

赤道近辺における GPS 測位分布特性

山中有一, 松野保久, 嶋田起宜, 有馬純宏,
内山正樹, 日高正康, 樺山正文

Characteristics of Positioning near the Equator by GPS

Yuichi Yamanaka^{*1}, Yasuhisa Matsuno^{*1}, Kiyoshi Shimada^{*2},
Sumihiro Arima^{*2}, Masaki Uchiyama^{*2},
Masayasu Hidaka^{*2} and Masafumi Kabayama^{*1}

Key words : GPS, DOP

Abstract

By using the LORAN GPS 10X Navigator (Trimble) on board the training ship Kagoshima-Mar, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, NAVSTAR GPS fixes (two dimensional mode) were obtained at Port Kelang (Malaysia), Kota Kinabalu (Malaysia) and Kagoshima (Japan).

The relative frequency with the less than 10 of HDOP (Horizontal Dilution of Precision) was noted to be 80-90 %, it was under this condition that we obtained good GPS fixes. And drms (root-mean-square radial error) was proportional to HDOP. Time series both of the HDOP and of the geometry of the three satellites were closely related to the time series of the GPS fixes distribution. Accordingly, we could group these time series into four patterns. Yet, some instances occurred, in which the distributions of GPS fixes at Port Kelang and Kota Kinabalu were different from those in the four patterns. It was assumed that this phenomenon showed characteristic of the GPS fixes distribution near the equator.

衛星航法の1つである NAVSTAR/GPS は全自動受信機を船舶に装備することにより全世界、金時間、全天候において利用が可能であり、かつ高精度で測位できるといわれている。この航法システムを有効利用するため、沿岸、遠洋を問わず全ての漁船は一日も早いこのシステムの完成を待ち望んでいる。漁船従事者にとってシステムをより簡便に利用できること、および測位精度が良好であることが最も強く要求されることである。このことから過去 GPS に関する報告¹⁻⁵⁾の中に測位精度に関する事項が論じられてきた。しかしこれらの測位

^{*1} 鹿児島大学水産学部漁船航海学講座 (Laboratory of Fishing Vessel Navigation, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan)

^{*2} 鹿児島大学水産学部練習船かごしま丸 (Training ship Kagoshima-Mar, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan)

精度は全て中緯度の定点におけるものであり、極地方および赤道近辺における報告はない。民間に開放されている C/A コードは P コードと異なり、一周波のみの受信であるため、電離層の影響を避けることができない。また地球上異なる海域においては衛星配置も異なったものとなる。この観点からも高緯度あるいは低緯度における GPS 測位精度とそれらの特性に関する資料の蓄積が要望されるところである。

今回筆者らは練習船かごしま丸が赤道に近いポークラン、コタキナバルに寄港し、その折 GPS の連続測定を実施することができた。そこで赤道近辺における測位分布特性を知るため中緯度の鹿児島における GPS 測位結果と合わせて解析した。

方 法

鹿児島大学水産学部練習船かごしま丸(総トン数 1,292.75)に装備された GPS 航法システム、Trimble 社製船舶用受信装置 LORAN・GPS10X Navigator (C/A コード)、を使用した。測定は、ポークラン;平成元年5月31日~6月3日,コタキナバル;同年6月14日~16日,鹿児島;同年10月14日~19日の3測点においてそれぞれ岸壁係留期間に実施した。全測定を通じてアンテナ高は海面上10.0mであった。また GPS 受信機の初期化において、衛星の高度マスクを5度, SNR マスクを0.4, DOP マスクをこの受信機の最大値である999にセットした。これは同一の衛星組み合わせを長時間追跡可能となるよう配慮したためである。

各測点において連続測位を実施するため GPS 航法装置から出力されるデータを1分間隔でパーソナル・コンピュータ (NEC, PC9801CV) のフロッピーディスクに記録した。同時に、Trimble 社製4000SLにより測定期間中の各衛星の高度と方位角をハードディスクに記録した。そして海図より求めた各測点を測地系変換し、これを基準位置とし、GPS 測位位置との差を偏位距離とした。なお測地系変換後の各基準位置はポークラン (03°-01.4175'N, 101°-21.5870'E), コタキタキナバル (05°-59.8865'N 116°-04.4304'E), 鹿児島 (31°-30.3797'N, 130°-31.2597'E) であった。

