

空電方位測定法により求められる 位置誤差の計算

仲 井 猛 敏

空電方位観測は空電源探知手段として世界各国で広く行われて居る。観測された空電源分布状況は気象条件に関係をもち気象学上興味のある問題であるし、又単独空電の位置は空電波形の研究上相当の価値を認められておるが如く、空電方位観測は現在気象予報手段として定期的な観測が行われておる所もあれば或は空電波形のそれと併せた同時観測が行われておるようである。当研究所が研究上の目的で実施しておる空電方位並びに波形の観測は、空電現象に対し波形及び方位双方に関して同時観測を行うものであり、特に Sferics fix が3方位線交會法により決定されるため、方位測定に適当な地点3箇所を国内に選び上の目的の空電観測を行つておる。

扱空電方位観測により求められる空電源位置に関しての確度は、各方位測定地点から成る方位観測網並びに空電発生地点との間の相対的距離関係に依存することは知られており、地理学上のある地域に発生する空電については、その位置をこの方法により求めることが困難な場合が屢々生じる。かような地域は当面の空電方位観測網に関して Sferics fix の有効でない地域と称せられ、これと対照的に、Sferics fix が實際上有効な確度で求められるような地域は、Sferics fix の有効な地域と称せられる。かような理由から観測結果から求められる空電源位置を実際的に使用するためには、それらの観測に用いられた空電方位観測網に関して所謂 Sferics fix の有効な地域に発生したのか或は有効でない地域に発生したものであるか等について可成り明瞭な概念をもつことが必要であろう。

かような位置誤差は勿論方位誤差に基づいておることは言うまでもない。方位誤差を生じる因子としては装置誤差、観測誤差、サイト・エラー、偏波誤差及び空電相互間における干渉誤差等が挙げられる。Stansfield 氏は先にその論文の中で凡ての誤差因子の中、明かに系統的誤差に属するものは除き未知の誤差因子が凡て重畳する結果は random な一定の統計的分布をなす合成誤差になるものとした。即ち送信局からの

電波を受信する方位測定地点での方位誤差は、送信局に関する真方位角を中心に正規誤差分布をなすものであると仮定し、それから出発して方位観測法により求められる送信局の位置誤差に関して数学理論を誘導した。之は又受信局が2局或は3局の場合に適用して計算を行い、3局の場合は各測定地点が夫々頂点をなす直角二等辺三角形、等辺三角形及び正方形等をなす場合において、方位測定法により求められる位置誤差の計算を行つておる。

然乍誤差因子を個々に考慮すれば、偏波誤差の如きはその影響は近距離の方が遠距離におけるより大きく又反対に空電相互間における干渉誤差は遠距離空電における方位誤差の主要因子をなしておる。サイト・エラーは異つた測定地点の周囲の状況で変化がある。更に昼夜間での各個の誤差の大きさの変化、或は誤差の異なる因子間での差異等について考慮すれば、合成誤差を定量的に又数式により表現することは一応困難のように思われる。然乍反面においては多数の複雑な誤差因子が重畳して相互に作用する場合には、夫等の合成誤差は正規誤差分布をなす傾向をもつことは色々な現象において認められておる事柄である。従つてこの理論に基づいて計算を行うことは物理的に意味をもつと思われる。少共空電方位観測網に関して求められる空電源の位置誤差に関して、その大きさのオーダーは示されるように思われる。

著者はかような理由から豊川、秋田及び熊本等3地点からなる空電方位観測網にこの理論を適用し主に遠距離空電について位置誤差の計算を行つた。即ち各測定地点における方位誤差は空電源の距離及び昼夜間の差等に無関係に正規誤差分布をなすものとし、標準偏差は異なる測定地点でいずれも均しく2度であるとした又計算は仮定される空電発生地点に関しその地点を過る地球切平面上で行つた。そのために本文に述べられる50%確率楕円の寸法或は空電源位置における root-mean-square error ρ の値が相当大きくなる場合は若干の計算誤差が生じる。然乍これは上述の目的に関しては支障を与えないように思う。

