ASAI

MDS is the most popular technique for cognitive mapping. Given a matrix of cognitive distances between some points, MDS produces a two-dimensional configuration of these points. This configuration has been often regarded as cognitive map. Cognitive mapping based on MDS, however, has an inevitable limitation. It derives only configuration of points between which cognitive distances are given. Other map features, which might be located in people's cognitive representation, are ignored. It causes the difficulty of understanding the cognitive map and comparing it with physical one.

This paper proposes a new cognitive mapping methodology by extending the conventional MDS. Cognitive mapping is defined as transformation of physical map. This enables any map features to be represented on the cognitive map. The transformation can be calibrated by the same criteria as MDS.

1. はじめに

地図がいかに正確で便利であるかが分かっていても、常に地図を持ち歩きそれに基づいて行動している人などはいないだろう。人の内的側面には、その内容や正確さはともかくとして、各自が身をおく地域（空間）のモデルとしての認知空間が形成されており、これを頼りに行動すれば、まず問題ないと思っ
ているからである。もちろん、認知空間のみに頼
っているのは危険だと思われるような重要な意思決定
にあたっては、実際の地図を持ち出すなどの予習を
行う。しかし、大方の行動ではきわめて無頓着に認

知空間に頼ってしまうか、また自分の認知空間が、
それほど正確でないに分かっていても、それが街で
見かける案内図や案内標識などで適宜補正されるこ
とを期待して行動を開始してしまう。

かくして、都市内での大半の交通行動など、人々
がさして重要な意思決定だとは思わない行動には、
彼らの心象に定常的に描かれる認知空間が少なから
ず影響を及ぼすことになる。認知空間の実態やその
原因を分析する研究、あるいは認知空間を都市計画、
交通計画の見地から適切に誘導する施策が意義有
るとする背景がここにある。^{1) 2)}

人々の認知空間の実態を探る研究アプローチに、
認知空間を何らかの方法で、2次元あるいは3次元
のユークリッド空間に形象化し、これと実地図ある
いは実空間を比較するという方法がある。この認知
空間の形象化の方法を、一般に認知地図作成 (Cogn
itive Mapping) と言い、地理学においては古くから

* キーワード 認知地図 多次元尺度構成法

** 正会員 工博 助教授 岐阜大学土木工学科
(〒501-11 岐阜市柳戸1-1)

*** 学生会員 岐阜大学大学院 工学研究科

研究分野の一つとなっている。

従来の代表的な認知地図の作成手法は、描画法と距離評価法に大別される。^{3) 4)} 描画法は被験者に手書きで地図を作成してもらう手法であり、直観的に分かり易く、かつ個人の認知空間を詳細に検討できるという利点があるが、被験者全体の傾向を読み取るのは難しい。また、二次元空間への描画という制約の中で、被験者が認知地図を作成しなければならないといった問題もある。一方、距離評価法に基づく認知地図作成法は、アンケート調査によって得た地点間の認知距離に対して、MDS（多次元尺度構成法）を適用し、地点の配置を求める方法である。被験者全体の空間認知の傾向が一枚の絵で表現できるという利点があるが、あくまで地点の配置であり視覚的に分かりづらいという問題がある。^{4) 5)}

本研究では、MDSを用いた距離評価法による認知地図作成手法を前提とし、これを従来の各地点の配置を求めるだけの手法ではなく、任意の地図要素を内挿する視覚的に分かりやすい地図作成手法へと改良する。

なお、本研究で提案する認知地図作成手法は、基本的には筆者らが既に提案している時間地図作成手法の応用である。⁶⁾

2. MDSによる認知地図作成手法

MDSは、いくつかの点について、点間の距離指標と空間の次元数が与えられたときに、これらを最もよく再現するように点の配置を決定する方法であ

る。^{7) 8)} すなわち、MDSによって、地点間の認知距離が与えられている複数の地点を2次元空間（平面）に配置することが可能であり、MDSが認知地図作成の手法として有望であることが分かるだろう。本研究でも、このMDSを手法構築の基本とする。

まず、認知地図作成への応用を念頭においてMDSを定式化しておく。地点間の認知距離を再現するように地点を配置すればよいのであるから、常套手段である最小二乗基準を適用する。なお、地点数は n 点とする。

$$\min. \sum_{i < j}^n (c_{ij} - d_{ij})^2 \quad \dots\dots(1)$$

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

ここで、 c_{ij} : 点 i, j 間の認知距離
 d_{ij} : 点 i, j 間の認知地図上の距離
 $(u_i, v_i), (u_j, v_j)$: 点 i, j の認知地図座標

