

力学モデルに基づく空間データ表示の動的選択機能

佐藤 聡[†] 有川 正俊^{††} 伊藤 智裕

現在、空間データの流通のための基盤作りが活発に行われている。将来、利用者は大量かつ多種の空間データ群をネットワークを通して自由に収集し、それらを限られた大きさの画面を用いてブラウジングすることになる。すなわち、利用者の目的に応じて、縮尺や実際に表示すべき空間データの選択基準を定める体系が必要となる。しかし、縮尺、選択基準のいずれか一方を定めたときに他方を自動的に求める体系に関して、厳密で実用的な体系はまだ提案されていない。本論文では、選択された空間データの視覚化結果としての地図の周密さを、地図を構成する図形を適切な位置に配置するための力学モデルを応用した「圧力」という概念を用いて定義することにより、縮尺、選択基準を定める機能を実現する仕組みを提案する。また、プロトタイプを開発し、この体系の実用性の検証を行った。

Dynamic Selective Functions Based on Dynamics for Browsing Spatial Data

AKIRA SATO,[†] MASATOSHI ARIKAWA^{††} and TOMOHIRO ITO[†]

Spatial data infrastructure is being promoted so as to allow any to use easily a wide variety of geospatial data from distributed multiple geospatial database servers on the Internet. In the new environment, one problem is how to preserve legibility of maps which is made from unexpected combinations of various kinds of geospatial data as query results of databases. We have proposed the methods for layout of graphic symbols as a map using some rules of *dynamics*. This paper introduces a new style function for selecting graphic symbols using the concept *pressure* based on the proposed layout method. Finally, several experimental results of the selective function based on the pressure are shown in order to clarify the effectiveness of it.

1. はじめに

空間データの標準化、インターネット、携帯端末の発達などにより、近い将来、空間データの流通はますますさかんになると考えられる。従来の空間データは、地図として意味のある固定した縮尺と組み合わせて利用される使い方が一般的であった。今後は、空間データは、多種多様な組合せで統合され、自由な縮尺で閲覧されるようになるのは必然である。すなわち、利用者は、空間データベースへの質問、インターネットを介したファイルのダウンロード、電子メールを使った空間データの配付など、自由で多様な形態で空間データを収集する。そして、利用者はそれら様々な空間データを統合して、目的に応じた自由な縮尺で閲覧す

る^{4),5)}。このような利用形態の地図はスケールレス地図 (scaleless map) と呼ばれている⁷⁾。収集した結果を表示する場合、地図の形態で視覚化が行われる。地図には、縮尺という概念があり、ある制限された画面の大きさで空間データをブラウジングする。そして、縮尺は情報の細かさを規定する指標として使われる。文書データの比喩を用いて、データ表示と縮尺の関係を説明する。もともと 20 ページある文書を 1/2 の縮尺にした場合には 10 ページでブラウジングし、1/10 の縮尺では 2 ページでブラウジングする。このような文書データの要約は必要であるが簡単でないことは自明である。一般に、文書はあるページ数という固定縮尺のもとで利用される。もし文書データを様々なデータベースから自由に検索して利用できる場合、収集した文書データ群を限られたページ数で表現する要求は出てくる。地図は、現実世界を表現する空間データを縮尺に応じて要約した結果と考えることができる。この要約が適切ではない地図は、図 1 に示した地図のように、非常に読みにくい。したがって、収集した空間データを自由な縮尺でブラウジングするためには、

[†] 広島市立大学情報科学部

Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University

^{††} 東京大学空間情報科学研究センター

Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo

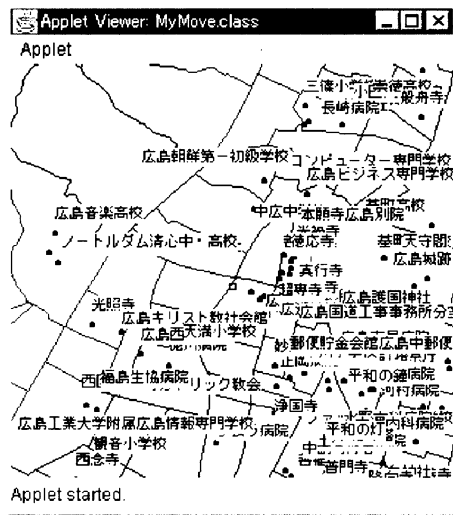


図 1 表示情報量が不適切な地図の例

Fig. 1 A map with excessive pieces of display data.

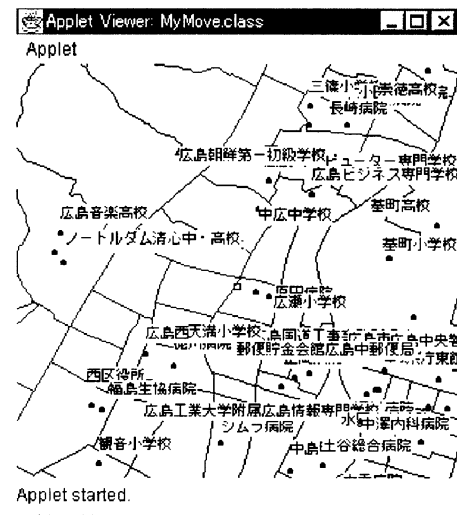


図 2 表示情報量が適切な地図の例

Fig. 2 A map with appropriate pieces of display data.

