

# 汎地球測位システム(GPS)の残留測位誤差解析

藤本 勉\*・安永 文浩\*\*

## Error Analysis of Global Positioning System

Tsutomu FUJIMOTO\*, Fumihiko YASUNAGA\*\*

**Abstract :** The operation of reducing the accuracy called Selective Availability artificially is performed to GPS which U.S.A. is operating since 1993. DGPS is developed to oppose SA, in which differential corrections should be computed at the reference station and is transmitted to user receivers by radio or other means and applied at the remote receiver. There are two major DGPS services in Japan, one is operated by JCG (MW DGPS), and the other is operated by GPex (FM DGPS). SA has been canceled in May 2000, and the multipath error becomes serious problem because it cannot be compensated by using DGPS. As the existence of multipath is not actualized, several efforts to avoid the influence of multipath, such as selection of positioning point, use of a directional antenna and use of high elevation satellites, are performed.

We are observing the positioning error using noncommercial GPS receivers since 1998. From February 2002, we have started continuous position observations at four fixed points. The positioning error obtained by the GPS stand alone, the improvement by DGPS, and the influence of the multipath etc. are investigated. The positioning error decreases about 75% by using DGPS. And the GPS satellites are thrown into the 12 hour orbit, the positioning error because of multipath shows the periodicity of about one day. The most up-to-date GPS receiver has employed eight, and more channels All-in-View system. Some satellites are hidden with a building for example in many cases. It is shown that it may become the data which judge the propriety of receiver installation place selection.

**Key Words :** GPS, DGPS, Positioning Error, Multipath.

### 1. はじめに

米国が1993年から運用している「汎地球測位システム(Global Positioning System, GPS)」には「故意精度劣化(Selective Availability, SA)」と称す測位精度を人為的に低減する操作が行われており、これに対抗する目的で固定観測点で観測した測位誤差情報をリアルタイム伝送し、測位地点で誤差補正を行い、精度を改善するシステム(Differential GPS, DGPS)が開発された。我国においては、海上保安庁(JCG)が運用するもの(以下、中波DGPSという)と衛星測位情報センター(GPex)が運用する(以下、FM DGPSという)2大DGPS補正情報伝送サービスがある。ほかに米国、韓国、オーストラリアなど多くの国において同種のサービスが行われている。2000年5月にSAが停止され、測位精度はそれまでの100m程度から10m程度と飛躍的に向上したため、DGPSサービスの存続が議論され始めた。

同時に、DGPSにおいても除去できない誤差の一つであるマルチパス波による測位精度劣化が問題視されるよ

うになってきた。マルチパス波は、その存在が顕在化されないため、測位地点の選定、指向性アンテナの使用[1]、高仰角衛星のみの利用[2, 3]、などマルチパス波の影響を避ける努力が行われている。

我々は1998年から民生用GPS受信機を用いて測位誤差の観測を行っている[4-7]。2002年2月からは4地点において連続定点観測を開始し、SA停止後のGPS単独測位誤

Table 1 GPS and Beacon Receivers.

YLW and GRN sites :
L1, C/A Code GPS Receiver / Antenna, GM-38, SAN JOSE NAVIGATION, INC., Taipei, Taiwan, (2 sets, mounted on 25cm dia. aluminum disc.).
DGPS FM Data Radio Channel Receiver, M-51, DATATEC CO., LTD., Tokyo.
Medium Wave DGPS Beacon Receiver, GR-80, FURUNO ELECTRIC CO., LTD., Nishinomiya.
UNCT and TMZK sites :
L1, C/A Code GPS Receiver / Antenna, GPS 17N, GARMIN CORPORATION, Kansas, U.S.A.
Medium Wave DGPS Beacon Receiver, GBR 23, GARMIN CORPORATION, Kansas, U.S.A.