本文では計算方法を述べ又数値計算の結果を表示しよう。又2地点或は3地点方位観測網に関して求められる位置精度を比較するためこれ等の夫々に関して求められる Sferics fix について $1/\rho$ の値の大体等しい地点を結んで描いた図面を掲出しよう。又空電波形の解析から空電源位置を求める方法と方位観測による方法との比較のため、3地点方位観測網に関し求められる Sferics fix の ρ の値を豊川からの距離に対する百分比を地図上にプロットした図面を掲出しよう。

2. 計 算 方 法

所謂, Cocked Hat は3方位測定地点から引いた夫々の3方向線の形造る三角形の謂である。Stansfield 氏の理論によれば, Cocked Hat から求められる最も確からしい点或は最良の中心に関してはその等確率を表わす曲線は楕円である。又最良の中心が50%含まれるチャンスのある50%確率楕円は、位置精度の有用な判定規準であると提案してある。又 Sferics fix の信頼度を測る測度として用いられるものとして、50%確率楕円の長径及び短径の root-mean-square error ρ の逆数を挙げてある。著者は緒言に述べた通り豊川、秋田及び熊本を夫々測定地点とする空電方位観測網に関して求められる Sferics fix の誤差について計算を行うに当り、仮定される空電発生地点は観測網の外延上にとり、その地点における地球切平面において50%確率楕円及び root-mean-square error ρ を求めた。又方位誤差の正規誤差分布については、その標準偏差は各測定地点共均しく2度の値を与えた。

この値は Stansfield 氏の計算にも用いられてある。若し標準偏差が2倍と異なる場合には50%確率楕円の大きさは、標準偏差が2度から増減する割合に比例して増減するから、この計算結果は直ちにかような場合に応用出来る。次に Stansfield 氏の理論から引用した数式を挙げるに当り、計算を行うため記号に特に与える意味を記して置こう。

$$P(X, Y)dXdY = \frac{1}{2\pi ab} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2}\right)\right] dXdY,$$

$$\frac{2}{a^2} = \lambda + \mu + \sqrt{[(\lambda - \mu)^2 + 4\nu^2]},$$

$$\frac{2}{b^2} = \lambda + \mu - \sqrt{[(\lambda - \mu)^2 + 4\nu^2]},$$

$$\lambda = \sum_j \frac{\sin^2\theta_j}{\sigma_j^2 D_j^2}, \quad \mu = \sum_j \frac{\cos^2\theta_j}{\sigma_j^2 D_j^2}, \quad \nu = \sum_j \frac{\sin\theta_j \cos\theta_j}{\sigma_j^2 D_j^2},$$

$$\tan 2\phi = -\frac{2\nu}{\lambda - \mu}$$

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$: 測定地点 (M) 及び空電発生地点 (S) を通る大円が S 地点の子午線となす角。

D_1, D_2, D_3 : S 点と夫々の M 点との間の大円距離
 $\sigma_{\phi 1}, \sigma_{\phi 2}, \sigma_{\phi 3}$: 各測定地点について与えられる標準偏差。この計算では凡て2度。

(X, Y) : S 地点における地球切平面上直交座標で原点は S 地点にとる。

(x, y) : 直交座標 (X, Y) と同じ切平面にとる直交座標で原点は S 地点にある。
 x 或は y の中 1 座標は原点を過る子午線の切平面上の切線にとる。

