３．５　水準測量

当初，南極地域の水準測量は，おもに三角点等の標高決定のため，験潮場付近に設置された固定点と取り付け三角点等との間で実施した．

一方，国土地理院は 1967 年南極地域における，測地及び地図作成の長期計画を作成した(田島，1968)．この中で，新規観測の一つとして，地殻変動観測が提唱された．

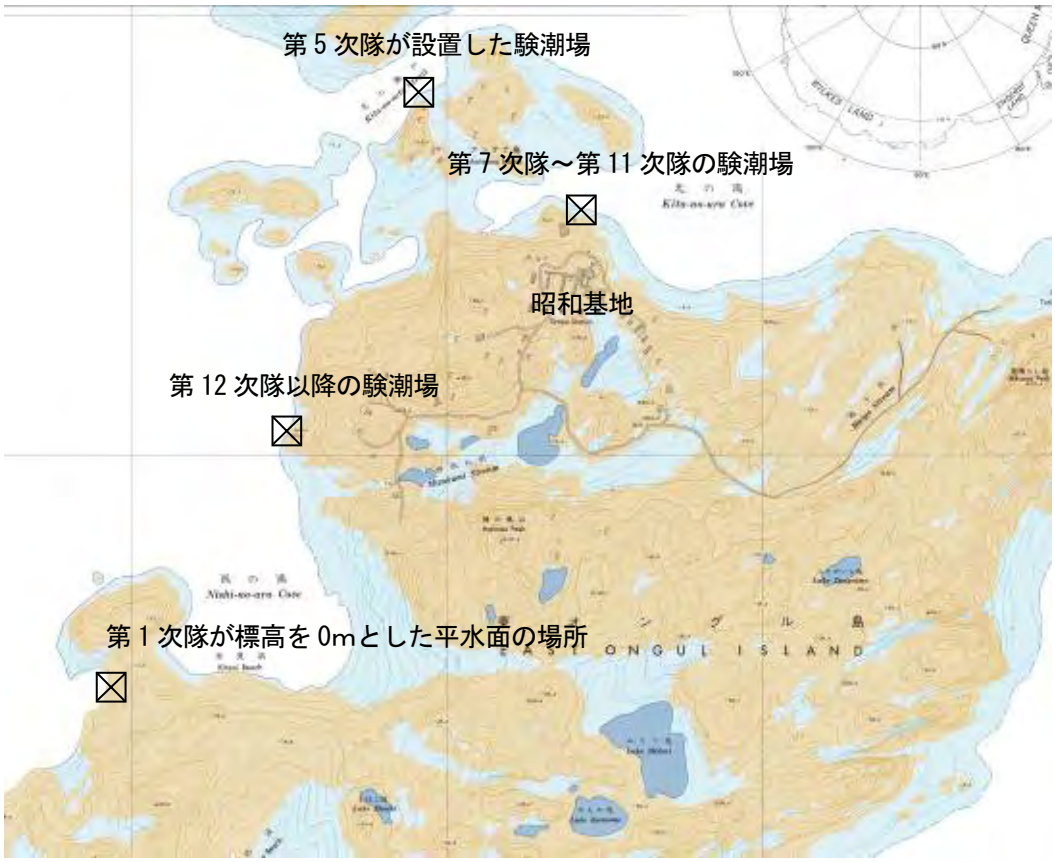
南極大陸周辺は，地震が少なく，火山もごく一部であること，昭和基地周辺の地質はプレカンブリア時代のもので地盤は安定していると考えられていた．しかし，オングル島は厚い氷で覆われ，その重みで海面下に没していたと推定され，事実オングル島高台でも貝類が見つかっている．スカンジナビア半島が氷河の後退に伴い年間 10 ㎜程度隆起しており，オングル島，ラングホブデでも氷河地形を呈し隆起汀線が見られることから，氷河が後退し荷重の減少による隆起が南極地域でも観測される可能性があり，このため潮汐観測が提案され実施されてきた．しかし，1966 年以降継続されてきた潮汐観測だけでは，隆起に伴う地殻変動を観測できる精度は十分ではないため，隆起に伴う基盤の傾斜観測が計画された．この基盤の傾斜観測のための水準路線は，第 20 次観測隊(1978)により東オングル島に設置され，観測を開始した．

３．５．１　水準測量による標高決定

（１）天測点の標高

東オングル島の標高は第１次観測隊(1956)が，東オングル島西部(図－13)の開水面を基準とした三角・水準測量によって，天測点の高さ 29.18mを決定したのが最初である．なお，この値を現在も天測点の測量成果として採用している．

高さの基準となる本格的な験潮は，第５次観測隊(1961)がアンテナ島の北西部に験潮儀を設置したのが最初で，1961 年２月 28 日 22 時から３月７日 16 時まで１時間間隔の読み取り値を平均して，平均海水面の高さを得た．この平均海水面と験潮儀に近い露岩の固定点(岩の表面にマーク)との取り付け観測は，ウィルド T2 と箱尺を使用して行い，平均海水面と固定点の高低差＋189.4 ㎝を得た．第６次観測隊(1961)は，1962 年１月 13，14 日の両日，アンテナ島の験潮儀付近の開水面と固定点との取り付け観測を行ったが，この結果は使用されなかった．また，第６次観測隊(1961)は，1962 年１月 13 日から 17 日まで，第５次観測隊(1960)が設置した固定点と天測点間の水準測量を行い，天測点の高さ 29.24m(往復差 3.0 ㎝)を得た．この水準測量は，固定点と東オングル島北端に設けた固定点間は往復観測，北端の固定点と天測点間は，同一場所で器械高を変えた片道観測で行った．



図－13　東オングル島の験潮場

（２）水準測量の基準値

その後，験潮は，第７次観測隊(1965，ただし，観測は翌年)から第 11 次観測隊(1969)まで東オングル島の北の浦で行われたが，第 12 次観測隊(1970)からは東オングル島西側の西の浦へ移動した.以後，今日まで同所で験潮が行われている．これまで設置された験潮儀は，冬季に海面が氷結しても海底が氷結しないことから水圧式を採用し，潮汐の観測データは地学棟内でペンレコーダによるアナログ方式で記録されていたが，現在はディジタル方式で記録されている．験潮記録は，海氷の結氷状況や観測機器のトラブルなどがあり，通年を通しての観測は少なかった．この験潮記録から平均海水面を求め，標高の基準を決定するため,第 20 次観測隊(1978)は験潮場に隣接した露岩に,水準点(No.1040)の金属標を設置した.

水準点(No.1040)の標高は，1981 年１月～1982 年１月の間に得られた１年間の験潮儀の記録を基に決定した平均海水面の観測値を使用し,第 23 次観測隊(1981)の岡，淵之上両観測隊員(海上保安庁水路部：現 海上保安庁海洋情報部)が，観測基準面との取り付け観測を行い，平均海水面から水準点(No.1040)への高さは 2.3380ｍと決定された.

以降，この高さが東オングル島内の水準測量の基準値として扱われている.

３．５．２　水準測量による地殻変動の検出

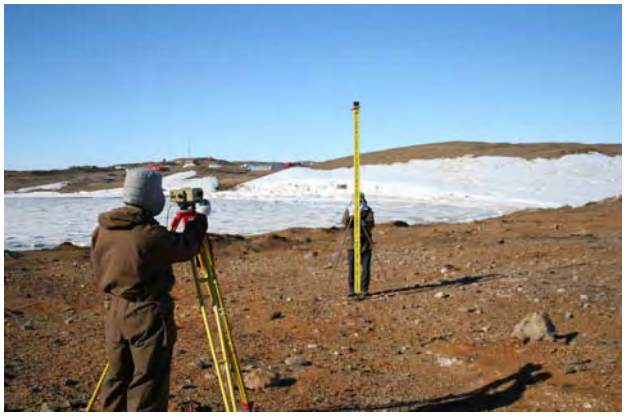
（１）東オングル島の水準測量

東オングル島内の水準測量の目的は，南極地域の地殻変動と南極大陸沿岸域における，ポストグレーシャルリバウンドの隆起速度の検出である．露岩域で隆起汀線が見られることから，オングル島内の西側と東側でも隆起速度量の違いから基盤の傾斜が見られる可能性が予想されるため，その傾斜を検出するために水準測量を計画し実施してきた．なお，この水準測量は，すべて一等水準測量に準じて行っている.

