点分布の空間的平滑化が地図利用者の点の位置推定に 与える影響の評価

中島亮一・貞広幸雄

Evaluation of the Spatial Smoothing Effect; Presumption of Point Distribution in the Spatial Smoothing Map

Ryoichi NAKASHIMA and Yukio SADAHIRO

Abstract: This paper evaluates a map expression, which is the spatial smoothing of the point distribution, from the map user's standpoint. In general, if a spatial data is smoothed, we may focus on a global structure of the distribution. In this case, it is thought that the amount of the location information in the map decreases. So, the degree of smoothing affects the way and result of map use. In this paper, the probabilistic model that expressed the man's acknowledgment of spatial smoothing map is presumed. An experiment was performed that asked subjects to presume the position of the point in the spatial smoothing map. Using the observed data, the models are estimated and their significance is evaluated by AIC. The model obtained in this paper is effective for explaining how a man recognizes the position of the point in the spatial smoothing map, and discussing the optimal level of smoothing of the spatial smoothing map.

Keywords: 地図知覚 (map perception), 点分布 (point distribution), 平滑化 (spatial smoothing)

1. はじめに

点データは、地理情報システム (GIS) において、最も基本的なデータ形式の1つであり、様々なオブジェクトの位置を地図上に表現することができる (Longley et al., 1999). 点データは通常、GIS上では点シンボルとして表現され、地図利用者は、地図中におけるそのオブジェクトの正確な位置を把握することが可能である。しかしながら、点シンボルの数が多くなりすぎると、情報量が大きくなりすぎ

て、地図利用者が分布情報を理解するのを妨げてしまうことも生じうる。そのため、全てのオブジェクトの位置を点シンボルとして表現するのではなく、ある空間的な単位で集計したり (Bailey and Gatrell, 1995)、カーネル法 (Silverman, 1986) 等を用いて空間的な平滑化を行ったりして分布を表現する場合もある。空間的集計によってコロプレス地図ができ、空間的平滑化によって連続的な濃淡図ができる。

このように様々な表現方法を用いる場合の注意点の1つとして、表現方法の違いによる地図利用者理解の差異が挙げられる。

例えば図1のように、点分布を点シンボル、空間的集計、空間的平滑化を用いて表現すると、同一の分布情報を含む地図であっても、利用者がその地図

中島：〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1
東京大学大学院 人文社会系研究科 心理学研究室
Department of Psychology, University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, JAPAN
Tel : 03-5841-3861
E-mail : rnaka@L.u-tokyo.ac.jp

図1 分布情報の可視化

(a) 点シンボル (b) 空間的集計 (c) 空間的平滑化

から得ることのできる情報は異なる (Monmonier, 1991; MacEachren, 1995)。

点分布の平滑化や集計は、点の正確な位置を隠し、大域的な分布パターン情報のみを伝達したい場合に有効である (Armstrong et al., 1999)。そのため例えば、疫学における病気の発症状況分布地図等で、平滑化地図や空間的集計地図がしばしば利用される。

しかしながらこのような平滑化地図では、点の位置に関する情報が減少する。このため利用者は点の正確な位置についての情報を得ることが難しくなり、その大域的な構造すらも正しく理解、評価できないことも起こりうる。例えば、疫学の地図において、平滑化の程度を大きくし位置情報量が極端に低下した場合、ほぼ全ての地点で病気が発症しているように表現されるかもしれない。その場合、地図利用者は、分布の大域的な集中、分散構造さえも理解できなくなってしまう可能性がある。地図製作者は、空間的平滑化や空間的集計の程度と位置情報の減少量との関係を正しく把握し、目的にあった地図を作成する必要がある。ところが、コロプレス地図や平滑化地図における集計・平滑化の程度と、その知覚との関係を取り上げた研究は極めて限られている (Muller, 1979; MacEachren, 1982; Bunch and Lloyd, 2006; 中島・貞広, 2006)。そこで、本研究では平滑化地図に焦点を当て、地図知覚における空間的平滑化の影響を分析する。平滑化地図は、例え