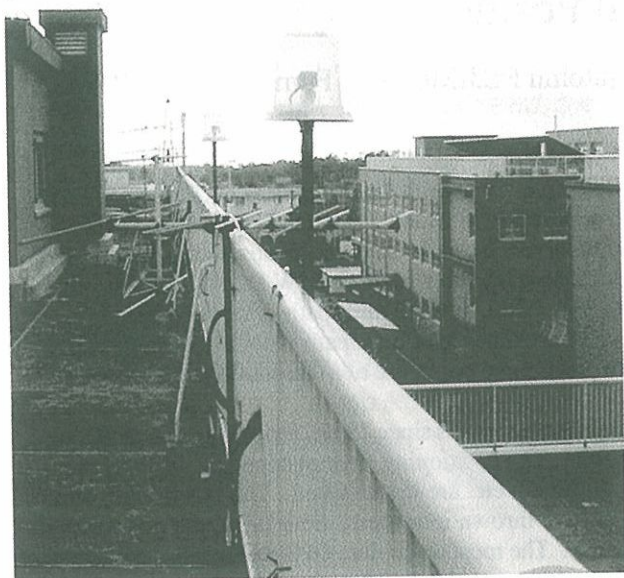
(2002年12月9日受理)

\* 宇部工業高等専門学校電気工学科

\*\* 宇部工業高等専門学校専攻科

\* Electric Department, Ube National College of Technology

\*\* Advanced Course, Ube National College of Technology



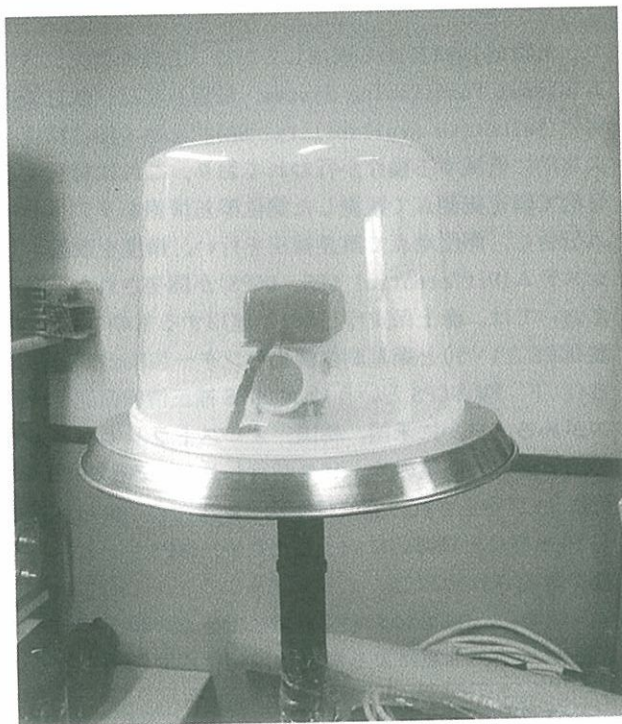
**Fig. 1-1** YLW and GRN sites. From this side, YLW (GM-38), whip antenna of GR-80 DGPS beacon receiver, GRN (GM-38).



**Fig. 1-2** UNCT site. From this side, UNCT (GPS 17N) and DGPS beacon receiver built in H-field antenna (GBR 23).



**Fig. 1-3** TMZK site. From this side, TMZK (GPS 17N) and DGPS beacon receiver built in H-field antenna (GBR 23).



**Fig. 1-4** Close up view of GM-38, mounted on 25cm diameter aluminum disc.

差, DGPS による改善程度, および DGPS による補正後も残留する誤差の一つであるマルチパス波の影響などを調査した[8-10].

解析結果の一部として, SA 停止後の DGPS 補正の効果を中波 DGPS (JCG 瀬戸局, 愛媛県) および FM DGPS (FM 山口, 宇部局) を用いて調査した結果, 単独測位に比較して約 75% 測位誤差 (標準偏差値) が減少し, SA 停止後も DGPS の有用性が確認されたことを述べる. さらに, マルチパス波の影響を低減する試みの基礎資料として, GPS 衛星が約 12 時間周期の周回軌道に投入されていることから, マルチパス波による測位誤差は日周期性を示すことを明らかにする.

