

## 2 点間の距離を測る

ます い よし はる  
増井由春

E-mail : masui@konomi.nagaokaut.ac.jp

### 1 はじめに

前職の耐震防災工学研究室<sup>1</sup>での職務のひとつに地震動記録の解析があった。当時はコンピュータといわずに電子計算機といていた。何も知らずにこの世界に飛び込んだ<sup>2</sup>私は、片山恒雄先生<sup>3</sup>の手足となって計算機室を往復していた。当時の富士通社長が第二工学部出身とかで、計算機室にはFACOM270-30<sup>4</sup>があった。計算機の利用者は対価を請求されるが、そのCPU 課金も1時間あたり1,000円とかと聞いた。FORTRAN<sup>5</sup>言語の全盛でこれさえ知っていれば飯<sup>めし</sup>を食べていける時代であり、その仲間に入れてもらいたくて、森口先生の教科書で必死に勉強した記憶がある。当時の計算機室でああだこうだ言いあった何人かの、現在、中堅の大学教授としての活躍を聞くにつけ、懐かしい青春時代を思い出す。

私は、当時の片山恒雄先生の**地震危険度の研究**をお手伝いすることが引き金となって、計算機とか数値計算とかに首を突っ込んでいった。何も知らないのだから、先生からのことばの一つひとつがすべて新鮮であった。また地震工学の研究室であったから、災害地震の時には現地調査に出かけた。おかげで日本中を旅行できた。地震災害の調査を通じて被災現場から多くの知見を得ることができた。反面、罹災者のつらい表情も数多く見てきた。地震防災工学とは正<sup>まさ</sup>にある意味で泥臭い経験工学<sup>ゆえん</sup>と思う所以だ。

標題の「**2点間の距離を測る**」とは、はて？ 何のことだろうとと思っていただけたら、これ幸い。きっと飽きさせないので最後までお付き合い願いたい。なお、今後、地震に関連する話題を筆者の拙<sup>つたな</sup>い文で機会あるごとに投稿していきたい。

---

<sup>1</sup>東京大学生産技術研究所。東大の第二工学部が生産研となった(東京大学第二工学部史)

<sup>2</sup>故 久保慶三郎名誉教授の研究室。紫綬褒章授章。増 正四位

<sup>3</sup>現 科学技術庁防災技術研究所長。地震防災工学分野では世界の五指以内のはず

<sup>4</sup>名機といわれた1億円の計算機。金額については記憶違いかもしれない

<sup>5</sup>コンピュータで使用する言語のひとつ

## 2 地震の位置

地球上で発生する地震の位置をわかりやすいように、経度と緯度で示す。この経緯は知らないが、昔からそうになっているらしい。明治の開国後、日本の近代地震学が、お雇い学者のユーイング<sup>ユーイング</sup>らによって始まったとされるが、私が知っている地震データはすべて経度緯度が記入されている。理科年表をお持ちであれば、被害地震年代表にも経度緯度が記されているのが確認できるかと思う。すなわち経度と緯度は地震戸籍簿<sup>しゅっしょうち</sup>の出生地である。

地震が発生した最初の位置を地球表面上に求める点が震央<sup>しんおう</sup>と呼ばれる。この位置から注目する観測点までの球面距離が震央距離である。ところが、地球は完全な球体でないので、地震の震央距離を求めるにも工夫が必要とされる。写真-1に蜜柑<sup>みかん</sup>を使って地球上の注目点 A と地震の震央 B 点をプロットしてみた。本当の地球がここまで凸凹<sup>でこぼこ</sup>しているはずはないが、感覚的に理解しやすいのではないかと思う。それをもっともらしく書けば、図-1<sup>6</sup>に示す回転楕円体上の球面距離 A-B となる。