結果および考察

GPS による測位には、衛星4個からの信号を受信して求める3次元測位と、衛星3個の信号による2次元測位とがあり、両者は受信機が最適のものを自動的に選択できるようになっている。今回鹿児島においては3次元測位、2次元測位とも得ることができたが、ポークラン、コタキナバルでは2次元測位しか得ることができなかった。ポークラン、コタキナバル、鹿児島の名測点における2次元測位のデータ数はそれぞれ1,502, 1,681, 2,278であった。衛星組み合わせ別に偏位距離の平均値とその標準偏差、放射状方向誤差の二乗平均である drms⁶⁾, および HDOP の値を各測点毎に Table 1, Table 2, Table 3 に示した。低緯度にあるポークランとコタキナバルの共通した衛星組み合わせは5組、ポークランと鹿児島は1組、コタキナバルと鹿児島は4組であり、3測点共通した衛星組み合わせは SV.No. 11, 13, 14 の1組だけであった。また各測点における HDOP の相対度数分布を

Table 1. The results of two-dimensional positioning by GPS at Port Kelang.

Group of Satellites (SV1 No.)	Number of data	Average error (m)		Standard deviation (m)		drms (m)	HDOP		
		north-south	east-west	north-south	east-west		max.	min.	average
03,09,12	286	21.7 S	25.3E	11.1	33.5	48.6	25	2	9.0
03,09,13	132	23.9 S	7.2E	34.8	73.4	85.0	244	2	10.4
03,11,12	79	23.0 S	19.2E	7.3	10.4	32.6	8	1	1.3
03,11,13	50	7.1 S	48.6E	19.7	38.0	65.1	26	1	8.2
06,11,12	97	28.4 S	24.1E	6.1	7.0	38.4	2	1	1.1
06,11,14	163	26.9 S	9.9E	8.3	14.6	33.2	23	2	2.7
06,13,14	277	17.5 S	32.8E	15.7	12.6	42.3	14	1	2.2
09,11,13	84	22.5 S	18.5E	5.7	8.0	30.7	2	1	2.0
11,13,14	91	19.9 S	27.9E	10.0	11.3	37.4	6	2	2.1

Table 2. The results of two-dimensional positioning by GPS at Kota Kinabalu.

Group of Satellites (SV1 No.)	Number of data	Average error (m)		Standard deviation (m)		drms (m)	HDOP		
		north-south	east-west	north-south	east-west		max.	min.	average
03,06,09	306	0.8 N	66.0E	33.2	62.4	96.7	15	2	3.6
03,06,11	84	41.8 N	26.2E	29.6	59.9	83.0	71	2	5.2
03,06,12	128	60.2 N	2.7W	11.7	8.0	61.9	4	2	2.4
03,06,13	96	53.4 N	56.5 E	76.9	138.2	176.2	17	2	5.6
03,11,13	106	166.8 N	276.6 E	72.9	153.9	365.2	45	4	15.3
03,11,14	86	9.2 S	35.5 E	9.4	28.8	47.6	10	2	2.9
06,09,11	105	11.7 N	65.5 E	37.8	188.4	203.3	159	1	5.6
06,09,14	69	5.1 S	14.4W	43.9	76.1	89.2	24	2	3.7
06,11,12	55	28.6 N	52.7 E	8.3	10.4	61.4	2	1	1.5
06,11,14	447	15.2 N	41.6 E	375.7	698.3	797.1	565	2	8.0
06,13,14	62	6.4 N	85.4 E	8.8	14.6	87.3	2	2	2.0
09,11,13	69	24.3 N	54.8 E	7.6	7.2	60.9	2	2	2.0
11,13,14	80	23.3 S	8.8W	23.7	24.1	42.0	22	2	2.0

Table 3. The results of two-dimensional positioning by GPS at Kagoshima.