## 2. 測位場所と使用機器

宇部高専管理棟屋上に設置されている 4 等 3 角点「点名: 工学部, 緯度 33° 57' 18".5994, 経度: 131° 16' 25".5994, 標高: 47.79m (世界測地系)」の北方向約 24m の位置 (宇部高専機電棟屋上, 以下, YLW という) と, その北西方向 6.00m (機電棟屋上, 以下, GRN という) に同一型式の GPS 受信機/アンテナを設置した. さらに, 機種固有の影響を避けるため別種の GPS 受信機/アンテナを YLW の南東方向 24.02m の位置 (機電棟屋上, 以下, UNCT という) と, その西方向約 6.6km の位置 (山口県宇部市厚南区,

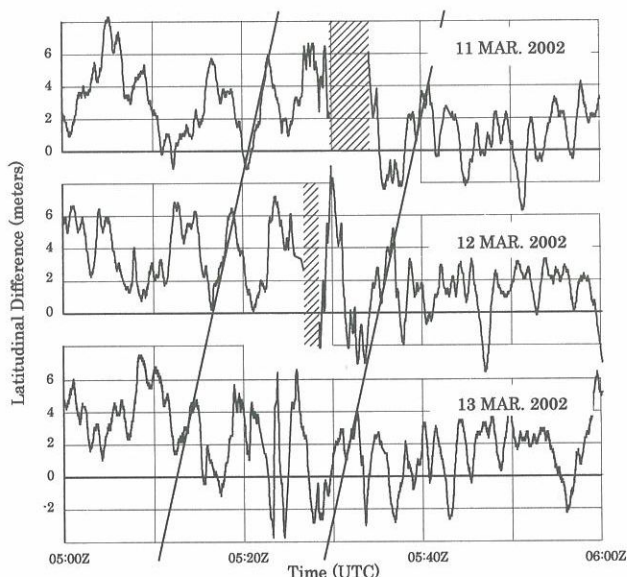
**Table 2** Standard deviation of latitudinal and longitudinal position error, obtained by GPS stand alone and GPS with medium Wave DGPS and FM DGPS.

DATE	Lat. Std. Dev [m]	Lon. Std. Dev [m]	GPS Site
<b>GPS Stand alone</b>			
2002 Feb. 18	5.454	2.294	GRN
2002 Feb. 18	3.624	1.864	YLW
2002 Feb. 19	6.698	2.692	GRN
2002 Feb. 19	6.706	2.669	YLW
2002 Feb. 20	7.026	2.507	GRN
2002 Feb. 20	7.087	2.505	YLW
<b>Medium wave DGPS</b>			
2002 Mar. 01	1.876	1.109	GRN
2002 Mar. 02	1.277	0.947	GRN
2002 Mar. 03	1.217	0.824	GRN
<b>FM DGPS</b>			
2002 Mar. 15	1.365	1.056	GRN
2002 Mar. 16	1.367	1.056	GRN
2002 Mar. 17	1.772	1.087	GRN

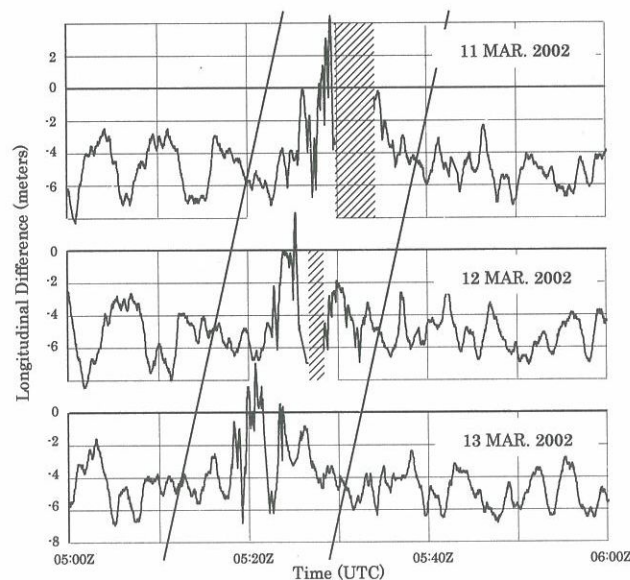
以下, TMZK という) に設置した. 同時に, JCG による補正情報を受信するために中波ビーコン受信機と GPex によるものを受信するために FM 多重受信機を設置した. サイト毎の使用機器を表 1 に, YLW と GRN, UNCT, および TMZK の各サイトの概観をそれぞれ図 1-1, 図 1-2, および図 1-3 に示す. YLW と GRN は 25cm 径のアルミ板上に設置し, さらに耐候性を高めるためレドームで覆った. 概観を図 1-4 に示す.

