

## 外縁線計算手法の提案

柴山 信行：海洋情報課

### The Proposal of Calculation Algorithm for Outer Limit of Territorial Sea

SHIBAYAMA Nobuyuki : Oceanographic Data and Information Division

12海里領海線等の外縁線を求める方法を、筆者他(2001)が紹介した。そこで紹介したのは、計算のパラメータ、計算条件等を手入力し1点ずつ求めて行く手法である。二国間漁業協定等が定める数点の位置で範囲を示す場合には有効であるが、海図に記載する外縁線を求めることは、無理である。

また、この方法は、緯度又は経度を一定方向に移動しその線上の外縁線点を求める方法(以下「スライス法」)であり狭い範囲に限定した区域にしか適用ができない(第1図左)。外縁線の方向が複雑・大きく変化する島嶼部では、緯度経度1度の範囲でも対応ができない区域があることから、外縁線を連続的に求める場合には適用しにくい(第1図右)。

スライス法に代え次の外縁線点を求めるのに、既に求めた基点を中心一定角度変化させた点を求め

る方法(以下「回転法」)を今回は紹介する。

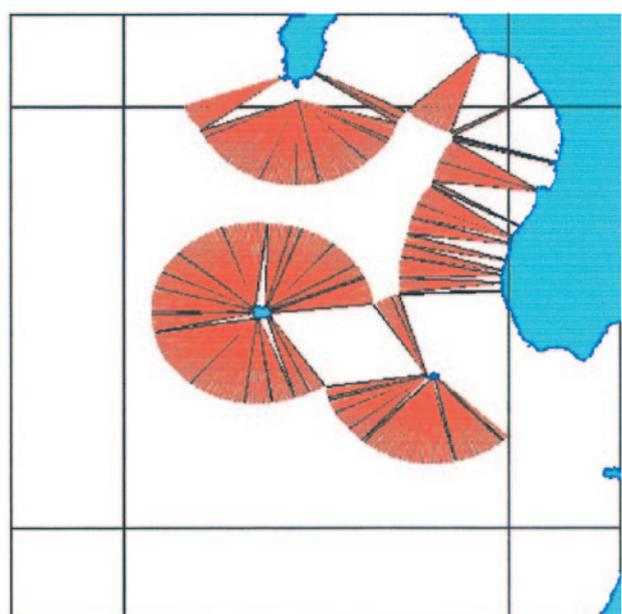
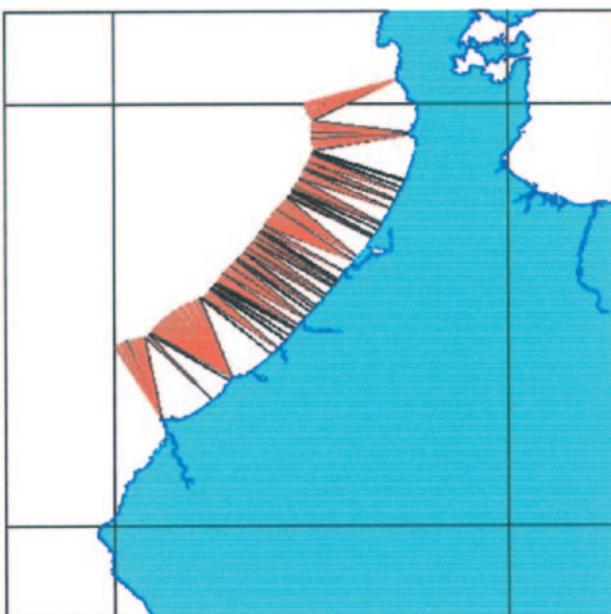
領海の基線には、通常基線と直線基線がある。数値計算の場合通常基線は点列である。それに対して、直線基線は文字通りの線である。点と線を同時に扱うことは、スライス法では可能であるが、回転法のアルゴリズムは見いだせていない。

このため現実的な方法として、

- ①前もって直線基線上の点を一定間隔で求めておく
- ②基点判定
- ③基点(線)の前後2点のノードを求める
- ④各基点(線)の2点のノード間で外縁線点を求める

の4段階に分けて外縁線を求める方法を考案した。

ここで、本報告で使用している用語を説明してお



第1図 基点判定外縁線計算結果

Fig. 1 Select of Baseline Point and Calculation of Limit of Territorial Sea.

