GISにおける文字の大きさの統計的決定手法

貞広幸雄

A Statistical Method for Determining the Size of Map Labels

Yukio SADAHIRO

Abstract: This paper proposes a method for determining the size of map labels from a statistical view. Though larger letters are more readable than smaller ones, they sometimes cause the overlaps of letters, and thus it may leads the inefficiency of GIS operations. In this paper, we show two indices for evaluating the readability of map labels: visible letter area and readable letter area. The former is the area of rectangles in computer display which include letters of map labels. The latter is also the summed area of rectangles, though it excludes overlapped rectangles. These indices are calculated in several cases, and we show the relationship between these indices and the size of letters. We can thus expect the area of overlapped letters statistically, and control it by adopting letters of proper size. This method is applied to the names of stations in Yokohama, and some empirical findings are shown.

Keywords: map labels, size of letters, name placement, statistical method

1. はじめに

地理情報システムにおけるデータ表示機能は、通常、空間的なオブジェクトだけではなく、各オブジェクトに付随する属性情報も対象としている。施設名称や属性の数値データなどの文字情報は、地理情報システムが扱うデータの中でも最も重要な情報の一つであり、システムは利用者がそれらを正しくかつ素早く認識できるように表示する必要がある。

文字情報の見易さは様々な要因によって決定されるが、最も重要なものの一つとして、文字の大きさが挙げられるであろう。文字は、一般的に大きければ大きいほど判読しやすいが、文字を大きくし過ぎると情報量が多くなったときに文字同士の重複や画面からはみ出しが発生し、かえって判読が困難になる。文字を小さくすると、重複やはみ出しの問題を避けることはできるが、文字の小ささが読み易さ

を阻害することになる。

このように、文字の大きさはその見易さに多大な影響を与えるため、文字の大きさを決定するときには、文字情報の量に応じて文字の重複やはみ出しなどを慎重に考慮する必要がある。しかし従来、文字の大きさは経験的に決定されることが多く、文字が重複して十分に判読できないということがしばしば起こっていた。

例えば、地理情報システムを用いて何らかの空間的解析を行うときを考えてみよう。このような場合、利用者は地図情報を何度も繰り返し見る必要があり、システムには情報を素早く表示することが求められる。このため文字情報は、システム既定の大きさで機械的に配置されることが多い。しかしこの場合、表示される文字の大きさが大き過ぎると、文字情報の数が多くなった場合に文字の判読が難しくなり、解析作業の効率を低下させる恐れがある。

あるいは、地理情報システムにおいて地図の最終的な出力図面を作成する場合を考えてみよう。この

貞広：〒113 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学工学部
都市工学科 Tel. 03-5800-6964
Department of Urban Engineering, University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo 113
E-mail: sada@okabe.t.u-tokyo.ac.jp

場合、出力図面においては全ての文字を判読できることが要求されるため、図面中における同色文字の重複は原則として許されない (Yoeli, 1972; Imhof, 1975; Buttenfield and McMaster, 1991)。そのため、文字同士が重複しないように配置を行う方法として、automated name placement (自動文字配置) と呼ばれるアルゴリズムがいくつか提案されてきた (Hirsch, 1982; Ahn and Freeman, 1983; Zoraster and Stephen, 1987; Doerschler and Freeman, 1989; Ebinger and Goulette, 1989)。これらのアルゴリズムを用いることにより、図面中における文字同士の重複はかなり減少する。しかしこの場合も、文字の大きさはシステム利用者が経験的に適切であると考える大きさに設定するため、経験の浅い利用者は、文字の重複のない図面が完成するまでに何度も字の大きさを変えて表示を試みたり、一部の文字情報を削除するなどの必要が生じていた。もちろん、文字同士が重複しないという条件のもとで、文字の大きさの最大値を解析的に求めることができれば、このような問題は解決される。しかしFormann and Wagner(1991)によれば、文字情報領域が全て合同であるという極めて単純な場合ですら、そのような計算はNP完全であることが証明されており、 N が大きい場合には極めて難しい問題となる。

このような状況をふまえ、本論文では文字情報を完全に機械的に配置する、つまり、特別なアルゴリズムを用いずに配置する場合を取り上げ、統計的手法によって、文字の大きさが画面からはみ出しや文字同士の重複といった情報損失に与える影響を定量的に分析する。このような研究を行う目的は二つある。第一には、空間解析の途中段階のように、文字の判読し易さよりも表示時間の方が重視される状況において、文字情報の損失を一定水準以下に抑え、文字の見易さを確保するための文字の大きさの基準を示すことである。第二の目的は、機械的な文字配置における文字の大きさの基準を示すことで、自動文字配置アルゴリズムを用いた場合における安全な基準を示唆することである。機械的な配置を行う場

合、文字配置アルゴリズムによってうまく文字が配置された場合と比べると文字情報の損失は多くなる。これは逆に考えれば、機械的配置における文字の大きさの基準値は、様々なアルゴリズムを用いたときの安全側の基準値となるということであり、この結果を利用することで、自動文字配置においても予想外の情報損失という事態を避けることができる。