写真-1 地球に見立てた蜜柑

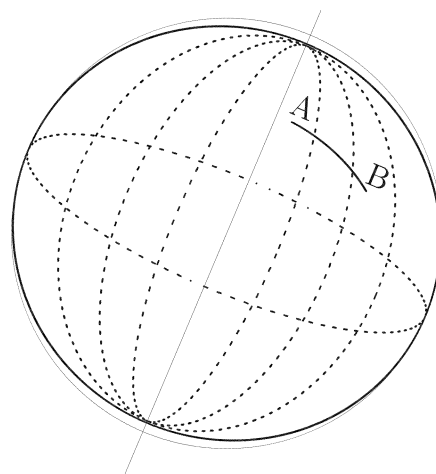


図-1 回転楕円体上の球面距離 A-B

## 3 震央距離の計算

さて、理科年表によれば、震央距離の求め方は以下のように解説されている。

$\varphi_0, \lambda_0$  : 震央の地心緯度、経度

$\varphi, \lambda$  : 観測点の地心緯度、経度

$\Delta$  : 角震央距離 とすると、

<sup>6</sup>本学修士2年、時讓太君の作図による

$$\cos \Delta = \sin \varphi_0 \cdot \sin \varphi + \cos \varphi_0 \cdot \cos \varphi \cdot \cos (\lambda_0 - \lambda)$$

地理緯度 ( $\varphi$ ) と地心緯度 ( $\varphi'$ ) との差は、

$$\varphi - \varphi' = 692.''750 \sin 2\varphi - 1.''163 \sin 4\varphi + 0.''003 \sin 6\varphi$$

となる。

また、球面三角法の余弦法則からも、以下のように求められる。

$R$  = 地球の赤道半径

$D$  = 地球の赤道上 1 度あたりの長さ

$$\begin{aligned} \cos \Delta &= \cos (\pi/2 - \phi_A) \cos (\pi/2 - \phi_B) \\ &\quad + \sin (\pi/2 - \phi_A) \sin (\pi/2 - \phi_B) \cos (\theta_B - \theta_A) \end{aligned}$$

$$\Delta = R \cdot \delta_{rad} = D \cdot \delta_{deg}$$

$$\begin{aligned} \delta_{rad} &= \cos^{-1} (\cos \phi_A \cdot \cos \theta_A \cdot \cos \phi_B \cdot \cos \theta_B + \cos \phi_A \cdot \sin \theta_A \cdot \cos \phi_B \cdot \sin \theta_B \\ &\quad + \sin \phi_A \cdot \sin \phi_B) \end{aligned}$$

## 4 プログラミング

プログラムのコーディングでは  $\sin$  関数や  $\arccos$  関数の性質から、震央が注目している地点に近く、求める角度が極小角となるような震央距離の計算では、4 倍精度演算を必要とされることがある<sup>7</sup>。汎用計算機では  $\text{QSIN}$  とか  $\text{QACOS}$  の内部関数が使用できて、4 倍精度演算が簡単であったが、パーソナルコンピュータでは倍精度の関数しか定義されていないので工夫が必要と思う。また、初期のパーソナルコンピュータでは FORTRAN 言語が使用できなかったので、BASIC 言語を用いてコーディングした<sup>8</sup>。理科年表の公称値に近づけようと必死になって係数をいじくりまわし、赤道と北極点間の距離が限りなくそれに近づいた時はうれしかった。