Group of Satellites (SV1 No.)	Number of data	Average error (m)		Standard deviation (m)		drms (m)	HDOP		
		north-south	east-west	north-south	east-west		max.	min.	average
02,06,11	230	11.0 S	74.0W	29.0	42.5	79.2	236	2	5.5
03,06,09	51	54.5 N	10.5W	75.5	32.4	97.7	3	3	3.0
03,06,13	64	33.9 S	6.5 E	14.4	11.5	38.7	4	3	3.0
03,06,16	126	0.1 S	23.1W	14.6	6.6	25.2	2	2	2.0
03,12,13	99	12.0 S	75.6W	50.5	132.6	140.3	40	10	19.1
03,13,16	81	0.2 S	42.4W	11.7	19.9	41.6	19	3	4.3
06,09,11	39	8.9 N	18.4W	14.5	30.0	34.6	14	3	10.1
06,09,12	147	99.7 N	239.9W	148.0	344.7	400.6	39	3	16.1
06,12,16	65	2.9 S	12.9W	20.6	54.5	52.2	16	4	9.7
09,11,14	123	2.8 N	50.2W	12.9	76.0	78.8	5	2	2.2
09,12,16	536	16.4 N	1.3 E	8.9	34.1	34.6	10	2	3.5
11,13,14	500	17.0 N	59.4 E	85.7	98.1	131.4	40	2	6.8

Fig.1に、HDOPと drms の関連を Fig.2にそれぞれ示した。HDOPの相対度数分布は3測点とも似通ったものとなり、10以下の出現頻度は80~90%に達した。また drms は Fig.2に示したようにHDOPの大きさに比例した。このことから良好な測位精度を得るためには少なくともHDOP 10以下における測位が望ましいと推定される。しかしポートクランにおい

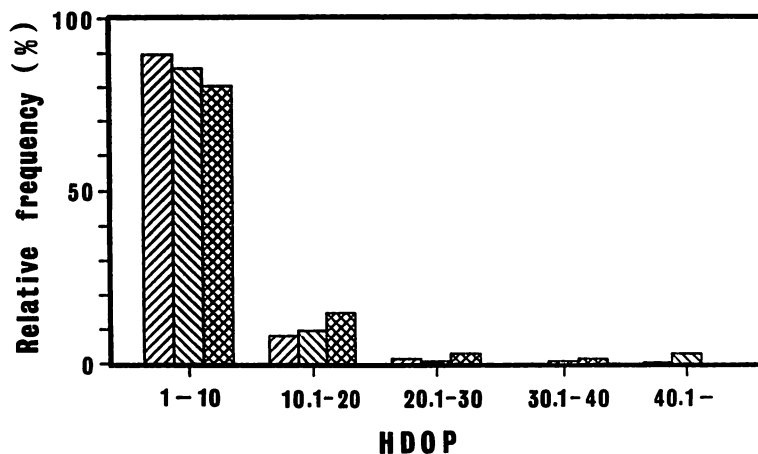
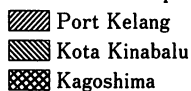


Fig. 1. The relative frequency of HDOP.



 Port Kelang
 Kota Kinabalu
 Kagoshima

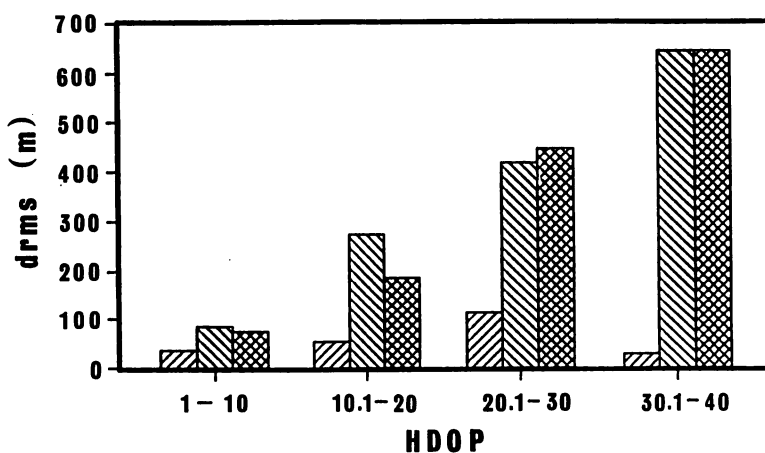
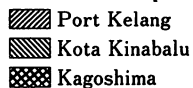


Fig. 2. The relationship between HDOP and drms.