この問題は、認知地図座標 (u_i, v_i) に対する非線形計画問題となる。本研究では、実地図における地点の座標を初期値とし、準ニュートン法によって解を探索している。

この方法により、どのような認知地図が作成されるか見てみよう。いま、都市施設A・B・C・D、橋、駅、道路、河川といった地図要素で構成される実地図（図1（a））があったとする。また、このうちの施設A・B・C、橋、駅の地点間の認知距離が別途求められていたとする。このとき、認知距離を与えられた各地点はMDSにより図1（b）のように配置される。

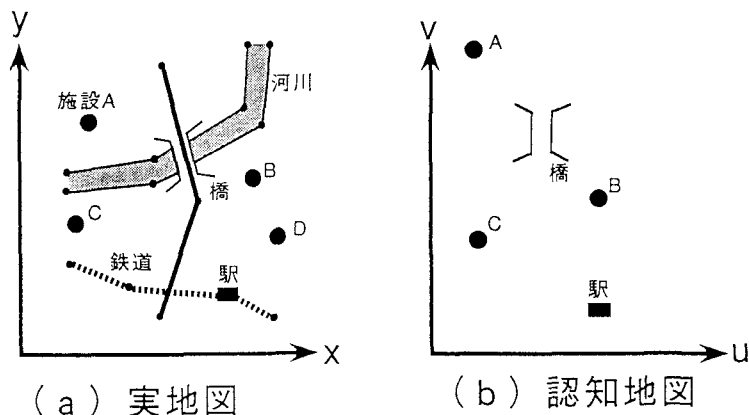


図1 実地図と認知地図の比較

3. 拡張MDSによる認知地図の作成手法

(1) 手法構築の視点

前章で示した手法は、以下の理由から筆者らの目指す認知地図作成手法としては不十分である。

- ①人々の認知空間には、当然のことながらアンケートで回答した地点以外の施設や地物が含まれていると考えられるが、MDSによる手法では、これらが無視される。
- ②地点のみを配置した地図は、我々が日頃親しんでいる地図のイメージとかけ離れたものであり、直観的に分かりづらく、また印象も薄く、魅力に乏しい。
- ③半ば、これらの結果として、本来の目的である認知空間と実空間の比較を困難にする。

以上の考えから、本研究では、多くの人々の認知空間に存在しているであろう施設や、実地図と比較対照するうえで有効と考えられる地物を認知地図上に自由に表現し得るような手法の構築を行う。

(2) 拡張MDSによる認知地図作成手法

具体的には、実地図上の任意の要素を写像によって認知地図上に描く方法を提案する。(図2参照)

写像関数には、様々なものが考えられるが、ここでは、4. 応用において適用した射影変換の関数形を示しておく。なお、射影変換は、同相写像であり、

写像前の図形の位相関係を保つ写像を行うことができる。⁶⁾

$$\begin{aligned} u &= \frac{ax + by + c}{px + qy + r} \\ v &= \frac{dx + ey + f}{px + qy + r} \end{aligned} \quad \begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ p & q & r \end{vmatrix} \neq 0 \quad (3)$$

$a, \dots, f; p, q, r$: 未知のパラメータ

写像関数のパラメータは、認知地図上の距離が認知距離を再現するように推定すればよい。すなわち、以下に示す、MDS (式(1)(2)) に対して関数 $u = f(x, y)$, $v = g(x, y)$ を制約として与えた最適化問題となる。

$$\min. \sum_{i < j}^n (c_{ij} - d_{ij})^2 \quad \dots\dots(1)$$

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

$$\begin{aligned} u_i &= f(x_i, y_i) ; v_i = g(x_i, y_i) \\ u_j &= f(x_j, y_j) ; v_j = g(x_j, y_j) \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、