図 2 に示す地図のように、それぞれの縮尺に応じて空間データの集合の要約を行う必要がある。また、収集した空間データの部分集合を利用者が指定した場合、それらを表示するのに適した縮尺を定める必要がある。これは、指定された要約のレベルに応じて縮尺を定めることに対応する。地図の要約と縮尺とは密接に関係しているが、一方を定めたときに他方を自動的に設定することは一般に困難である。この要約処理は、地図学では総描 (generalization) という^{6),12)}。

従来の紙媒体の地図は、(1) 作成する地図の大きさ、縮尺などを決定する、(2) 表示する情報の選択を行う、(3) 図形を配置する、という過程により作成される。紙媒体の地図では、同じ利用目的を持った利用者を対象として作成されるため、あらかじめ定められた統一的な選択基準に従って表示対象の選択が行われている。また、地図を構成する図形の配置を様々な制約を満たすように決定している。特に、注記を表す図形を配置する問題は「名前配置問題」と呼ばれる。この名前配置問題は、あらかじめ数種類の配置候補を与えるといった非常に制限された形に置き換えた問題においても NP 完全であり、本質的に難しい問題に属している¹⁾。この「名前配置問題」を解く方式が様々提案されている^{8),9)}。

一方、本研究が対象としている地図作成の環境、すなわち、計算機を用いて空間データを表示する環境においても、従来の紙媒体の地図と同様に、地理情報を表現する領域の大きさ (ウィンドウの大きさなど) は有限である。この環境では、利用者は、目的に応じて、必要な空間データを収集し、統合して地図を作成する

ことができる。このとき、利用者は、非常に多くの空間データを利用することが可能であるため、表示する情報の選択基準や、縮尺をあらかじめ定めることは難しいと考えられる。すなわち、利用者は、インタラクティブに選択基準や、縮尺を変更しながら、空間データをブラウズし、選択基準や縮尺を決定していくと考えられる。選択基準や縮尺の変更要求を発行してから地図が作成されるまで、利用者は待たされることになる。この作成されるまでの時間が長ければ、利用者の作業効率が低下する。しかし、多少読みにくい地図であってもすぐに閲覧可能となれば、利用者は次の作業方針を決定でき、作業効率が高まる。たとえば、利用者が、ネットワークを介してアクセス可能な複数の空間データベースに問合せを行い、その結果を統合して地図を作成する場合を考える。このような環境では、ネットワークの遅延、データベース問合せ処理の時間差などにより、問合せ発行から結果取得までの時間が各データベースごとに異なる。すべてのデータが揃うまで結果が見られないことよりも、一部分のデータだけでも閲覧することにより、次の作業の方針 (選択基準や縮尺など) を決定できる場合がある。したがって、随時表示対象の空間データを追加でき、かつ、インタラクティブに選択基準や縮尺が変更でき、かつ、時間とともに地図の読みにくさが解消される仕組みが必要である。

我々は、ネットワークを介して収集した空間データ群を対象にした「名前配置問題」を解消する方式として、力学モデルに基づく動的表示方式を提案している²⁾。力学モデルとは、地図を構成する表示図形の現

在の配置を基に発生する影響力に力学における運動方程式を適用し、新しい配置を決定するモデルである。ここで、影響力とは地図を構成する表示図形の中で表示位置に自由度のある図形すべてを対象として発生するものである。この影響力は、自由度のある図形が他の図形の表示に重なったり、誤読する可能性がある位置に表示されたりした場合、その不適切な度合いに応じて発生するように定義される。地図中において、ある図形に生じる影響力が大きいほどより不適切な位置に表示がされているといえ、また影響力が生じている図形が多いほど不適切な表示となっている図形が数多く存在するといえる。このモデルの特徴は、表示対象となる空間データ群のすべてが揃わない状態においても、適応可能な点にある。

本論文では、空間データの表示選択モデルを提案する。このモデルの特徴は、地図を構成する図形を適切な位置に配置するための力学モデルに「圧力」という概念を導入している点にある。この圧力は、選択された空間データの視覚化の結果としての地図の周密さを表している。本研究では、地図上で生じる影響力の単位面積あたりの大きさを圧力と定義する。この圧力の値を、地図の読みにくさを示す制御量として用いる。地図中の圧力の値が0に近いほど、その地図中の図形配置がより適正である。すなわち、その地図はより読みやすいことを表している。逆に圧力が大きいほど、図形の配置がより不適切である。すなわち、その地図はより読みにくいことを表している。本提案方式では、利用者が目標値となるしきい値を指定する。圧力がしきい値より大きければ表示する情報量を減らし、逆に圧力がしきい値より小さければ表示する情報量を増やすように表示する情報を選択する方式である。しきい値を大きく設定することは、利用者が設定した値に準じた読みにくい地図の生成を受け入れることを意味する。すなわち、利用者は、しきい値を設定することにより、作成される地図の見にくさに関する要求を発行することができる。情報量を制御する方法として、選択基準を変更する方法と縮尺を変更する方法の2種を考えた。これにより、選択基準と縮尺のいずれか一方を定めた場合に、他方を自動的に制御することが可能となる。

提案するモデルの特徴は、次のようにあげられる。

特徴 1：即答性 必要な空間データを様々な手段を用いて取得した時点において、すぐに表示することが可能である。

特徴 2：段階的品質の向上 表示を開始してからの経過時間とともに、表示の品質を上げることが可能

である。また、途中で止めることもできる。

特徴 3：統一モデル 本論文では、点図形で表示可能な空間データを対象として議論を進めるが、点図形以外の図形で表示される空間データを対象とした場合にも、容易に拡張することが可能である。