 Port Kelang
 Kota Kinabalu
 Kagoshima

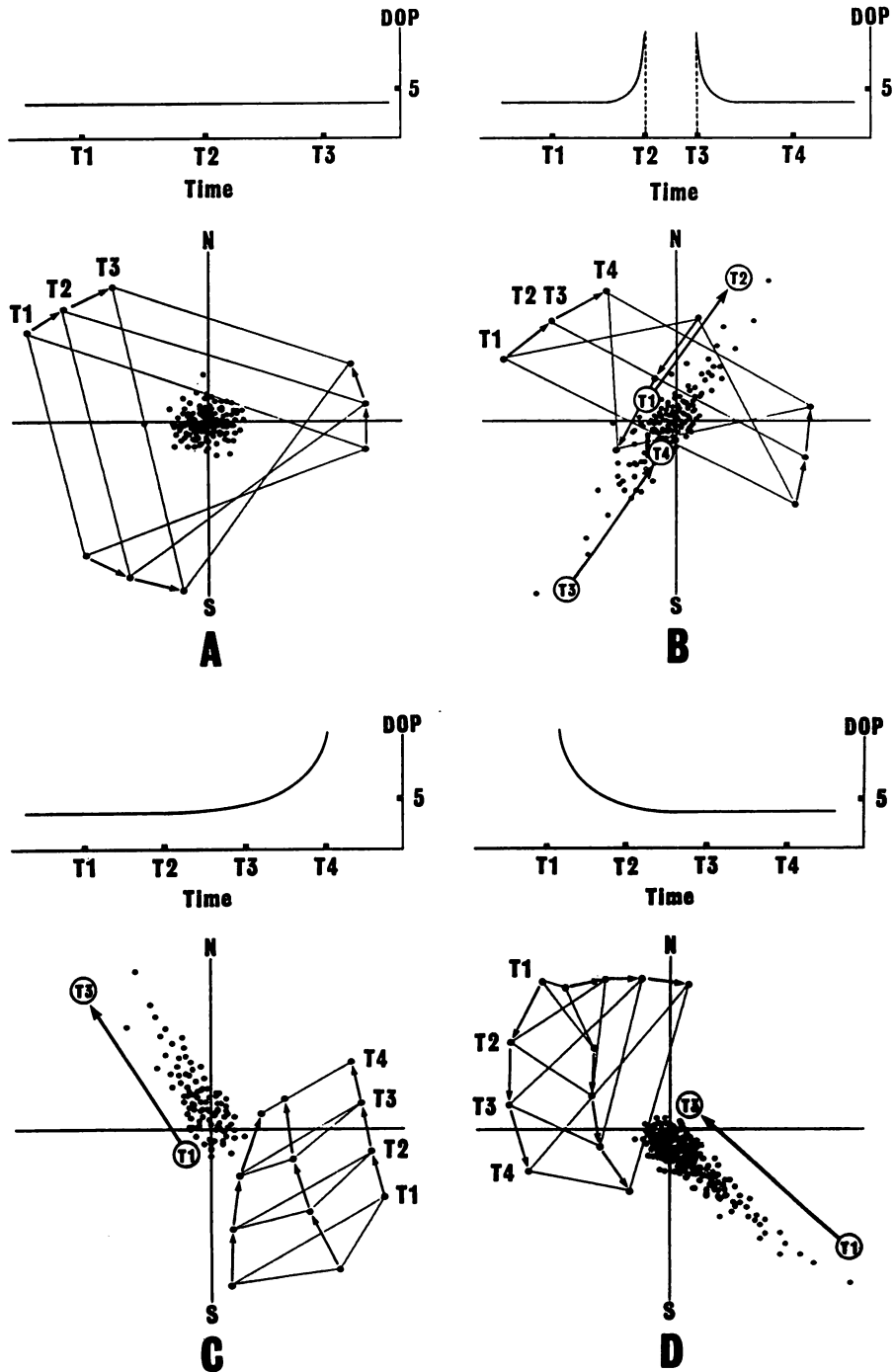


Fig. 3. The characteristics of distribution by two - dimensional positioning.