ば、日本においては警視庁などで公開されている犯罪発生マップに用いられている (島田ほか, 2006)。その際、平滑化の程度を変化させた場合の位置情報量の低下を指標として、その影響を論じる。平滑化地図における位置情報量として、平滑化地図からの点分布の位置の復元可能性に着目する。本研究では、アンケートを用いた実験により、地図利用者の平滑化地図知覚からの点分布復元に関するデータを集計する。次に、そのデータを用いて、地図利用者の点分布推定の方針をモデル化する。最後に、得られたモデルから導かれる人間の地図知覚に関する傾向を考察し、平滑化地図における位置情報量について論じる。

2. 実験

2.1. アンケートの作成

実験は、点分布を平滑化した地図 (以下、平滑化地図と呼ぶ) を被験者に提示し、元となった点の位置を推定させるという形で実施した。簡単な予備実験の後、そこから得られた知見を元に実施した本実験について、以下に詳述する。

平滑化地図の作成手順は以下の通りである。まず、それぞれ 10 個の点を含む 5 パターンの点分布図を筆者が自作した。図中、点は 2 箇所、3 箇所、4 箇所のいずれかに集中分布しており、これに関しては筆者が目視で確認を行った (図 2)。

図2 点分布パターン

これらの点分布を平滑化するために、点分布にカーネル関数を適用した。 z_h を h 番目の点の位置ベクトル、 n を点の個数とする。すると、点 h から得られるカーネル関数は次式で定義される。

$$k(x) = \exp(-\alpha \|x - z_h\|) \quad (1)$$

ここで α は平滑化の程度を示すパラメータ (以下、平滑化係数と呼ぶ) である。従って、地点 x における点のカーネル密度関数は次式で表される (図 3)。

$$c(x) = \frac{1}{n} \sum_h \frac{\exp(-\alpha |x - z_h|)}{\int_{y \in S} \exp(-\alpha |y - z_h|) dy} \quad (2)$$

S は地図全体の領域を示す。分母は、密度関数を領域全体で基準化するための除算を表す。

平滑化係数 α として、本研究では3種類の値 (0.7, 0.5, 0.3) を用いた。 α の値が小さいほど、点の密度関数はより滑らかになる。

図3 点の密度関数

黒点：点の存在位置
点線：それぞれのカーネル関数
実線：点の密度関数

点の密度関数の可視化は、白から黒への単色グラデーションによって行った。密度関数の値は、等間隔分類と等量分類によっていずれも5段階に分類した。図4は、同じ点分布に異なる α の値を適用し、等間隔分類によって図化した例である。

図4 平滑化地図の例

平滑化係数の値によって、同一の点分布から大きく異なる平滑化地図が作製される。

上記作業の結果、30種類の平滑化地図 (5つの点分布パターン $\times$ 3通りの平滑化係数 $\times$ 2種類の分類方法) が得られた。

平滑化地図からの点分布推定は、被験者にあらかじめ点分布図を選択肢として提示し、その中から適当と思うものを選択させる (複数選択可) という形式で行った。予備実験では、実際に推定した点の位置を記入するという形式の実験を実施したが、非常

に難易度が高く、かつ被験者への負担が大きいという理由で本実験では採用しなかった。

事前に行った予備実験の結果を筆者が目視で確認した結果、被験者の点の位置推定に関して、以下のような特徴があるということが分かった。

1. 点密度の局所的に高い領域 (以下、極大密度領域と呼ぶ) の内部に点が存在する。
2. 極大密度領域の規模と、点の個数の配分が比例している。
3. 極大密度領域の中心付近に点が集中して存在する。

そこで、これらの特徴が、地図利用者が点の位置を判断する際の基準となっているという仮説を立てた。本実験では、この仮説を検証するのに適した点分布図を選択肢として用いた。具体的には、それぞれの平滑化図から、この特徴を満たすか否かという観点で筆者が点の位置推定を行い、同じものができないよう注意しながら選択肢を自作した。その結果、1つの平滑化地図について、それぞれ元となった点分布図を含む18の選択肢が作成された。