第 20 次観測隊(1978)は，東オングル島内へ水準点９点を設置し，その内４点３区間(1.5 km)の水準測量を実施した．さらに，第 23 次観測隊(1981)は，オングル島内の傾斜計に隣接して水準点３点を増設し，その水準測量(8.2 km)を行ったほか，基準重力点(重力振子測定点)，地学棟重力点，天測点等に取り付け観測を行った．その結果，天測点の高さ 29.1100ｍを得た.東オングル島内における水準点の改測は,第 32 次観測隊(1990)と第 33 次観測隊(1991)が験潮場付属水準点を含む９点(2.3 km)を行ったのが最初である．この作業では，新たに設置された IAGB 点の取り付け観測も行った.すべての水準点の改測(5.7 km)は第 37 次観測隊(1995)と第 38 次観測隊(1996)の両隊により，ディジタルレベルを使用して行われた．この作業では，天測点の取り付け観測も行われ,天測点の高さ 29.1094ｍを得た.その後，第 43 次観測隊(2001)はディジタルレベルを使用して，すべての水準点の改測を行った.

（２）西オングル島への水準路線の拡張

第 46 次観測隊(2004)は，ポストグレーシャルリバウンドによる基盤の傾斜の検出精度を高める目的で水準路線を西オングル島へ延長した．同島の東西路線及び南北路線に水準点を合計９点設置し，終点は既設の三角点に取り付ける路線とした．さらに東オングル島にも３点設置し，東西オングル島を結ぶ水準路線を整備した(図－14).第 47 次観測隊(2005)は，新設された西オングル島(6.5 km)と東オングル島(6.3 km)のすべての水準点で改測を行ったほか，第46次観測隊(2004)が新設したIGS点(SYOG)の付属標にも取り付け観測を行った(写真－16).



写真－16　オングル島における水準測量(第 47 次観測隊)

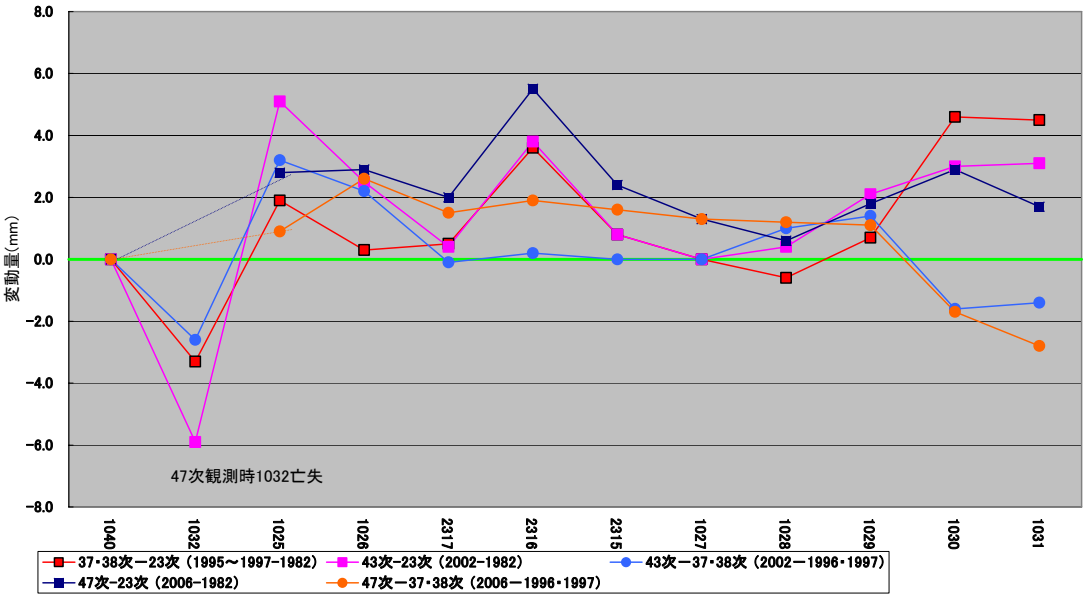
（３）水準測量(改測)の結果

東オングル島のポストグレーシャルリバウンドが進行中と推定され，３回の繰り返し観測が行われたが，隆起を認めるに足りる大きな変化は認められない(図－15).この意味では第 47 次観測隊(2005)が西オングル島まで水準路線を延長した意義は大きく，数年ごとに繰り返し観測を行い，検証することが今後も必要である．また，水準点の設置場所が基盤岩上か，あるいは氷河堆積物の岩上か等の検証も必要と思われる.さらには,験潮観測と水準点(No.1040)への取り付け観測が，海上保安庁海洋情報部によって毎年実施されており，験潮観測の結果と水準測量の結果を比較することも必要であろう.

：第 45 次観測隊までの水準路線

：第 46 次観測隊が新設した水準路線

図－14　東西オングル島の水準路線図



図－15　東オングル島の水準測量変動グラフ

３．５．３　まとめ

海上保安庁海洋情報部が東オングル島で行っている1981年から2001年までの験潮観測から,約1.5cmの地盤の隆起と考えられる結果が得られている.第 23 次観測隊(1981)が東オングル島の水準測量結果と第 47 次観測隊(2005)まで行われた３回の改測結果から，ポストグレーシャルリバウンドに伴う基盤の傾斜を見いだせない一要因として，島内隆起速度が東西でほぼ同じであること，隆起している最西端水準点(No.1027)と最東端水準点(No.1040)の距離が約1.5km程度と近いことから，隆起傾斜を認められないとも考えられる．ならばと，第 47 次観測隊(2005)は西オングル島まで水準路線を拡張し行ってきた．これにより東西間の距離が一気に４kmにもなり，傾斜の見いだしの期待値も増すことになる．また，東西オングル島や近隣の露岩で重力測量や GPS 観測を行った基準点もあり，これらの基準点での重力測量の改測,IGS点(SYOG)におけるGPS連続観測,干渉SAR等，新技術と組み合わせた統合的な解析を行うなど，地殻変動を検出する検証方法を検討することも今後は必要であろう.

３．６　GPS連続観測

南極観測第Ⅳ期(1990～1995 年度)５ヶ年計画において,「地殻動態の総合的監視・測量計画」の一つとして,「GPS連続観測」が観測計画の中に位置づけられた.これに基づき国土地理院では,第33次観測隊(1991)より SCAR のキャンペーン観測に参加した.また，第 36 次観測隊(1994)において昭和基地内にIGS 点(SYOG)を設置し，１日毎の観測データを日本に転送している.

３．６．１　SCARキャンペーン観測

SCARは,国際学術連合会議(ICSU)の委員会の一つである.

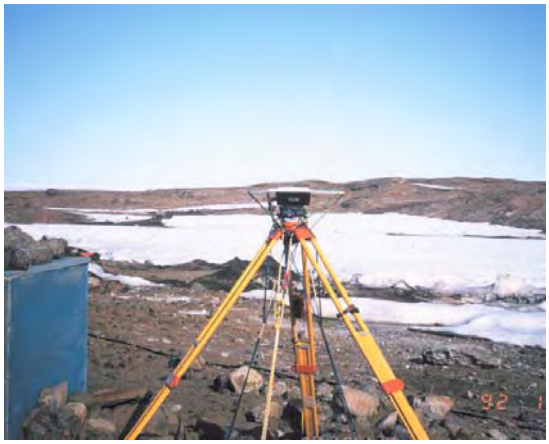
SCARのおもな目的は,南極で研究活動を行うすべての科学者のために彼らの現地調査活動を検討し南極条約加盟国間の科学研究の協力と共同作業を促進するためのフォーラムを提供することである.また,南極条約システムに対して科学的な助言を行うという重要な役割も持っている.