以下、2節では文字情報が画面からはみ出すことによる損失に着目し、文字の大きさが文字情報の損失量に与える影響を分析する。3節でははみ出しに加え、文字の重複も考慮した考察を行う。4節では前2節の結果をふまえ、横浜市の地図について実際に文字の大きさを決定し、配置した例を示す。5節では本論文から得られる知見と今後の課題についてまとめる。

2. 画面からはみ出しによる文字情報の損失

いま、地図の出力対象領域 A を長方形 (横 X_0 、縦 Y_0 、面積 S_0) のコンピュータディスプレイと仮定し、この中に N 個の施設がランダムに配置されている場合を考えよう。なお、ここでは問題を単純化するために、施設は全て点的施設であるものとする。各施設は、全て施設名称などの属性データを持ち、属性データのうちの一つを文字情報としてコンピュータディスプレイ上に表示するものとする。これら点的施設以外の施設や、その他の文字情報、ディスプレイ外に存在する点的施設の文字情報は一切表示されない。文字情報の一部がディスプレイからはみ出す場合には、その文字情報はディスプレイ内に収まる範囲だけ表示される。点的施設 i に付随する文字情報領域は、文字情報を完全に包含する最小の長方形領域 (向きは水平方向) とし、この領域を L_i と呼ぶ (横 X_i 、縦 Y_i 、面積 S_i)。通常、文字情報の大きさはディスプレイの大きさと比べてかなり小さいので、本論文では $X_0/2 > X_i$ 、 $Y_0/2 > Y_i$ ($i=1, \dots, N$) とする。

文字情報の配置は完全に機械的であり、点的施設に対して図1のような位置関係で置かれるものとする。

図1 文字情報の配置方法

本論文では、以上の条件の下で、文字の大きさが文字のはみ出しや重複といった情報損失に与える影響を統計的に分析する。なお、点的施設と文字情報は異なる方法によって表示される（異なる色を用いるなど）ものとし、文字情報と施設表示の重複はここでは特に扱わない。

まずはじめに、文字の情報量を次のように定義しておこう（但し $M=\{1, 2, \dots, N\}$ とする）。

$$\text{全情報量: } I_{\text{total}} = \sum_{i=1}^N S_i \quad (2.1)$$

$$\text{画面内情報量: } I_{\text{in}} = \sum_{i=1}^N \text{area}[A \cap L_i] \quad (2.2)$$

$$\text{有効情報量: } I_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^N \text{area} \left[A \cap L_i - \bigcup_{j \in M, j \neq i} L_j \cap L_i \right] \quad (2.3)$$

全情報量とは、全ての文字情報が持つ情報量の総和であり、各文字情報領域の面積の合計として表される。画面内情報量とは、文字情報領域のうち画面からはみ出しによって失われたものを除いた部分の面積である。有効情報量とは、画面内に含まれる文字情報のうち、複数の文字情報が重複していない部分の面積を表す。

本論文では、これらの情報量から、画面内情報率（画面内情報量の、全情報量に対する比率）と有効情報率（有効情報量の、全情報量に対する比率）を算出し、システム利用者が入手し得る文字情報量の指標とする。画面内情報率と有効情報率は、どちらも判読可能性のある文字情報の割合を示しているが、前者は判読可能性が0ではない部分を全て対象としているのに対し、後者はより判読可能性の高い部分のみを対象としているという違いがある。

これらの情報率のうち、本節では画面内情報率の期待値を求めることによって、文字の大きさが画面からの文字のはみ出しに与える影響を分析する。この値は、各文字情報について画面内に含まれる部分の面積の期待値を計算し、その総和を全情報量で除することによって求めることができる。そこでここでは文字情報領域 L_i について、画面内に含まれる領域面積の期待値を計算する。

はじめに、計算のためにディスプレイに図2のような座標系をとり、さらにこのディスプレイ画面を図3のような9つの領域に分割する。

図2 ディスプレイ内の座標系

次に図3の各領域について、点的施設 i が図4のような微小領域 dA に含まれる確率及びその時の画面内情報量を計算する。この値を各領域内で積分することによって、点的施設 i が各領域に含まれるときの画面内情報量の期待値を求めることができる。なお、以下の説明では、点的施設 i が領域 j に含まれると

きの画面内情報量の期待値の総和を I_{ij} とする。

図3 画面内情報率を計算するための9つの領域

図4 微小領域dA

(1)点的施設が領域 A_1 に含まれる場合

点的施設 i が微小領域 dA に含まれる確率は $dx dy / S_0$ であり、このときの画面内情報量は S である。従って、画面内情報量の期待値 I_{i1} は

$$I_{i1} = \int_{x=X_i'}^{X_0-(X_i-X_i')} \int_{y=Y_i'}^{Y_0-(Y_i-Y_i')} S \frac{dy dx}{S_0} = \frac{(X_0 - X_i)(Y_0 - Y_i)}{S_0} S \quad (2.4)$$

