南極における国土地理院のGPS観測

GPS Observations on Antarctica by Geographical Survey Institute

測地観測センター　大滝　修
Geodetic Observation Center　Osamu OOTAKI

測地部　松村正一・丸山一司・岩田昭雄
Geodetic Department
Shouichi MATSUMURA, Kazushi MARUYAMA, Masao IWATA

水沢測地観測所　藤原　智
Mizusawa Geodetic Observatory　Satoshi FUJIWARA

要旨

第31次から導入された南極でのGPS観測は，地図作成のための基準点測量に効果を発揮しただけでなく，第36次に設置した昭和基地GPS連続観測点と，その周辺での観測により，南極プレートの動きや氷床の流動速度を捉えることにも成果をあげた。

1　はじめに

国土地理院は日本南極地域観測隊に第１次（1957）より参加し，地図作成のための基準点測量を行ってきた。基準点測量の観測方法の変遷は国内同様に，経緯儀による三角測量に始まり，光波測距儀を用いての測量やNNSS（Navy Navigation Satellite System）の導入を経て，GPS時代へと移行してきた。

観測隊における各作業は，厳しい自然条件と少数の限られた人員の中で，お互いの作業をサポートしながら進められている。基準点測量においても，いかに効率的に高精度な結果を得るかに苦心してきた。

このような中でGPS観測は，昭和基地の基準点との相対測位により，観測点に数時間留まるだけで高精度な結果が得られ，また，従来，天文測量により地域毎に決められていた経緯度が，昭和基地と関連づけられることになるなど，より効率的，高精度の作業ができることとなった。さらに，連続してGPS観測を行うことにより，プレートの動きを明らかにしたり（Yamada et al., 1998），氷床流動を捉える（Ootaki and Fujiwara, 1998）など，基準点測量以外でも成果をあげた。

本報告では連続観測点の設置と氷床流動観測を中心に南極観測におけるGPS観測全般について報告する。

2　GPS観測の導入

国土地理院による南極でのGPS観測は，第30次に極地でのGPS観測の可能性がテストされ，第31次からセルロンダーネ地域やアムンゼン湾地域でNNSSにかわる単独測位用として導入された。第33次より基準点測量は，東オングル島にGPS観測点（金属標）を設けて行われ，第37次以降は第36次に設置された昭和基地GPS連続観測点を基準として，精密測地網測量と大縮尺写真図用の基準点の新設を相対測位により行っている。

従来ラングホブデ（昭和基地の南方約25km）以外の各露岩地域においては天文測量により単独に経緯度を決めていた。GPS観測の相対測位から得られる位置の誤差は数cmであるのに対して，太陽による経緯度観測は数秒から10秒程度，位置にして数10mから数100mの誤差が考えられることから，GPS観測により昭和基地と各露岩地域の正確な位置関係が初めて明らかになった。

現在は引き続きリッツォフォルム湾沿岸の露岩域で基準点の改測や，氷床や露岩域の変動を捉えるための繰り返し観測を実施している。

また，33次から南極科学委員会（SCAR）の提唱する国際同時連続観測（GPS Campaign）に参加している。この観測は南極大陸とその周辺の多数の観測点において，GPSの同時観測を20日間以上に亘って行うものである。