図5 アンケートの例

アンケートシートでは、平滑化地図の下に 18 の選択肢を配置した (図 5)。30 枚のアンケートシートを平滑化係数ごとに 10 枚ずつ (2 分類 × 5 パターン) に分割し、各アンケート群に表紙と説明 (被験者への課題教示と、平滑化地図の作成方法の説明)、質問票 (点分布図を選択した際の方針、平滑化地図をどの程度見慣れているかについての質問) を加え、それをアンケートセットとした。各アンケートセットにおける地図の順序はランダムである。

2. 2. 実験の実施

実験は、2005 年 12 月 9 日に東京大学工学部都市工学科の学生を対象として実施した。被験者へのアンケートセットの配布は無作為に行った。実験の結果、被験者 34 名 (男性 29 名、女性 5 名) からの有効回答が得られた。被験者は、事前に実験の目的や内容を知らされていない。また、質問票で被験者に平滑化地図をどの程度見慣れているかを自己評定してもらったところ、このような平滑化地図を見慣れている被験者はいなかった。そのため、本研究では、平滑化地図の読図能力について、被験者間には明確な差が存在しないと考え、全被験者を一様であると仮定した。

3. 点分布推定モデル

3. 1. 実験結果のまとめ

実験結果において、平滑化係数ごとに正解率を比較したものが図 6 である。ここで正解率とは、全被験者のうちで正解を選択した被験者の割合である。この時、被験者が適当であると判断した選択肢の中に正解が含まれていれば正解を選択したと判断した。

図 6 より、平滑化係数 α が小さくなるほど、すなわち空間的平滑化の程度を大きくするほど、もとの点分布を推定することは困難になるということが分かる。これにより、平滑化の程度を大きくすると、点の位置情報量は低下するということが示される。特に、 α が 0.5 から 0.3 になるときに正解率が極端に低下している。この現象を説明するために、次節以降では、被験者の地図選択モデルを構築する。

図 6 各平滑化係数における正解率

3. 2. 地図選択モデルの概要

実験では、複数の選択肢が選択可能であったため、被験者は各点分布図と平滑化地図を個別に比較し、適当であると判断したものを全て選択したものと考えられる。そこで、前節の被験者の地図選択行動を記述するために、二項ロジットモデルを採用する (式 (3) 参照)。

$$P_{ij} = \frac{\exp(V_{ij})}{\exp(V_{ij}) + \exp(0)} \quad (3)$$

$$V_{ij} = \beta_A A_{ij} + \beta_B \beta_{ij} + \beta_C C_{ij} + \beta_D D_{ij}$$

式中、 P_{ij} は地図 i における選択肢 j の選択確率、 V_{ij} は地図 i における選択肢 j の選択される場合の効用を示す。 $\beta_A \sim \beta_D$ はパラメータ、説明変数 $A_{ij} \sim D_{ij}$ は、各平滑化地図の特性を表す変数である (詳細は次節)。これらの変数は、平滑化係数の値に影響を受けて変動する。

3. 3. モデルの説明変数

実験では、点分布図をどのような方針で選択したか、直接問う項目を設けた。それに対する回答のうち多数意見をまとめることによって、被験者の選択行動について以下のような仮説を立てた。

1. 極大密度領域に着目し、点分布における点の集中領域 (以下、点集中領域と呼ぶ) と比較し、それぞれ、地図内で個数が一致しているかどうかを検討する。
2. 極大密度領域の規模と点集中領域内の点の個数を比較し、規模に応じた個数の点が存在しているかどうかを検討する。

3. それぞれの点集中領域内の点分布の様子に着目し、各点集中領域内における点の集中分散の程度を検討する。
4. 点分布が、極大密度領域の中央付近に存在しているかを検討する。

これらはいずれも、予備実験により得られた条件とよく符合する。上記の仮説を検証するために、以下に述べる説明変数を導入した。

3.3.1. 極大密度領域と点集中領域の数的類似性

極大密度領域とは、平滑化地図において局所的に点密度が最大となっている領域であり、5段階の分類区分の中で、最も値の大きな区分に相当する領域である（図7における太線で囲まれた領域）。