SCAR の測量，地図作成や GIS の活動は，WG-GGIで調整されていた．現在は，SSG-GS(The Standing Scientific Group on Geosciences)となっている.SSG-GSでは,上記目的のためGPSのキャンペーン観測を行っていて，国土地理院は，このキャンペーン観測に昭和基地のIGS点(SYOG)におけるGPS連続観測で参加している.

国土地理院は,SCARキャンペーン観測に参加するために，第 33 次観測隊(1991)において観測点の選定・設置作業を行った．観測点の選定にあたり，１）室内電源から30m以内であること，２）上空視界が約10度以上であること，３）人為的な電波障害，地物等の影響を受けない場所を考慮し，重力計室近傍に設置されている水準点(№23～16)を GPS 観測点(SYOW)と併用することを決定した．このGPS観測点(SYOW)においては第33次観測隊(1991)から第36次観測隊(1994)までSCARキャンペーン観測を行い(写真－17,18),その後はIGS点(SYOG)に引き継がれた.ただし，IGS 点(SYOG)が IGS 観測点として登録されてからは，IGS からインターネットでデータが公開されているため,国土地理院からSCARにデータの送付等は行っていない.

※SCAR の Web サイト：PERMANENT GEOSCIENTIFIC OBSERVATORY SITES(GPS,VLBI,DORISなど)
http://www.geoscience.scar.org/geodesy/perm_ob/sites.htm

写真－17　GPS観測点(SYOW)



写真－18　SCARキャンペーン観測

３．６．２　GPS連続観測

第35次観測隊(1993)は,GPS連続観測の事前調査を行い,「アンテナケーブル長による受信電波の損失を考慮し20mアンテナケーブル２本分の範囲」との

選点調査条件より，SCAR キャンペーン観測で観測点に使用した GPS 観測点(SYOW)の北方約７ｍの位置に３ｍ程度のアンテナタワーの建設が最良であると報告した．その後，増幅装置等の対処によりアンテナケーブル長が既存の製品の長さまで緩和されたため，第36次観測隊(1994)においてGPSアンテナ架台を重力計室の南西方向約 70ｍに設置し，GPS アンテナをセットした(図－16，写真－19)．また，GPS 受信機，データ管理装置等を重力計室に設置し，LAN を介して情報処理棟のデータ通信装置に GPS データ管理装置を接続した．

主な機器

・AOA TurboRogue SNR-8000	２式
・チョークリングアンテナ	２台(予備含む)
・ルビジウム周波数標準器(５MHz)	１台
・GPS データ管理装置(WS 等)	１式
・無停電電源装置	１台
・GPS アンテナ架台(架台高 1.6ｍ)	１基

図－16　GPS 連続観測点設置箇所

その後，３月中旬より GPS 連続観測の試験を実施したが，４月になってから 10～12 日おきに２台の GPS 受信機共に欠測することが分かった．原因を調査した結果，GPS 受信機内部の 10MB フラッシュカード(メモリーカード)にデータが一杯になると GPS データの受信を中止することが明らかになった．そのため受信機 No. １に予備用の４MB フラッシュカードを使用して連続観測を行った．また，受信機 No. ２については，ほぼ 10 日間おきにデータの消去を行って連続観測を継続した．このフラッシュカードの問題については，第 37 次観測隊(1995)によって持ち込まれた新しい４MB フラッシュカードにおいても同じ症状が現れたため，10MB，４MB(第 37 次観測隊持込分を含む)フラッシュカードと GPS 受信機(No. ２)を日本に持ち帰り，詳しく原因調査を行った．

写真－19　アンテナピラーと周辺観測施設

データ管理装置は，設置当初からワークステーション(以下，「WS」という．)のシステムにエラーメッセージが表示されたため，日本と連絡を取り合い対応したがエラーを取り除くことはできなかった．しかし，GPS データの管理には支障なく，GPS 受信機に取得された１日分のデータは翌日の定刻には WS 内にダウンロードされていた．原因不明のエラーがある状態でのデータ転送は，他のシステムへ悪影響を与えかねないことから，第 37 次観測隊(1995)による新システムへの変更の後日本へのデータ転送を行った．新システムへの変更後，12 月に WS のハードディスクに原因不明の故障が発生した．越冬終了間際まで対応策を検討したが，GPS 連続観測システムとして正常に作動させることは不可能と判断し，LAN 関係を除く全てのデータ管理装置を日本に持ち帰り，GPS データの管理及び日本への転送は人手を介して行った．その後，第 38 次観測隊(1996)が新たなデータ管理装置を設置したことにより，データの収集，

管理及び日本への転送が毎日自動的に行われるようになった(図－17，写真－20).

第 39 次観測隊(1997)において,GPS 受信機を 2000 年問題に対応するために，野外観測用の GPS 受信機を連続観測用に改良したものと交換した．また，第 43 次観測隊(2001)においては，システムの老朽化及び太陽活動の影響による電離層擾乱で信号強度の弱い L2 帯の受信不良解消のためシステムの更新を行った.

更新機器

・GPS 受信機：Trimble 4000SSI

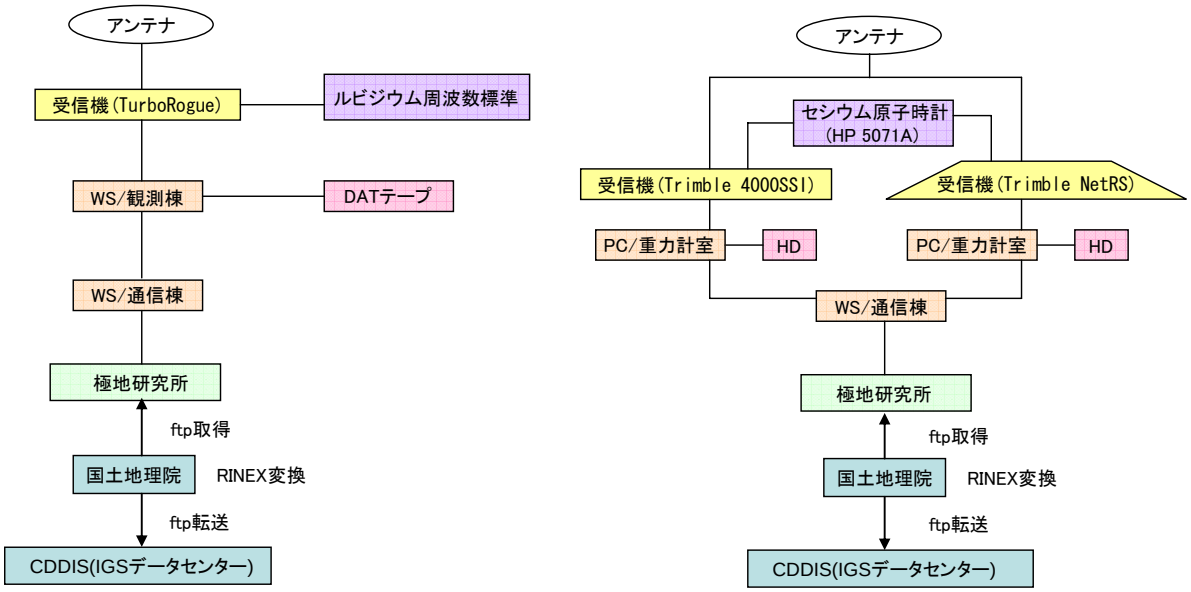
・セシウム周波数標準器(５MHz)

48 次観測隊（2007）においては、受信機を２台体制に整備した。

更新機器

・GPS 受信機：Trimble NetRS

その後現在まで，小さなトラブルが何件かはあったものの，１日１回 24 時間分の前日データが，ほぼ毎日南極より転送されている.