3　昭和基地GPS連続観測点

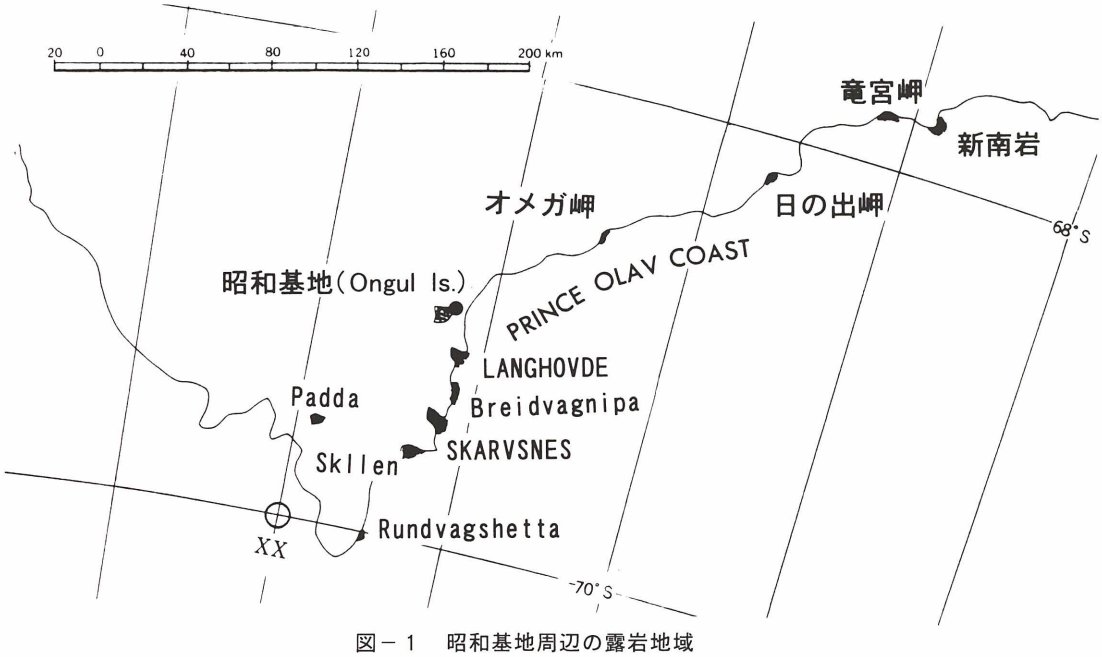
IGS（International GPS Service）の観測局は南半球に少なく，昭和基地が位置する南極大陸東海岸にも観測点がないことから，第36次越冬隊に参加した著者の一人丸山隊員により，南極大陸の５番目の連続観測点として昭和基地GPS連続観測点が設置された。観測データは，第38次から毎日，衛星通信（インマルサット衛星）を利用して国立極地研究所経由で国土地理院に送られている。以下にその概要を記す。

１）システム構成

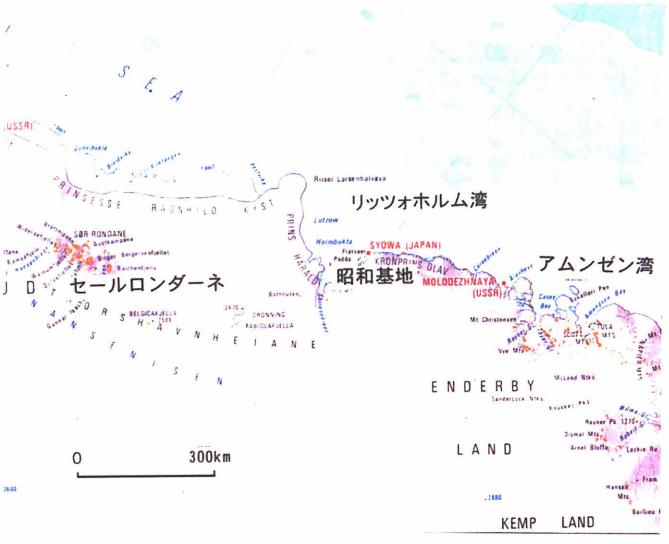
システム構成を図－３に示す。システムはアンテナ部とデータ管理部とから構成されている。アンテナ部のピラーは重力計室から約50m南側の小高い丘にあり（写真－３），受信機等の管理装置は重力計室内に設置されている。