特徴 4：インタラクティブな対応 地図の表示において情報の追加・削除、ウィンドウサイズの変更、表示領域の変更（スクロール）、縮尺の変更（ズーム）などの利用者要求が発行された時点ですぐに対応可能となる。

本論文の構成は、以下のとおりである。まず、2章では、議論を進めるにあたっての基本概念について述べる。3章では、提案する動的選択機能について述べる。4章では、提案する動的選択機能を実装したシステムについて述べる。5章では、その試作システムを用いて、提案する動的選択機能の有効性を検証する実験とその結果について述べる。最後に、6章でまとめとする。

2. 基本概念の定義

2.1 地図

2.1.1 構成図形

地理情報のデータは、地図上において記号化され表示される。地図上で記号化されたものを地理図形 (*geo_obj*) と呼ぶ。地理図形には、それぞれが持つ情報の属性や注記などの文字情報が存在するものがある。これら文字情報を表示する図形を名前図形 (*name_obj*) と呼ぶ。ここで、この地理図形のことを、名前図形の親図形と呼ぶ。地図 (*map*) は、地理図形と名前図形の集合と定義できる。以下、単に図形 (*obj*) という場合は、地理図形または名前図形のいずれかを示す。

$map ::= obj^*$

$obj ::= (name_obj|geo_obj)$

2.1.2 図形配置に関する制約

参考文献 11) では、紙を媒体とした地図を作成するうえでの名前図形の配置位置について様々な事例、および原則についてまとめられている。また、参考文献 6)、12) には、名前図形の表示方法（表示形態）の原則が述べられている。本研究と参考文献 6)、11)、12) とでは、地図を作成する環境が異なる。したがって、本研究では、参考文献 6)、11)、12) の原則を基にして、新たな原則をまとめた。その原則を以下に示す。

原則 1 名前図形は、それが示す地理図形を容易に認識される位置に配置する。点データを表す地理図形においては、名前図形はその親図形の周りに配置されなければならない。

原則 2 名前図形どうしが重なる配置をしてはいけない。

原則 3 名前図形は、他の図形に重ねて配置をしてはいけない。

原則 4 名前図形の表示法は、横書きとする。

原則 5 略称は表示しない。

原則 6 同じ属性を持つ地理図形に対する名前図形の表示属性（フォント、色など）は同じにする（同一クラスでは、同じ表示属性を統一する）。

原則 7 名前図形の表示に用いる文字の大きさは、利用者が読むのに適当な大きさにする。

これらの原則を満たさずに作成された地図は、読みにくい地図といえる。とくに、原則 2, 3 を満たさず、数多くの名前図形どうしを重ねて配置している地図は非常に読みにくい地図である。本研究において、読みにくい地図とは、上記原則の 1, 2, および 3 を満たさない地図のことを指す。

2.2 力学モデル

本研究では、力学モデルに基づいて表示情報量の制御を行う。力学モデルとは、地図を構成する図形中の表示位置に自由度のある名前図形に対して、現在の配置位置が適切な位置でなければ、適切な位置へ配置が行われるように影響力を発生させ、その影響力に力学の運動方程式を適用し、新しい配置を決定する。

2.2.1 適切配置領域

名前図形の配置の不適切さは、他の図形の配置と関連して決定される。ここでは、ある図形に対して、名前図形が配置されてもよい領域を適切配置領域と呼ぶ。この適切配置領域は、2.1.2 項において示した原則 1, 2, 3 を満たすように定義される。この図形の適切配置領域は、その図形が対象となる名前図形の親図形であるか否かによって異なる。

親図形である場合 図形から一定距離だけ離れた配置
親図形ではない場合 図形から一定距離以上離れた配置

2.2.2 影響力

影響力は、地図を構成する図形のうち表示位置に自由度がある名前図形に発生するものとする。名前図形 i に発生する影響力とは、その名前図形 i が他の図形 j の適切配置領域外に配置されている場合、その名前図形 i が図形 j から受ける力と定義する。すなわち、名前図形 i は現在の位置 P_i から図形 j の適切配置領域 $R_j(i)$ の中で最も近い位置 $P_i(j)$ まで移動させるような力を受けることになる。したがって、図形 j から名前図形 i が受ける影響力 $f_i(j)$ は、適切配置領域内の最も近い配置までの方向 $P_i(j) - P_i$ と距離

$\|P_i(j) - P_i\|$ に基づいて定義される（式 (1)）。

$$f_i(j) = (P_i(j) - P_i) \cdot f_{len}(\|P_i(j) - P_i\|). \quad (1)$$

ここで、 f_{len} は、以下の条件を満たす関数とする。

$$f_{len}(d) > 0 \text{ ただし } d > 0.$$

$$f_{len}(0) = 0,$$

$$0 < d_1 < d_2 \text{ ならば } f_{len}(d_1) < f_{len}(d_2)$$

現在の配置における名前図形 i が受ける影響力 F_i とは、地図におけるすべての図形から受ける影響力の合力として定義する（式 (2)）。

$$F_i = \sum_{k \in \text{map}} f_i(k). \quad (2)$$

2.2.3 名前配置手法

地図中の各名前図形が、他のすべての図形各々から受ける影響力は、2.2.2 項に示した定義により計算することができる。すべての図形から受ける影響力の合力に力学の運動方程式を適用し、微小時間後の名前図形の配置を決定することで名前配置問題を解くことができる。その手続きを以下に示す。