図－17　GPS 連続観測システムの概要図（左が設置当時，右が現在）

写真－20　受信機等システム（左が設置当初，右が現在）

３．６．３　GPS 連続観測の成果

GPS 連続観測データの解析は，1997 年に南極周辺地域の他の IGS 観測局のデータと供に行った．当時は IGS 観測点の数も少なく，また欠測が多く，二重位相差を用いて解析を行うことが難しいため，解析はアメリカ合衆国のジェット推進研究所(JPL)が開発した「GIPSY-OASISⅡ」を使用し，精密単独測位で行った．その解析結果から座標値・速度ベクトルを算出し，南極プレートの変動を推定した(図－18)．

昭和基地に設置した GPS 連続観測点は，南極大陸５番目の観測点として 1999 年５月 16 日に IGS に登録された．

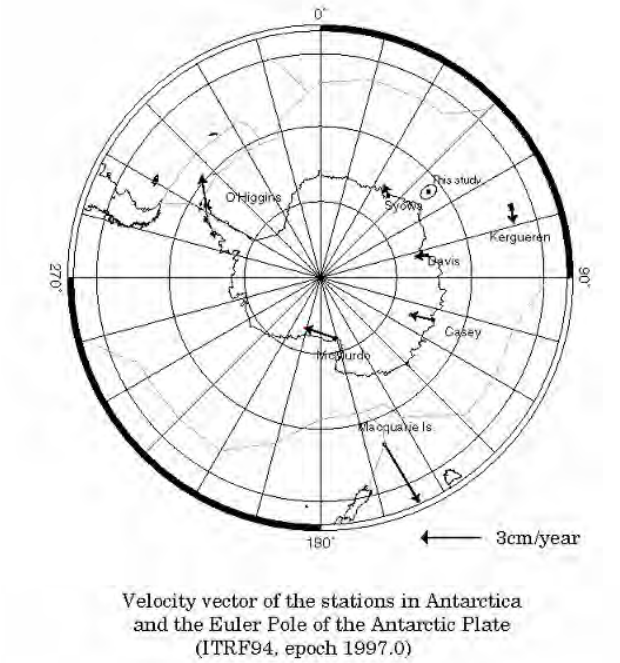
IGS の観測点は，南半球では少なく，特に南極大陸東海岸には観測点が少ないため，昭和基地の GPS 連続観測点は IGS のネットワークにおいても重要な位置を占めている．

南極大陸における GPS 連続観測に関する学会等の発表は，次のとおりである．

１)「精密単独測位解析による南極 GPS データの解析」

２)「南極大陸昭和基地及び IGS 観測点の GPS データの解析」

３)「南極地方の広域 GPS 連続観測データの解析」



図－18　南極地域の GPS 観測点の速度ベクトルおよび南極大陸のオイラー極（山田ほか，1998）

３．６．４　まとめ

昭和基地における GPS 連続観測は，当初の大きな目的の「地殻動態の総合的監視」の他にも，南半球に数少ない連続観測点として IGS へもデータを送信し，GPS 衛星の軌道決定等に貢献している．

また，リュツォ・ホルム湾，プリンスオラフ海岸や内陸地における各種オペレーションでの位置決定の原点としての重要度も増している．このため GPS 連続観測がとぎれることの無いよう維持していくのは，国土地理院の重要な責務である．

３．７　露岩域変動測量

露岩域変動測量は，露岩地域等において，氷床変動やポストグレーシャルリバウンドの検出などを目的として行っている．

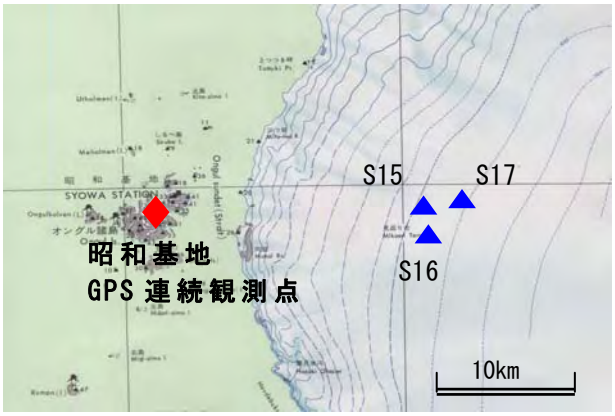
露岩域変動測量は，第 37 次観測隊(1995)からラングホブデにおいて，GPS 観測を開始した．第 38 次観測隊(1996)からは，南極大陸上の「S16」ポイント周辺における氷床変動観測(GPS 観測)，干渉 SAR による氷床移動速度計測（2007 年度開始）の精度検証も含め，毎隊次で観測を継続している．

また，第 41 次観測隊(1999)がラングホブデに太陽電池と風力発電機を有した無人の GPS 連続観測装置(以下，「GPS 固定観測点(LANG)」という．)を設置した．同観測点は，昭和基地周辺の沿岸域では初めて無人の GPS 連続観測を可能とした施設であり，設置以降，継続的に観測を行っている．

３．７．１　氷床変動観測

（１）氷床上の基準点

観測地域は，昭和基地の東方約 19 kmに位置し，昭和基地の IGS 点(SYOG)との楕円体比高が，＋589 mの「S16」周辺である(図－19)．S16 観測点における観測は，第 38 次観測隊(1996 年) 12 月から実施しているが，基準点標識である測量用ポールは，雪氷グループが，GPS 観測による氷床流動の測定のため 1992 年に設置したものを利用している．



図－19　昭和基地と S16 周辺観測点

また，S15 及び S17 観測点は，より多くのデータを取得するため，第 39 次観測隊(1997)が設置した．S15 観測点は，気象観測装置がある気象ロボット近傍に設置され，S17 観測点は，S16 観測点から内陸に

約１km 進んだ地点に設置している．

各観測点のポールは，積雪や風などの影響により，埋没や損傷があるため，これまでに交換や継ぎ足しを行っている．その対応状況は，表－10 のとおりである．

表－10　観測点のポールの状況

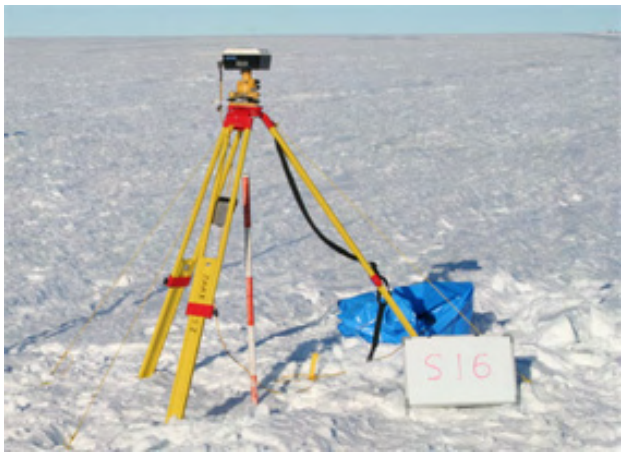
観測点	状　　況
S15	・第 47 次観測隊（2006.01）が観測終了後ポール交換.新ポール上面は旧ポール上面より＋１m.（写真－21） ・第 48 次観測隊（2007.02）が観測終了後ポール交換、新ポール上面は旧ポール面より＋0.52m
S16	・第 44 次観測隊（2003.02）がポール亡失のため２段ポールを新設（１m＋１m）. 観測時は上段ポール（１m）を抜いた状態で実施（第 44，45，46 次観測隊）.
S17	・第 40 次観測隊(1998)が観測終了後ポール交換.新ポール上面は旧ポール上面より＋0.49m. ・第 43 次観測隊（2001）がポール亡失のため２段ポールを新設（１m＋１m）. 観測時は，第 43，44，45 次観測隊は上段ポール（１m）を抜いた状態，それ以降はポールを抜かずに実施.

写真－21　S15 観測点のポール
（上）：2006 年１月ポール交換前　，（下）：交換後

（２）氷床上の観測

観測に際しては，氷床上ということで観測中に三脚が動き，致心ずれが生じるおそれがあるため，三脚の石突き部を 20cm ほど雪中に埋め,その周囲を踏み固め，さらにロープとペグで固定している．この方法によって三脚は雪で固まり，観測中は全く致心にずれが生じない．また，バッテリーも風雪に耐えられるようにプラスチックケースに入れビニールシート等で包み，雪中に埋めて設置することにより，低温によるバッテリーの劣化をある程度防いでいる(写真－22).