表－1　各隊次のGPS観測

隊次と隊員		観測地域	概　要
30次	阿部　博	セルロンダーネ	極地でのＧＰＳ利用の可能性テスト
31次	林　保	セルロンダーネ アムンゼン湾地域	NNSSにかわる単独測位用として導入
32次	海老名　頼利	セルロンダーネ	〃
33次	渡邉　和夫 藤原　智	東オングル島 西オングル島	・東オングル島内の改測 ・座標変換パラメータの決定 ・ドームふじ旅行隊との相対測位（昭和基地側担当）
34次	生巣　国久	スカルブスネス スカーレン ブレードボークニッパ	・露岩地域で基準点測量開始 ・ドームふじ旅行隊との相対測位（昭和基地側担当）
35次	池田　尚應	ラングホブデ パッタ ルンドボークスヘッタ	・ドームふじ旅行隊との相対測位（昭和基地側担当）
36次	丸山　一司 山本　宏章	オメガ岬 アムンゼン湾地域	・昭和基地ＧＰＳ連続観測点建設 ・多目的パラボラアンテナとの取り付け
37次	木村　勲	スカーレン ラングホブデ スカルブスネス アムンゼン湾地域 日の出岬，竜宮岬 新南岩	・露岩域での繰り返し観測点設置 ・昭和基地から約550kmのアムンゼン湾地域との相対測位
38次	大滝　修	スカーレン ラングホブデ スカルブスネス アムンゼン湾地域 Ｓ１６	・連続観測データを毎日日本へ送信開始 ・S16での氷床流動測定 ・昭和基地－ラングホブデ　第１回 24 時間観測
39次	岩田　昭雄	ラングホブデ スカルブスネス 東オングル島 アムンゼン湾地域 Ｓ１６	・S16で氷床流動測定 ・昭和基地－ラングホブデ　第２回 24 時間観測



図－1　昭和基地周辺の露岩地域



図－2　リッツォホルム湾とその周辺

受信機及びアンテナは以下の通りである。

GPS受信機：AOA社　TurboRogue SNR-8000

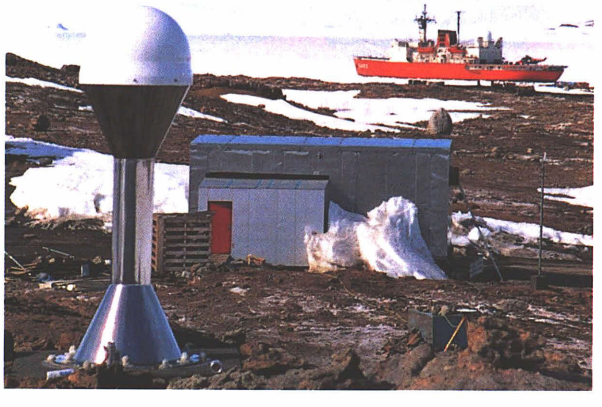
Antenna：Dorne Margolin T

2）データ管理

観測された24時間データは，圧縮してディスクに保存されると同時に，毎日，昭和基地通信装置を経由して衛星通信（インマルサット衛星利用）により，東京の国立極地研究所に送信される。さらに，インターネット回線により国土地理院に送られて解析される。