Step-0 地図上に表示すべき名前図形をあらかじめ定めておいた初期位置に配置する。名前図形の実速の初期値は 0 とする。

Step-1 各々の名前図形が表示図形すべてから受ける影響力の合力を求める。

Step-2 各々の名前図形に生じる影響力の合力、および速度を運動方程式に適用し、新しい位置、新しい速度を計算し、その名前図形の配置を計算する。

$$\begin{aligned} P_i(t+dt) &= V_i(t)dt + \frac{1}{2} \frac{F_i(t)}{m_i} dt^2, \\ V_i(t+dt) &= (V_i(t) + \frac{F_i(t)}{m_i} dt)g. \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、

$P_i(t)$: 時刻 t における名前図形 i の位置、

$V_i(t)$: 時刻 t における名前図形 i の速度、

$F_i(t)$: 時刻 t における名前図形 i の影響力、

m_i : 名前図形 i の質量、

g : 速度の減少率。

質量は、名前図形の配置の自由度を定める。また速度の減少率は、名前図形が振動することを防ぐために用いる。

Step-3 Step-1 に戻る。

上記の Step2 の終了後に名前図形の配置に基づいて地図を生成する。これにより時間経過とともに影響力の発生量が少ない地図、すなわち不適切さを解消したレイアウトの地図が生成される。また、この手続きは、新たに表示する図形を追加することが可能である。

このため、表示すべき情報がすべて揃わない状況においても、利用可能となっている。

3. 動的表示選択

本研究では、動的に表示する情報を選択する方式を提案する。表示対象となる空間データの内容やそれらの空間データを表示する環境が動的に変化する場合、表示する情報の選択を行わずにその視覚的表現である地図を作成すると、読みにくい地図が作成される。提案方式は、表示する情報を動的に選択することにより、地図の読みにくさを解消する制御方式としてとらえることが可能である。すなわち、提案方式は、現在表示されている地図の読みにくさという制御量とその制御量が追従する目標値を用いて、表示すべき情報の選択を制御する方式である。我々は、2.2節において示した力学モデルを拡張し、圧力の概念を定義する。この圧力の値は、地図の読みにくさを表す制御量として適していると考えられる。本章では、この圧力の値と利用者により設定された目標値となるしきい値とを用いて、読みにくさを解消した地図を動的に作成する方式を提案する。

本研究では、表示する情報を選択する方法として、次の2方法を検討した。

表示すべき情報の表示形態を変更する方法 本研究では、圧力の値がしきい値を上回った場合には優先順位の低い情報を非表示にすることにより表示情報量を減少させ、圧力の値がしきい値を下回った場合には優先順位の低い情報も表示させることにより表示する情報を選択する。

表示する地図の縮尺を変更する方法 地図の閲覧目的の1つとして、ある地点を中心としてその周辺の情報を収集することが考えられる。このような閲覧においては、利用者は、欲しい情報の種類に対する要求は高いが、表示に用いる縮尺に対する要求は低いと考えられる。縮尺は、表示される空間上の領域の大きさを決定する。縮尺を小さくすれば、表示される空間は広くなり、縮尺を大きくすれば、表示される空間は狭くなる。一般に、空間が狭ければその空間に含まれる空間データの量は少なく、空間が広ければその空間に含まれる空間データの量は多くなる。本研究では、圧力の値がしきい値を下回った場合には、縮尺を小さくし、逆に、圧力の値がしきい値を上回った場合には縮尺を大きくすることにより、表示する情報を選択する。

3.1 地図の読みにくさを表す制御量

動的に表示する情報の選択を制御するために用いる地図の読みにくさを表す制御量の算出において、考慮すべき点を以下にまとめる。

正確性 制御量に基づいて表示する情報の選択が行われるため、制御量は地図の読みにくさをなるべく正確に反映していなければならない。

計算の容易性 表示する情報の選択の制御は、表示処理と同時にされる。したがって、表示する情報の選択の制御に関する処理は、表示処理のオーバーヘッドとなる。したがって、制御量は少ない計算量で算出できなければならない。

本研究において、作成する地図の表示領域の単位面積あたりの地図上で生じる影響力の絶対値の総和を圧力 (*pressure*) と定義し (式(4))、この圧力の値を地図の読みにくさを表す制御量として用いる。

$$pressure = \frac{\sum_{i \in v_objs} \sum_{j \in v_objs} \|f_i(j)\|}{S_{v_area}} \quad (4)$$

v_objs : 表示される図形の集合

($v_objs \subseteq map$)

S_{v_area} : 表示領域の面積。

ここで、 $f_i(j)$ は式(1)で定義した式を用いる。 $f_i(j)$ の絶対値は、図形 i の配置の不適切さに応じた値となるように定義されている。すなわち、図形 i の配置が2.1.2項で示した原則1、2および3を満たしていない度合いに応じて、圧力の値は大きくなる。また、不適切な配置にある図形の数が多くなればなるほど、圧力の値は大きくなる。逆に、地図中のすべての図形の配置が適切であれば、圧力の値は0となる。したがって、圧力は地図の読みにくさを表しているといえる。また、圧力の値の計算には、名前配置手法において用いる $f_i(j)$ の絶対値を用いているため、圧力の値を計算するオーバーヘッドは少ないといえる。

地図の読みにくさを表す制御量として、圧力のほかに、図形の個数、図形占有率、重なり率が考えられる。

図形の個数 表示領域中にある名前図形の個数。

図形占有率 表示領域の面積に対する、表示領域中の名前図形群の面積の総和の割合。

重なり率 表示領域の面積に対する、図形の重なり部分の面積の総和の割合。

ここで、重なり部分とは、名前図形が他の名前図形や表示枠と重なって表示されていない部分のこととする。

これらの制御量の特徴を表1にまとめる。また、図1から図4の地図に対する各制御量を表2にまとめる。図形の個数や図形占有率は、表示する図形の個数や

表 1 地図の読みにくさを表す制御量の候補
Table 1 Candidates of controlled variables.