## 3. 測位誤差

### 3.1 残留測位誤差



**Fig. 2-1** Latitudinal differences between YLW and GRN sites. 2002 Mar. 11, 12 and 13, 05 to 06Z.



**Fig. 2-2** Longitudinal differences between YLW and GRN sites. 2002 Mar. 11, 12 and 13, 05 to 06Z.

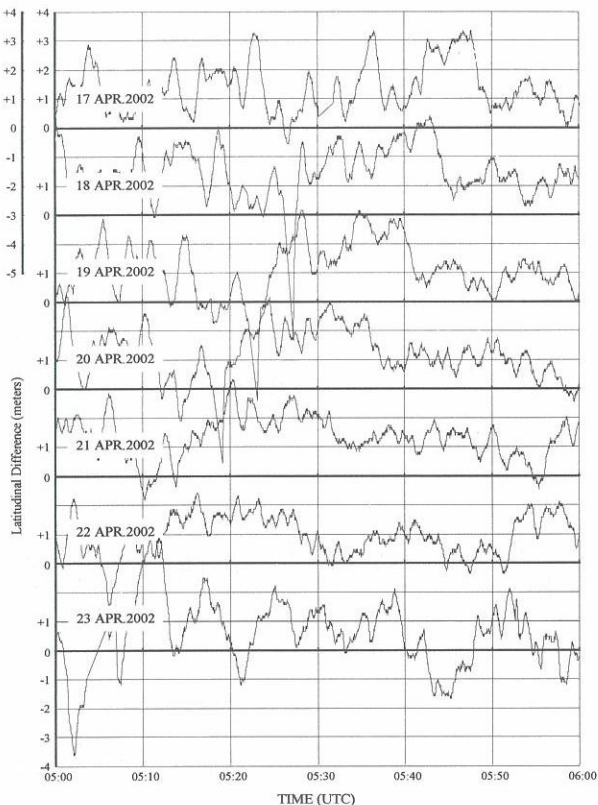


Fig. 3-1 Latitudinal difference between YLW and GRN sites. 2002 Apr. 17 to 23, 05 to 06Z.