なお，管理装置が設置されている重力計室は「超伝導重力計」があることから室温管理が行われており，装置の維持には好条件である。

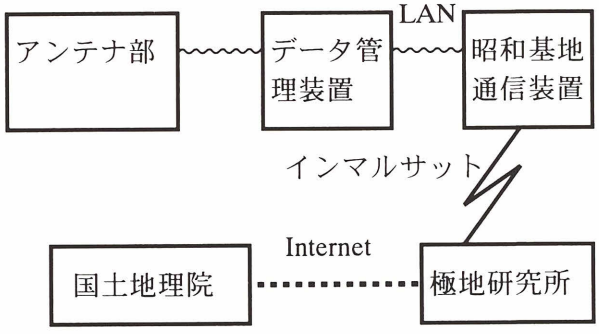
写真－1　露岩域での観測風景（第39次岩田隊員）



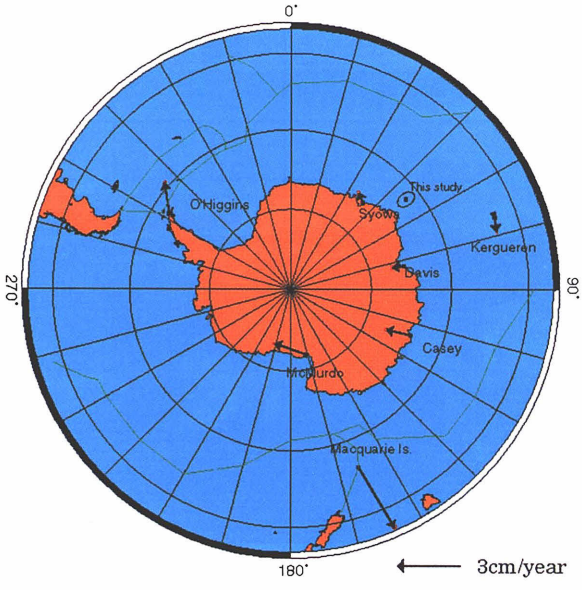
写真－3　昭和基地GPS連続観測点アンテナ部高さ約2mのピラー。後ろの建物がデータ管理装置のある重力計室

写真－2　夏期間における露岩地域の調査作業はヘリコプターで移動する

写真－4　データ管理装置



図－3　GPS連続観測システム構成とデータの流れ



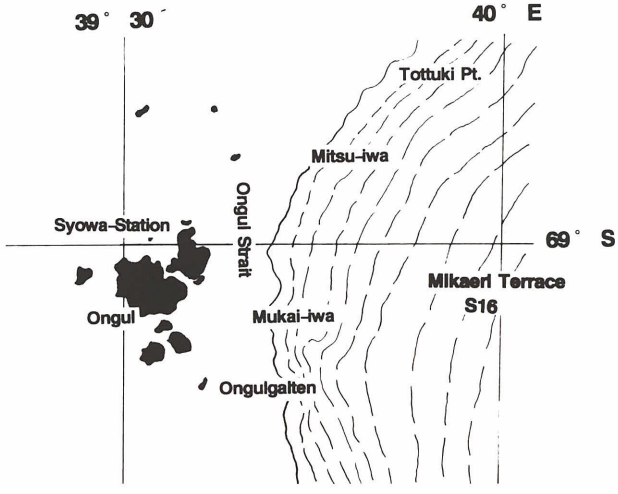
図－4　GPS連続観測で明らかになった南極大陸の動き（Yamada et al., 1998）

3）得られた成果

Yamada et al.,（1998）は，昭和基地と南極大陸の他のGPS観測局のデータを，「GIPSY-OASISⅡ」を用いて解析し，南極大陸があるプレートの動きを明らかにした。

一方，IGS観測局として安定した高精度の連続観測を行うためには受信機への外部周波数標準の入力が不可欠である。設置当初は極地という厳しい機器管理状況を勘案して，やや精度が劣るが運用・維持の容易なルビジウム周波数標準を導入した。しかし，安定度に問題があることが明らかとなり（山田他，1998），1998年11月より高精度のセシウム周波数標準を導入して高精度の結果を得ることができた。これにより，1999年４月からIGS観測局としてデータが提供（公開）されている。