く。

基点判定：基点の採用を判断し，基点を並べることである。同時に概略外縁線が得られる。

ノード：連続する基点(線)が共通に持つ外縁線点。第1図で基点と外縁線を結ぶ黒の線の交点。

外縁線点：外縁線は線であるが，実際のデータは点列である。この点列を構成する1点に注目する場合は，外縁線点と呼ぶ。

端点：直線基線を定める両側の点

本報告では，「①前もって直線基線上の点を一定間隔で求めておく」は，筆者他(2001)に記述されているので省略する。

また，必要な計算アルゴリズムは，記述の出でくる順のその場で取上げており，開発とは逆の順になっている。今回の提案した手順，アルゴリズムは，それらを取込んだプログラムは既に作成されており，テストを経て実用性は実証されている。

数値解析解を求める計算手法は全て2分法である。2分法に必要な収束範囲を近接点から東西(又は南北)に拡大し求めることで，完全自動化を達成し，使用者のパラメータの設定をなくすことができた。

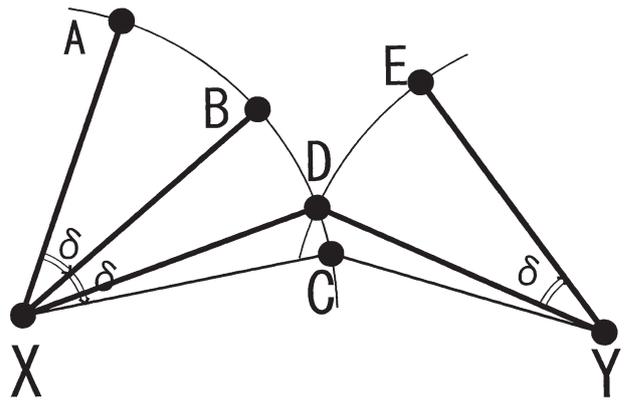
外縁線は，特に断らない限り，時計回りに計算することを前提にしている。位置は経度-緯度の順となっている。方位 AB は A から B の方位である。

### 1 基点判定

外縁線は連続点列であるので，基点とその外縁線点が知られているのが前提である。

#### (1) 基点判定アルゴリズム(第2図)

- ① X 点を中心に，方位角 XA から一定角度  $\delta$  時計方向に回転させた方位角で設定距離 B 点を求める(「(2)方位距離点」に記述)
- ②点 B と X 点を除く全基点との距離計算をする
- ③設定距離未満の点があるか
- ④ない場合は，その点が外縁線点となる(①に戻り，繰返す)
- ⑤ある場合(図では点 C が相当)は，その内最も短い基点を，新しい仮の基点 Y とする
- ⑥基点 X と基点 Y の2点設定等距離点(「(4)近接点付き2点設定等距離点」に記述)D を点 C を



第2図 外縁線計算アルゴリズム

Fig. 2 Calculation Algorithm for Limit of Territorial Sea.

近接点にして求める

- ⑦点 D と基点 X, Y を除く他の全基点との距離計算をする
- ⑧設定距離未満の点があるか
- ⑨無い場合は，点 D が外縁線点となる。基点 Y を X として①へ
- ⑩ある場合は，その基点を新しい Y とし，点 D を点 C として⑥へ