ϕ : 2組の直交座標 (x, y) 及び (X, Y) の間の角。

3. 計 算 結 果 の 表 示

上に述べた数値計算結果は第1図から第3図までのグラフに表示してある。

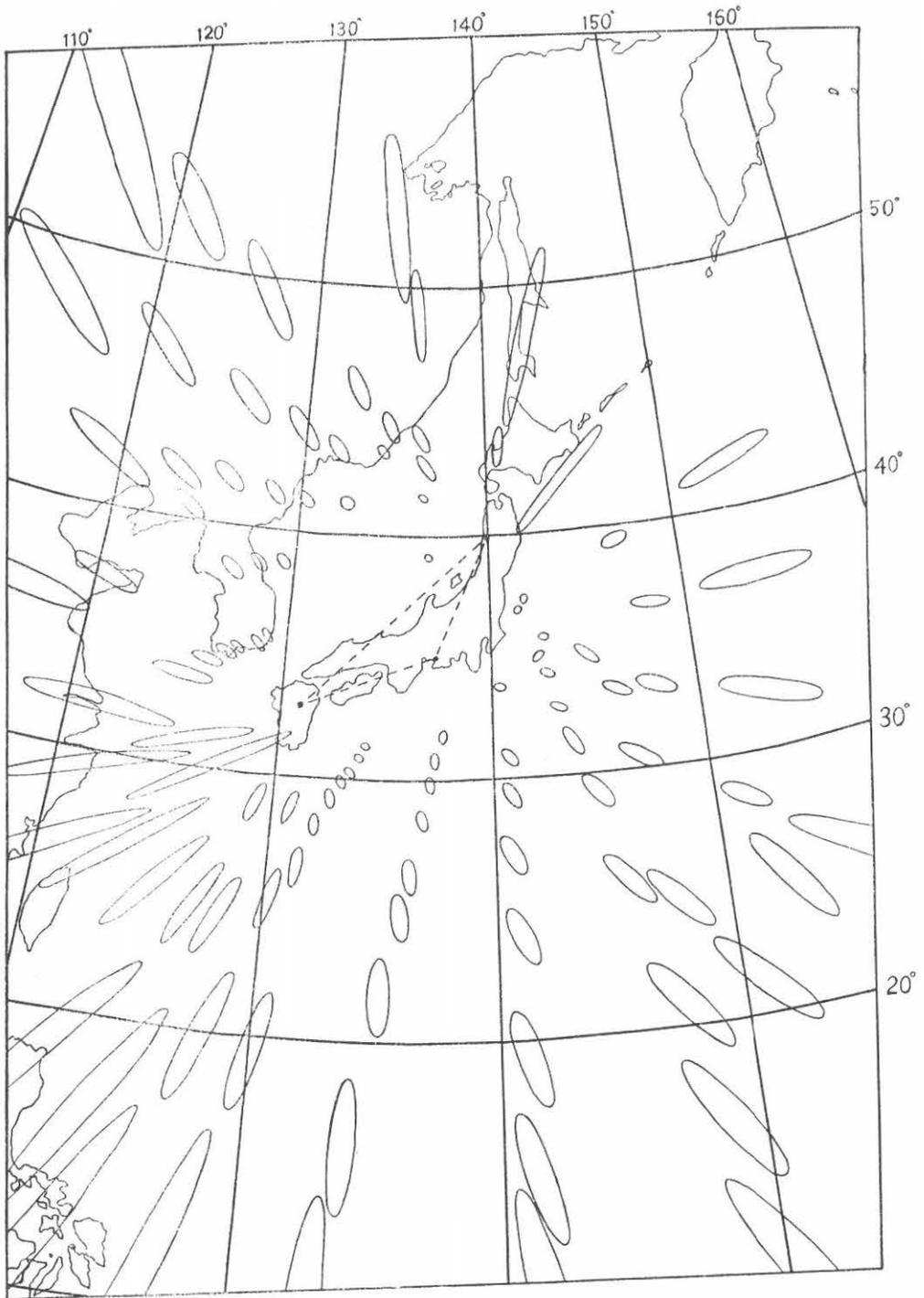
第1図は豊川、熊本及び秋田を夫々の方位測定地点となす場合、この空電方位観測網に関して求められる Sferics fix の位置誤差を表わすのに、50%確率楕円を地図上に記入したものである。地図は豊川における地球切平面上に地球表面を投影したものをを用いてある。