観測は，夏期間の 12 月～２月の間に 24 時間以上実施する観測計画で実施している．天候や観測隊の作業変更等によって 24 時間以上のデータを取得できない年もあるが,観測を開始した 1996 年から現在までの 10 年間途切れることなくデータを取得している．観測に使用した GPS 受信機とアンテナは，第 43 次観測隊(2001)までは Trimble4000SSI 及び 4000SSE と COMPACT L1/L2 with Groundplane であり，第 44 次観測隊(2002)からは,Trimble5700 と Zephyr antenna である．また，基準局となる IGS 点(SYOG)の受信機は,第 36 次観測隊(1994)に設置された当初は AOA-Turborogue であったが,第 40 次観測隊(1998)で Trimble4000ssi に交換し現在に至っている.アンテナは，当初から D/M チョークリングアンテナである．なお，データ取得間隔は，30 秒，最低仰角は 15 度である．



写真－22　S16 地点での観測状況

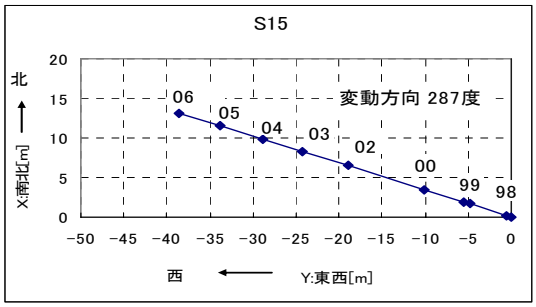
（３）解析結果

解析は，IGS 点(SYOG)を基準とし，S15，S16，S17 観測点それぞれの相対位置を求めている．解析ソフトウェアは，GAMIT/GLOGK を用いている．

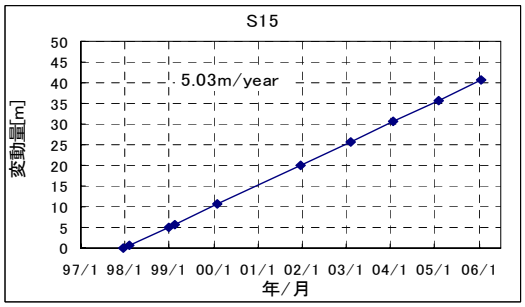
図－20，21，22 は，第 38 次観測隊(1996)から第 47 次観測隊(2005)までの各観測点の水平方向の移動量を示したものである．また，図－23，24，25 は，年間の移動速度の変化を示したものである．これら

の図から，S15 及び S16 は，西北西方向に年間約５m移動していることがわかった．一方，S17 は西北西方向に年間 4.7m移動している．いずれの観測点でも移動速度は，ほぼ一定である．

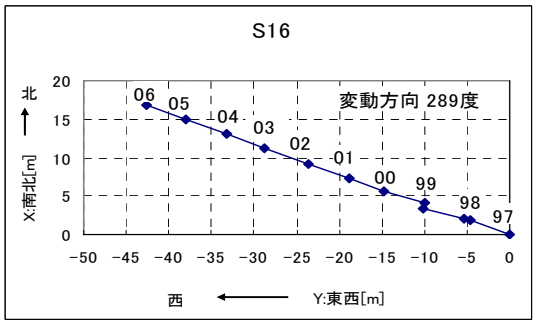
氷床の鉛直方向の移動量については，観測期間が短いこと，短時間の観測では十分な精度が得られないことなどから，明らかになっていない．今後も継続して観測することで明らかにできると考えられる．



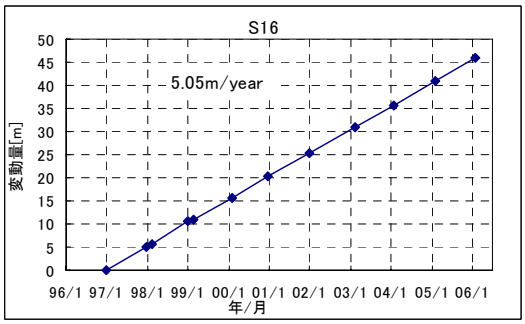
図－20　S15 における水平成分の変動



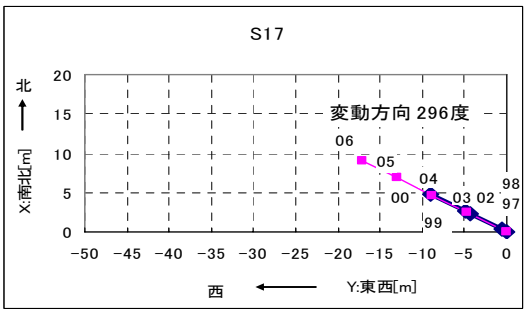
図－23　S15 における変動速度



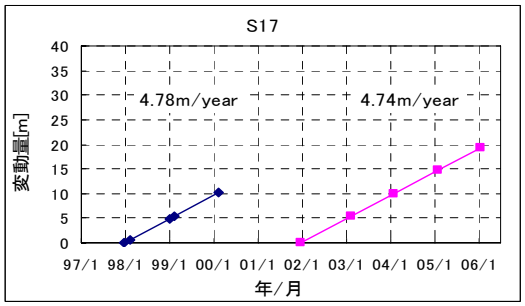
図－21　S16 における水平成分の変動



図－24　S16 における変動速度



図－22　S17 における水平成分の変動
※2001 年再設



図－25　S17 における変動速度
※2001 年再設

第 38 次観測隊(1996)，第 39 次観測隊(1997)及び第 40 次観測隊(1998)は，２日以上の観測を実施し１日あたりの移動量を算出している(表－11)．移動量の算出で使用した観測データは，第 38 次観測隊(1996)では 1996 年 12 月 20 日の６時間観測と 23 日の６時間観測，第 39 次観測隊(1997)では 1997 年 12 月 20 日の６時間観測と 1998 年２月７日の６時間観測，第 40 次観測隊(1998)では 1998 年 12 月 27 日の６時間観測と 1999 年２月 14 日の６時間観測である．また，最近の移動量として第 46 次観測隊(2004)観測の 2005 年２月４日と第 47 次観測隊(2005)観測の 2006 年１月 23 日それぞれの結果からは１日あたりの移動量を算出し比較を行った．その結果，１日あたり移動量は，S15 及び S16 で 13～14 ㎜程度，S17 で約 13 ㎜であった．

以上のようにこれまでの観測によって，S16 付近の過去 10 年間の氷床の水平変動を捉えることができた．その結果，より内陸部の S17 観測点の移動量は他の観測点より小さいことが明らかとなった．これは，本山ほか(1995)の報告と調和的である．また，定期的な観測が有効であるともに，数日という短期間においても氷床の水平変動量を捉えられることが

明らかになった．今後は，S16 付近の観測を引き続き継続するとともに，沿岸の「とっつき岬」周辺や内陸寄りのポイントにおいても観測することにより，さらに多くの氷床の変化を捉えることが可能であるとともに，観測を継続することによって鉛直成分の移動量も明らかにできると考えられる．

観測隊員は，今まで経験のない氷床(雪)上の観測ということで「三脚が，ずれるのではないか」，「強風に飛ばされるのではないか」などの心配をしながら現地に出発して行く．しかしながら前年の隊員の経験を生かして雪を掘り，そこに三脚を据えると，これなら大丈夫と思うのである．雪を踏み固めると，三脚はしっかり固定され，時間が経過するほどその強さは増し，観測終了時は逆に撤収が大変なほどである．また，連続観測のためのバッテリー交換も重要な作業であった．雪上車に宿泊し，場合によっては夜遅くなっての強風の中のバッテリー交換作業は，とても辛いものである．

表－11　１日あたりの移動量

隊次	S15		S16		S17	
	移動量	方向	移動量	方向	移動量	方向
第 38 次観測隊	---	---	12.8	283	---	---
第 39 次観測隊	13.1	288	13.2	290	13.1	296
第 40 次観測隊	14.0	286	14.0	290	13.0	296
第 46－47 次観測隊	14.1	288	14.0	292	13.0	298