第2図では，点 A, B が基点 X, 点 E が基点 Y の外縁線点，点 D が基点 X, Y の2点等距離点であり，ABDE が外縁線である。

#### (2) 方位距離点(第3図)

方位45度から135度の範囲を例に説明する。実際には角度に応じて，緯度・経度，計算方向を変える必要がある。

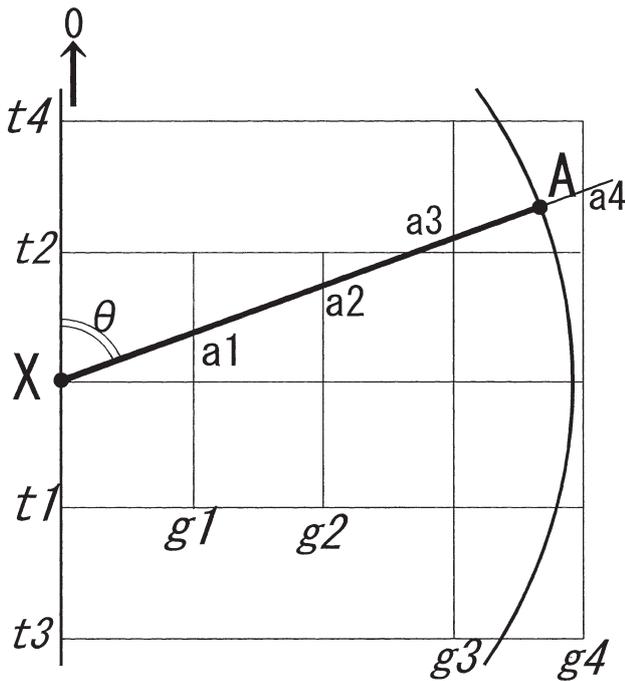
- ①点 X から一定方向東側の経度線  $g_1$  上の方位角  $\theta$  の点  $a_1$  を求める(「(3)線上角度点」に記述)
- ②距離  $Xa_1$  を求め，設定距離と比較する
- ③距離が満たない場合，さらに東側の線  $g_2$  上の点  $a_2$  を求める。②へ
- ④距離を超える場合，超えた経度線とその前の経度線を収束範囲にし，距離を判定とした2分法を適用し，点 A を求める

A が X からの方位距離点である

#### (3) 線上角度点(第3図参照)

$a_3$  点を求めることを例に説明する。

- ①点 X の緯度の南北に一定緯度はなれた緯度線  $t_1, t_2$  を設定する。



第3図 方位距離点計算アルゴリズム  
Fig.3 Calculation Algorithm for Direction and Distance Point from One Point.

- ②点 X から点  $g3t1$ 、及び点  $g3t2$  の方位を求める
- ③設定角度  $\theta$  は、両方位の間にあるか
- ④ない場合は、さらに南北の点  $g3t3$  及び  $g3t4$  の方位を求め、③へ
- ⑤ある場合、その南北範囲を収束範囲とし、角度を判定とした二分法を適用して、 $a3$  を求める  
 $a3$  が、線上角度点である。

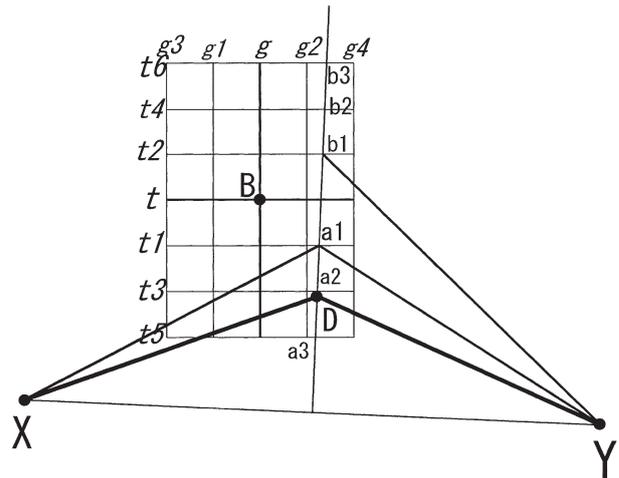
(4) 近接点付き 2 点設定等距離点(第 4 図)

2 点からの等距離点は、両側にあるので他の情報がないと、1 点に確定することはできない。通常基線データは、回転方向を時計回りとするとき基点の並びも時計回りとなることから、求める点は前の点から後の点の方向の左側であるので、点を確定することは可能である。

外縁線の場合は単独で 2 点からの等距離点を求めるのではなく、その近傍の位置が直前で求められており、その点を近接点として求めることも可能である。

2 点が緯度線に浅い角度で傾斜している場合を例に説明する。X 及び Y が 2 基点、近接点が B である。

- ①点 B の緯度の南北に緯度線  $t1, t2$  を設定する。
- ②  $t1, t2$  線上の 2 点等距離点  $a1, b1$  を求める (①(5)



第 4 図 2 点設定等距離点計算アルゴリズム  
Fig.4 Calculation Algorithm for Same Established Distance Point from Two Points.