50%確率楕円の長径及び短径は、空電発生地点における地球の切平面上で求めた数値を用い、又長径がその地点の子午線となす交角は地図上の対応する子午線から測つてある。

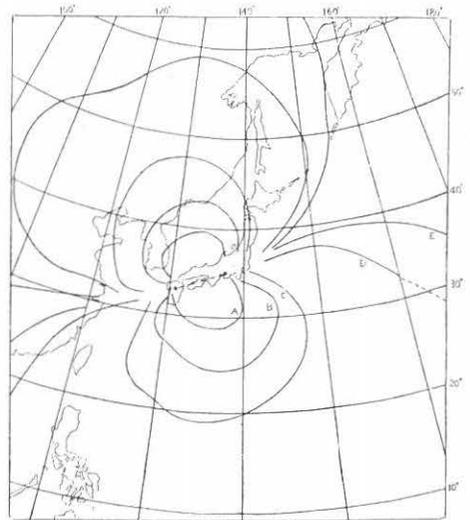
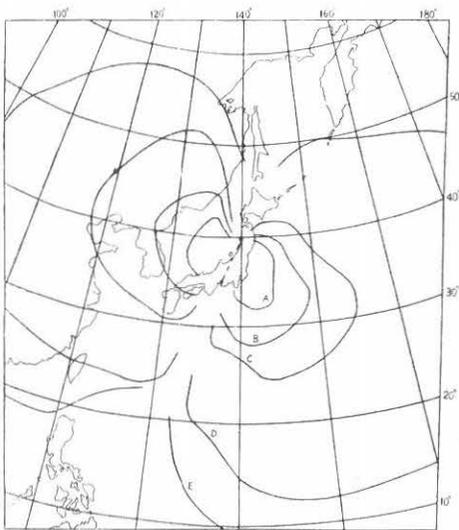
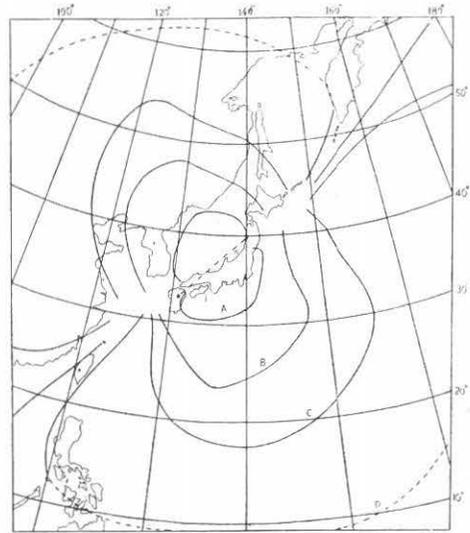
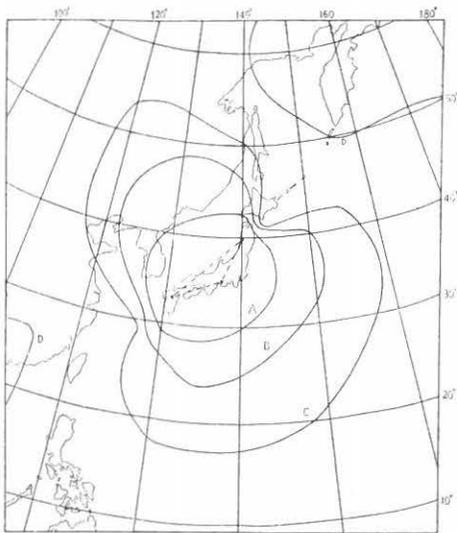
第2図は豊川、秋田及び熊本の3地点からなる空電方位観測網に対しこれ等の中で一測定地点での観測が欠測となる場合、或は2測定地点だけが方位観測に用いられる場合を考慮し、Sferics fix における root-mean-square error ρ の逆数を各方位観測網に関して求めたものを比較のため図示したものである。即ち測定地点を結ぶ基線に沿う領域を除外した計算上の空電発生地点では $1/\rho$ は距離に比例して大体減少する傾向がある。図に示した各曲線は $1/\rho$ の変化する状態を異なる $1/\rho$ の値の境界線で大略表示したもので、内側より各曲線は夫々 $1/\rho$ の値で 0.03-0.02, 0.015-0.019, 0.01-0.005, 0.005-0.001 の境界及び 0.001 以下に対し地球表面の面積を限るように引いてある。

図から明らかなように基線方向に沿うてある地域では Sferics fix の位置誤差は極めて大きく信頼度が特に低いことである。Sferics fix の信頼度の大きい地域面積は大体基線方向と直角をなす扇形状の地域を形成しており、距離の増加に伴い信頼度は減少する傾向がある。又基線距離の大きい程信頼度の比較的大きい地域面積は増大する。