ては他の2測点と異なり、HDOPが1~40における2 drmsは82.1mであり、故意の劣化後のC/Aコードの公称精度2 drms100mより小さかった。

HDOPおよび3個の衛星の幾何学的配置の時系列と測点分布の時系列には特定の関連がみられ、2次元測位において、Fig.3に示したA~Dの4つのパターンに分類することができた。即ち、

A : HDOPは常に5以下で安定しており、この時の衛星配置は3つの衛星を結ぶ三角形が正三角形に近い形状で移動し、かつ基準位置が三角形の内部のある場合で、測点は基準位置付近にランダムに分布する傾向にある。

B : HDOPはT1→T2にかけて急激に大きくなり、その後T3→T4にかけて急激に小さくなる。この時の衛星配置はT1→T2に3衛星で構成する三角形の1つの頂点が時間の経過とともに対辺に近づき、その後対辺上に位置し、3衛星が一線に並び、T3→T4でこの頂点は対辺の反対方向に移動するという衛星の幾何学的配置の変化がある場合で、測点はT1→T2へと基準位置付近から直線的に遠ざかり、その後T3→T4と逆方向から直線的に基準位置付近に近づく傾向にある。この時測点は三角形の長辺に対しほぼ直角に分布する特徴がみられた。

C : HDOPはT1→T3にかけて順次大きくなる。この時の衛星配置は3衛星で構成される三角形の1つの頂点が対辺に徐々に近づき、一線に並ぶ場合で、測点はT1→T3まで基準位置付近から直線的に遠ざかる傾向にある。この場合も測点は長辺に対しほぼ直角に分布した。

D : HDOPがT1→T3にかけて順次小さくなる。この時の衛星配置は3衛星が一線に並んだ状態から三角形の面積が徐々に大きくなる場合で、測点はT1→T3まで基準位置付近に直線的に近づいていく傾向にある。この場合も測点は長辺に対しほぼ直角に分布した。

以上のようにGPS測位分布のパターンはHDOPと衛星の幾何学的配置に大きく影響された。特に2次元測位ではパターンAを除き、衛星で構成される三角形の長辺に対し測点はほぼ直角に分布する特徴がみられた。

しかしポートクラン、コタキナバル両測点において、上記した4つの測位分布パターンとは異なった例が観測された。ポートクランにおける例をFig.4に示した。衛星組み合わせはSV.No. 03,09,13である。測位分布の時系列は①→②→③で、2本の交差する直線上に分布する傾向がみられた。①→②はパターンBと同じで、基準位置から遠ざかり、その後逆方向から基準位置に近づく。そして②→③へと移行する。③はパターンCと同じである。この2つのパターンが同一基準位置において連続して測定された起因は3衛星が時間経過とともに移動することにより、①、②においては長辺がSV.No.3, 9を結ぶ辺であったが、③においてはSV.No. 9, 13の辺に移行したことに起因するものと推定する。次にコタキナバルにおける例をFig.5-1, Fig.5-2に示した。Fig.5-1は衛星組み合わせSV.No.03, 06, 09である。①はパターンAと同じく基準位置付近でランダムに分布し、その後②で測点はSV.No.03, 06を結ぶ長辺にほぼ直角に分布する。しかし3衛星の移動とともに、この長辺の方向が大きく変化し、それに伴って測点も大きく曲がり曲線的に分布したものの、すなわちパターンAとパターンCの変形の組み合わせであると推定する。Fig.5-2は衛星組み合わせSV.No. 06, 09, 14である。この測点分布の時系列はFig.5-1に示したものと逆になった。

