

島群に対するラベル配置問題

Label Placement Problem for Islands

情報工学専攻 原田 尚達
HARADA Naoto

概要

本論文では、複数の島の集合である島群に対して、付加情報付ラベルを適切な位置に配置するラベル配置問題を考える。現在島群に対してのラベル配置問題では、1つの島群を対象とした研究は行われているが、複数の島群を対象とした研究はあまりなされていない。そこで本研究では、複数の島群に対して適切な位置にラベルを配置できる領域を作成し、各島群に対して適切な位置にラベルを配置するアルゴリズムの提案を行う。さらにそれらのアルゴリズムを島群のデータに適用し、アルゴリズムの有用性を考察する。

キーワード：ラベル配置問題，ポロノイ図，島群

1 序論

地図やグラフなど、ある対象物に対してそれらに付加情報を与えるラベルを適切な位置に配置する問題をラベル配置問題という。ラベル配置問題は、例えば地図上の道路や建物に自動で名称を配置する目的で研究されている。他にもラベル配置の対象や用途によって様々な研究がなされているが、適切な位置に配置する多くの最適化問題はほとんどの場合NP困難問題であることが証明されている。

ラベル配置問題では、ラベル配置場所の最適性に厳密な定義はされていない。しかし、ほとんどの場合で以下の制約を満たす配置位置が適切とされている。

- ラベルは他のラベルや対象物と重なってはいけない
- ラベルはそれが指し示す対象物が明白となる位置に配置されなければならない

現在国土地理院の公開している地理院地図 [4] では、島群に対して指示点を定めてラベル配置を行っているため、拡大縮小に対応できていない部分がある。そこで本研究では島群に対してラベルを配置するラベル配置問題を考える。

2 島群に対するラベル配置問題

島群に対するラベル配置問題では、1つの島群に対する研究はなされているが、複数の島群を考慮した研究はあまりなされていない。そこで本研究では、近隣にある複数の島群を考慮した島群に対するラベル配置問題を考える。

本研究では島を単純多角形、島群を島の集合、ラベルを文字全体を囲む大きさの長方形として考える。ラベルを直線や曲線とみなす研究もなされているが [2]、本研究ではラベルは長方形とみなす。

島群に対するラベル配置問題ではラベル配置の対象となる島群のまわりに、他の島群があるような場合のアルゴリズムはあまり研究されていない。しかし入力対象となる島群のみである場合では、図1のようにラベルを長方形ではなく直線や曲線とみなし、島との重なりを許可せずに配置する手法の研究が行われている [2]。

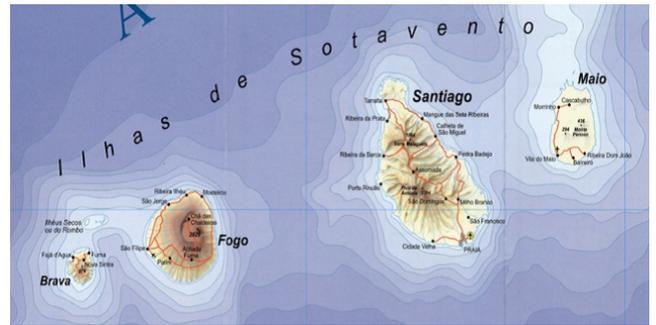


図 1. 曲線のラベル配置例 [2]

3 領域に対するラベル配置アルゴリズム

本研究では複数の島群を考慮したラベル配置を行うために、領域の内部にラベルを配置するアルゴリズム [1] を応用する。そこで、まず [1] に提案されている領域内部にラベルを配置するアルゴリズムの説明を行う。

3.1 領域に対するラベル配置問題の定式化

領域の境界から最も離れた位置にラベルを配置することを考える。

領域を表す多角形 P とラベルを表す長方形 L が与えられているとする。 L の参照点 l を長方形の左下の点とする。 L の参照点 l を P 内の点 q に一致するように平行移動によって置いたときのラベルを $L(q)$ とする。 $L(q)$ と P との距離 $d(L(q), P)$ を、

$$d(L(q), P) = \min\{d_E(r, p) | r \in L(q), p \in P\}$$

とする。領域に対するラベル配置問題は $d(L(q), P)$ が最大になるような q を求め、その q に l が一致するように L を配置する問題である。

3.2 配置可能領域

ラベルの参照点の位置を決定すると、ラベル全体が領域内部にある参照点の集合を配置可能領域という。配置可能領域はミンコフスキー和と差を用いて計算できる。そこでまずミンコフスキー和と差を説明する。