図7 極大密度領域

一方、点集中領域は以下のように定義される。点分布図において、全ての点对間の距離を求め、平均値以下の距離にある点对を結合する。その結果、点分布はいくつかの集合に分かれる。これらの集合を点集中領域とする。そして、それぞれの領域の個数の差を変数 A_{ij} とした（式(4) 参照）。

$$A_{ij} = |N_m - N_{cp}| \quad (4)$$

式中、 N_m は地図中の極大密度領域数、 N_{cp} は点集中領域数を表す。これより、類似性が高いほど（図8左側と中央）、 A_{ij} の値は小さくなる。

図8 極大密度領域と点集中領域の数的類似性

3.3.2. 極大密度領域の規模と点集中領域内の点の個数の類似性

極大密度領域が複数存在する場合、それぞれの極大密度領域付近に存在する点集中領域内の点の個数が、それぞれの極大密度領域の面積に比例しているかどうかを見るために、式(5)で表される変数で定義した。

$$B_{ij} = \sum_k |Q_{ijk} - Q_{ik}| \quad (5)$$

$$Q_{ik} = \frac{10 \times T_{ik}}{\sum_k T_{ik}} \quad (6)$$

ここで Q_{ijk} は地図 i の選択肢 j における k 番目の極大密度領域から一定距離（それぞれの極大密度領域の重心間の距離を求め、その最小値の $1/2$ と定義した。これにより、ある極大密度領域付近に存在すると定義される点は、他の極大密度領域付近には存在せず、同一の点を二重に評価する危険性が無くなると考えられる）以内に実際に存在する点の個数を表す。 Q_{ik} は、地図 i における k 番目の極大密度領域の面積（ T_{ik} とする）から式(6)によって算出される点の個数を表す。その差分を変数 B_{ij} とした。数式からも分かるように、類似性が高いほど（図9左側と中央）この値は小さくなる。

図9 極大密度領域の規模と点集中領域内の点の個数の類似性

3.3.3. 点集中領域内の各点の集中度

各選択肢において、各点集中領域内の点の集中分散の程度を示した変数を C_{ij} と定義する（式(7) 参照）。

$$C_{ij} = \frac{1}{10} \sum_c \sum_l |q_{cl}(x) - Ce_q(x)| \quad (7)$$

式中の $q_{cl}(x)$ はある点集中領域 c に含まれる l 番目の点、 $Ce_q(x)$ はその点集中領域の重心のそれぞれ位置ベクトルである。

3.3.4. 極大密度領域の中央と点集中領域の中央の一致の判別

各選択肢において、各点集中領域内の点が、平滑化地図の極大密度領域の中央付近に分布しているかどうかを示す変数を D_{ij} とする。選択肢作成の際に、極大密度領域の中央と比較して、点分布が中央にあるもの、中央からずれているものを作成していた。前者を1、後者を0というダミー変数で定義した。この判定を行う際には、以下の式を用いた。

$$D_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } |Ce_q(x) - De_q(x)| < r \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

式中の $Ce_q(x)$ は前節の点集中領域の重心、 $De_q(x)$ はそれに対応する極大密度領域の重心の、それぞれの位置ベクトルを表す。これら2点間の距離が、点集中領域の重心とその点集中領域に含まれる点の距離の平均値 r 未満であれば、極大密度領域の中央と点集中領域の中央は一致すると判断した。具体的に図で示すと、図10の場合、左図では0、右図では1という値になる。