となる。

(2)点的施設が領域 $A_2 \sim A_3$ に含まれる場合

点的施設 i が領域 A_2 内の微小領域 dA に含まれると

きの画面内情報量は、

$$(x + X_i - X_i') Y_i \quad (2.5)$$

である。従って画面内情報量の期待値 I_{i2} は

$$I_{i2} = \int_{x=0}^{X_i'} \int_{y=Y_i'}^{Y_0-(Y_i-Y_i')} (x + X_i - X_i') Y_i \frac{dy dx}{S_0} = \frac{(2X_i - X_i') X_i' (Y_0 - Y_i) Y_i}{2S_0} \quad (2.6)$$

と表される。領域 $A_3 \sim A_5$ についても同じように、

$$\begin{aligned} I_{i3} &= \frac{(X_i - X_i')(X_i + X_i')(Y_0 - Y_i) Y_i}{2S_0} \\ I_{i4} &= \frac{(X_0 - X_i) X_i (2Y_i - Y_i') Y_i'}{2S_0} \\ I_{i5} &= \frac{(X_0 - X_i) X_i (Y_i - Y_i')(Y_i + Y_i')}{2S_0} \end{aligned} \quad (2.7)$$

と画面内情報量の期待値が計算される。

(3)点的施設が領域 $A_6 \sim A_9$ に含まれる場合

点的施設 i が微小領域 dA に含まれるときの画面内情報量は、

$$(x + X_i - X_i')(y + Y_i - Y_i') \quad (2.8)$$

である。従って画面内情報量の期待値 I_{i6} は

$$I_{i6} = \int_{x=0}^{X_i'} \int_{y=0}^{Y_i'} (x + X_i - X_i')(y + Y_i - Y_i') \frac{dy dx}{S_0} = \frac{(2X_i - X_i') X_i' (2Y_i - Y_i') Y_i'}{4S_0} \quad (2.9)$$

となる。領域 $A_7 \sim A_9$ についても同様の考え方により、

$$\begin{aligned} I_{i7} &= \frac{(X_i - X_i')(X_i + X_i')(2Y_i - Y_i') Y_i'}{4S_0} \\ I_{i8} &= \frac{(2X_i - X_i') X_i' (Y_i - Y_i')(Y_i + Y_i')}{4S_0} \\ I_{i9} &= \frac{(X_i - X_i')(X_i + X_i')(Y_i - Y_i')(Y_i + Y_i')}{4S_0} \end{aligned} \quad (2.10)$$

となる。

以上の計算結果より、画面内情報率の期待値は次のように求められる。

$$\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^p I_{ij}}{\sum_{i=1}^N S_i} = \frac{\sum_{i=1}^N (2X_0 X_i + 2X_i X'_i - X_i^2 - 2X_i'^2)(2Y_0 Y_i + 2Y_i Y'_i - Y_i^2 - 2Y_i'^2)}{4S_0 \sum_{i=1}^N S_i} \quad (2.11)$$

ここで、点的施設と文字情報領域の位置関係について考えてみよう。文字情報が機械的に配置される場合には、文字情報領域は点的施設に対して図5のいずれかの位置に置かれることが普通である。Yoeli (1972)では、(a)の4つの位置が最も望ましく、それが無理な場合には(b)のように配置すべきであると述べられている。しかし、(2.11)式から分かるとおり、画面内情報率の期待値は、 $X'_i = X_i/2$ 、 $Y'_i = Y_i/2$ のとき、つまり、図5(c)のように点的施設が文字情報領域の重心に位置するような配置において最大値をとり、(a)の場合は最小値をとる。点的施設と文字情報領域の位置関係は、施設と文字の関係づけの容易さなどの観点も含めて総合的に決定されるべき問題であるが、機械的な配置において画面からの文字のはみ出しを防ぐという観点から見れば、(a)ような配置よりも(c)あるいは(b)のような配置の方が望ましいことが分かる。

図5 文字情報領域と点的施設の位置関係

次に、(2.11)式を実際のディスプレイ画面に適用し、文字の大きさと画面内情報率の関係をみてみよう。いま、横640、縦400ドットのディスプレイがあり、その中に複数個の点的施設がランダムに配置されるものとする。全ての施設には、漢字3文字の名

称がつけられており、各文字の縦横の長さは同じものとする（これは、各文字情報領域が全て合同であり、縦横比が1：3ということの意味する）。文字情報領域は常に点的施設の右上、つまり、 $X'_i = Y'_i = 0$ となるように置かれる。このとき、画面内情報率と文字情報領域の大きさの関係はどうなるであろうか。

この計算は、(2.11)式において $Y_i = Y$ 、 $X_i = X = 3Y$ を代入し、数値計算を行えばよい。すると結果は図6のようになる。

図6 文字情報領域の大きさと画面内情報率

この場合、文字情報領域の大きさと画面内情報率の間には、直線に近い関係があることが分かる。ここで、日本のコンピュータディスプレイでよく用いられる12×12ドット、16×16ドット、24×24ドットの3つの字体の大きさについて、画面内情報率をみてみよう。画面内情報率の期待値は、図6よりそれぞれ95.7%、94.3%、91.5%である。つまり、10%のはみ出しが許容できるならば、24×24ドットという比較的良好な大きさの字体を用いることも可能であるが、そうでなければより小さな字体を用いる方がよいということになる。