第 1 図

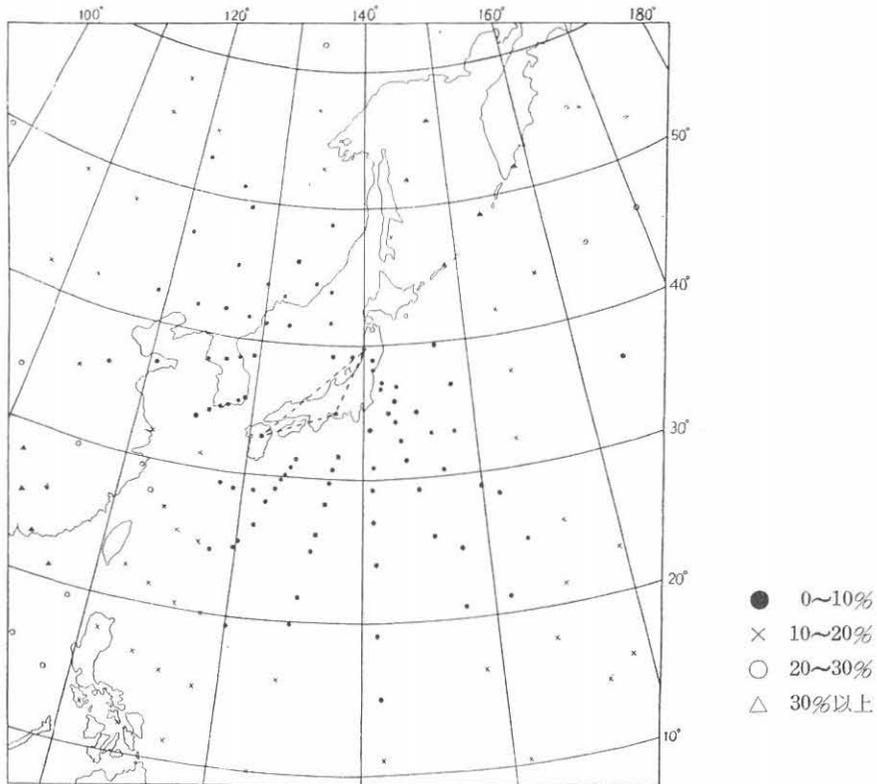


第 2 図



- A : $1/\rho$ の値が 0.03と0.02 との境界線
 B : " 0.015と0.01 "
 C : " 0.01と0.005 "
 D : " 0.005と0.001 "
 E : " 0.001以下の "

第 3 図



3 測定地点 方位観測網に関しては、Sferics fix の信頼度は総体的に増大し、2 測定地点の場合に顕著に現われる基線方向に沿う地域面積内における極めて低い信頼度について相当の改善向上がある。

第3図は空電発生地点における root-mean-square error の値と豊川からこの地点迄の距離との比を示したものである。即ちこの比が10%、20%、30%及び30%以上の4段階に応じ異なる記号を以て示しておく。扱空電波形記録特に電離層反射型波形の記録に関し、空電源位置をその解析により求めることができる。その確度は勿論記録波形の質性に依存するものであるが、大体10%から30%前後に亘るものとされておる。第3図は上述の3測定地点方位観測に関し波形測定機を豊川に置く場合方位及び波形観測法の夫々の側から求められる空電源位置を比較する上に大体的見透しが得られるように描いたものである。

又この図から観測対象の空電分布の状況に依存して波形観測地点の選定を行うことは、波形解析の研究上有意義であると思われる。

4. 数値計算結果

第1表に豊川、秋田及び熊本からなる空電方位観測網に関して求めた空電発生地点における root-mean-square error ρ の値を示しておく。

5. 結 論

以上豊川、秋田及び熊本の3地点からなる空電方位観測網に関し求められる Sferics fix の位置誤差の計算を行つた。計算結果の示す所によれば、この方位観測網により求められる Sferics fix を用いる場合には位置誤差の確度を考慮せねばならないことは当然であるが、Sferics fix が有効な確度で求められる地域面積はこの空電方位観測用に関して相当広いことが分かるかような地域に発生する空電に関して求められる Sferics fix は気象学上或は空電波形の研究上十分利用価値があると思われる。又今後空電方位測定地点を選定する場合には空電の発生地域に応じ、位置誤差の減少を目的とする考慮が必要であることは言うまでも