ミンコフスキー和と差 平面上のある2つの領域内の頂点を表すベクトルの集合を P, Q とする。また Q の参照点を $q \in Q$ とし、 q は原点にあるとする。すると P, Q のミンコフスキー和 $P \oplus Q$ は、

$$P \oplus Q = \{x + y | x \in P, y \in Q\}$$

と表される。また Q の原点対象のベクトルの集合を $-Q$ とすると、 P と $-Q$ のミンコフスキー和 $P \oplus -Q$

は,

$$P \oplus -Q = P \ominus Q = \{x + y | x \in P, y \in -Q\}$$

となる。このとき $P \ominus Q$ を P と Q のミンコフスキー差という。図2は実際に2つの領域に対してミンコフスキー和と差を求めた例である。図2(b)を見ると、 q を P 内部に配置するようにラベルを平行移動することによって、ラベル全体がミンコフスキー和の内部にあることがわかる。一方で図2(c)を見ると、 q をミンコフスキー差の内部に配置するようにラベルを平行移動することによって、ラベルが P に接する位置または P の内部にあることがわかる。ミンコフスキー和と差はこれらの特徴をもつ領域である。

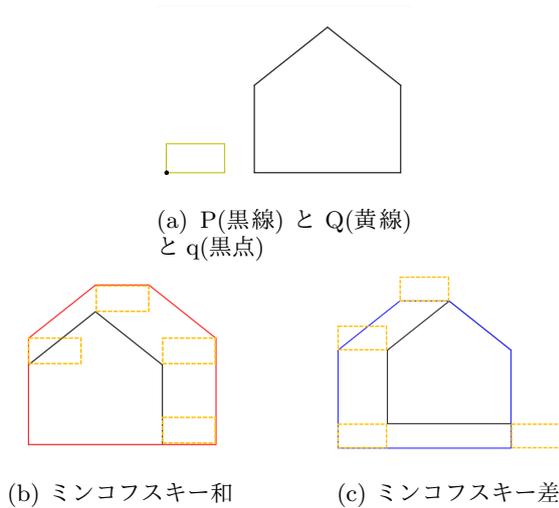


図 2. ミンコフスキー和と差の例

配置可能領域の作成 ミンコフスキー和と差を用いて、配置可能領域を作成する。図3(a)のような領域とラベルに対して配置可能領域を作成したものを3(b)の青線で示している。このときラベルの参照点を左下の頂点とし、ラベルの参照点が配置可能領域内のどの場所にあってもラベルは領域内部に存在する。

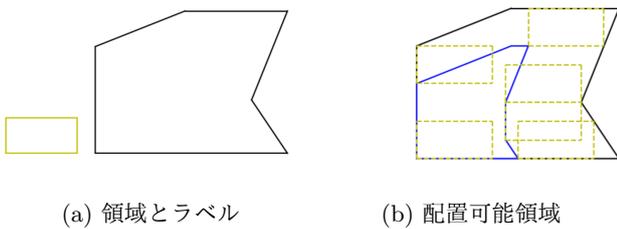


図 3. 配置可能領域の例

3.3 多角形の辺に対するボロノイ図

領域の内部かつ、領域の境界から最も遠い場所にラベルを配置するために、領域の境界を構成する各線分を開線分とみなし、これらの線分に対してボロノイ図を作成する。ボロノイ図は各線分から等距離の線分を描いたものであるため、ボロノイ点のいずれかは各線分から最も遠い場所に位置している。図4の青線で示す多角形の各辺に対して、ボロノイ図を作成したものを緑線で示している。