次に、文字情報領域が点的施設の真下に配置される、つまり $X'_i = X_i/2$ 、 $Y'_i = 0$ と仮定してみよう。すると、画面内情報率はそれぞれ97.12%、96.1%、94.3%に増加する。従ってこの場合、文字の大きさが大きいほど、点的施設と文字情報領域の位置関係が画面からの文字のはみ出しに与える影響が大きくなること

が分かる。

3. 画面からのはみ出し及び文字の重複による文字情報の損失

本節では有効情報率の期待値を指標として用い、文字の大きさが文字のはみ出し及び文字同士の重複に与える影響を定量的に分析する。

有効情報率の期待値は、一般的には次のように求めることができる。図2の座標系において、画面内の点(x, y)の上に文字情報領域 L_i が置かれる確率は、

$$\frac{\min\{X_i, x+X'_i, X_0-x+X_i-X'_i\} \min\{Y_i, y+Y'_i, Y_0-y+Y_i-Y'_i\}}{S_0} \quad (3.1)$$

である。一方、 L_i 以外の文字情報領域が全て点(x, y)に重ならない確率は、

$$\prod_{j \in M, j \neq i} \left(1 - \frac{\min\{X_j, x+X'_j, X_0-x+X_j-X'_j\} \min\{Y_j, y+Y'_j, Y_0-y+Y_j-Y'_j\}}{S_0} \right) \quad (3.2)$$

である。有効情報量 I_{eff} は、文字情報領域が一つだけ置かれる部分の面積であるから、式(3.1)と(3.2)の積のiに関する和を、画面領域Aについて積分することによって求められる。従って有効情報率は、

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^N S_i} \int_{x=0}^{X_0} \int_{y=0}^{Y_0} \sum_{i=1}^N \left[\frac{\min\{X_i, x+X'_i, X_0-x+X_i-X'_i\} \min\{Y_i, y+Y'_i, Y_0-y+Y_i-Y'_i\}}{S_0} \prod_{j \in M, j \neq i} \left(1 - \frac{\min\{X_j, x+X'_j, X_0-x+X_j-X'_j\} \min\{Y_j, y+Y'_j, Y_0-y+Y_j-Y'_j\}}{S_0} \right) \right] dy dx \quad (3.3)$$

となる。しかし、(3.3)式を使って文字情報領域の大きさと有効情報率の関係を具体的に捉えるすることは難しいので、以下、いくつかの限定的な場合について(3.3)式をさらに単純化し、文字情報領域の大きさが有効情報率に与える影響を調べる。

3.1 全ての文字情報領域が合同な場合

まず、全ての文字情報領域が合同な場合を考えよう。この場合、 $X_i=X$ 、 $Y_i=Y$ 、 $X'_i=X'$ 、 $Y'_i=Y'$ 、 $S_i=S$ とする。次に、画面領域Aを図7のような9つの領域に分割し、各領域の点(x, y)に文字情報領域が一つだけ置かれる確率を求める。この確率を領域ごとに積分し、領域iに関する有効情報量の期待値の総和をとる（この値を J_i とする）。 J_i を全領域について合計すれば、有効情報量 I_{eff} 及び有効情報率の期待値を求めることができる。

図7 有効情報率を計算するための9つの領域

(1) 領域 B_1 に関する期待値 J_1

領域 B_1 内の点(x, y)に文字情報領域が一つだけ置かれる確率は、

$$N \left(\frac{S}{S_0} \right) \left(1 - \frac{S}{S_0} \right)^{N-1} \quad (3.4)$$

と表される。この確率を領域 B_1 内で積分すれば、領域 B_1 について有効情報量の期待値 J_1 を求めることができる。従って、 J_1 は

$$\begin{aligned} J_1 &= \int_{x=X-X'}^{X_0-X'} \int_{y=Y-Y'}^{Y_0-Y'} N \left(\frac{S}{S_0} \right) \left(1 - \frac{S}{S_0} \right)^{N-1} dy dx \\ &= N \left(\frac{S}{S_0} \right) \left(1 - \frac{S}{S_0} \right)^{N-1} (X_0-X)(Y_0-Y) \end{aligned} \quad (3.5)$$

となる。

(2) 領域 $B_2 \sim B_5$ に関する期待値 $J_2 \sim J_5$

領域 B_2 内の点 (x, y) に文字情報領域が一つだけ置かれる確率は、

$$N \left(\frac{(x+X')Y}{S_0} \right) \left(1 - \frac{(x+X')Y}{S_0} \right)^{N-1} \quad (3.6)$$

である。従って J_2 は

$$\begin{aligned} J_2 &= \int_{x=0}^{x-X'} \int_{y=Y-Y'}^{y=0} N \left(\frac{(x+X')Y}{S_0} \right) \left(1 - \frac{(x+X')Y}{S_0} \right)^{N-1} dy dx \\ &= \frac{(Y_0 - Y)}{(N+1)Y} \left\{ (NX'Y + S_0) \left(1 - \frac{X'Y}{S_0} \right)^N - (NS + S_0) \left(1 - \frac{S}{S_0} \right)^N \right\} \end{aligned} \quad (3.7)$$