私が使用している、震央距離を求める FORTRAN プログラムの一部を以下に示す。ただし、ないものねだりはできないので倍精度演算で距離を求めている。

<sup>7</sup>それでも誤差が生じてちょっとしたテクニックが必要

<sup>8</sup>この BASIC もコンピュータで使用する言語のひとつ。昭和 59 年度 科学研究費奨励研究 (B) 「地震津波の実用的解析手法の開発と避難解除判断への応用」で震央距離を計算するプログラムに使用

```

C-----
C      震央距離の計算
C      震央の地心緯度 EP_LATITUDE、経度 EP_LONGITUDE
C      測点の地心緯度 ST_LATITUDE、経度 ST_LONGITUDE
C      地理緯度 TEP_LATITUDE と地心緯度 EP_LATITUDE との差
C      EP_LAT = TEP_LAT - 692.750*SIN(2*TEP_LAT) + 1.163*SIN(4*TEP_LAT)
C              - 0.003*SIN(6*TEP_LAT)
C      地球の半径 = 6378.136KM
C      RAD = PAI/180.D0 : PAI = 3.1415926535897932D0
C-----
C      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
C
C      省略...
C
C      PAI = 3.1415926535897932D0
C      E_UNIT = 6378.136D0      ! 地球規模用
C      E_UNIT = 6377.397155D0 ! 理科年表 都道府県間距離用
C      D_UNIT = 111.319D0
C      RAD = PAI/180.D0
C      A1 = 692.75D0/3600.D0*RAD
C      A2 = 1.163D0/3600.D0*RAD
C      A3 = 0.003D0/3600.D0*RAD
C      B1 = 0.99832706D0
C      B2 = 0.00167645D0
C      B3 = 0.00000352D0
C      B4 = 0.00000001D0
C      BB1 = 0.999988795923706D0 ! 地球楕円体計算式用
C      BB2 = 0.000016806914733D0
C      BB3 = 0.000000000117693D0
C      BB4 = 0.000000000000001D0
C
C      ずうっとずうっと省略... (となりのトトロのメイちゃんふうを書いてみた)。
C
C      99 STOP
C      END

```

上記のプログラムにコメント文にしてある、地球楕円体計算式用の係数は下記のプログラムによって計算できる。興味のある人は、何を求めている係数なのか、解読してみるのも面白いと思う。

```

C-----
C      implicit real*8(a-h,o-z)
C
C      係数の部分のみ記載。
C
C      ee=6.694470d-3
C      e1 = 1.D0 - ee**2
C
C      a1 = 1.d0
C      a2 = 3.d0 / 4.d0
C      a3 = 45.d0 / 64.d0
C      a4 = 175.d0 / 256.d0
C      a5 = 11025.d0 / 16384.d0
C
C      b1 = 3.d0 / 4.d0
C      b2 = 15.d0 / 16.d0
C      b3 = 525.d0 / 512.d0
C      b4 = 2205.d0 / 2048.d0
C
C      c1 = 15.d0 / 64.d0
C      c2 = 105.d0 / 256.d0
C      c3 = 2205.d0 / 4096.d0
C
C      d1 = 35.d0 / 512.d0
C      d2 = 315.d0 / 2048.d0
C
C      aa = e1*(a1 + a2*ee**2 + a3*ee**4 + a4*ee**6 + a5*ee**8)
C      bb = 1.d0*(b1*ee**2 + b2*ee**4 + b3*ee**6 + b4*ee**8)/2.d0
C      cc = 1.d0*(c1*ee**4 + c2*ee**6 + c3*ee**8)/4.d0
C      dd = 1.d0*(d1*ee**6 + d2*ee**8)/6.d0
C

```

```

c
      あとはぜーんぶ省略。 (ここもトトロふうである)。
c
      end

```

## 5 解析結果の検証

私のプログラムは、震央距離を計算するためのルーチンであるが、計算精度を理解していただくために、理科年表に記載されている「都道府県庁間の距離」を計算してみた。なお、都道府県庁所在地のデータは第 68 冊 理科年表 (1995) のそれを使用した。データは細心の注意で入力したが間違いがないとは言えない<sup>9</sup>。

表 1 都道府県庁所在地 (理科年表 1995 年版による)