この他にも，GPS連続観測点は内陸旅行時に行われる氷床流動の繰り返し観測の基準局，重力測定時の経緯度観測の基準局等として利用されている。



図－5　昭和基地とS16
距離約19km，標高差約560m

写真－5　S16での観測風景

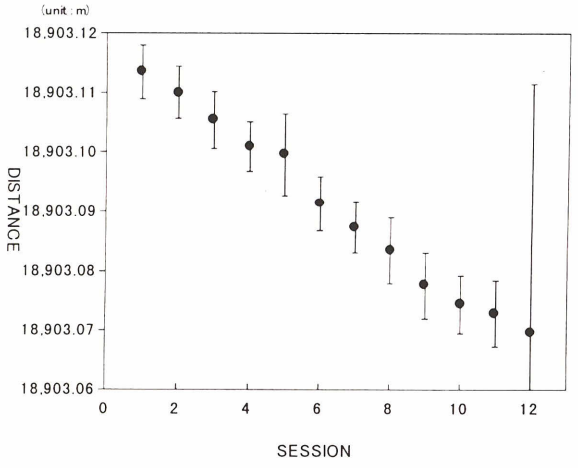
4　氷床流動観測

1）背景

国土地理院では地表変動を人工衛星から捉える干渉SAR技術を日本周辺だけではなく，南極地域においても利用することとしている。その精度検証を行うには，現地において高精度で実測することが必要である。第38次及び第39次では露岩地域及びその周辺域の変動を調査する「露岩域変動測量」により，昭和基地の東方約19km，昭和基地GPS連続観測点との楕円体比高562mの氷床上にある内陸調査旅行等の拠点の「S16」ポイント（図－5）でGPS観測を実施した。

2）観測概要

観測は第38次が1996年12月20日～24日，第39次が一年後の1997年12月20日～21日，更に約50日間隔をあけた1998年２月７日～９日に昭和基地GPS連続観測点との



図－6　昭和-S16のセッション毎の基線長変化

間で相対測位を行った。S16観測点に1992年からGPS観測の基準点としてポールが設置されており，今回もその基準点を利用した。雪上での観測なので三脚のずれが心配されたが，常に気温及び雪温が低いこと，30cm程度掘り下げて雪で固めたことによって全くずれることはなかった。

また，第39次では氷床の面的な変動とより多くのデータを取得するため，この基準点の他に約500m離れた箇所に位置する気象ロボット近傍(s16k)及びSルート（内陸旅行ルート)を内陸に約1km進んだポイント(sr17)に新たに基準点（ポール）を設置してGPS観測を実施した。

観測諸元は以下の通りである。

・使用機器：受信機　TRIMBLE 4000-SSE
　　：アンテナ　同　permanent antenna
・データサンプリング30秒インターバル
・エレベーションマスク15度

3）解析結果

第38次データの解析は，全期間を1セッションが概ね8時間として12のセッションに分け，IGS精密暦を用いてGPS基線解析ソフトGAMITにより，昭和基地GPS連続観測点を固定して解析した。

(イ)　基線長変化

セッション毎の基線長変化は図－6の通りである。

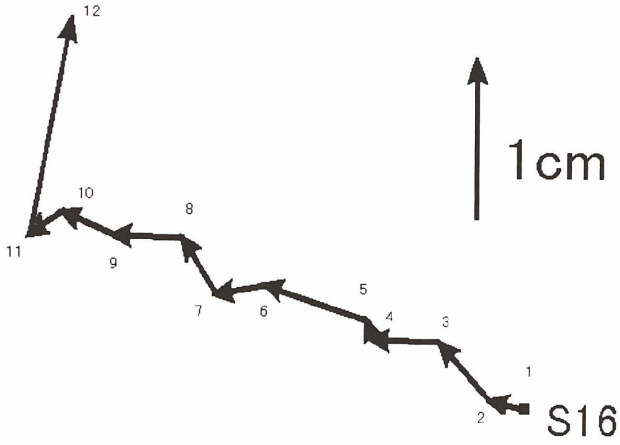
解析結果から12セッションを除いて概ね一様な変化となっている。12セッションは各成分及び基線長の標準偏差が大きい。その原因として観測時間が短いこと，その時間にスリング（ヘリコプターが荷物を吊して運搬すること）があり，ヘリコプターによる電波の遮蔽があったこと等が考えられる。