と表される。以下同様に $J_3 \sim J_5$ も

$$\begin{aligned} J_3 &= \frac{(Y_0 - Y)}{(N+1)Y} \left\{ N(X - X')Y + S_0 \left\{ 1 - \frac{(X - X')Y}{S_0} \right\}^N - (NS + S_0) \left(1 - \frac{S}{S_0} \right)^N \right\} \\ J_4 &= \frac{(X_0 - X)}{(N+1)X} \left\{ (NXY' + S_0) \left(1 - \frac{XY'}{S_0} \right)^N - (NS + S_0) \left(1 - \frac{S}{S_0} \right)^N \right\} \\ J_5 &= \frac{(X_0 - X)}{(N+1)X} \left\{ NX(Y - Y') + S_0 \left\{ 1 - \frac{X(Y - Y')}{S_0} \right\}^N - (NS + S_0) \left(1 - \frac{S}{S_0} \right)^N \right\} \end{aligned} \quad (3.8)$$

となる。

(3) 領域 $B_6 \sim B_9$ に関する期待値 $J_6 \sim J_9$

領域 B_6 内の点 (x, y) に文字情報領域が一つだけ置かれる確率は、

$$N \left\{ \frac{(x+X')(y+Y')}{S_0} \right\} \left(1 - \frac{(x+X')(y+Y')}{S_0} \right)^{N-1} \quad (3.9)$$

である。従って J_6 は

$$\begin{aligned} J_6 &= \int_{x=0}^{x-X'} \int_{y=0}^{y-Y'} N \left\{ \frac{(x+X')(y+Y')}{S_0} \right\} \left(1 - \frac{(x+X')(y+Y')}{S_0} \right)^{N-1} dy dx \\ &= -\frac{1}{N+1} \left\{ \sum_{i=1}^N \binom{N}{i} \left(-\frac{1}{S_0} \right)^i \frac{S_0}{i} (X^i - X'^i)(Y^i - Y'^i) \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=0}^N \binom{N}{i} \left(-\frac{1}{S_0} \right)^i \frac{N}{i+1} (X^{i+1} - X'^{i+1})(Y^{i+1} - Y'^{i+1}) \right\} \end{aligned} \quad (3.10)$$

と計算される。 $J_7 \sim J_9$ は、(3.10)式において (X', Y') の代わりにそれぞれ $(X - X', Y)$ 、 $(X', Y - Y')$ 、 $(X - X', Y - Y')$ を代入したものとなる。以上の結果を用い、全領域における有効情報率の期待値は、

$$\frac{\sum_{i=1}^9 J_i}{NS} \quad (3.11)$$

と表される。

ここで前節と同じように、点的施設と文字情報領域の位置関係が有効情報率に与える影響を調べよう。しかし、(3.11)式をこの形のままで扱うことは難しいので、文字情報領域の大きさが地図全体の大きさと比べるとかなり小さいということを考慮し、 $S_0 \gg S$ という仮定を置いて近似的に式を展開しよう。すると(3.11)式は次のように表される。

$$\begin{aligned} &\frac{1}{S_0 S} \left[S \left\{ 1 - (N-1) \frac{S}{S_0} \right\} (X_0 - X)(Y_0 - Y) \right. \\ &\quad + \frac{N(Y_0 - Y)Y}{(N+1)} (X^2 + 2XX' - 2X'^2) \\ &\quad + \frac{N(X_0 - X)X}{(N+1)} (Y^2 + 2YY' - 2Y'^2) \\ &\quad \left. + \frac{1}{4} (X^2 + 2XX' - 2X'^2)(Y^2 + 2YY' - 2Y'^2) \right] \end{aligned} \quad (3.12)$$

(3.12)式において、第1項は X' 、 Y' にはよらず、第2項は $X'=0$ あるいは $X'=X$ で最小値、 $X'=X/2$ で最大値、第3項は $Y'=0$ あるいは $Y'=Y$ のときに最小値、 $Y'=Y/2$ のときに最大値をとる。また第4項は、 $X'=0$ あるいは $X'=X$ 、さらに $Y'=0$ あるいは $Y'=Y$ のときに最小値、 $X'=X/2$ かつ $Y'=Y/2$ のときに最大値をとる。従って、有効情報率の期待値もまた、文字情報領域が図5(a)のように置かれた場合に最小になり、図5(c)のように置かれた場合に最大になることが分かる。

次に、(3.11)式を実際のディスプレイ画面に適用してみよう。ここでも2節と同様に、ディスプレイの大きさを横640、縦400ドットとし、その中に縦横比1:3の文字情報領域を持つ N 個の点的施設がランダムに配置されるものとする。また、文字情報領