$(x_i, y_i), (x_j, y_j)$: 点 i, j の実地図座標

なお、解法には、MDSと同じ準ニュートン法をそのまま適用することができる。

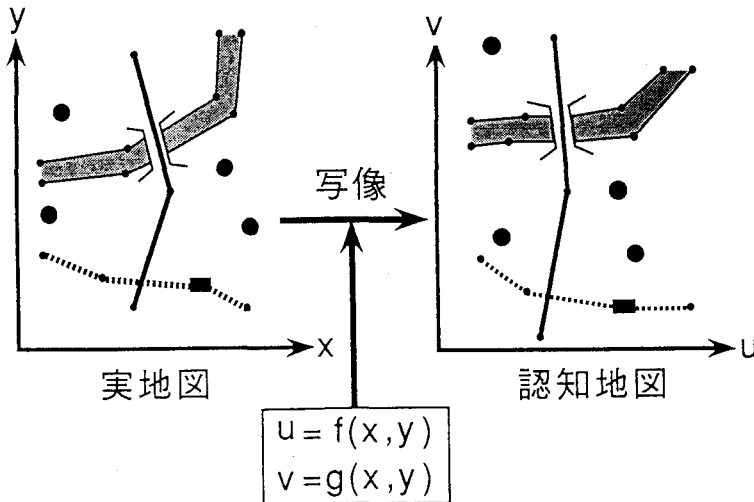


図2 拡張MDSによる認知地図作成手法

4. 応用

(1) 日本の認知地図

岐阜大学土木工学科3年生数名を対象にアンケート調査を実施し、拡張MDSを用いて、彼らの日本の認知地図を作成した。

データとなる各都市間の認知距離は、東京、名古屋の位置のみを記入した白紙の上に、あらかじめ指定したその他の主要都市の位置を記憶と勘によりプロットしてもらい、紙面上の測定によってもとめた。認知地図の地図要素は海岸線と都市とし、写像関数には射影変換を用いた。

作成した認知地図と実地図を対比して示したのが図3である。与えられた認知距離と、作成した認知地図上の距離との相関係数は0.939であり、高い再現性が得られた。

実地図と認知地図を比較すると被験者は本州をほぼ直角に認知しており、地図の形状を単純化して認知する傾向が読み取れる。また、彼らは相対的に西日本を東日本よりも広く認知していることが分かる。

(2) 岐阜市の認知地図

次に、都市の構造と認知空間の関係を分析する試みとして、岐阜市の認知地図を作成した。同じく、岐阜大学土木工学科3年生数名を対象にアンケート調査を実施し、あらかじめ指定した岐阜市の主要都市施設（岐阜県庁、岐阜市役所、名鉄岐阜駅など）間の認知距離をもとめ、拡張MDSを適用した。認知地図の地図要素は幹線道路、主要河川、主要都市施設とし、写像関数には射影変換を用いた。

認知距離の再現性を示す相関係数は0.968と高い値が得られた。作成した認知地図と実地図を対比して示したのが図4である。これらを比較すると被験者が長良川を東西に水平に認知していることが分かり、日本の認知地図にも見られたように地理的な形状を単純化して捉える傾向にあることが分かる。また、彼らは岐阜市を南北に狭く認知している。これは主要幹線道路が南北に多く通過しており、彼らの交通経験が東西方向よりも南北方向の移動に偏っていることが少なからず影響を与えているのではないかと考えられる。