制御量	正確性	計算量
図形の個数	低い	$O(1)$
図形占有率	低い	$O(n)$
重なり率	高い	$O(n^2)$
圧力	高い	$O(n^2)$

n : 地理図形の個数

表 2 サンプル地図における制御量
Table 2 Values of controlled variables.

	図 1	図 2	図 3	図 4
図形の個数	81	45	50	50
図形占有率 (%)	63	42	28	28
重なり率 (%)	165	55	48	18
圧力 ($\times 10^{-3}$)	592	196	208	47

表示する内容によってのみ決定する値であるため、表示する図形の個数、内容が変化したときにのみ再計算をすればよく、また、求める計算量も少ない。重なり率や圧力は、表示する図形の配置に依存する値であるため、個数や内容に変化がない場合においても計算を必要とする。しかし、図形の個数や図形占有率は、都市部のようにある領域に表示すべき図形が集中して読みにくい場合(図 3)と、均一に分散して読みやすい場合(図 4)とで同一の値をとる可能性がある。一方、重なり率は個々の図形どうしの重なりを調べているため、図形の個数や図形占有率と比較して、2.1.2 項に示した原則 2 および 3 を満たしていない度合いを反映している。しかし、重なり率を求める場合には、重なり部分の判定処理、および重なり部分の面積の計算処理が必要となり、そのオーバーヘッドはかなり大きいものとなる。圧力は、重なり率と同様に 2.1.2 項に示した原則 2 および 3 を満たしていない度合いを反映している。さらに、圧力はそれと同時に、原則 1 を満たしていない度合いも考慮している。また、圧力の計算を名前配置手法と併用することにより、その計算のオーバーヘッドを少なくすることができる。

したがって、圧力の値は、地図の読みにくさを表す制御量として適しているといえる。

3.2 表示する情報の選択の制御方式

3.2.1 表示形態を変更する方法

表示形態を変更することによる表示する情報の選択の制御方式においては、利用者が表示対象の図形を複数のクラスに分け、それぞれのクラスに表示優先順位を設定する。すなわち、利用者は、空間データの利用目的に応じて、クラス分けを自由に行うことができ、かつ、分けたクラスの優先順位を自由に割り振ること



図 3 局所的に集中した地図の例
Fig. 3 Concentrated density map.

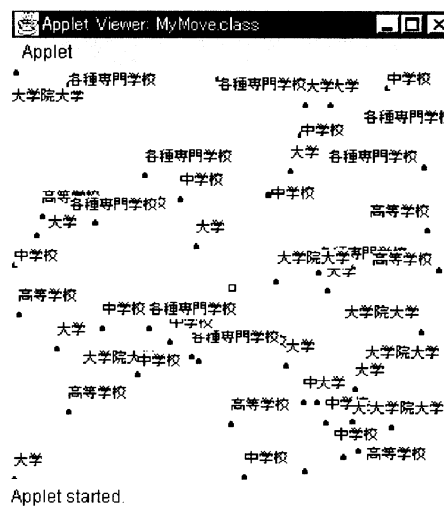


図 4 均一に分散した地図の例
Fig. 4 Constant density map.

ができる。クラス分けの例としては、地理情報のある属性に着目して空間データ群を分類したときのそれぞれの部分集合などがある。最も優先して表示する図形群の表示優先順位を 1 とする。ある表示優先順位が表示される場合には、その優先順位が割り振られたすべての地理図形群、名前図形群は同時に表示される。表示優先順位の割当て例を表 3 に示す。

どの図形を表示するかを定めるために、表示レベル (v_level) を定義する。表示レベルは、表示優先順位と同じ範囲の値をとる。表示レベルが示す値以下の表示優先順位が割り振られた図形群のみが表示される。たとえば、表示優先順位が表 3 のように設定されてい

表 3 表示優先順位の設定例

Table 3 An example of priority for display data.

表示優先順位	図形
1	クラス A: 地理図形
2	クラス B: 地理図形
3	クラス A: 名前図形
4	クラス B: 名前図形
5	クラス C: 名前図形 地理図形
6	クラス D: 名前図形 地理図形

た場合において、表示レベルが 3 であれば優先順位 1, 2, 3 が示す図形群、すなわちクラス A の地理図形と名前図形、クラス B の地理図形が表示される。

表示形態を変更することによる表示する情報の選択の制御方式では、表示レベルを変更することにより地図中の図形の表示形態を変更する。すなわち、利用者が設定した圧力のしきい値 (*threshold*) と現在の圧力の値とを比較し、現在の表示レベル (v_level_t) を次の表示レベル (v_level_{t+1}) に変更することにより、選択を制御する (式 (5))。

$$v_level_{t+1} = control_v(pressure) + v_level_t. \quad (5)$$

ただし、

$$control_v(pressure) = \begin{cases} +1 & \text{if } (pressure > threshold) \\ -1 & \text{if } (pressure < threshold) \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