域は常に点的施設の右上に配置される、つまり、 $X_i'=Y_i'=0$ とする。

まず、点的施設の数 $N=1, 10, 50, 100, 200$ の各場合について、文字情報領域の大きさと有効情報率の期待値の関係を見てみよう（図8）。

図8 文字情報領域の大きさと有効情報率の期待値の関係

図8を見ると、施設数が少ないときには有効情報率と文字情報領域の関係は直線に近いが、施設数が多い場合には、文字情報領域の大きさがある程度以上になると有効情報率は急激に小さくなることがわかる。 $N=1$ のときにはほぼ直線であるが、この場合、有効情報率は画面内情報率と等しい。

次に、有効情報率の期待値が80、90、95%の3つの場合について、点的施設の数 N と文字情報領域の大きさの関係を見よう（図9）。

図9 点的施設の数と文字情報領域の大きさの関係

いま、システムでは 12×12 ドット、 16×16 ドット、 24×24 ドットの3種類の字体が利用可能である

としよう。するとこの場合、有効情報率80%を確保するには、施設数 $N=21$ 以下であれば 24×24 ドットの字体を使うことができるが、 $N=22$ を超えると16ドット、 $N=57$ を超えると12ドットの字体を使わなければならない。さらに有効情報率90%を確保しようとする場合、 $N=5$ 以上で16ドット、 $N=17$ 以上で12ドットの字体を使わなければならないということが図9から分かる。

地理情報システムに組み込まれているデータベースソフトウェアの中には、各属性項目について項目長の最大値を予め設定するものが少なくない。このような場合について有効情報率の期待値を計算するときには、実データの項目長を用いて(3.3)式を解くこともできるが、設定されている最大長を用いて式(3.11)あるいは(3.12)を解くと、計算をより簡単に行うことができる。もちろんこの場合、求められる有効情報率の期待値は、より大きめの値となる。

3.2 文字情報領域が施設の右上に配置される場合

次に、点的施設と文字情報領域の位置関係の中で最も一般的な場合として、文字情報領域が常に施設の右上に配置される($X_i'=Y_i'=0$)場合を考えよう。まず、ここでは $i=j$ ならば必ず $Y_i \leq Y_j$ となるように(X_i, Y_i)を並べ替える。さらに、ディスプレイ画面を図10のような多くの領域に分割し、各領域内の点に文字情報領域が一つだけ置かれる確率を求め、そ

図10 有効情報率を計算するための領域分割

の総和をとることによって有効情報量の期待値を計算する。なお、ここでは領域*i*に関する有効情報量の期待値の総和を J_i とし、また $X_M = \max\{X_i; i=1, \dots, N\}$ と定義しておく。

(1) 領域 C_1 に関する期待値 J_1

領域 C_1 内の点(x, y)に、文字情報領域が一つだけ置かれる確率は、

$$\sum_{i=1}^N \left\{ \left(\frac{S_i}{S_0} \right) \prod_{j=1}^{i-1} \left(1 - \frac{S_j}{S_0} \right) \prod_{j=i+1}^N \left(1 - \frac{S_j}{S_0} \right) \right\} \quad (3.13)$$

である。この値を領域 C_1 で積分すると、有効情報量の期待値 J_1 を

$$J_1 = (X_0 - X_M)(Y_0 - Y_N) \sum_{i=1}^N \left\{ \left(\frac{S_i}{S_0} \right) \prod_{j=1}^{i-1} \left(1 - \frac{S_j}{S_0} \right) \prod_{j=i+1}^N \left(1 - \frac{S_j}{S_0} \right) \right\} \quad (3.14)$$

と求めることができる。

(2) 領域 C_2 に関する期待値 J_2

領域 C_2 についても、領域 C_1 の場合と同様の計算によって、有効情報量の期待値 J_2 を求めることができる。

$$J_2 = (Y_0 - Y_N) \int_{x=0}^{X_M} \sum_{i=1}^N \left\{ \left(\frac{Y_i}{S_0} \min\{X_i, x\} \right) \prod_{j=1}^{i-1} \left(1 - \frac{Y_j \min\{X_j, x\}}{S_0} \right) \prod_{j=i+1}^N \left(1 - \frac{Y_j \min\{X_j, x\}}{S_0} \right) \right\} dx \quad (3.15)$$

(3) 領域 C_{3i} に関する期待値 J_{3i}

領域内 C_{3i} の点(x, y)の上に、文字情報領域 $L_1 \sim L_{i-1}$ の中の 하나가重ねて置かれる場合を考えると、その確率 p_{i1} は

$$p_{i1} = \sum_{j=1}^{i-1} \left\{ \left(\frac{S_j}{S_0} \right) \prod_{k=1}^{j-1} \left(1 - \frac{S_k}{S_0} \right) \prod_{k=j+1}^{i-1} \left(1 - \frac{S_k}{S_0} \right) \prod_{k=i}^N \left(1 - \frac{X_k y}{S_0} \right) \right\} \quad (3.16)$$