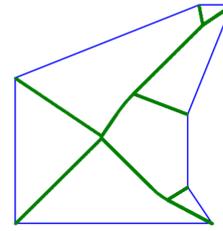


図 4. 多角形の各辺に対するボロノイ図

3.4 領域に対するラベル配置アルゴリズム

入力として多角形 P 、ラベルを表す長方形 L が与えられる。領域に対するラベル配置アルゴリズムは以下のように動作する。

まず P に対して配置可能領域を作成する。その後配置可能領域に対して多角形の辺に対するボロノイ図を作成する。作成したボロノイ図のボロノイ点の中で、配置可能領域の各線分との距離が最大のボロノイ点を求める。その後、 L の参照点をさきほど求めたボロノイ点と一致するように平行移動させる。

図5(a)は実際に求めた配置可能領域に対してボロノイ図を描いたものであり、ボロノイ点の中で配置可能領域から最も遠いボロノイ点を黒点で示している。図5(b)はラベルの参照点が先ほど求めたボロノイ点と一致するように平行移動したものである。このときラベルは領域の各辺から最も遠い場所にあることが分かる。

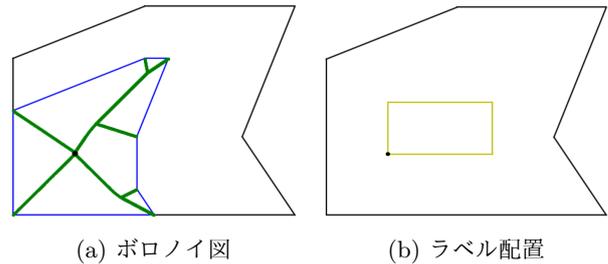


図 5. ラベル配置の様子

4 1つの島群に対するラベル配置アルゴリズム

上記で説明した領域に対するラベル配置アルゴリズムを、1つの島群に対するラベル配置問題に応用する。まず島群との距離がある程度近く、島群とラベルが重ならないラベル配置場所が存在する十分な大きさの領域である制御領域を作成する。その後制御領域の内部で島と重ならない適切な位置にラベルを配置する。以下では図6のような島群に対するラベル配置アルゴリズムの説明を行う。



図 6. 島群(黒線)とラベル(黄線)

4.1 制御領域

制御領域の作成にはまず島群全体を囲む凸包を求め、凸包内部にラベルを配置することで、島と島間にラベルを配置することができる。さらに凸包に対して、ラベルと相似な多角形 L_S とのミンコフスキー和を作成する。このとき L_S のすべての端点を参照点としたミンコフスキー和をそれぞれ作成し、それぞれの領域の和領域を求める。このように領域を作成することで、島群にある程度近く、島とラベルが重ならないラベル配置場所が存在する大きさの領域を求めることができる。本研究ではこれを制御領域とする。実際に島群に対して作成した制御領域を図7に青線で示している。このとき領域の拡張には図7に破線で示した長方形を使用している。

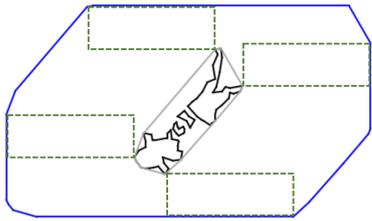
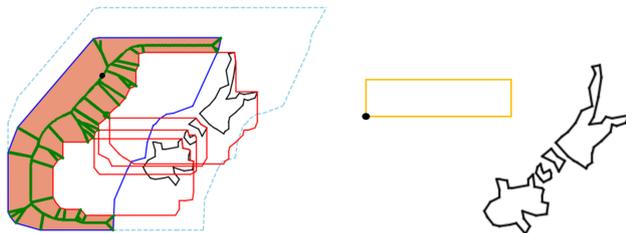


図7. 島群を囲む凸包(灰線)と制御領域(青線)