3.2.2 縮尺を変更する方法

縮尺を変更することによる表示する情報の選択の制御方式は、利用者が設定した圧力のしきい値 (*threshold*) と現在の圧力とを比較し、現在の縮尺 ($scale_t$) を次の縮尺 ($scale_{t+1}$) に変更することにより、選択を制御する (式 (6))。

$$scale_{t+1} = control_s(pressure) \times scale_t. \quad (6)$$

ただし、

$$control_s(pressure) = \begin{cases} r & \text{if } (pressure > threshold) \\ r^{-1} & \text{if } (pressure < threshold) \\ 1 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

$$0 < r < 1.$$

3.3 制御方式の実現

表示の動的選択制御の実現は、2.2.3 項において示した名前配置手法に 3.2 節において提案した方式を組み込むことにより実現できる。

すなわち、2.2.3 項の手続き中の **Step-1** の後に以下に示す処理を行うことにより表示する情報の選択の

制御を行う。

Control-1 合力を算出する過程において、影響力の絶対値を取得し、圧力を算出する。

Control-2 現在の圧力としきい値の関係から表示レベルの変更、または縮尺の変更を行う (3.2.1 項、および、3.2.2 項参照)。

4. 試作システム

本提案方式は、ネットワークを介して収集した空間データ群の視覚的表現である地図を表示することを想定している。したがって、本方式の実装では、様々な環境において利用を可能とするためにプラットフォームに依存しない JAVA を用いた。実装には、バージョン 1.1.8 の JDK を用いアプレットとして実現した。

また、試作システムでは、表示レベルを変更する方法、および縮尺を変更する方法の両方を実装した。すなわち、表示レベルを変更する方式を実装したシステムでは、利用者はしきい値と縮尺が自由に指定できる。また、縮尺を変更する方式を実装したシステムでは、利用者はしきい値と表示レベルを自由に指定できる。

5. 実 験

提案した空間データ表示の動的選択方式が有用なものか否かについて試作システムを用いて検証実験を行った。試作システムでは、表示対象となる空間データをいつでも追加可能である。本実験では、選択方式の有効性を検証するために、表示する空間データがすべて揃っていることを前提条件とした。また、それらの空間データのクラス分けも行われ、かつそれぞれのクラスに表示優先順位の設定が行われているものとした。まず、5.1 節にて、制御量として圧力が適しているかの検証実験を行う。次に、5.2 節で、選択方式の有効性を検証する実験を行う。最後に、実験を行ったうえで明らかになった試作システムの問題点について考察を行う。

5.1 圧 力

圧力の値が地図の読みにくさを表す制御量として適切であるかを検証するために、圧力と重なり率との関係を調べた。本実験では、様々な問合せ結果に対して、表示する情報の選択制御を行わずに地図の生成を行った。様々な問合せ結果に対して、配置処理 (2.2.3 項において示した Step-2) を 50 回以上行っても、重なり率に変化がなかった。そこで、様々な問合せ結果の地図生成において、配置処理を 100 回行ったときの圧力と重なり率を測定した。その結果を図 5 に示す。

図 5 が示すグラフの縦軸は重なり率を示し、横軸

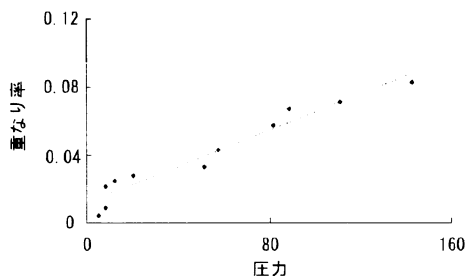


図 5 圧力と重なり率との関係

Fig. 5 Relation between pressure and overlap ratio.

は圧力を示し、点線は直線回帰を示す。図 5 より、圧力の値が低いときには重なり率も低く、圧力の値が高いときには重なり率も高い値を示していることが分かる。すなわち、圧力の値が地図の読みにくさを表す制御量として適切であることを示している。

また、計算の容易性に関して、重なり率と圧力の違いを調べるために、それぞれの値を求めるためのオーバーヘッドがどれくらいになるか調べる実験を行った。この実験に用いた空間データ群は、図 3 の地図を作成したときと同じデータ群とした。実験には、IBM PC/AT 互換機 (CPU: Pentium MMX 233MHz, Memory 96 MBytes) を用いた。実験により、重なり率、圧力を求めるために要した時間はそれぞれ 7.2msec, 0.85 msec となることが分かった。この結果より、力学モデルを拡張して表示の動的選択を行う場合、計算の容易性の観点から判断しても、圧力が重なり率より制御量として適していることが示された。

5.2 利用者要求の実現

試作システムが利用者の要求を実現しているかについて検証を行うため、しきい値、表示レベル、縮尺の関連を調べた。すなわち、1) しきい値と表示レベルを指定した場合、試作システムが縮尺をどう設定するか、2) しきい値と縮尺を指定した場合、試作システムが表示レベルをどう設定するか、の 2 項目を調べた。

本実験では、名前図形の配置処理 1 回ごとに表示する情報の選択制御を行うように設定した。本実験では、配置処理を数十回以上行っても、表示レベル、縮尺には大きな変動はなかったため、配置処理を 200 回行った時点における表示レベル、縮尺を測定した。すべての測定においては、同じ空間データ群を用いた。表示対象の空間データ群は 32 のクラスに分けた。縮尺は、基準とした地図の縮尺を 100 とし、その縮尺値との相対値を用いて表現した。

試作システムにおいて、しきい値とは利用者が要望する読みにくさを表している。すなわち、より大きいしきい値が指定されている場合、読みにくい地図 (表

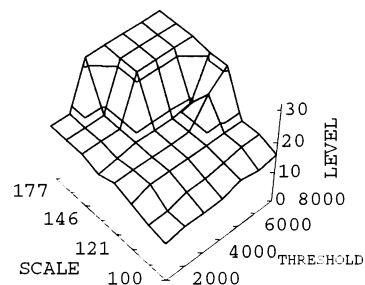


図 6 表示レベル

Fig. 6 Display level depending on scale and threshold.