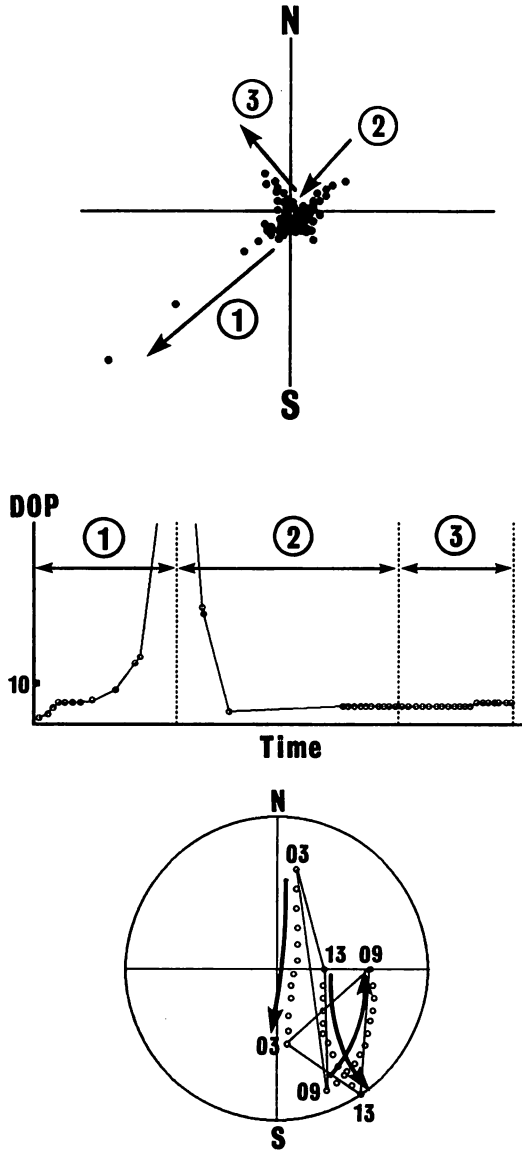


Fig. 4. A distribution of fixes by the group of satellites (SV. No. 03, 09, 13) at Port Kelang.

すなわち①で SV.No. 09, 14 を結ぶ長辺の方向は時間経過とともに大きく変化する。基準位置が3衛星を結ぶ三角形の内部に位置する時から②となりパターンAとなる。この測点分布はパターンDの変形とパターンAの組み合わせであると推定する。今回鹿児島においては、このような例は全くみられなかった。

Fig.6 にポート克蘭およびコタキナバルにおいて測位の対象となった衛星の高度と方位

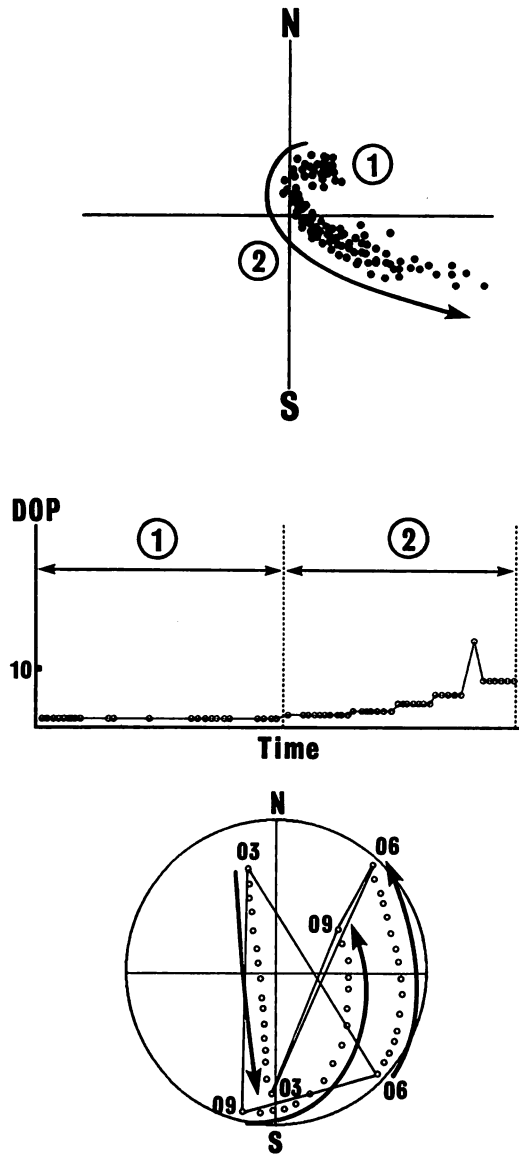


Fig. 5-1. A distribution of fixes by the group of satellites (SV. No. 03, 06, 09) at Kota Kinabalu.