図10 中央一致の判別

3.4. モデルの評価

前節の説明変数を用いて得られる二項ロジットモデルを、実際の実験データを用いて推定する。最初に、説明変数間の多重共線性を検討した。説明変数間の相関係数行列の逆行列における、 m 行 m 列の対角成分を r_{mm} とする。多重共線性の判定には、この成分 r_{mm} を用いて定義される以下の指標 R_m^2 を用いる（早川，1986）。それぞれの説明変数について、この値を求めたものを表1に示す。

$$R_m^2 = 1 - \frac{1}{r_{mm}} \quad (9)$$

表1 各説明変数の R_m^2 の値

A_{ij}	B_{ij}	C_{ij}	D_{ij}
0.2079	0.0373	0.1030	0.1931

各変数における R_m^2 が0.9以上であれば、その変数とその他の変数との多重共線性があると判定され、説明変数としては不適当だと判断される。しかし、全ての説明変数について、 R_m^2 はこの値を下回っているため、多重共線性はないと判断した。

そこで、これらの説明変数全てを用いてモデル推定を行った（モデルについては式（3）参照）。モデル推定の際、各説明変数をそれぞれの最大値で除することにより、全ての変数が最小値0、最大値1となるような線形変換を行った。変数選択は変数増減法によって行い、モデルの有意性はAIC（Akaike's Information Criteria）の比較によって評価した（表2参照）。最終的に得られたモデルでは、全ての説明変数が取り込まれたものが最も当てはまりのよいモデルであるという結果が得られた。

表2 モデルの変数の数によるAIC比較

変数の数	AIC
1	6303.49
2	6014.75
3	5952.18
4	5943.32

アンケート作成時には、同一の点分布について、等間隔分類と等量分類の2種類の分類法を用いてデータを分類、可視化した。そこで、被験者の平滑化地図の知覚が、その分類法に影響を受けているかどうかを検討する。すなわち、被験者がデータの分類法が異なる平滑化地図を見た場合に、点分布図を選択する方針を変えているかどうかを検証する。実験データを等間隔分類地図のデータ、等量分類地図のデータに分割して、同様のモデル推定を行った。その結果を、全てのデータによるモデル推定の結果とともに表3に示す。

表3 各モデルのパラメータ

変数名	全体	等間隔	等量
βA_{ij}	-2.4040	-1.6199	-3.2839
βB_{ij}	-0.6931	-0.1949	-0.8754
βC_{ij}	-2.9145	-3.2542	-2.5848
βD_{ij}	0.4808	0.4189	0.5561

表3において、各パラメータの符号を比較すると、等間隔分類地図のデータ、等量分類地図のデータによるモデルのパラメータの符号は一致しており、さらに全体のデータによるモデルのパラメータの符号とも一致している。そのため、地図利用者は、平滑化地図において、等間隔分類、等量分類の違いにかかわらず、ほぼ同様の方針で点の位置推定を行っていると考えられる。また、2種類の地図を分割したデータによるモデルのAICを求めたところ（AIC = 5945.22）、データの分割を行わなかったモデルの方が当てはまりがよいという結果が得られた。これより少なくとも点の位置推定に関しては、分類法は大きな影響を与えないのかもしれないことが示唆される。

以上より、分類法の違いを考慮せず、全ての説明変数を用いたモデルを本研究における人の平滑化地図の知覚を表すモデルとして採用する（表3の全体の項参照）。各パラメータの符号を見ると、 A_{ij} 、 B_{ij} 、 C_{ij} については負、 D_{ij} については正となっている。これより、 A_{ij} 、 B_{ij} 、 C_{ij} の値が0に近く、 D_{ij} の値が1である点分布の選択確率が高いということが出来る。すなわち、極大密度領域と点集中領域の数的類似性、極大密度領域の規模と点集中領域内の点の個数の類似性、点集中領域内の各点の集中度が高く、極大密度領域の中央と点集中領域の中央が一致している点分布が選択されやすいということである。また、パラメータの大きさを比較することによって、被験者は、極大密度領域と点集中領域の数的類似性と点集中領域内の各点の集中度を重視しているとも言える。

4. 考察

モデル推定の結果より、選択されやすい点分布の特徴は以下の通りである。

1. 極大密度領域とほぼ同じ位置に全ての点が存在している（極大密度領域と点集中領域の数が等しい）。
2. 極大密度領域内に存在する点の個数が、各極大密度領域の面積に比例している。
3. 極大密度領域の中央を中心として点が集中分布している。
4. 以上のうち、1と3が比較的重視されやすい。