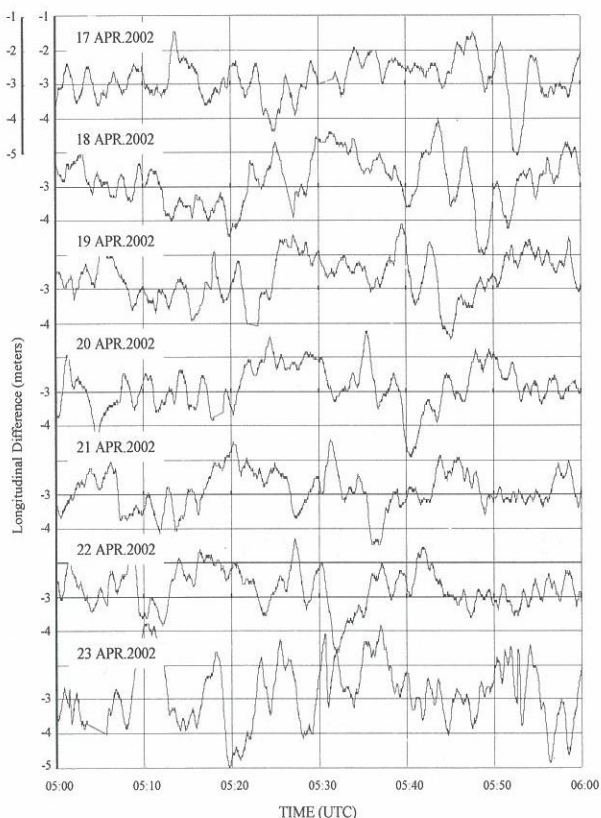


Fig. 3-2 Longitudinal difference between YLW and GRN sites. 2002 Apr. 17 to 23, 05 to 06Z.

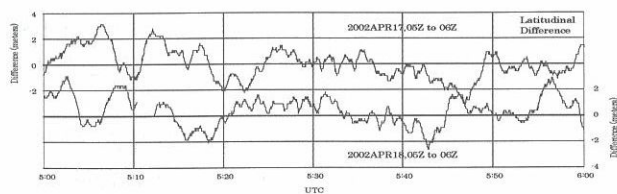


Fig. 4-1 Latitudinal differences between UNCT and TMZK sites. 2002 Apr. 17 to 23, 05 to 06Z.

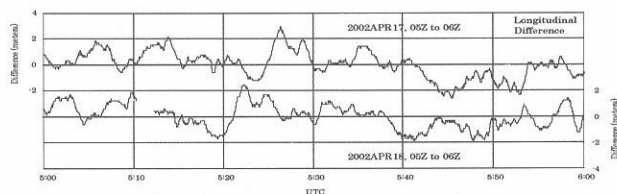


Fig. 4-2 Longitudinal differences between UNCT and TMZK sites. 2002 Apr. 17 to 23, 05 to 06Z.

まずSA停止後のDGPS補正による測位精度の改善度を調査した。2002年2月18日～20日、3月1日～3日、および3月15日～17日、各日(00Z～24Z)の24時間のGPS単独、中波DGPSおよびFM DGPSの測位値の北緯、東経の標準偏差を表2に示す。

同表より、単独測位と比較して中波DGPS、FM DGPS補正にあつては約75%ほど測位誤差(標準偏差値)が減少可能なのことがわかる。これよりSA停止後もDGPSの有効性が確認された。

### 3. 2 測位差分誤差の周期性

つぎに、DGPS補正によっても除去できない観測地固有の誤差であるマルチパス波の影響を調査するため、GPS受信機/アンテナを中波DGPS測位またはFM-DGPS測位に設定し、マルチパス波によるもの以外の要因による誤差を避けるため測位値の差分を調査した。

GPS衛星は0.5恒星日周期の周回軌道に投入されているので約23時間56分後に、ほぼ天空上の同一場所に位置する。よって、周囲環境からのマルチパス波もほぼ同様に発生するためマルチパス波による誤差は、ほぼ日単位の周期を持つことが考えられる。

(1)2002年3月11日～13日、05～06ZにYLWとGRNで測位した緯度の差分値を図2-1に、経度の差分値を図2-2に示している。

(2)また、観測日の異なる場合の例として、2002年4月17日～23日、05Z～06Zの測位値の差分を図3-1(緯度差分値)、図3-2(経度差分値)に分けて示している。

(3)さらに、GPS受信機/アンテナ、および観測サイトが異なる場合の例として、2002年4月17日～18日、05～06ZのUNCTとTMZKの測位値の差分を図4-1(緯度差分値)および図4-2(経度差分値)に示している。

いずれの場合も両GPS受信機/アンテナの測位データから、同一のGPS衛星(YLWおよびGRNにあっては、最大8GPS衛星, UNCTおよびTMZKにあっては、最大12GPS衛星)を利用して測位したもののみを取り出して作図している。

いずれの図においても、差分測位値に1日あたり約4分早まる周期性を認める。特に、一部の衛星が近隣の建造物によって隠蔽される前後において差分値が大きくなる傾向がある。NMEAセンテンスを精査した結果、受信電界強度には急激な変化はなく、マルチパス波によるものと推定される。