ないが、波形観測を併用する場合には、上述の方位観測網に関し求められる Sferics fix を有効に利用するため、波形観測地点の選定に考慮を払う必要がある。

本研究は空電研究所長金原教授の御指導と佐尾助教の御助言に負うものである。又計算は杉田宜子氏の御努力に負うものである。ここに感謝の意を表わす次第である。

7. 文 献

1. Stansfield, R. G. "Statistical Theory of D. F. Fixing," Journal I. E. E., 1947, 94, Part III A, P. 762
2. F. Horner, "The Accuracy of the Location of Sources of Atmospherics by Radio Direction-Finding." P. I. E. E., Vol. 101, No. 74 Part III, (1954)

第1表 The root-mean-square error ρ の値 (豊川, 秋田及び熊本を測定点とする場合)

位 置		距 離 (km)	ρ (km)	位 置		距 離 (km)	ρ (km)	位 置		距 離 (km)	ρ (km)
E°	N°			E°	N°			E°	N°		
170.8	37.2	2990.0	343.0	149.8	28.8	1330.0	117.0	136.2	26.2	902.0	57.7
170.0	46.3	3000.0	774.0	140.8	27.0	930.0	68.0	133.0	29.8	709.0	28.5
164.8	4.8	4360.0	748.0	144.7	29.2	917.6	111.8	136.8	28.3	703.0	37.8
164.4	20.4	3080.0	428.0	146.1	33.4	779.0	55.8	133.3	30.2	616.0	22.6
164.4	30.0	2580.0	469.0	140.8	29.3	692.0	50.9	137.1	29.7	571.0	33.2
163.7	4.52	2500.0	520.0	143.7	31.5	685.0	53.9	133.7	30.9	533.0	20.7
164.2	54.7	3010.0	413.0	140.5	33.8	3090.0	21.6	137.3	30.7	431.0	27.8
153.9	- 0.5	4170.0	729.0	141.5	36.8	436.0	18.8	134.0	31.4	496.0	20.1
150.8	10.3	3030.0	403.0	147.8	24.9	1490.0	134.0	137.7	31.8	334.0	25.1
158.7	15.7	3000.0	395.0	146.9	30.6	986.0	77.8	131.7	43.3	1030.0	53.4
155.2	21.4	2283.0	260.0	142.8	34.3	498.0	29.7	136.8	42.7	855.0	49.2
152.7	25.0	1863.0	184.0	148.0	33.4	990.0	72.1	130.3	41.2	907.0	41.4
150.8	21.3	1990.0	203.0	142.7	35.8	490.0	23.4	134.3	43.3	957.0	34.5
153.8	17.7	2490.0	293.0	148.2	36.7	990.0	65.6	132.5	41.2	796.0	32.5
156.7	14.4	2970.0	383.0	141.7	37.3	475.0	19.7	136.6	41.4	709.0	20.2
151.3	28.3	1480.0	85.4	146.7	39.6	960.0	46.7	138.8	39.2	440.0	27.6
155.7	25.8	2010.0	216.0	140.7	38.3	402.0	32.1	137.0	39.2	468.0	20.3
159.6	23.2	2450.0	256.0	144.2	42.0	1000.0	206.0	136.4	43.7	966.0	65.5
153.3	32.4	1495.0	157.0	148.5	45.5	1480.0	779.0	136.3	48.7	1530.0	144.0
153.7	37.2	1467.0	177.0	140.7	43.4	966.0	65.4	134.8	52.8	2000.0	257.0
153.2	41.8	1550.0	160.0	142.7	47.8	1490.0	274.0	133.9	57.3	2500.0	377.0
157.8	43.7	1990.0	317.0	145.0	52.0	1990.0	242.0	103.7	61.8	3000.0	728.0
153.0	48.7	1990.0	762.0	148.0	56.2	2500.0	2000.0	121.5	32.2	1490.0	240.0
158.3	51.8	2500.0	1126.0	132.5	10.0	2760.0	373.0	121.3	52.5	2330.0	184.0
141.8	2.3	3640.0	534.0	133.7	16.2	2090.0	215.0	125.0	33.8	1140.0	98.0
141.5	10.9	2688.0	331.0	130.2	25.3	1170.0	103.0	120.5	37.3	1530.0	116.0
141.3	15.0	2230.0	217.0	134.5	19.8	1680.0	136.0	126.2	34.4	1060.0	52.8
148.8	16.5	2320.0	236.0	131.2	26.5	1080.0	65.7	121.3	46.7	1890.0	153.0
141.2	19.3	1760.0	160.0	135.0	21.7	1480.0	124.0	127.0	34.8	950.0	47.8
147.7	20.8	1840.0	181.0	131.9	28.2	877.0	41.7	126.8	49.6	1760.0	168.0
141.1	24.0	1250.0	101.0	135.8	24.8	1080.0	76.2	126.0	41.7	1250.0	60.0
145.8	25.8	1260.0	110.0	132.5	29.2	764.0	32.5	123.2	41.9	1430.0	93.6