これらは、人が平滑化地図を見た場合の点分布の位置推定における特徴と考えられる。この特徴は、アンケート時に得られた被験者の点の位置推定の根拠とも一致しており、モデル構築の際に立てた仮説は妥当であるということが検証できた。図11に、平滑化地図から推定されやすい点分布の例を示す。この図は、ここで挙げた人の点の位置推定の特徴をよく表している。

図11 平滑化地図から推定されやすい点分布

以上の結果から、地図利用者が平滑化地図を与えられた際に、以下のように元の点位置を推定することが考えられる。

地図利用者はまず、平滑化地図における極大密度領域の中心付近に点が存在すると考える。その際、一般的には平滑化地図の極大密度領域内に点が集中しているように推定する傾向がある。また、複数の点集中領域が存在し、それぞれの集中領域を形成している点の個数が異なる場合、平滑化の程度を大き

くしていくと、分類法、分類の段階数が同一の場合、点の多い集中領域はより面積の大きな極大密度領域を形成し、点の少ない集中領域はより面積の小さな極大密度領域を形成する傾向がある（図 12 参照）。そのため地図利用者は、平滑化の程度が大きいと、極大密度領域内の点の個数を過大評価し、他の領域の点の個数を過小評価する傾向がある。

図 12 同一分布の平滑化地図の例

平滑化の程度を大きくすると、点の個数が多い集中領域は、極大密度領域の面積がより大きくなる傾向があり（左下の領域）、点の個数が少ない集中領域は極大密度領域の面積がより小さくなる傾向がある（右上の領域）。

平滑化の程度を大きくすると、点の個数の少ない集中領域はより小さな極大密度領域を形成するが、ある程度の平滑化の程度の時点で、その集中領域が極大密度領域を形成しなくなる場合がある（図 13 左上の領域、 $\alpha=0.3$ の場合、この部分には点が存在するにもかかわらず、極大密度領域が形成されていない）。また、点の個数が多い集中領域はより大きな極大密度領域を形成するが、平滑化の程度が大きくなると複数の点集中領域が 1 個の大きな極大密度領域を形成する場合もある（図 13 右側の領域、 $\alpha=0.3$ の場合、この部分には 2 個の点集中領域が存在するが、1 個の極大密度領域を形成している）。このような場合、作成された平滑化地図は、元の点分布の分布状況とは全く異なるものとなる。この時、地図利用者はその平滑化地図の極大密度領域を基準にして点の位置を推定する。そのため、平滑化地図においてそのような現象が起こった時点で、地図利用者はそれより平滑化の程度が小さい地図の場合とは全く異なった点の位置を推定することになる。

このことから、実験結果のグラフ（図 6）において、平滑化係数が 0.5 から 0.3 になる場合に、正解率が極端に減少する理由も説明できる。すなわち、平滑化係数が 0.3 になると、実験に用いた点分布においては、複数の点集中領域が 1 個の極大密度領域を形成する場合や、点の個数の少ない集中領域が極大密度領域を形成しなくなる場合があり、それが地図知覚に大きな影響を与えるためだと考えられる。

図 13 同一分布の平滑化地図の例

平滑化の程度が大きくなると、点の個数が少ない集中領域が極大区分領域を形成しなくなる場合（左上の領域）、複数の点集中領域が 1 つの大きな極大区分領域を形成する場合がある（右側の領域）。

最後に、平滑化地図における平滑化の程度の決定に関して検討する。どの程度の平滑化を行えばよいのかについて、一般的な平滑化係数の値を示すのは難しい。しかし、平滑化の程度の決定について考慮すべき地図利用者の平滑化地図の知覚の特徴は、本研究の結果から得られている。そこで、それに関連した平滑化係数の決定に関する大きな 2 つの指針となりうるものを以下に示す。