近接点付き線上 2 点等距離点」に記述)。

- ③設定距離が両距離の間にあるか
- ④ない場合は、さらに南北に広げた  $t3, t4$  上の点  $a2, b2$  を求め、距離を得、③へ
- ⑤ある場合は、その南北範囲を収束範囲とし、設定距離と基点との距離を判定にした二分法で点 D を求める

点 D が 2 点設定等距離点である。

(5) 近接点付き線上 2 点等距離点(第 4 図参照)

$t1$  緯度線上を例に説明する。

- ①近接点 B の経度の東西に一定距離離れた点  $g1$   $t1$  と  $g2t1$  を設定する
- ②基点 X 及び基点 Y と両設定点の距離を求める
- ③点  $g1t1$  と基点 X との距離から点  $g1t1$  と基点 Y との距離を引いた値を求める。並びに点  $g2t1$  と基点 X との距離から点  $g2t1$  と基点 Y との距離を引いた値を求める。その距離の差の正負が異なるか
- ④異なる場合、更に経度を  $g3, g4$  に広げ、②へ
- ⑤異なる場合は、その東西範囲を収束範囲にし、基点 X 及び Y との距離の差を判定にした二分法で点  $a1$  を求める  
点  $a1$  が、緯度  $t1$  上の線上 2 点等距離点である。

2 1 基点(線)に存在する 2 個のノードを求める

基点判定結果から、1 基点(線)に存在する 2 個の

ノードを求める手順は以下の通りである。

- ①基点判定結果で、基点が変化する2点(線)の組合せを抽出する
- ②基点(線)の組合せからノードを求める
- ③連続するノードに共通する基点(線)を当てる

(1) 基点の組合せ(第5図)

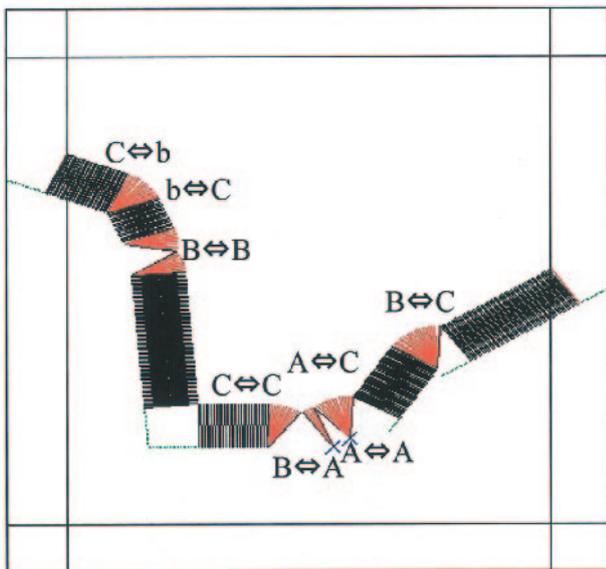
基点判定に使われる基点は、通常基線の基点(A)と、直線基線の端点(B)と直線基線上点(C)の3種の点に区分される。図で×で示す点がA、緑色の線及びそれに直線的に連続する黒点がC、その両端がBである。

基点が変化する点ノードの種類は、基点が3種あり基点の両者の前後関係を区別する必要がないので、6通り(AA,AB,AC,BB,BC,CC)となる。

しかしながら、直線基線の端点(B)は、直線基線上点(C)の端点の場合とそうでない場合で対応が異なる。直線基線の端点でない場合は、点Bは、点Aとみなせ、AB,BBはAAと、BCはACと同じとなる。組合せは4通り(AA,AC,bC,CC)である。なお、点Bが端点の場合を点bとした。