(ロ)　水平変動量

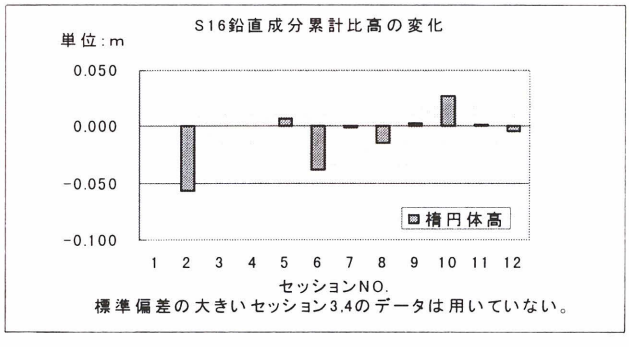
昭和基地GPS連続観測点を固定としたS16の座標の時

表－2　氷床流動速度の計算

Point	Epock_1	Epock_2	Epock_1 → Epock_2
S16g	1996.355.537 B = -69 ° 01 ′ 46.5414 ″ L = 40 ° 03 ′ 07.7002 ″ H = 589.884 m	1996.358.833 B = -69 ° 01 ′ 46.5411 ″ L = 40 ° 03 ′ 07.6965 ″ H = 589.916 m	3.296 日 測地線長 = 0.421m 方位角 = 282' 45" 速度 = 12.77mm / day = 4.66 m / year
S16g	1996.355.833 B = -69 ° 01 ′ 46.5414 ″ L = 40 ° 03 ′ 07.6999 ″ H = 589.869 m	1996.358.833 B = -69 ° 01 ′ 46.5411 ″ L = 40 ° 03 ′ 07.6965 ″ H = 589.916 m	3.000 日 測地線長 = 0.389m 方位角 = 283 ° 50' 速度 = 12.97mm / day = 4.74 m / year
S16g	1997.354.625 B = -69 ° 01 ′ 46.4852 ″ L = 40 ° 03 ′ 07.2765 ″ H = 589.733 m	1998.040.437 B = -69 ° 01 ′ 46.5411 ″ L = 40 ° 03 ′ 07.6965 ″ H = 589.728 m	51.812 日 測地線長 = 0.685m 方位角 = 290 ° 03' 速度 = 13.23mm / day = 4.83 m / year
S16k	1997.354.625 B = -69 ° 01 ′ 37.5619 ″ L = 40 ° 02 ′ 28.9450 ″ H = 575.008 m	1998.040.437 B = -69 ° 01 ′ 37.5552 ″ L = 40 ° 02 ′ 28.9066 ″ H = 575.040 m	51.812 日 測地線長 = 0.681m 方位角 = 287 ° 47' 速度 = 13.31mm / day = 4.79 m / year
Sr17	1997.354.625 B = -69 ° 01 ′ 35.1338 ″ L = 40 ° 04 ′ 25.7748 ″ H = 605.480 m	1998.040.437 B = -69 ° 01 ′ 35.1242 ″ L = 40 ° 04 ′ 25.7200 ″ H = 605.468 m	51.812 日 測地線長 = 0.677m 方位角 = 296 ° 01' 速度 = 13.06mm / day = 4.77 m / year
S16	1996.354.5 B = -69 ° 01 ′ 46.5414 ″ L = 40 ° 03 ′ 07.7002 ″ H = 589.884 m	1997.354.6 B = -69 ° 01 ′ 46.4852 ″ L = 40 ° 03 ′ 07.2765 ″ H = 589.733 m	366.1 日 測地線長 = 5.015m 方位角 = 290 ° 18' 速度 = 13.37mm / day = 5.01 m / year



図－7　セッション毎の位置の変化



図－8　セッション1から各セッションの比高累積

系列変化を図－7に示す。概ね西北西に変化していることがわかる。

次に流動速度をいくつかのエポック間について計算した。その結果を表－2に示す。数日間の観測による解析結果が，長期間の解析結果に比べて移動量がやや小さいがほぼ整合的であり，方向もほぼ一致していることが分かる。また，本山他（1995）が1992-1994に行った結果（約290度，5.1m/year）ともほぼ一致している。