'北海道', 43, 03, 43, 141, 21, 03, 北海道 1	'青森', 40, 49, 17, 140, 44, 37, 青森 2	'岩手', 39, 42, 03, 141, 09, 22, 岩手 3
'宮城', 38, 15, 57, 140, 52, 32, 宮城 4	'秋田', 39, 42, 57, 140, 06, 21, 秋田 5	'山形', 38, 14, 16, 140, 22, 02, 山形 6
'福島', 37, 44, 51, 140, 28, 16, 福島 7	'茨城', 36, 22, 24, 140, 28, 44, 茨城 8	'栃木', 36, 33, 45, 139, 53, 11, 栃木 9
'群馬', 36, 23, 17, 139, 03, 51, 群馬 10	'埼玉', 35, 51, 15, 139, 39, 08, 埼玉 11	'千葉', 35, 36, 05, 140, 07, 36, 千葉 12
'東京', 35, 41, 11, 139, 41, 42, 東京 13	'神奈川', 35, 26, 41, 139, 38, 45, 神奈川 14	'新潟', 37, 53, 58, 139, 01, 37, 新潟 15
'富山', 36, 41, 33, 137, 12, 52, 富山 16	'石川', 36, 33, 34, 136, 39, 40, 石川 17	'福井', 36, 03, 44, 136, 13, 29, 福井 18
'山梨', 35, 39, 39, 138, 34, 18, 山梨 19	'長野', 36, 38, 54, 138, 11, 03, 長野 20	'岐阜', 35, 23, 17, 136, 43, 30, 岐阜 21
'静岡', 34, 58, 25, 138, 23, 10, 静岡 22	'愛知', 35, 10, 37, 136, 54, 34, 愛知 23	'三重', 34, 43, 37, 136, 30, 41, 三重 24
'滋賀', 35, 00, 05, 135, 52, 17, 滋賀 25	'京都', 35, 01, 04, 135, 45, 31, 京都 26	'大阪', 34, 40, 59, 135, 31, 21, 大阪 27
'兵庫', 34, 41, 17, 135, 11, 09, 兵庫 28	'奈良', 34, 40, 54, 135, 50, 08, 奈良 29	'和歌山', 34, 13, 22, 135, 10, 14, 和歌山 30
'鳥取', 35, 30, 04, 134, 14, 27, 鳥取 31	'島根', 35, 28, 09, 133, 03, 11, 島根 32	'岡山', 34, 39, 30, 133, 56, 14, 岡山 33
'広島', 34, 23, 35, 132, 27, 43, 広島 34	'山口', 34, 10, 56, 131, 28, 31, 山口 35	'徳島', 34, 03, 45, 134, 33, 44, 徳島 36
'香川', 34, 20, 12, 134, 02, 46, 香川 37	'愛媛', 33, 50, 18, 132, 46, 05, 愛媛 38	'高知', 33, 33, 23, 133, 32, 01, 高知 39
'福岡', 33, 36, 11, 130, 25, 14, 福岡 40	'佐賀', 33, 14, 47, 130, 18, 07, 佐賀 41	'長崎', 32, 44, 30, 129, 52, 33, 長崎 42
'熊本', 32, 47, 11, 130, 44, 38, 熊本 43	'大分', 33, 14, 05, 131, 36, 54, 大分 44	'宮崎', 31, 54, 27, 131, 25, 34, 宮崎 45
'鹿児島', 31, 35, 45, 130, 33, 36, 鹿児島 46	'沖縄', 26, 12, 31, 127, 40, 58, 沖縄 47	

L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X の input 文にインクルードできるように FORTRAN 言語の FORMAT 文を工夫したところをお見せしたかったのだが、L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X のコンパイルエラーで本文から削除せざるを得なかった。その結果を図 2 に示した<sup>10</sup>。計算結果は理科年表の値と同じであった。一部の区間では、百メートルの値が 8 が 9 というように 1 大きくなったところがある。実用にじゅうぶん耐えると考え、このルーチンを組み込んで計算したのが、[技術班ホームページ](#)で紹介している、[本学で得られた地震の震央距離](#)である。

## 6 おわりに

**2 点間の距離を測る** と題して、球面距離を FORTRAN プログラムを用いて計算してみた。本プログラムの適用条件は、東経 0 度から東経 180 度までの間、北緯 0 度から北緯 90 度までの間で使用できると思う。角震央距離  $\Delta$  が大きくなる場合には、地球楕円体計算式用の係数を使用したい。

<sup>9</sup>この 1995 版のデータに間違いがあると思う。計算結果からわかった。さらには、その後のデータ修正も版によって見受けられる。図 2 の計算結果の間違いを見つけられたら、連絡をくださる前に、表 1 のデータと同じであるかを確認して見て欲しい

<sup>10</sup>ページレイアウトの関係から別ページとなっている