角をそれぞれ示した。SV.No.06, 09, 11の衛星は他の衛星と異なり2つの極大高度と1つの極小高度がはっきり現れ、かつ広い範囲にわたる方位角の変化がみられる。これは測定可能な衛星として追跡される時間が他の衛星より長くなることを意味する。このような衛星の移動は低緯度における1つの特徴であり、中緯度の鹿児島ではこの現象はみられない。すなわち衛星の移動に伴い、3衛星で構成される三角形の幾何学的配置が中緯度における場合よ

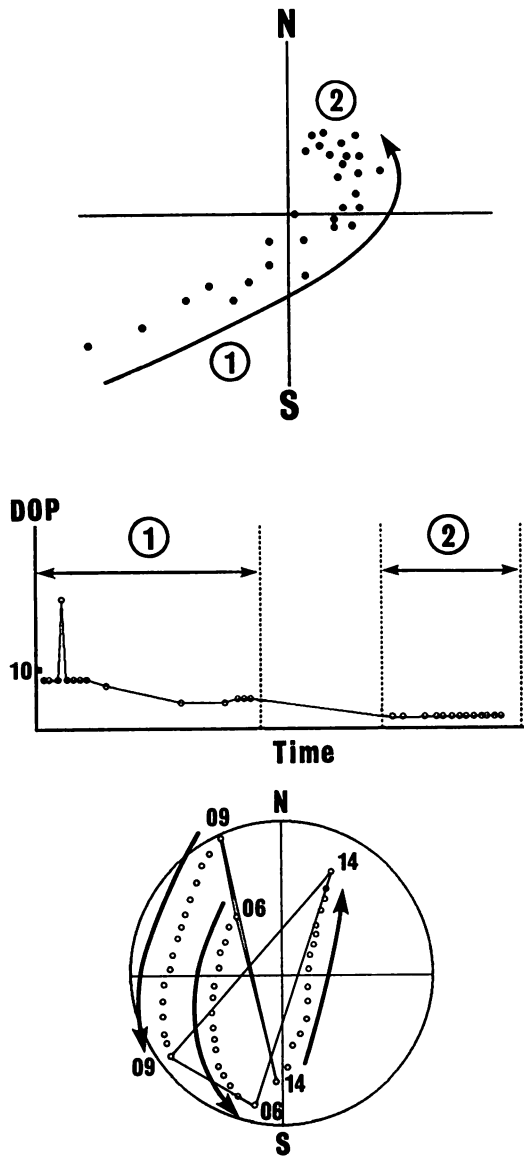


Fig. 5-2. A distribution of fixes by the group of satellites (SV. No. 06, 09, 14) at Kota Kinabalu.

り大きく変化することにより、これらの測位分布が生じたものと推定する。これは赤道近辺における1つのGPS測位分布特性であると考ええる。

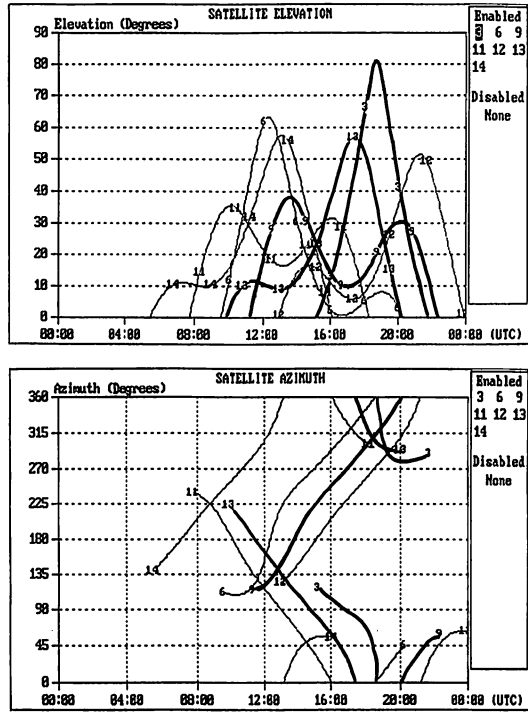


Fig. 6-1. Satellite elevation and satellite azimuth at Port Kelang.