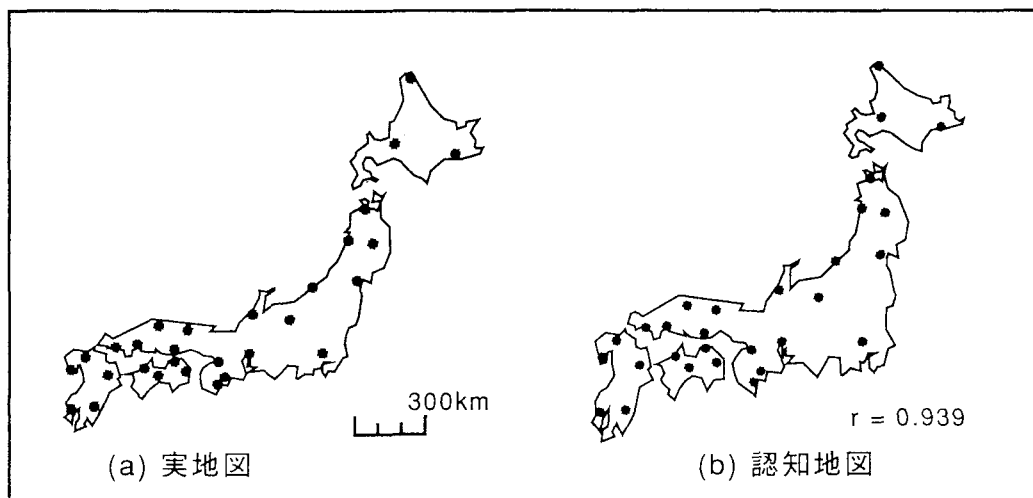


図3 日本の認知地図

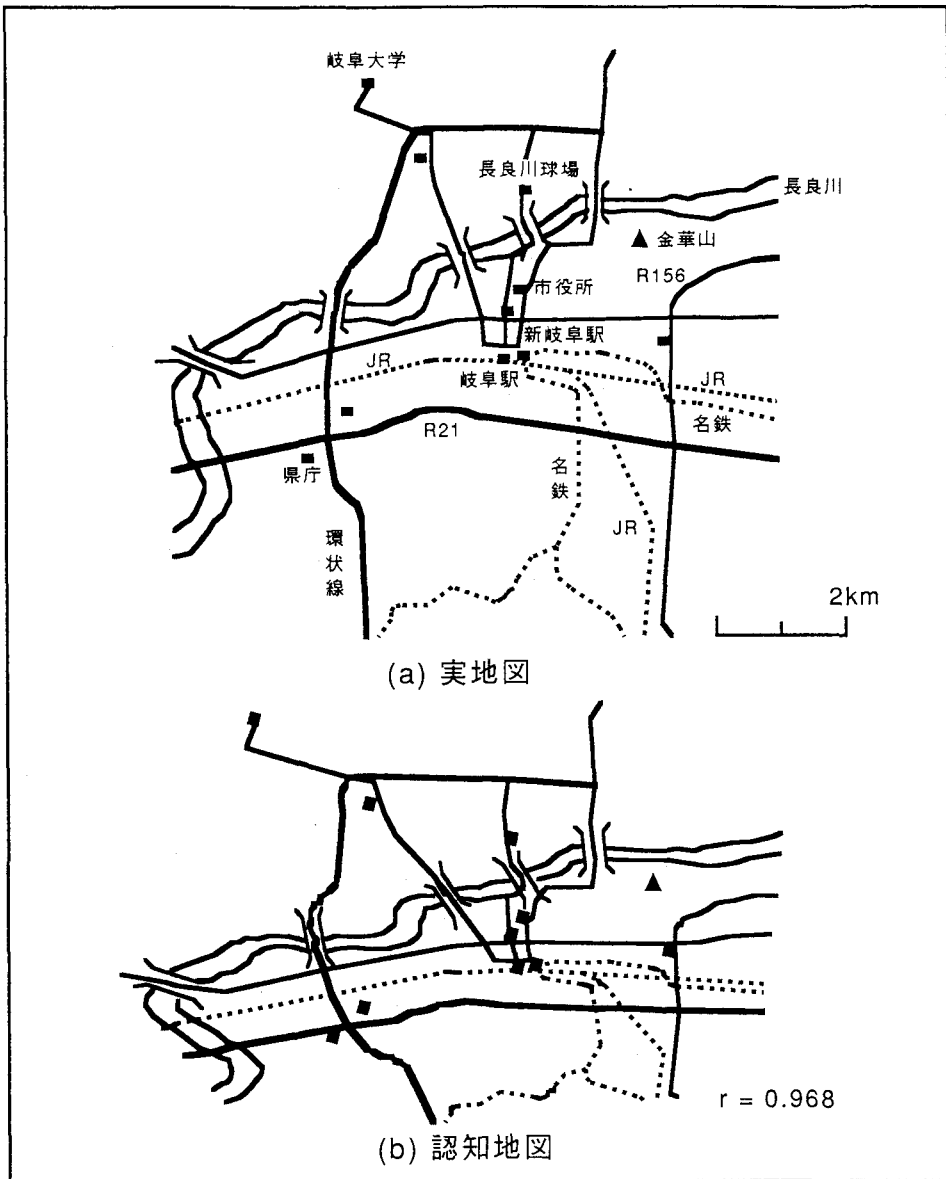


図4 岐阜市の認知地図

5. ノンメトリックMDSへの拡張⁹⁾

認知空間研究においては、距離指標である認知距離を間隔尺度ではなく、「遠い」「近い」といった相対的な順序関係に意味のある順序尺度で捉える視点で研究が行われる場合もある。