4.2 アルゴリズム

支配領域に対して配置可能領域を求め、その領域を P とする。さらに図8(a)の赤線で示すように各島に対して、ラベルとのミンコフスキー差の集合 H を作成しすべての島に対する H の和集合を H_M とする。 $C = P - H_M$ とすると C は、 P 内で島と重ならずラベルを配置するための参照点の配置候補領域となる。図6の入力に対して領域 C を計算したものを図8(a)に示している。図8(a)のように、 C の境界部分のすべての線分に対して、ポロノイ図を作成する。ポロノイ図のポロノイ点のいずれかは C の各線分から最も遠い場所にあるため、その点にラベルの参照点を一致させるようにラベルを平行移動すると、領域 P と領域の集合 H から最も遠い位置かつどの領域にも重ならない位置にラベルを配置することができる。上記のポロノイ



(a) 領域 C (橙色) と、 C の各辺に対するポロノイ図 (b) ラベル配置場所

図8. ラベル配置の例

イ図をもとに、適切なラベル配置場所にラベルを配置したものを図8(b)に示す。図8(b)に示すように、上記のアルゴリズムで領域内にラベルを配置することで、 P と H の各領域の境界から最も遠い場所にラベルを配置できることが分かる。このようにアルゴリズムを

適用することで、入力された島群の適切な位置にラベルを配置することができる。

5 複数の島群に対するラベル配置問題への応用

次に複数の島群に対するラベル配置問題を考える。これに対して前述のアルゴリズムを応用する。まず島群の位置をもとに、ラベル配置対象となる島群の近くにラベルを配置できる領域である支配領域を作成する。その後、前述のアルゴリズムを適用することで、島群までの距離が近く、島に重ならない場所にラベルを配置することができる。

以下では図9に表す島群に対して支配領域を求め、その中でラベルを配置する位置を探すことにする。図9では黒色で描かれている領域がラベル配置対象の島群であり、緑色で描かれている領域がラベル配置対象ではない近隣の島群とする。

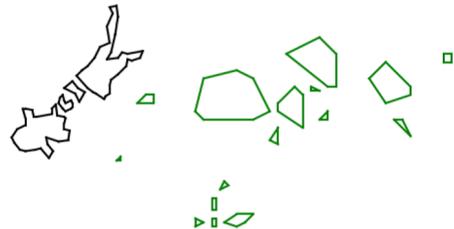


図9. 複数の島群

5.1 島群の支配領域

次に島群に対して、適切なラベル配置領域を示したものを支配領域という。島群の支配領域は、各島群に最も近い領域であることと、島群からある程度近い領域であることが必要である。これを満たすためにまず、ポロノイ図を用いて各島群に最も近い領域を求める。さらにその領域と制御領域の共通の領域を求めることで、上記を満たす領域を求めることができる。この領域を支配領域とする。

5.2 島群のポロノイ領域

島群 i を構成する頂点の集合を G_i とする。頂点集合 G_i に対して次の式で定義される領域 $V(i)$ を作成する。

$$V(i) = \bigcup_{p_i \in G_i} \bigcap_{q \in \bigcup_{j \neq i} G_j} \{p | d(p, p_i) \leq d(p, q)\}$$

上記の式で定義される領域は、頂点に対するポロノイ図のうち、同じ島群を構成する頂点同士を分割する境界を排除したものと等しくなる。つまり同じ島群を構成する頂点から最も近い領域を表している。この領域を島群に対するポロノイ領域という。これを島群の支配領域として、領域内部にラベルを配置するアルゴリズムを適用すると、ラベル配置対象の島群に最も近い場所にラベルを配置することが可能となる。しかし、このポロノイ図では各島群を分割する領域が有限ではない場合や、有限の場合でも領域の境界が島群から離れている可能性がある。この領域を考えるだけでは、ラベルが島群から遠い場所に配置されてしまう可能性がある。このような事態を防ぐために、この領域と制御領域の共通領域を作成する。

5.3 アルゴリズム

島群に対するポロノイ領域と制御領域の共通領域を支配領域とする。図 10 は実際に対象となる島群に対して島群の支配領域を作成したものである。作成した領域を支配領域、各島を配置不可能領域として、1つの領域に対するラベル配置アルゴリズムを適用する。このようなアルゴリズムを適用することにより、ラベル配置対象となる島群の近くかつ空いている領域にラベルを配置することができる。図 11 はアルゴリズム適用後、実際にラベルを配置した例である。