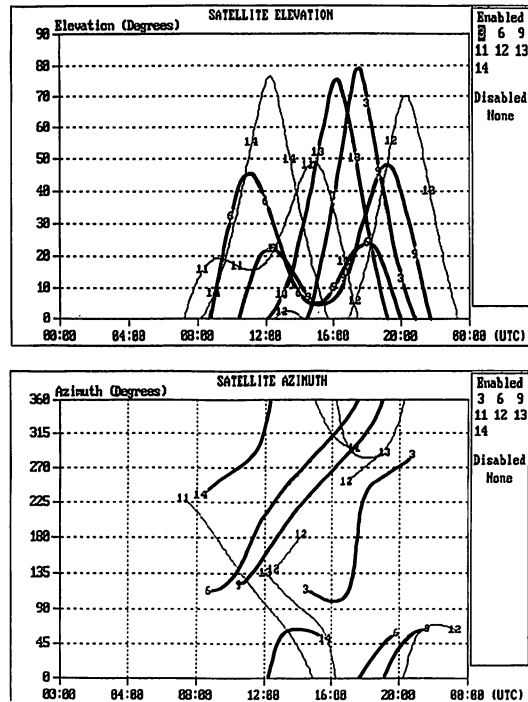


Fig. 6-2. Satellite elevation and satellite azimuth at Kota Kinabalu.

要 約

赤道近辺における NAVSTAR/GPS の測位分布特性を知るために, 鹿児島大学水産学部練習船かごしま丸に装備された Trimble 社製 LORAN・GPS10X Navigator を使用し, ポートクラン, コタキナバル, 鹿児島において連続測位を実施し, 2次元測位の結果を得た。HDOP 10以下の出現頻度は80~90%に達し, この条件下では良好な船位を得ることができた。放射状方向誤差の二乗平均である $drms$ はHDOP の大きさに比例した。

HDOP および3衛星の幾何学的配置の時系列と測位分布の時系列とは大いに関連がみられ, 4つのパターンに分類することができた。その特徴は, ①基準位置が3衛星を結ぶ三角形の内部に存在する時は, 測点は基準位置付近にランダムに分布する, ②基準位置が3衛星を結ぶ三角形の外部にある時は, 測点はその長辺にはほぼ直角方向にHDOPの大きさに関連し基準位置から離れて分布する。

しかしポートクラン, コタキナバルではこれら4パターンとは異なった分布特性がみられた。この起因は上記①と②の組み合わせにより説明できた。そして特に②の場合, 赤道近辺においては中緯度に比し長時間測定可能となる衛星があり, その衛星を測位対象としたとき, 長辺の方向が大きく変化する結果, 測点は曲線的に分布する傾向がみられた。

参 考 文 献

- 1) 松野保久, 山中有一, 嶋田起宜, 内山正樹, 日高正康 (1988) : GPS の測位結果について一定点および航走中一. 航海, 102, 17-26.
- 2) 隅川芳雄, 長友洪太, 貞包弘之, 実藤了, 水谷壮太郎 (1986) : GPS 航法装置の定点における測位精度について. 航海, 90, 58-63.
- 3) 奥田邦晴 (1987) : 船舶用 GPS 受信装置の測位精度について. 航海, 94, 39-43.
- 4) 本村紘次郎, 実藤了, 水谷壮太郎, 長友洪太, 大村千之 (1988) GPS の測位精度-I一定点における測位結果一. 航海, 96, 39-46.
- 5) 実藤了, 本村紘次郎, 水谷壮太郎 (1988) : GPS 航法の定点観測結果について一測位誤差の累積確率と測位結果の分布一. 航海, 97, 77-82.
- 6) 木村小一 (1987) : NAVSTAR / GPS の開発とそのシステム. "NAVSTAR / GPS <全世界測位システム>", pp. 3-41 (ジャパン・インダストリアル・パブリッシング, 東京)