1. 地図利用者は、平滑化の程度が大きい場合に、平滑化地図における点の個数を場所に応じて過大・過小評価する傾向がある。これは平滑化地図における極大密度領域の規模に関連していると考えられる。そのため、地図製作者は、作製された地図中の極大密度領域の様子を目視等で確認し、その規模の歪みについて考慮する必要がある。そして、それと表現意図とを勘案して平滑化の程度を決定することが重要である。例えば、分布の集中・分散領域の

差異を明確に表現したい場合には、平滑化の程度を大きめに設定する等の工夫が必要である。

- より重要であると考えられるのは、平滑化の程度の違いによる極大密度領域の形状の変化（可視化の結果、複数の点集中領域が1個の大きな極大密度領域を形成する、点の数が少ない集中領域が極大密度領域を形成しなくなる）は、地図利用者の平滑化地図における点の位置推定に大きな影響を与えるという点である。疫学の地図や犯罪分布地図では、点の正確な位置を隠すという意図をもって平滑化の程度を大きくする場合がある。しかし、このような極大密度領域の形状の変化が起こると、点が存在しない領域に点が存在する、あるいはその逆という誤った認識を地図利用者に与えてしまう可能性がある。そのため、地図製作者は、このような変化が起こらないような平滑化係数を選択する必要があるだろう。これについても、地図製作者は作成された地図を目視等で確認することが重要である。

一般には、地図製作者が平滑化の程度を決定することができる。その時、利用者の理解という観点を付け加えて議論することが重要であると考えられる。すなわち、地図製作者も地図利用者の立場に立ち、作成された地図を目視により確認することが重要である。

5. まとめ

本研究では、点分布の平滑化地図に焦点を当て、平滑化地図の表現方法の評価を行った。平滑化地図には、分布の大域的な構造を理解するのに適しているという利点がある反面、分布の詳細な情報を理解できないという欠点もある。そこで、平滑化の程度と、点の位置情報量の関係をモデル化し、分析を行った。

本研究で得られた知見は、点分布を平滑化するという前提条件のもとで、平滑化地図における「平滑化の程度の決定」について地図利用者の地図知覚における位置情報量の低下（分布の構造の理解度に関

連していると考えられる）という観点から議論するのに有効であると考えられる。どの程度の平滑化を行えばよいかについては、一般的な平滑化係数の数値を示すことは難しい。しかし、本研究の分析から得られた地図利用者の平滑化地図知覚の傾向（平滑化地図知覚の歪み）を知っておくことで、平滑化係数の決定の指針となるだろう。地図製作者は、地図利用者の地図知覚の傾向を念頭に置き、作製後の平滑化地図について目視による確認等を行うことが重要である。

一般に、地図作製の際には、総描が用いられる。総描とは、地図の縮尺上の制限や利用目的からみた必要度に応じて、細かいものや密集したものなどを簡略化して表現する方法である（日本国際地図学会、1985）。点分布の空間的平滑化は総描の一種と考えることができるため、本研究は一般的な総描地図の知覚につながるものとしても重要だと考えられる。

最後に、今後の本研究の展開について述べる。本研究では、被験者の属性や実験状況等、ある程度限定的なものとせざるを得なかったため、それらをより一般化してモデルの汎用性を高めることが重要である。

第一に、本研究では、被験者の性差を勘案したモデル構築は行わなかった。この理由として、一般に女性は地図を読むのが苦手であると言われていたが、地図利用で女性が劣るという点には否定的な研究結果（例えば Gilmartin and Patton, 1984 ; Gilmartin, 1986）もあることが挙げられる。また、被験者の中に女性が少ないというデータ上の制約もある。しかしながら、平滑化地図の知覚において、男女比がないと言い切ることはできないため、性差を考慮した分析を行う必要はあるだろう。

第二に、本研究では、学生を被験者とした実験を行った。本研究で用いた平滑化地図については慣れの程度は低かったが、一般に彼らは比較的地図に慣れている人間だと考えられる。しかしながら、地図を利用するのは不特定多数の地図の熟知度が様々な人々である。一般に地図の熟知度は地図知覚に影響を与える（村越・小林, 2003）と考えられるので、様々な属性を持った多くの人々を対象にして実験を行う