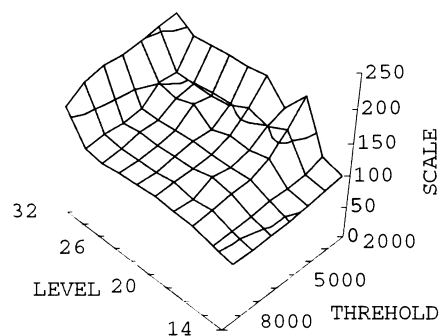


図 7 縮尺

Fig. 7 Scale depending on display level and threshold.

示する情報が多すぎる地図) が生成されることが認められているといえる。また、より小さいしきい値が指定されている場合は、読みやすい地図 (表示する情報が少ない地図) の生成しか認めていないといえる。したがって、縮尺が一定の場合、より小さいしきい値が指定されると、表示する情報量を減らすために、より小さな表示レベルが設定される。また、表示レベルが一定の場合、より小さいしきい値が指定されると、表示する情報量を減らすためにより大きい縮尺が設定される。

図 6 のグラフの X 軸、Y 軸は縮尺、しきい値を表し、Z 軸 (高さ方向) は試作システムが設定した表示レベルを表す。しきい値を増加させるにつれ、表示レベルが高くなっていることが分かる。また、縮尺を大きくするにつれて、表示レベルが高くなっていることも分かる。これより、表示レベルを変更することによる表示する情報の選択制御方式が有効であることが分かる。

また、図 7 のグラフの X 軸、Y 軸は表示レベル、しきい値を表し、Z 軸 (高さ方向) は試作システムが設定した縮尺を表す。しきい値を増加させるにつれ、縮尺が小さくなっていることが分かる。また、表示レベ

ルを高くするにつれて、縮尺が大きくなっていることが分かる。これより、縮尺を変更する表示情報量制御方式が有効であることが分かる。

5.3 表示する情報の選択制御の振舞いについての考察

表示レベルを変更することによる表示する情報の選択方式において、名前図形の配置処理回数に対して、どれだけの割合で表示レベルの変更を行うかについて考察を行う。

表示レベルの変更を行う間隔を長くすると、地図が安定するまでに多くの時間を費やさなければならない。一方、変更を行う間隔を短くすると、短い時間の間に表示する情報量が激しく変化し、その結果、利用者の目には発振として写る。ここでは、表示する情報量の変化にともなう圧力の値の差分を用いて、表示する情報量の激しい変化を抑制する方法を考える。現在の圧力がしきい値を上回っている場合を考える。表示レベルと同じ優先順位を持つ図形は、表示レベルが1大きい値に変更されることによって非表示となり、次回の表示レベル変更の制御においては、圧力計算の対象外となる。すなわち、それらの図形群が与える影響力の合計値と、それらの図形群が受ける影響力の合計値とが、現在の圧力の値よりも減ることになる。その結果、圧力がしきい値を下回ると、それらの図形群は再び表示されることとなる。ここで、それらの図形群を非表示にする時点におけるそれらの図形群が受ける影響力の合計値は容易に計算可能である。もし、現在の圧力からこの合計値を引いた値が、しきい値以下ならば、次回の表示レベル変更の制御において、再び表示となることが予測できる。このような場合には、表示レベルの変更を行わない。これにより、表示する情報量の激しい変化を抑制することが可能となる。この方法を試作システムに組み込み、前節と同じ環境で実験を行った。

図8に、表示情報量制御を配置処理1回ごとに行った場合 ($N = 1$)、配置処理10回ごとに行った場合 ($N = 10$)、および表示情報量の激しい変動を抑制する方法を行った場合 (PROPOSE) を示す。

配置処理1回ごとに行った場合、ほぼ適切な表示レベルになるまでの時間は短い。その後、表示レベルが激しく変動している。10回ごとに行った場合、表示レベルの激しい変動はないが、適切な表示レベルになるまでの時間が長い。提案する方式では、適切な表示レベルになるまでの時間も短く、またその後に表示レベルに変化がない。したがって、提案する方法は有効であると考えられる。

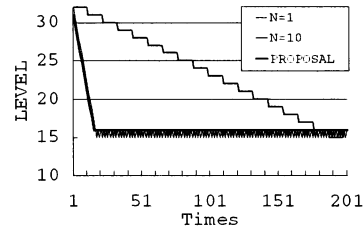


図8 表示レベルの変動

Fig. 8 Convergence of the display level.

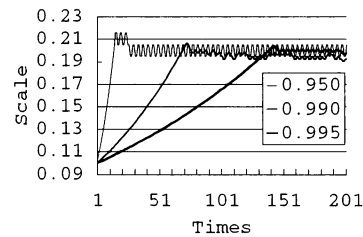


図9 縮尺の変動

Fig. 9 Convergence of the scale.