つぎに、測位値の差分の日間の相関を求めた。

(4)図5に2002年3月11日と12日、12日と13日のYLWとGRNの測位値の差分の日間の相関を示している。

(5)図6はYLWとGRNとの測位値の差分の、2002年4月17日、05Z~06Zと4月18日~27日の相関を示している。

期間中、ほぼ0.4以上の強い相関を示す。なお、4月17日と4月23日との相関値が他と比べて小さいのは、4月23日の観測時に降雨があり、建物壁面や屋上面が湿潤していたため、これらによるマルチパス波が減衰したためと考えられる。

(6)表3は2002年5月22日と23日から6月1日にわたって、時刻による相関値の相違を調査した結果の一部である。4日間程度隔たっても0.6以上の強い相関を示す。

これらの結果からマルチパス波による測位誤差は、ほぼ日単位の周期を示すと言える。

#### 4. 結言および今後の課題

4台のGPS受信機/アンテナで長期間定点観測を行い、SA停止後のDGPS補正の効果をJCG(瀬戸局)およびGPex(FM山口, 宇部局)から配信されるデータを用いて調査した。その結果、DGPS補正により約75%の測位精度(標準偏差値)の改善が得られることが明らかになった。

SA停止後、DGPSにおいても除去できない誤差の一つであるマルチパス波による測位精度劣化が問題視されるようになってきた。マルチパス波は、その存在が顕在化されなため、マルチパス波の影響を避ける努力が行われている。連続定点観測データの解析結果の一部として、衛星が約12時間周期の周回軌道に投入されていることからマルチパス波による測位誤差は日周期性を示すことを確認した。最近の民生用GPS受信機は、8, 12チャンネルAll-in-View方式を採用しており、一部の衛星が建造物により隠蔽されることは多い。受信機設置場所選定の適否を判定する資料となり得ることを示した。

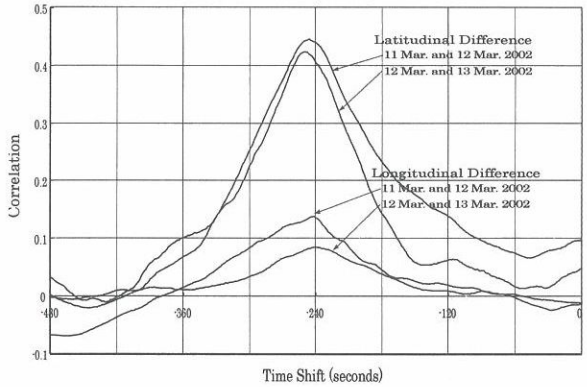


Fig. 5 Correlation of latitudinal differences and longitudinal differences between YLW and GRN sites. 2002 Mar. 11 and 12.

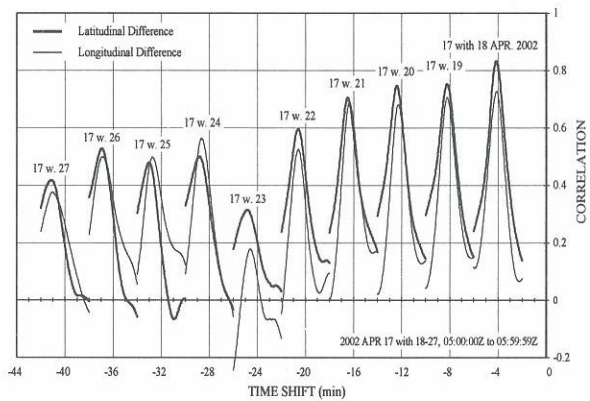


Fig. 6 Correlation of latitudinal differences and longitudinal differences between YLW and GRN sites. 2002 Apr. 18 ~ 27 and Apr. 17, 05 ~ 06Z

Table 3 Maximum correlation of latitudinal differences and longitudinal differences between YLW and GRN sites. 2002 May 23 ~ Jun. 01 and May 22.