これまで議論してきたMDSは、メトリックMD

Sと呼ばれ、得られた距離指標を間隔尺度で捉えた場合に用いられる。これに対し、距離指標を順序尺度で捉える場合には、ノンメトリックMDSを用いる必要がある。

本研究で構築する手法は、このノンメトリックMDSに対しても適用可能である。

いま、いくつかの地点間に対する認知距離 c_{ij} が

与えられているとしよう。このとき、ノンメトリックMDSにより、それらの地点を配置する方法は、図5のようになる。

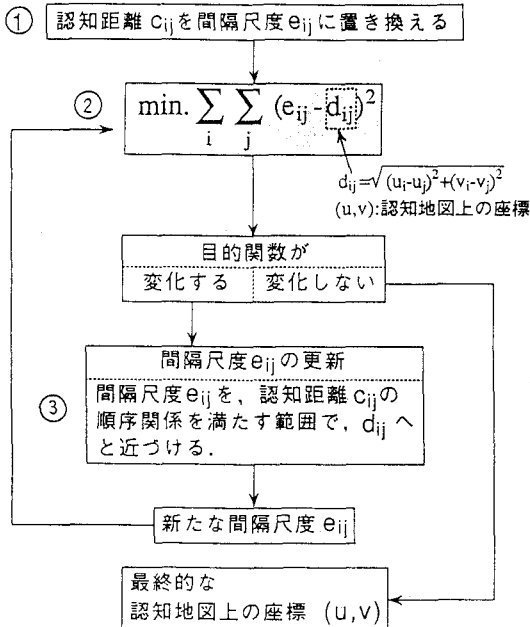


図5 ノンメトリックMDSによる地点の配置方法

主な過程での具体的な処理は以下の通りである。

- ① 認知距離 c_{ij} の順序関係を満たすような、間隔尺度 e_{ij} に置き換える。
- ② メトリックMDSを式(1)(2)で定式化した最適化問題として解く。また目的関数の値が変化しなくなった時点で繰り返し計算を終了する。
- ③ ②で最適化された認知地図上の距離 d_{ij} に対し、初期に与えられた認知距離 c_{ij} の順序関係を満たす範囲で、間隔尺度 e_{ij} を更新する。⁶⁾

ノンメトリックMDSは、メトリックMDSをそのアルゴリズムに内包しているため、3章で用いた写像制約を付加する拡張を、②の部分にそのまま適用することができる。

6. おわりに

本研究で構築した、MDSに写像制約を付加した手法を適用することにより、地図作成者が選択する

任意の地図要素（海岸線や道路、河川、都市施設等）を含んだ認知地図を作成することができる。また、地図情報がデータベース化されていれば、認知地図作成の過程を自動化することができる。これによって、個人または集団の認知空間を容易に認知地図として描くことができ、人々の認知空間の特徴を手軽に知ることが可能になる。

一方、本研究で提案したMDSは、写像制約を付加しているため、地点だけを配置する従来のMDSと比較して、必然的に認知距離の再現精度は低くなる。また、一応の精度を有する写像を選択するには、少なからず試行錯誤を要する。高い再現精度を得る写像を効率的に作成する手法を構築することが今後の課題である。

参考文献

- 1) 久保田尚、加藤篤史、窪田陽一：自動車運転者の認知地図の特性に関する研究、土木計画学研究・論文集、No.9, pp.61-68, 1991
- 2) 北村真一：空間認知の解析手法の有効性、都市計画、138, pp.46-56, 1985
- 3) 若林芳樹：認知地図の歪みに関する計量的分析、地理学評論、63A-5, pp.339-358, 1989
- 4) Sherman, R., J. Croxton and J. Giovannatto: Investigating Cognitive Representations of Spatial Relationships, Environment and Behavior, Vol. 11, No2, pp.209-226, 1979
- 5) Ewing, G. and R. Wolfe: Surface Feature Interpolation on Two-dimensional Time-space Map, Environment and Planning A, Vol.9, pp.419-437, 1977
- 6) 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, pp.15-29, 1992
- 7) 林知己夫編：多次元尺度解析法、サイエンス社、1989
- 8) 吉本剛典：全国主要都市時間距離の地図化の試み、地理学評論、Vol.54, No.11, pp.605-620, 1981
- 9) 清水英範、青木隆裕、鈴木崇児、浅井敦司：拡張MDSによる認知地図の作成、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、pp.529-530, 1993