必要がある。それによって、より詳細な分析が可能になるだろう。将来、犯罪分布地図等を通じて平滑化地図がより多くの場で公開される可能性は十分にあり、その場合に、地図の熟知度を考慮した分析は有効になるだろう。

第三に、本研究では、平滑化地図の知覚を平滑化の程度との関係から分析した。しかしながら、平滑化地図の知覚に影響する要素は、データの分類の段階数、表示する場合の色の選定等、他にも多く存在する (Monmonier, 1991)。このような要素についても分析を行うことが必要である。特に、色相の差異による影響は重要であり、滑らかに変化するデータや、連続的な分布を持つデータを可視化する場合、色体系を用いるとより柔軟性に富んだデザインが可能であり (Brewer, 1997)、多くの地図はカラー表示がされている。また、色は人に特定の感情や象徴性を与えると言われている (大山ほか, 1963)。そのため、色が人の感情に及ぼす影響を加味した分析を行うことにより、より一般的な地図についての議論が可能になるだろう。

最後に、ある分布を表現する際に、平滑化を行うかどうかの判断についての議論も重要である。これらの考察や議論によって、よりよい平滑化地図の表現方法の決定に役立つと考えられる。

参考文献

大山正・田中靖政・芳賀純 (1963) 日米学生における色彩感情と色彩象徴. 「心理学研究」, **34**, 109-121.

島田貴仁・遠塚昌瑞・齋藤知範・井上泰伸・原田豊 (2006) 犯罪発生の変化の視覚化－犯罪抑止成果マップ－. (CSISDAYS 2006) < <http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/sympo2006/csisdays06-ra-pdf/csisdays06-f07-p42.pdf> >

中島亮一・貞広幸雄 (2006) 地図表現が施設選択行動に与える影響－犯罪分布地図の表現方法. 「GIS－理論と応用」, **14** (1), 21-28.

日本国際地図学会 (1985) 『地図学用語辞典』, 技報堂出版.

早川毅 (1986) 『回帰分析の基礎』, 朝倉書店.

村越真・小林岳人 (2003) 地形図読解問題解答の認知的プロセス. 「地図」, **41** (4), 17-26.

Armstrong, M. P., Rushton, G. and Zimmerman, D. L. (1999) Geographically masking health data to preserve confidentiality. *Statistics in Medicine*, **18** (5),

497-525.

Bailey, T. C. and Gatrell, A. C. (1995) *Interactive spatial data analysis*, London :Taylor & Francis.

Brewer, C. A. (1997) Spectral Schemes: Controversial Color Use of Maps. *Cartography and Geographic Information Systems*, **24** (4), 203-220.

Bunch, R. L. and Lloyd, R. E. (2006) The Cognitive Load of Geographic Information. *The Professional Geographer*, **58** (2), 209-220.

Gilmartin, P. P. (1986) Maps, mental imagery, and gender in the recall of geographical information. *The American Cartographer*, **13**, 335-344.

Gilmartin, P. P. and Patton, J. C. (1984) Comparing the sexes on spatial abilities: map-use skills. *Annals of the Association of American Geographers*, **74** (4), 605-619.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., and Rhind, D. W. (1999) *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications and Management*, New York : John Wiley.

MacEachren, A. M. (1982) The Role of Complexity and Symbolization Method in Thematic Map Effectiveness. *Annals of the Association of American Geographers*, **72** (4), 495-513.

MacEachren, A. M. (1995) *How Maps Work: Representation, Visualization, and Design*, New York :Guilford Press.

Monmonier, M., (1991) *How to Lie With Maps*, Chicago : University of Chicago Press.

Muller, J. C. (1979) PERCEPTION OF CONTINUOUSLY SHADED MAPS. *Annals of the Association of American Geographers*, **69** (2), 240-249.

Silverman, B. W. (1986) *Density estimation*, London : Chapman & Hall.