である。同様に、点(x, y)の上に文字情報領域 $L_i \sim L_N$ のどれか一つが置かれる確率 p_{i2} は

$$p_{i2} = \sum_{j=i}^N \left\{ \left(\frac{X_j y}{S_0} \right) \prod_{k=1}^{j-1} \left(1 - \frac{S_k}{S_0} \right) \prod_{k=i}^{j-1} \left(1 - \frac{X_k y}{S_0} \right) \prod_{k=j+1}^N \left(1 - \frac{X_k y}{S_0} \right) \right\} \quad (3.17)$$

である。領域 C_{3i} に関する有効情報量 J_{3i} の期待値は、 p_{i1} 及び p_{i2} を領域内で積分することによって得られる。従って、

$$J_{3i} = (X_0 - X_M) \int_{y=Y_{i-1}}^{Y_i} (p_{i1} + p_{i2}) dy \quad (3.18)$$

となる。

(4) 領域 C_{4i} に関する期待値 J_{4i}

領域内 C_{4i} の点(x, y)に、文字情報領域 $L_1 \sim L_{i-1}$ の中の 하나가重ねられる確率 p_{i1} は

$$p_{i1} = \sum_{j=1}^{i-1} \left\{ \left(\frac{Y_j}{S_0} \min\{X_j, x\} \right) \prod_{k=1}^{j-1} \left(1 - \frac{Y_k \min\{X_k, x\}}{S_0} \right) \prod_{k=j+1}^{i-1} \left(1 - \frac{Y_k \min\{X_k, x\}}{S_0} \right) \prod_{k=i}^N \left(1 - \frac{y \min\{X_k, x\}}{S_0} \right) \right\} \quad (3.19)$$

である。また、点(x, y)に文字情報領域 $L_i \sim L_N$ のどれか一つが置かれる確率 p_{i2} は

$$p_{i2} = \sum_{j=i}^N \left\{ \left(\frac{y}{S_0} \min\{X_j, x\} \right) \prod_{k=1}^{j-1} \left(1 - \frac{Y_k \min\{X_k, x\}}{S_0} \right) \prod_{k=j+1}^{i-1} \left(1 - \frac{y \min\{X_k, x\}}{S_0} \right) \prod_{k=i}^N \left(1 - \frac{y \min\{X_k, x\}}{S_0} \right) \right\} \quad (3.20)$$

である。従って、領域 C_{4i} に関する有効情報量 J_{4i} の期待値は

$$J_{4i} = \int_{x=0}^{X_M} \int_{y=Y_{i-1}}^{Y_i} (p_{i1} + p_{i2}) dy dx \quad (3.21)$$

となる。

以上の結果を用いると、有効情報率の期待値は次のように表されることになる。

$$E[I_{eff}] = \frac{J_1 + J_2 + \sum_{i=1}^{N-1} (J_{3i} + J_{4i})}{\sum_{i=1}^N S_i} \quad (3.22)$$

4. 横浜市の鉄道駅名称の配置

以上のように、本論文では画面内情報率と有効情報率という二つの指標を用いて、文字の大きさが文字情報の損失に与える影響を定量化する方法を提案した。本節では前2節の結果を用い、横浜市における鉄道駅の名称を地図に配置した例を示す。

ここでは文字の大きさを決定する基準として、有効情報率の期待値が80%、90%、95%となる場合を考える。具体的には、鉄道駅の名称は全て駅の右上に表示されるものとし、3.2節における分析結果を適用する。横浜市における鉄道駅の総数は117であり、横浜市全域を完全に内包する縦235mm、横172mmの長方形画面（縦置きのア4サイズに収まる大きさ）にこれらの駅を表示すると仮定すると、文字情報領域の大きさ（縦の長さ）はそれぞれ、Y=4.607mm、3.024mm、1.904mmとなる。これら3つの場合について、画面内情報率の期待値、実際にその大きさに文字を配置したときの有効情報率と画面内情報率を計算した結果が表1である。また、Y=3.024mmの場合における実際の名称配置例を図11に示す。

表1 画面配置時における鉄道駅名称の情報率

文字の大きさ (Y, mm)	4.607	3.024	1.904
画面内情報率の期待値 (%)	94.66	96.65	97.78
実際の画面内情報率 (%)	99.45	100.00	100.00
有効情報率の期待値 (%)	80	90	95
実際の有効情報率 (%)	68.28	88.03	94.20

まず、表1を見てみよう。この例では、実際の有効情報率は3つの場合全てについて期待値を下回っている。これは図11から分かるとおり、駅の分布が市域の東部に集中しており、必ずしもランダムな分布とは言えないことが原因であろうと思われる。また、画面内情報率を期待値と実際の値とで比べてみると、実際の値は全て期待値を上回っている。これは、市域が完全に内包されるような表示方法を用いたために、画面境界付近に位置する駅がほとんどないことによる。従って、例えば市域の一部を拡大表