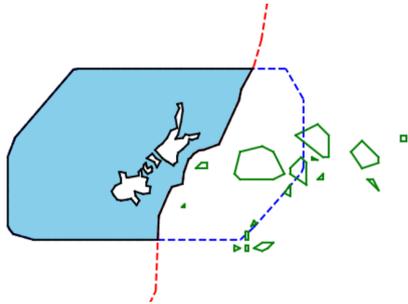


図 10. 島群の支配領域 (島群を含む青色の領域)。制御領域を青破線、ポロノイ図を赤破線で示している。

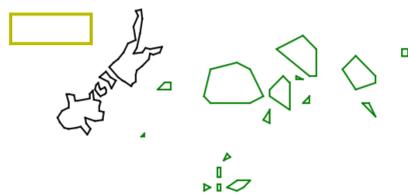


図 11. 複数の島を考慮したラベル配置例

6 計算機実験

前述のアルゴリズムで配置したラベルと実際の地図に配置されているラベルを比較し、アルゴリズムの実用性の検証を行う。

6.1 地図データ

実験に使用するデータは国土地理院の作成している地理院地図 [4] をもとに作成した。実験では九州地方周辺の7つの島群に対してラベル配置を行い、実用性の検証を行う。ラベルはすべて水平方向で固定し、ラベルの大きさは実際の地図のラベルの大きさに合わせる。

6.2 実行結果

上記の地図から島群のデータを作成し実験を行った。図 12 の青い領域はそれぞれの島群の支配領域を表している。支配領域の作成には、ラベルと相似な長方形を使用した。図 13 は各島群に対してラベル配置を行った結果である。このとき実線で表されるラベルは実際に配置出来たもので、破線で表されるラベルは、ラベルが配置できなかった島群に対する理想的なラベル配置である。

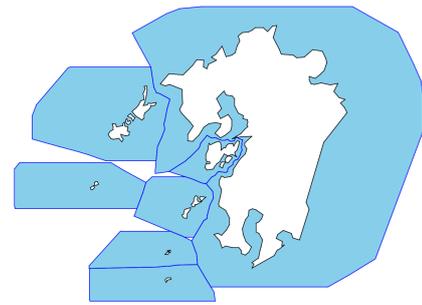


図 12. 7つの島群とそれぞれの支配領域 (島を含む)



図 13. ラベル配置の結果

6.3 考察

九州地方の地図で実験を行った結果、図 13 に示すように、7つの島や島群のうち2つの島群にラベルを配置することができなかった。図 12 を見るとラベルが貼られていない島群の支配領域が小さく、島群を避けてラベルを配置できる領域がないことがわかる。このように島群が密集した場所で島群より大きいラベルを配置する際にはより大きい支配領域を作成しなければならないことが分かる。

7 結論

アルゴリズムを適用することにより、いくつかの島群に対して適切な位置にラベルを配置することができた。しかし本アルゴリズムではラベルがある程度大きいと、支配領域内部にラベルが配置できない場合がある。この場合、島群の支配領域を拡張してラベルを配置するか、ラベルを小さくしてラベルを配置する必要がある。

謝辞 本研究を進めるにあたり、適切なお指導、ご指摘をしていただきました中央大学理工学部情報工学科の今井桂子教授に心から感謝いたします。また多くの助言をしていただいた今井研究室の学生各位に感謝致します。

参考文献

- [1] H.Imai, K.Imai, and T.Tokuyama, "Maximin location of convex objects in a polygon and related dynamic Voronoi diagrams," *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol2, No. 1, pp.45-58, 1999.
- [2] J.A. Miller, D. O'Sullivan, D.Wiegand, "Circle in the Water: Towards Island Group Labeling," *Proc. of the 9th International Conference on Geographic Information Science(GIScience)*, pp.293-307, 2016.
- [3] Joseph O'Rourke, "The Computational Geometry in C," Cambridge University Press, 1998.
- [4] 地理院地図 (電子国土 Web), <https://maps.gsi.go.jp/>, 2022.