単位：移動量(mm／日)，方向(度　ただし，平面直角座標の X 軸を基準とした方向角)

３．７．２　GPS 固定観測

（１）GPS 固定観測点の概要

GPS 固定観測点(LANG)は，第 41 次観測隊(1999)が 2000 年１月ラングホブデの雪鳥沢に設置した(図－26，写真－23)．この観測点は，GPS アンテナ，GPS 受信機，データ収録装置，蓄電池等で構成されており，設置当初のデータ取得間隔は 120 秒で，１日に１ファイルを生成し，収録装置に１年間のデータを保存していた．

その後，第 44 次観測隊(2002)が，2003 年２月に大容量のデータが記録できる GPS 受信機に交換したことにより，データ取得間隔は 30 秒で，１日１ファイルに生成した１年間のデータの保存が可能となったため，データ収録装置を撤去した．

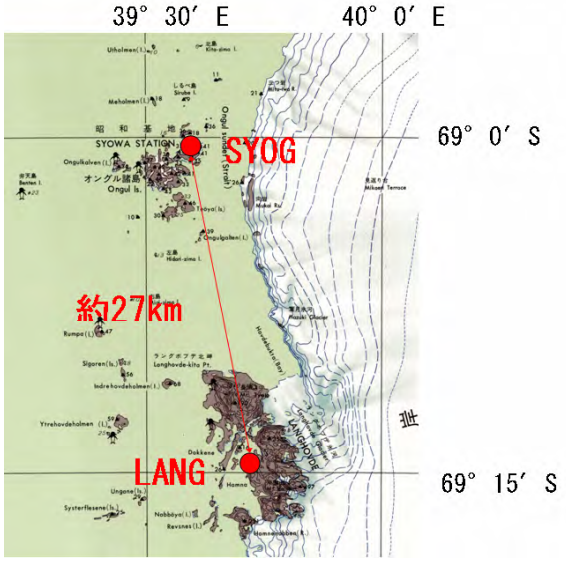
観測データは，オフラインで処理しているため，夏期間に１年分のデータを回収し，日本に持ち帰っている．

年間を通して欠測なくデータを得るためには太陽電池が使えない極夜期の電源確保が課題であった．第 42 次観測隊(2000)は，風力発電機の故障，蓄電池破損等への対応として，過充電防止器の設置等を行ったが，その後も風力発電装置の故障は続いたことから，第 45 次観測隊(2003)で風力発電装置を撤去した．

第 46 次観測隊(2006)は，初めて太陽電池により発電された電気を無駄なく利用するためキャパシタを利用した電源システムを導入した．この電源システムは，極夜期の電源確保を目的に電気二重層キャパシタと太陽電池を利用して極夜期の薄明かりの中でも蓄電可能な PV-ECaSS システムを採用している．従来の蓄電システムでは，薄明かりで発電される電気の電圧が低かったため蓄電ができなかったが，この微弱な電気を貯めることができるのが「キャパシタ」である．電池は化学反応を利用して蓄電するが，テレビやラジオに昔から使われているコンデンサは電気を電子のまま蓄える．その蓄電容量のきわめて大きなものが「電気二重層キャパシタ」であり，キャパシタ(写真－24)とはコンデンサの別名である．

また，第 47 次観測隊(2007)は，太陽電池保護のためのパネル設置及びキャパシタの増設等を行ってきた．これらの対応により，目標であった年間を通して欠測の無いデータ取得が可能となった．

表－12 に GPS 固定観測点の保守の概要を示す．



図－26　GPS 固定観測点位置図

写真－23　ラングホブデ GPS 固定観測点

写真－24　GPS 固定観測点ボックス内部
右下の青いボックスがキャパシタ

表－12　GPS 固定観測点の保守状況

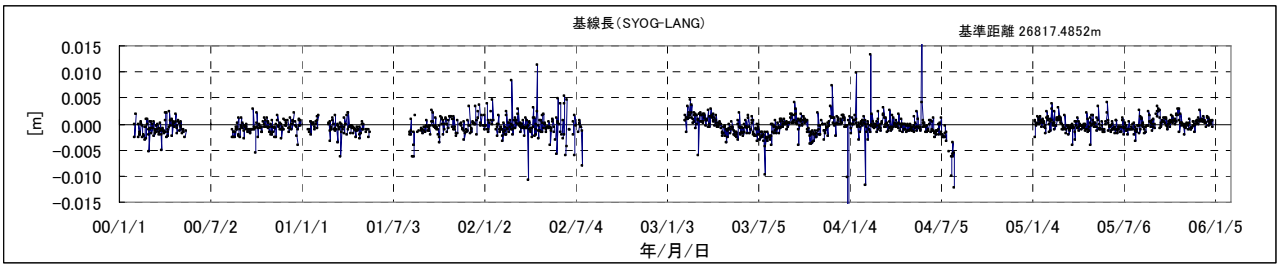
年月日	システム状況	対策
2000 年 2 月	GPS 固定観測点設置	
2001 年 2 月	強風による過充電から蓄電池が破壊	過充電防止器設置
2002 年 2 月	風力発電装置故障	風力発電装置交換
2003 年 2 月	風力発電装置及び GPS 受信機故障	風力発電装置本体交換，GPS 受信機交換(Trimble4000ssi → Trimble5700)
2004 年 1 月	風力発電装置故障	風力発電装置撤去
2005 年 2 月	蓄電池交換，新システム(PV-ECaSS システム：キャパシタ)導入	
2006 年 1 月	東側太陽電池パネル交換及び補強，キャパシタ増設	
2006 年 12 月	レドーム交換	

（２）得られた成果

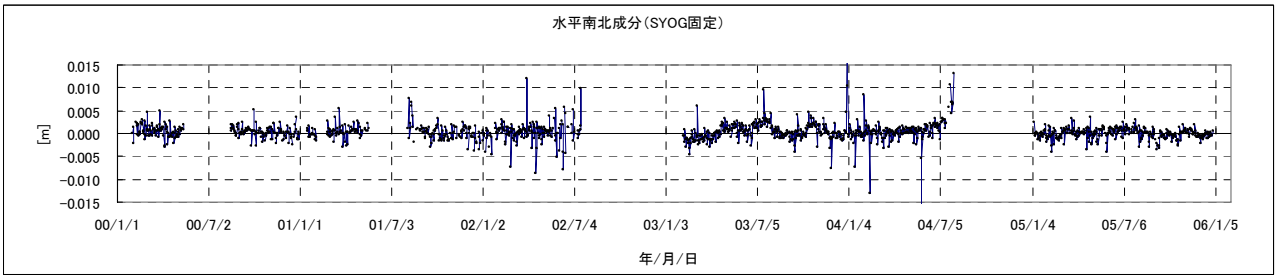
GPS 固定観測点(LANG)の位置は，IGS 点(SYOG)を基点として，GAMIT/GLOBK による精密基線解析で求めている．その結果を図－27，28，29 に示す．

データの取得は，風力発電装置の度重なる故障が原因で極夜期の欠測が続いたが，2003 年２月に GPS 受信機を低消費電力型に変更したことにより，2000 年に測定を開始して以降，初めて１年間欠測のないデータ取得に成功した．その後，電気系統のトラブルにより再度欠測があったが，2005 年２月のキャパシタを利用した電源システムの導入によって安定したデータが取得できるようになった．