今回の結果からGPS観測を精密暦で解析すれば，短期間の観測でも氷床流動が高精度で検出できる。また，今回の結果から氷床流動の速度に季節変化がないことも推定できる。

(ハ)　氷床の鉛直成分変動量

図－8は，第39次の第1セッションを起点として，各セッションまでのS16g測点の楕円体比高の累積を示したグラフである。

一般的に，氷床は海に向かい沈降して流れていくため，比高はマイナスに累積していくはずであるが，GPS観測で求められる鉛直成分の精度は，水平成分と比較して悪く数cmのばらつきが現れており，短期間で変動量を捉えることはむずかしい。

しかしながら，この結果から鉛直成分のばらつきは5cm程度と推測できるため，これ以上の鉛直成分の変動は有意と考えられる。

epoch 1997,354.6とepoch 1996,354.5との観測結果の楕円体高（H）には，約15cmの沈下が見られるが，これはS16付近の氷床の鉛直成分変動と考えることができる。S16g付近の最大傾斜方向の傾斜量は，今回の測定により24mm/m程度であるため，この方向に5m移動したとするとその沈下量は約12cmであり，両者は誤差の範囲内で整合的である。今回のこの沈下量は，S16付近の氷床の鉛直成分変動を実測値として捉えたと考えられる。

5　露岩域の変動

昭和基地がある東オングル島は大陸とはオングル海峡を挟んだところに位置しており，地質・地形調査や潮位観測から隆起を続けていることが報告されている（例えば，神沼・木村，1997）。

GPS観測を繰り返して観測することにより，この変動を検出する目的で，昭和基地GPS連続観測点－ラングホブデ雪鳥沢，昭和基地GPS連続観測点－スカーレン天測点の2基線でその基準となる24時間観測を第38次で行った。この他にも第37次では竜宮岬，新南岩でも昭和基地GPS点連続観測点と相対測位を行っている。

第39次において昭和基地GPS連続観測点－ラングホブデ雪鳥沢基線を，第38次で行った1997年1月26日から約11ヶ月経過した1998年12月24日～25日に2回目の観測を行い，表－3の結果を得た。

この結果，この期間に標準偏差を超える有意な差は見られない。

この地域では主に鉛直成分の動きを捉えることがその目的であるから，GPSの誤差要因を考えると，単発の観測の繰り返しでは限界がある。太陽発電，風力発電等を利用した，リッツォフォルム湾沿岸の露岩域での連続観測施設の建設が待たれるところである。

表－3　露岩域変動測量結果

観測日	基線長	ラングホブデ楕円体高
1997.01.26	26812.5774	47.890m
1997.12.24	26812.5813	47.883m
1997.12.25	26812.5777	
39 － 38：　△X = -0.0080　△Y = -0.0051　△Z = 0.0035 ：　△h = 0.007　（UNIT：m）		

6　昭和基地周辺の座標変換パラメータ

昭和基地周辺（東オングル島）の地図は，東オングル

表－4　座標変換パラメータ再計算結果

昭和基地ＧＰＳ連続観測点　　ITRF94系　(Yamada et al., 1998)	
X = 1766207.8686 m　Y = 1460290.3801 m　Z = -5932297.7652 m	
同　WGS-84系　TRNS96(飛田,1996)によりITRF94系 →WGS-84系 に変換	
X = 1766207.8878 m　Y = 1460290.4466 m　Z = -5932297.8262 m B = -69° 0′ 25.04537″　L = 39° 35′ 01.4833″　H = 50.17 m	
天測点　　WGS-84系　　(第39次での観測による)	
X = 1766404.303 m　Y = 1460317.844 m　Z = -5932233.242 m B＝-69° 00′ 19.2116″　L＝39° 34′ 52.1198″　H = 50.36 m	
同　　測地基準系1967　　(天文測量及び水準測量による)	
X = 1766117.058 m　Y = 1460539.968 m　Z = -5932265.271 m B＝-69° 00′ 22.000″　L＝39° 35′ 24.000″　H = 29.18 m	
WGS-84系 → 測地基準系1967 (参考値) △X＝-287.245m △Y＝+222.124m △Z＝-　32.029m	WGS-84系 → 測地基準系1967 (現行値) △X=-292.82　TZ=-0.5540　SIG=-0.2263 △Y=+227.49 △Z=-34.43