示すると、画面内情報率はこれほど高くはならないと考えられる。

次に図11を見てみよう。図11の有効情報率は88%であり、数字だけを見ると決して低い値ではない。にもかかわらず、文字同士の重複はかなり多く感じられる。この理由の一つとしては、重複の見られる文字情報が一部の地域に集中していることが考えられる。この例のように、文字によって重複の度合いにばらつきがあると、全ての文字が平均的に重複している場合と比べて、推測によって判読できる文字の量が減少するため、見た目以上に文字同士が重複しているような印象を与えるものと思われる。この現象も、やはり先程と同じように、施設の分布がランダムではないことに起因している。従って、点的施設の分布が集中型に近いと分かっている場合や、分布について何も情報がない場合には、文字の大きさはより小さめに設定すべきであろうと考えられる。

5. おわりに

本論文では、画面内情報率と有効情報率という二つの指標を用い、地理情報システムにおいて、文字の大きさが文字情報の重複やみ出しなどの損失に与える影響を定量化し、文字情報の損失を一定の水準以下に抑えるための文字の大きさを統計的に計算する方法を示した。さらに、この結果を横浜市における鉄道駅名称の配置に適用し、実証分析を行った。

ここで得られた分析結果を適用することで、地理情報システムが文字情報を完全に機械的に配置する場合には、文字情報の損失をある水準に抑制することが可能となる。また、自動文字配置アルゴリズムにおいても、機械的配置における文字の大きさの基準を安全側の基準値として用いることができる。

本論文で提案した情報率の計算方法は、計算が容易であるということに一つの特徴がある。(2.11)式は極めて単純な四則演算であり、(3.11)式も画面の大きさに対して文字情報が小さいという仮定のもと

図11 横浜市における鉄道駅の名称配置例 (Y=3.024mm)

では(3.12)式のように簡単に表わされる。従って、迅速な表示が求められる状況においては、これらの式を用いて情報の損失を簡単に制御することが可能となる。

文字の大きさを決定する基準として、画面内情報率と有効情報率のどちらを用いるべきか、また、文字のはみ出しや重複をどの程度に抑えるべきなのかという問題については、本論文は直接研究対象とはしていない。これは、利用者の要求やシステムの能力などによって、情報率の基準や文字の判読可能性が大きく変化すると考えられるためである。例えば、画面から文字がはみ出すことが致命的な問題となる場合には、画面内情報率を基準とすべきであり、文字情報の数が多く、重複によって判読が困難になる場合には、有効情報率を用いるべきであろう。また、利用者が大きめの字を好む場合には、情報率の基準は若干低めに設定する必要があるだろう。従って地理情報システムは、利用者が希望する情報率を指示すれば、それに応じた文字の大きさを自動的に設定する機能を提供することが望ましい。

文字の大きさの統計的決定方法については、本論文で取り上げた文字同士の重複やはみ出し以外にも、文字と空間対象物の重複を考慮した場合、線の・面的施設における文字配置、文字配置アルゴリズムを用いた場合の分析など、さらに多くの場合について研究を行う必要がある。これらの問題については、今後の課題としたい。

参考文献

- Ahn, J. and H. Freeman (1983): "A Program for Automated Name Placement," *Proceedings, Auto-Carto 6*, 444-453.
- Basoglu, U. (1982): "A New Approach to Automated Name Placement," *Proceedings, Auto-Carto 5*, 103-122.
- Brassel, K. E. and R. Weibel (1988): "A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization," *International Journal of Geographical Information Systems*, 2, 3, 229-244.
- Buttenfield, B. P. and R. B. McMaster (1991): *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*. Longman, London.
- Doerschler, J. S. and H. Freeman (1989): "An Expert System for Dense-map Name Placement," *Proceedings, Auto-Carto 9*, 215-224.
- Ebinger, L. R. and A. M. Goulette (1989): "Automated Names Placement in a Non-Interactive Environment," *Proceedings, Auto-Carto 9*, 205-214.
- Formann, M. and F. Wagner (1991): "A Packing Problem with Applications to Lettering of Maps," *Proceedings of the Seventh Annual Symposium on Computational Geometry*, 281-288.
- Hirsch, S. A. (1982): "An Algorithm for Automatic Name Placement around Point Data," *The American Cartographer*, 9, 1, 5-17.
- Imhof, E. (1975): "Positioning Names on Maps," *The American Cartographer*, 2, 2, 128-144.
- Langran, M. S. and T. K. Poiker (1986): "Integration of Name Selection and Name Placement," *Proceedings, Second International Symposium on Spatial Data Handling*, 50-64.
- Monmonier, M. S. (1982): *Computer-Assisted Cartography Principles and Prospects*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Mower, J. E. (1986): "Name Placement of Point Features Through Constraint Propagation," *Proceedings, Second International Symposium on Spatial Data Handling*, 65-73.
- Robinson, A., R. Sale, and J. Morrison (1978): *Elements of Cartography*. John Wiley & Sons, New York.
- Yoeli, P. (1972): "The Logic of Automated Map Lettering," *The Cartographic Journal*, 9, 2, 99-108.
- Zoraster, S. (1986): "Integer Programming Applied to the Map Label Placement Problem," *Cartographica*, 23, 3, 16-27.
- Zoraster, S. and B. Stephen (1987): "Practical Experience with a Map Label Placement Program," *Proceedings, Auto-Carto 8*, 701-708.