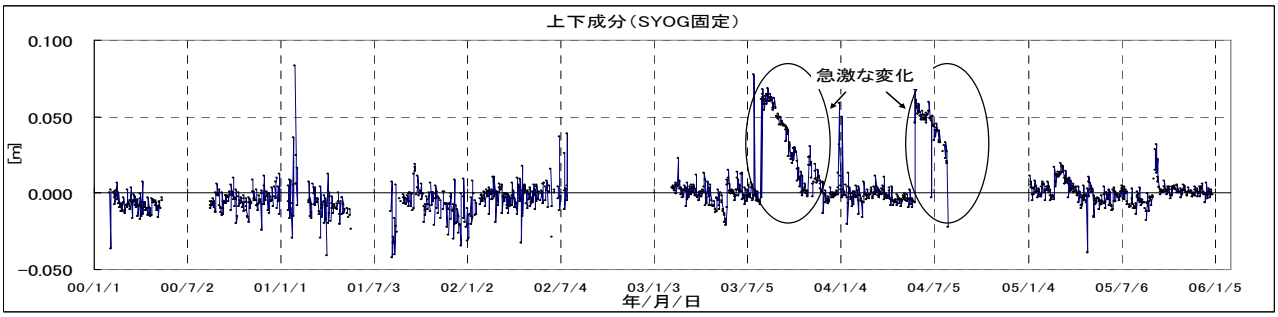
解析結果については，水平成分は，測定を開始して以降１cmを超える有意な変化は見られていないものの，上下成分には急激な変化が定期的に現れている(図－29，第 45 次観測隊(2003)，第 46 次観測隊(2006)回収データ)．この急激な上下成分の変化は，上昇した後に数ヶ月かけて上昇前と同じ高さまで戻る結果となっている．この理由を明らかにするため，基点を昭和基地の東方約 1,000km にあるモーソン基地(オーストラリア)の IGS 点(MAW1)に変え，IGS 点(SYOG)及び GPS 固定観測点(LANG)の位置を，GPS 固定観測点(LANG)で上下成分について変化が見られた期間について同様に求めた．その結果，IGS 点(SYOG)については有意な変化は見られなかったものの，GPS 固定観測点(LANG)については IGS 点(SYOG)を基点としたときと同様に上下成分に変化が見られた．また，解析ソフトを GAMIT/GLOBK から GIPSY-OASISⅡに変更し解析を行ったが同様に上下成分に変化が見られた．この原因については，不明な点が多く，今後の課題として観測を続けながら調査していく必要がある．



図－27　基線長(SYOG－LANG)



図－28　水平南北成分(SYOG 固定)



図－29　上下成分(SYOG 固定)

３．７．３　まとめ

「S16」周辺での氷床変動観測は，定期的に繰り返して観測することで氷床の継続的な変動を明らかにするとともに，数日程度の短時間の観測でも氷床の変動を高精度で捉えられることを明らかにした．今後とも観測を継続することや観測地域を拡大することの重要性を示唆した．

一方，ラングホブデでの GPS 観測は，露岩域変動観測が開始された第 37 次観測隊(1995)当時は，GPS の受信機を基準点上に三脚で設置して観測を実施していたが,第 41 次観測隊(1999)では無人観測を可能とした GPS 固定観測装置を開発して設置した．それから７年が経過し，一番の懸案であった電力供給の難題も隊員の創意工夫もあって克服し，目標であった欠測のないデータ取得が可能となった．それにより変動を捉えるための観測を着実に実施しつつある．

今後とも，南極大陸における GPS 無人観測施設として,安定したデータ取得を行うことが重要であり，ポストグレーシャルリバウンドの検出等に貢献できると期待されている．

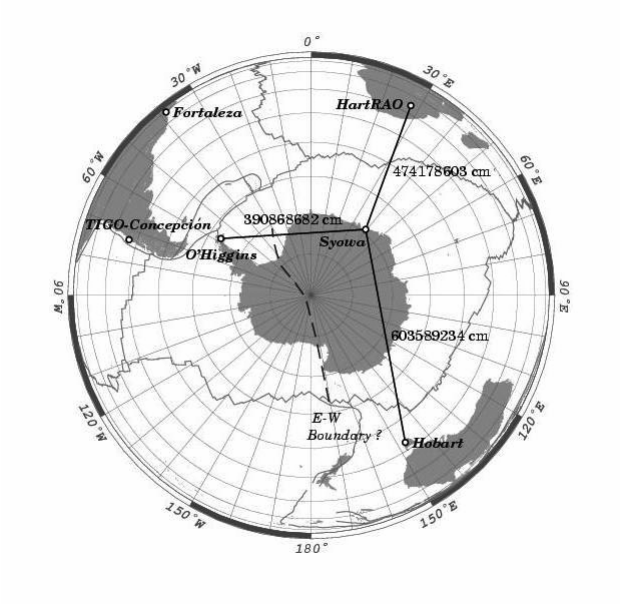
３．８　VLBI 観測

JARE では，昭和基地において，1998 年より定期的な VLBI 観測を開始した．この観測は,「昭和 VLBI 観測」あるいは「SYW セッション」と呼ばれ，南半球基準座標系の高精度化と南極プレート運動の検出を目的として，オーストラリアや南アフリカの VLBI 観測局と共に観測を行った．これは，南極域において年間を通じて行われる初めての VLBI 観測であった．一方，南極にはもう１つ，南極半島に VLBI 観測局(O'Higgins 局)があり，1992 年より，O'Higgins 局及び南半球の VLBI 観測局がほとんど参加した観測が行われていた(現在,「OHIG セッション」と呼ばれている)．昭和局は，1999 年にこの OHIG セッションへの参加を開始した．これは，昭和－O'Higgins という南極域内での基線による初めての観測となった．図－30 に南半球の VLBI 観測局の配置図を示す．

SYW セッションは 2004 年に終了し，代わりに，南

半球天体基準座標系の高精度構築を目的としたCRDS セッションへの参加を開始している．現在は，引き続き OHIG セッションに参加するとともに，このCRDS セッションに随時参加している．

この昭和基地における VLBI 観測には，第 40 次観測隊員(1998)として国土地理院の職員が参加し，観測を担当した．



図－30　南半球の VLBI 観測局の配置図(基線長の元期は 1999 年 11 月 8 日)

３．８．１　昭和基地における VLBI 観測の概要

昭和基地における VLBI 観測は，基地内に設置されている多目的アンテナを用いて行われる．この多目的アンテナは直径 11mのパラボラアンテナであり，VLBI 観測の他，オーロラ観測衛星や地球観測衛星からの信号電波の受信に用いられてきた．写真－25 に多目的アンテナの外観を示す(南極での強い吹雪(ブリザード)からパラボラアンテナを保護するため，直径 17mのレドームに覆われている)．このアンテナは 1989 年に建設されたが，当初から VLBI 観測が行えるような設計になっていた．

GPS が人工衛星からの電波を受信して測位を行うのに対し，VLBI では，電波を発する天体(電波星)からの電波を受信して測位を行う．アンテナで受信された電波星からの電波(２及び８GHz 帯)は，アンテナの背面小室で中間周波数(100～500MHz)に周波数変換され，観測室である衛星受信棟へ伝送される．観測室では，更にビデオ帯周波数(２あるいは４MHz 帯)に周波数変換され，アナログからデジタル信号に変換された後，一旦，磁気テープあるいはハードディスクに記録される．この記録された受信データは，年に一度，南極観測船により日本に持ち帰られて，データ記録方式変換や相関処理・基線解析等の処理が行われる．

写真－25　昭和基地の多目的アンテナ(後方のレドーム内，前方は GPS 連続観測点)

昭和基地で行われる VLBI 観測は，開始当初の 1998 年には 48 時間で１セッションとしていたが，観測者の負担軽減等のため，1999 年以降，24 時間で１セッションへと変更された．

表－13 に 2006 年までに昭和基地で行われた VLBI 観測セッションの一覧を示す．

SYW セッションは，JARE が主催する観測で，1998 年には年４回，1999 年には年７回，2000 年には年８回，それ以降は年４回行われ，すべてに昭和局が参加した．越冬期間中も含めて観測が行われ，実施される間隔がほぼ均等になるように観測日が設定された．

一方，OHIG セッションは，当初はドイツ国 Bonn 大学，現在では国際 VLBI 事業(IVS：International VLBI Service for Geodesy and Astrometry)が主催する観測で，南半球の春(11 月)及び夏(２月)に３回ずつ，集中して行われる．これは，南極半島の O'Higgins 局へドイツから観測者及び技術者を派遣するのが，春季及び夏季に限られるためである．昭和局はこのセッションへの参加を基本としているが，スケジュールの都合で参加しない場合もある．