島での天文測量により観測された経緯度と，験潮場付属水準点からの水準測量により決定された標高を基準とし，測地基準系1967（GRS 67）に基づいて作成されている。

昭和基地GPS連続観測点が建設される第36次以前は，第21次により求められたNNSSの観測結果(WGS-72系)を用いて，WGS-72系とWGS-84系の変換パラメータにより，WGS-84系から測地基準系1967への変換パラメータが計算された。

このように，第33次隊によって昭和基地周辺のGPS測量の座標変換パラメータが求められ，現在もこの値を用いている。

その値は

△X＝－292.82，△Y＝＋227.49，△Z＝－34.43

ＴＺ＝－0.5540，ＳＩＧ＝－0.2263

である。

今回，GPS連続観測点の長期にわたる観測結果から求められた座標（Yamada et al.,1998）を基準として，第39次で観測された天測点との相対測位の結果から変換パラメータを再計算した。

この値は前述したWGS-72を介した結果と比較すると，△X＝＋2.049　△Y＝＋0.292　△Z＝－1.062である。

この量は従来値と水平位置で２m程度，高さは約0.5mの違いがある。変換パラメータ等を表－４に示す。

また，「東オングル島付近でGPS観測結果から地図上に位置をプロットしたい」という場合はGPS観測の結果（WGS-84）に

△緯度＝＋2.788秒

△経度＝＋31.880秒

△標高＝－21.18m

を加算すればよい。

7　おわりに

GPSにより南極での基準点測量が効率的に高精度で行えるようになった。また，南極という厳しい自然条件の中でも，GPS連続観測が可能となり，南極大陸のプレートの動きを捉えた。さらに，短期間に高精度で氷床流動を観測したこと等,多くの成果を上げることができた。

今後はGPS連続観測点を中心に南極でのGPS観測をさらに充実させ，IGSの南半球の主要観測局として貢献していきたい。また，より正確な南極大陸の地殻変動を調査するため，他の露岩域での繰り返し観測や連続観測を展開していく予定である。

なお，本報告に記載した氷床流動測定及び露岩域でのGPS観測に関しては，技術報告書としてまとめたものを編集したものであり，その内容については第17回国立極地研究所地学シンポジウム及び第88回測地学会において大滝が，第18回同シンポジウム及び第90回測地学会に於いて岩田がそれぞれ報告しているものである。

参 考 文 献

Osamu OOTAKI and Satoshi FUJIWARA (1998) : Measurement of ice sheet movement at S 16, east antarctica using GPS. Polar Geoscience., 11, 9-13.

神沼克伊・木村勲:「南極昭和基地の水準測量とその解釈」, 測地学会誌, 43, 23-26, 1997.

本山秀明・榎本浩之・古川晶雄・神山孝吉・庄子仁・白石孝行・渡邉和夫・生巣国久・池田尚應:「GPS相対測位による東南極の沿岸からドームふじ間の氷河流動の観測（序報）」, 南極資料, 39, 2, 94-98, 1995.

山田晃子・大滝修・畑中雄樹・宮崎真一・丸山一司・板橋昭房:「南極地方の広域GPS連続観測データの解析」国土地理院時報, 89, 27-32, 1998.

Akiko YAMADA,Kazushi MARUYAMA, Osamu OOTAKI, Akifusa ITABASHI, Yuki HATANAKA, Shinichi MIYAZAKI, Hiroaki NEGISHI, Toshihiro HIGASHI, Yoshifumi NOGI, Masaki KANAO and Koichiro DOI (1998) : Analysis of GPS data at SYOWA station and IGS tracking stations.Polar Geoscience., 11, 1-8.

国土地理院 (1985) : 南極地域基準点・重力・地磁気・空中写真及び地図成果収録