位 置		距 離 (km)	ρ (km)	位 置		距 離 (km)	ρ (km)	位 置		距 離 (km)	ρ (km)
E°	N°			E°	N°			E°	N°		
126.5	45.1	1450.0	89.0	128.0	24.5	1460.0	133.4	114.5	23.0	2570.0	1000.0
125.1	38.2	1160.0	63.3	126.0	20.4	1940.0	189.0	110.8	20.6	3030.0	1270.0
129.8	44.1	1220.0	78.5	123.7	16.8	2420.0	387.0	116.5	21.0	2550.0	797.0
126.8	38.4	1030.0	50.2	121.0	12.8	2950.0	564.0	113.2	18.3	3010.0	1140.0
128.6	41.5	1050.0	50.2	127.9	19.9	1890.0	215.0	118.6	19.4	2520.0	563.0
128.4	35.5	820.0	32.4	125.7	15.8	2400.0	347.0	115.6	16.0	3010.0	800.0
128.2	38.7	918.0	39.6	123.7	12.0	2890.0	493.0	112.8	13.0	3460.0	1160.0
129.0	35.7	736.0	25.7	128.3	15.3	2340.0	304.0	118.3	14.4	2960.0	751.0
129.4	38.7	820.0	34.4	126.8	11.3	2810.0	451.0	115.7	10.8	3440.0	896.0
126.0	31.3	1110.0	186.0	125.6	50.7	1990.0	140.0	116.2	57.8	2990.0	455.0
121.4	29.5	1600.0	323.0	121.2	54.4	2500.0	349.0	102.3	31.4	3270.0	1051.0
127.0	30.2	1080.0	264.0	113.9	35.5	2120.0	305.0	109.2	34.1	2480.0	610.0
122.5	27.8	1590.0	390.0	115.0	55.0	2820.0	447.0	100.7	40.8	3510.0	607.0
127.8	29.3	1080.0	89.7	116.5	36.3	1880.0	224.0	107.9	41.7	266.0	408.0
123.8	26.8	1560.0	299.0	112.7	42.0	2280.0	271.0	107.9	48.9	285.0	436.0
120.0	24.0	2053.0	543.0	114.2	48.2	2400.0	254.0	107.5	26.3	2990.0	1330.0
129.2	28.8	1020.0	68.0	121.3	52.5	2330.0	184.0	103.2	24.2	3490.0	2620.0
125.3	25.6	1540.0	211.0	119.3	42.1	1750.0	168.0	108.8	23.3	3030.0	1570.0
122.0	22.5	2010.0	292.0	116.0	29.7	2080.0	551.0	105.0	21.2	3490.0	2010.0
127.6	35.2	894.0	35.0	111.7	28.0	2530.0	267.0	107.3	18.0	3500.0	1860.0
127.0	24.8	1480.0	150.0	117.0	27.6	2080.0	698.0	98.0	49.5	3570.0	727.0
123.9	21.4	1970.0	297.0	112.7	25.6	2560.0	1090.0	88.1	38.2	4784.0	390.0
1201.	17.8	2480.0	483.0	118.4	25.6	2080.0	722.0				