モードを求めるプログラムは、以下の4種が必要である。

イ. AA：2点設定等距離点



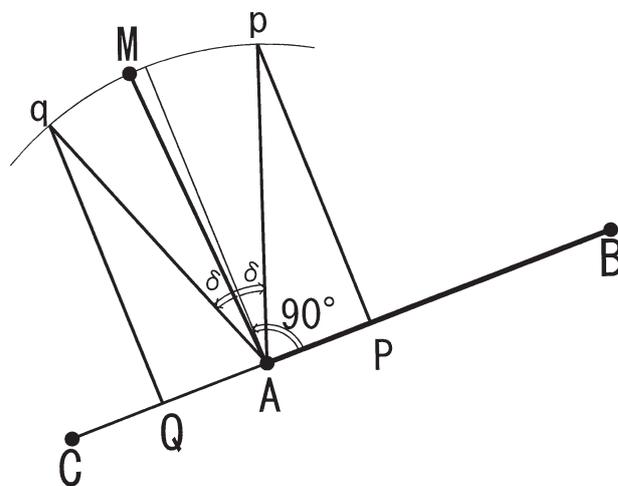
第5図 ノードを構成する2基点(線)の組合せ  
Fig. 5 The Combination Kinds of Same Distance Point from Two Normal and/or Straight Baseline.

- ロ. AC：1点1線設定等距離点
  - ハ. CC：2線設定等距離点
  - ニ. bC：端点垂線設定距離点(直線基線の端点の垂線上で設定距離にある点、直線基線の垂線とは、直線基線との距離を最短にする線)
- イは、1(4)近接点付き2点設定等距離点である。ロ及びハは、基点との距離を直線基線との距離(筆者他, 2001)と読みかえれば、アルゴリズムは、同じである。

(2) 端点垂線設定距離点(第6図)

直線基線ABの端点AのAからBに向かって左側を求める場合を例に取る。

- ①Aの側に直線基線を一定距離伸ばした、新たな直線基線CBとなる点Cを求める(「(3)直線基線の延長」に記述)。A点は直線基線CB上の点である。
- ②A点の設定距離と直線基線ABのAからBを見た方位を90度反時計方向に回した方位の前後の点p,qを求める
- ③p,q両点から直線基線CBとの最短距離となる直線CB上の点(垂点)P,Qを求める
- ④P及びQが、点Aの両側か
- ⑤両側でない場合は、90度の前後の角度を更に広げて②へ
- ⑥両側であったら、その前後の角度を収束範囲にし、垂点の位置が点Aのどちら側になるかを判



第6図 直線基線端点垂線アルゴリズム  
Fig. 6 Calculation Algorithm for Vertical Line on End Point of Straight Baseline.

常に2分法を適用

点Mが端点垂線設定距離点である。

右側の点を求める場合は、回転する方向を逆にすれば良く、近接点を利用して角度の回転する方向を決める。

(3) 直線基線の延長(第7図)

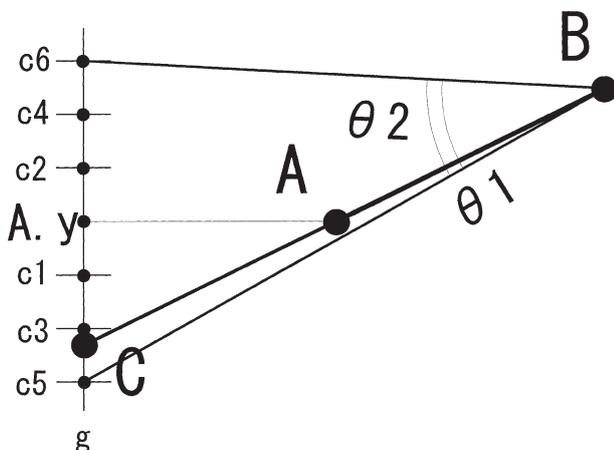
経度線上の延長直線基線を求める場合を例にとる。また、距離計算だけで直線基線上点を求める方法(筆者他, 2001, 今後「距離法」と呼ぶ)と同様な手法で求める方法があるが、今回はABの方位を使う方法(「角度法」と呼ぶ)を紹介する。なお、角度法は、従前からのプログラムで使用されている方法で、筆者のオリジナルではない。