Lat. 22 MAY with	01Z-02Z	07Z-08Z	13Z-14Z	19Z-20Z
23 MAY	0.8575	0.8062	0.7219	0.8943
24 MAY	0.8304	0.7137	0.6437	0.8835
25 MAY	0.7882	0.6088	0.5712	0.8430
26 MAY	0.7313	0.6014	0.6182	0.7596
27 MAY	0.7666	0.4519	0.4811	0.7055
28 MAY	0.7781	0.4724	0.4634	0.7212
29 MAY	0.7916	0.4020	0.4519	0.7320
30 MAY	0.8339	0.3716	0.5647	0.6168
31 MAY	0.7392	0.2322	0.4730	0.6033
01 JUN	0.6827	0.1106	0.3739	0.6768
Lon. 22 MAY with	01Z-02Z	07Z-08Z	13Z-14Z	19Z-20Z
23 MAY	0.7539	0.6989	0.6819	0.8250
24 MAY	0.7826	0.6291	0.7476	0.8558
25 MAY	0.7542	0.6074	0.7230	0.7700
26 MAY	0.6661	0.6039	0.7360	0.7374
27 MAY	0.6620	0.4361	0.7092	0.6800
28 MAY	0.6671	0.4080	0.2640	0.6917
29 MAY	0.6245	0.2595	0.6448	0.6991
30 MAY	0.6042	0.4662	0.6192	0.5467
31 MAY	0.5699	0.4892	0.5614	0.5426
01 JUN	0.5063	0.4285	0.7431	0.5374

## 文 献

- 1) 鈴木, 寺本, 西川, DGPS 測位精度へのマルチパスの影響, 1996 電子情報通信学会総合大会, SB-1-13, 610 (1996).
- 2) 青木, 崎谷, 江頭, 簡易 DGPS 測位法の検討, テレビジョン学会技術報告, 20, 3, 31-34 (1996).
- 3) 宮田, 野口, 崎谷, 江頭, 簡易 DGPS による測位精度向上の方法について, 信学技報, A, P95-97 (1996-01).
- 4) 上村 明, 4チャンネルC/Aコード方式汎地球測位システムの単独測位精度, 平成9年度宇部工業高等専門学校電気工学科卒業論文 (1998).
- 5) 梶谷悠也, 汎地球測位システム (GPS) の測位精度に影響する要因に関する研究, 平成10年度宇部工業高等専門学校電気工学科卒業論文 (1999).
- 6) 福永善美, D-GPS (Differential GPS) による測位精度改善に関する研究, 平成11年度宇部工業高等専門学校電気工学科卒業論文 (2000).
- 7) 池村和孝, 選択利用性 (SA) 停止に伴う GPS と D-GPS 測位精度の比較, 平成12年度宇部工業高等専門学校電気工学科卒業論文 (2001).
- 8) 安永文浩, 差分汎地球測位システムの残留誤差の研究, 平成13年度宇部工業高等専門学校電気工学科卒業論文 (2002).
- 9) 安永文浩, 差分汎地球測位システム (DGPS) の残留測位誤差解析, 平14中国四国地区高等専門学校専攻科生研究交流会予稿集, 105-106 (2002, 4).
- 10) 安永, 藤本, 差分汎地球測位システム (DGPS) の測位誤差の日周期性, 電気・情報関連学会中国支部第53回連合大会講演論文集, 081101 (2002, 10).
- 11) B. Parkinson, J. Spilker Jr., Global Positioning System: Theory and Applications Vol.1, American Inst. Aeronautics and Astronautics (1996).
- 12) 松山, 門倉, 八釜, ポータブルGPS受信機による DGPS 測位評価, 神戸高専研究紀要, 38, 2, 51-54 (2000).
- 13) 土屋, 辻, GPS 測量の基礎, 日本測量協会 (1999).
- 14) 土屋, 辻, 新・やさしいGPS 測量, 日本測量協会 (2001).
- 15) 土屋, 今給黎, GPS 測量と基線解析の手引き, 日本測量協会 (2000).