縮尺を用いた表示する情報の選択制御方式においても同様に、縮尺の変動が激しくなると、画面がゆれて見えるといった問題がある。これには、縮尺変化率(式(6)中の r)の設定が大きく影響する。そこで、縮尺変化率の違いによる表示する情報の選択制御の結果の違いを調べる実験を行った。実験環境は、前節と同じにした。3種の縮尺変化率(0.95, 0.99, 0.995)のそれぞれについて、縮尺変更の制御回数とそのときの縮尺率との測定結果を図9に示す。縮尺変化率を小さくした場合、適切な縮尺になるまでの時間を短くすることができたが、その後は、短い間隔で縮尺が変化し、そのときの縮尺の振幅は大きい。逆に、縮尺の変化率を大きくすると、適切な縮尺になるまでの時間は長くなるが、縮尺の振幅は小さい。この縮尺変化率の適切な値を定める方法としては、今までの縮尺の変化の履歴に基づいて動的に縮尺変化率を定める方法等が考えられる。縮尺変化率の適切な決定方式については、今後の課題とする。

6. おわりに

本研究では、ネットワークを介して収集した空間データの表示において、力学モデルにおける影響力を用いて計算される圧力の値を制御量として用いて、表示する情報の選択を制御する方式について提案した。また、提案した方式の有効性を検証するために、試作システムを作成し、実験を行った。実験では、提案した圧力が地図の読みにくさを表す制御量として適して

いることが確認できた。また、その圧力を用いて表示する情報の選択を制御する方式を用いることにより、利用者が要求した見にくさの地図を生成することが可能であることを示した。

また、提案方式では表示優先順位に対して設定がされていることを前提としている。しかし、大量のデータに対して利用者がこれらの作業を行うことは非常に労力を要する。利用者の目的に沿った表示優先順位を利用者に負荷を与えることなく設定されるシステムの実現は重要であると思われる。このシステムの実現方式については、今後の課題とする。

謝辞 有益なコメントをいただいた査読者の方々に感謝いたします。広島市立大学情報科学部知能情報システム工学科データベースシステム講座の北上始教授、森康真助手およびその他の研究室の皆様にも多方面でご協力いただき感謝いたします。また、広島市立大学情報科学部 田中清高君（現在、広島電鉄勤務）には、試作システムの実装などで協力いただき感謝いたします。本研究の一部は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業における研究プロジェクト「マルチメディア・コンテンツの高次処理の研究（JSPS-RFTF97P00501）」の支援を受けています。試作システムの試験地図データとして、建設省国土地理院の国土数値情報を利用していただきました。

参考文献

- 1) 有川正俊, 河北秀世, 上林彌彦: 利用者要求と表示限界を考慮した対話地図生成環境, 地理情報システム学会論文誌, Vol.2, pp.21-32 (1994).
- 2) 有川正俊, 田中清高, 佐藤 聡: 地理データ表示のための力学モデルに基づいたレイアウト手法, 電子情報通信学会データ工学研究会第9回データ工学ワークショップ (DEWS'98) 講演論文集, DEWS98-31 (1998).
- 3) 貞広幸雄: 点オブジェクト分散における集散パターン認知に関する分析, 地理情報システム学会論文誌, Vol.6, No.1, pp.1-9 (1998).
- 4) 相良 毅, 有川正俊, 坂内正夫: ジオリファレンス情報を用いた空間情報媒介システム, 情報処理学会研究報告, 2000-DBS-120, pp.185-190 (2000).
- 5) 高木 悟: インターネット対応分散型地図表示システム, 電子情報通信学会画像工学研究会専門委員会, 第8回機能図形情報システムシンポジウム論文集, pp.45-49 (1997).
- 6) 高崎正義: 地図学, 朝倉書店 (1994).
- 7) Becker, B., Six, H. and Widmayer, P: Spatial Priority Search: An Access Technique for Scaleless Maps, *Proc. ACM SIGMOD Intl. Conf. on Management of Data*, pp.128-137 (1991).
- 8) Christensen, J., Marks, J. and Shieber, S.: An Empirical Study of Algorithms for Point-Feature Label Placement, *ACM Trans. Graphics*, Vol.14, No.3, pp.203-232 (1995).
- 9) Hirsch, S.A.: An Algorithm for Automatic Name Placement Around Point Data, *The American Cartographer*, Vol.9, No.1, pp.5-17 (1982).
- 10) Imai, K., Imai, H. and Tokuyama, T.: Maximin Location of Convex Objects in a Polygon and Related Dynamic Voronoi Diagrams, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.42, No.1 (1999).
- 11) Imhof, E.: Positioning Names on Maps, *The American Cartographer*, Vol.2, No.2, pp.128-144 (1975).
- 12) Robinson, A.H., et. al: *Elements of Cartography*, John Wiley & Sons (1995).

(平成 12 年 3 月 20 日受付)

(平成 12 年 7 月 11 日採録)

(担当編集委員 片岡 良治)

佐藤 聡 (正会員)



1991 年筑波大学第 3 学群情報学

類卒業。1996 年同大学院工学研究

科電子情報工学専攻退学。同年広島

市立大学情報科学部助手、現在に至

る。博士(工学)。空間情報処理、音

楽情報処理に興味を持つ。電子情報通信学会会員。

有川 正俊 (正会員)



1986 年九州大学工学部情報工学

科卒業。1988 年同大学院工学研究

科情報工学専攻修士課程修了。同年

九州大学大型計算機センター助手。

1989 年同大学工学部情報工学科助

手。1993 年京都大学工学部情報工学科助手。1994 年

広島市立大学情報科学部助教授。1999 年東京大学空間

情報科学研究センター助教授。現在に至る。博士(工学)。空間情報管理に興味を持つ。地理情報システム学会理事。同学会オブジェクト指向研究会主査。電子情報通信学会データ工学専門委員会副委員長。日本バーチャルリアリティ学会、ACM 等会員。

**伊藤 智裕**

1976年生。1999年広島市立大学
情報科学部知能情報システム工学科
卒業。地理情報システムの研究に興
味を持つ。