直線基線上の点Cは、BからAの方位と、BからCの方位が同じである。

- ① 経度g上で、点Aの緯度の点A.yの南北に点c1, c2を設ける
- ② Bからc1及びc2の方位を求める
- ③ 両方位がBからAの方位の両側にあるか
- ④ 両側にない場合、c3, c4と南北に更に広げ②へ
- ⑤ 両側にある場合は、その南北範囲を収束範囲にし、方位角BAと求める点のB点からの方位角を判定に2分法を適用

3 1 基点(線)のノード間を一定間隔毎に外縁線を求める

ノード間で一定距離離れた連続する点を求めたも



第7図 直線基線の延長点アルゴリズム  
Fig.7 Calculation Algorithm for Outer Expand Point of Straight Baseline.

のが外縁線となる。通常基線、直線基線の端点は点であり、直線基線は線であり(第5図で、前者は赤、後者は黒で基点と外縁線を連結している)、両者で外縁線の求め方は異なる。

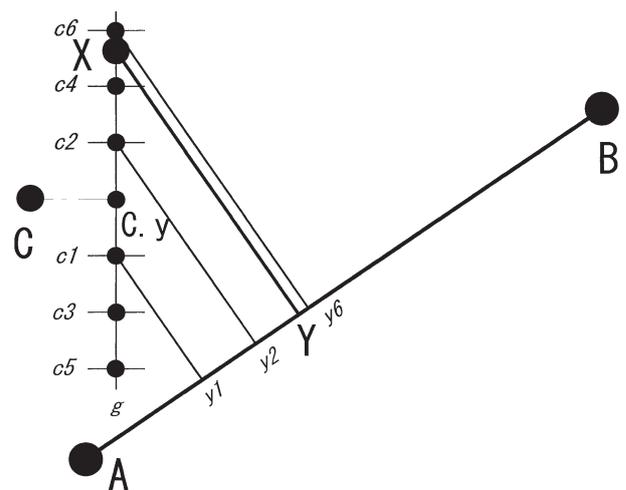
通常基線の場合は、基点を中心し、開始点ノードの角度から終了点ノードの角度まで角度を変化させ方位距離点求める。

直線基線の場合は、ノード点間をスライス法で直線基線からの緯度又は経度線上の設定距離点を求める。

(1) 近接点付き直線基線から設定距離の線上点(第8図)

経度線を移動されることを例に、直線基線ABの経度線上の外縁線点を求めるアルゴリズムを説明する。

- ① 経度g上に近接点Cの経度C.yの南北に点c1, c2を設ける
- ② 点c1, c2と直線基線との距離を求める
- ③ 一方の距離が設定距離より長く、他方の距離は短い
- ④ ③の条件に当てはまらない場合は、c3, c4と南北に更に広げ②へ
- ⑤ ③の条件に当てはまる場合は、その南北範囲を収束範囲にし、直線距離との距離と設定距離を判定に2分法を適用



第8図 直線基線の緯(経)度線上設定距離点アルゴリズム  
Fig. 8 Calculation Algorithm for the Established Distance Point on Line from Straight Baseline.

点 X が経度  $g$  上の直線基線から設定距離点, 距離 XY が設定距離である.

#### 終わりに

領海等に関わる他に必要な計算法(中間線及び特定海域(宗谷海峡, 津軽海峡, 対馬西水道, 対馬東水道, 大隈海峡))は, 本技法の次号以降に投稿する予定である.

作成されたプログラムの実用テストを担当して頂いた, 海洋情報課領海担当の野田直樹, 奥屋和浩氏に感謝する.

#### 参 考 文 献

柴山信行, 今井義隆: 領海確定等に用いる計算アルゴリズムについて, 水路部技報, **19**, 11-18, (2001)