2005 年から参加を開始した CRDS セッションは，IVS が主催する観測で，年間 10 回ほど行われるが，昭和基地の参加は不定期である(2005 年には２回参加したが，2006 年は不参加)．

表－13　昭和基地で行われた VLBI 観測一覧

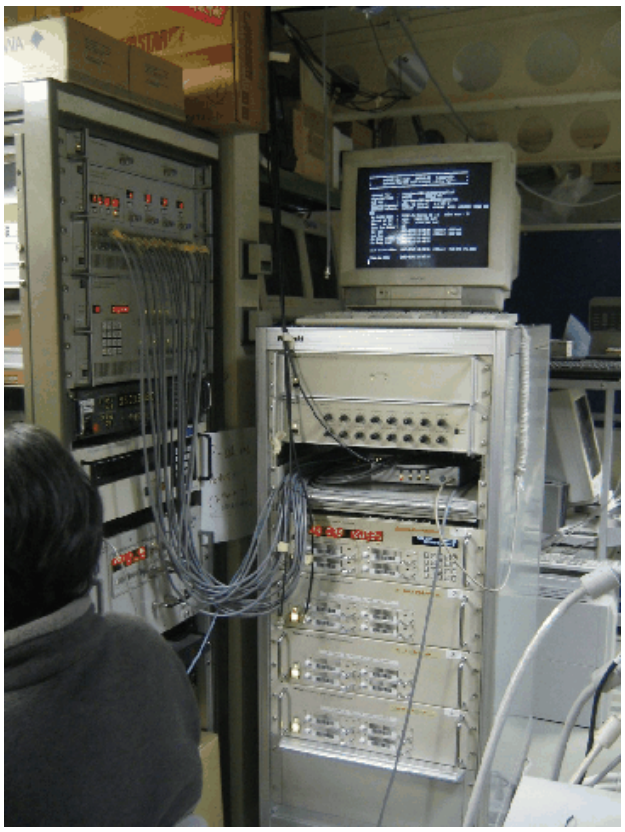
セッション名	観測日	参加局	観測状況
JA981	98/Feb/09	Ho,Hh,Ka	失敗
JA982	98/May/11	Ho,Hh,Ka	失敗
JA983	98/Aug/09	Ho,Hh	失敗
JA984	98/Nov/09	Ho,Hh,Pa	成功
CRF07	99/Feb/15	Ho,Hh,Ft,Kb,Wz	失敗
SYW991	99/Feb/17	Ka	成功
COHIG6	99/Feb/18	Ho,Hh,Ft,Kk	失敗
SYW992	99/May/13	Ho,Hh	成功
SYW993	99/Jul/15	Ho,Hh	成功
SYW994	99/Aug/26	Ho,Hh	成功
SYW995	99/Sep/09	Ho,Hh	成功
SYW996	99/Oct/07	Ho,Hh	成功
COHIG7	99/Nov/08	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
COHIG8	99/Nov/10	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
COHIG9	99/Nov/11	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
SYW997	99/Nov/18	Ho,Hh	成功
SYW008	00/Feb/02	Ho,Hh	成功
COHG12	00/Feb/10	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
SYW009	00/Mar/20	Ho,Hh	成功
SYW010	00/Jul/03	Ho,Hh	成功
SYW011	00/Aug/08	Ho,Hh	成功
SYW012	00/Sep/11	Ho,Hh	成功
SYW013	00/Oct/05	Ho,Hh	成功
COHG13	00/Oct/09	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
SYW014	00/Nov/20	Ho,Hh	成功
SYW015	00/Dec/07	Ho,Hh	成功
SYW016	01/Feb/07	Ho,Hh	成功
COHG14	01/Feb/14	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
COHG15	01/Feb/19	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
SYW017	01/Apr/23	Ho,Hh	失敗
SYW018	01/Jul/30	Ho,Hh	成功
SYW019	01/Oct/04	Ho,Hh	成功
SYW020	01/Nov/14	Ho,Hh	成功
COHG16	01/Nov/26	Hh,Ft,Kk	成功
SYW021	02/Jan/16	Ho,Hh	成功
OHIG19	02/Feb/11	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
SYW022	02/Apr/29	Ho,Hh	成功
SYW023	02/Aug/12	Ho,Hh	成功
SYW024	02/Nov/04	Ho,Hh	成功
OHIG20	02/Nov/12	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	成功
OHIG22	02/Nov/20	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	成功
SYW025	03/Jan/16	Ho,Hh	失敗
OHIG23	03/Jan/20	Ho,Hh,Ft,Oh,Tc	成功
SYW026	03/Apr/10	Ho,Hh	成功
SYW027	03/Aug/06	Ho,Hh	成功
OHIG27	03/Nov/19	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	失敗
SYW028	03/Nov/26	Ho,Hh	失敗
OHIG28	03/Dec/03	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	失敗
SYW029	04/Jan/07	Ho,Hh	成功
OHIG29	04/Feb/10	Ho,Hh,Ft,Oh,Tc	成功
SYW030	04/Apr/07	Ho,Hh	失敗
SYW031	04/Aug/18	Ho,Hh	成功
OHIG32	04/Oct/16	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	失敗
OHIG33	04/Nov/09	Ho,Ft,Oh,Kk,Tc	成功
OHIG34	04/Nov/30	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	成功
OHIG35	04/Dec/08	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	成功
SYW032	04/Dec/13	Ho,Hh	成功
OHIG36	05/Jan/26	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
OHIG37	05/Feb/02	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
OHIG38	05/Feb/15	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk	成功
CRDS18	05/Apr/11	Ho,Hh	未処理
CRDS19	05/May/10	45,Hh	未処理
OHIG39	05/Nov/08	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	成功
OHIG40	05/Nov/09	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	成功
OHIG41	05/Nov/16	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	成功
OHIG42	06/Jan/31	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	未処理
OHIG43	06/Feb/08	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	未処理
OHIG44	06/Feb/14	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	未処理
OHIG45	06/Nov/07	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	未処理
OHIG46	06/Nov/14	Ho,Hh,Oh,Kk,Tc	未処理
OHIG47	06/Nov/29	Ho,Hh,Ft,Oh,Kk,Tc	未処理

Ho:Hobart, Hh:HartRAO, Ft:Fortaleza, Oh:O'Higgins, Kk:Kokee, Tc:TIGO-Concepcion, Ka:Kashima, Pa:Parks, 45:DDS45, Kb:Kashima34, Wz:Wettzell

３．８．２　隊員の活動

昭和基地における VLBI 観測は，当初，国立極地研究所のプロジェクト研究観測として位置づけられて開始された(現在は，モニタリング観測に移行)．しかし,国立極地研究所には VLBI 観測の専門家がいなかったため,定期的な観測を開始した第 39 次観測隊(1997)では国立天文台から，次の第 40 次観測隊(1998)では国土地理院から専門家を派遣し，VLBI 観測の立ち上げに力をそそいだ.第 39 次観測隊(1997)では観測開始初年であったためトラブルが続出し失敗が多かったが,第 40 次観測隊(1998)では観測時の問題点や注意事項を洗い直すことにより昭和基地に最適な観測手法が確立され，トラブル無く観測が行えるようになった．それ以降，ほぼ順調に観測が行われている．写真－26 に観測室内の観測機器を示す.

なお，VLBI 観測を担当する隊員は，越冬隊地学部門に所属し，VLBI 観測以外にも，GPS 等衛星測地観測や重力計観測等の測地観測を担当する．また，昭和基地内には，VLBI，GPS，DORIS 及び地上の基準点と，測地基準点が多数あるため，お互いの位置関係の測量(コロケーション観測)を行うのも観測隊員の大きな任務の一つである．



写真－26　昭和基地の観測室内の VLBI 観測機器

３．８．３　得られた成果

日本に持ち帰られた観測データは，データ記録方式変換や相関処理・基線解析等の処理が行われる．データ記録方式変換については，国土地理院あるいは国立天文台等により行われ，相関処理・基線解析については，国土地理院と国立極地研究所により共同して行われている．1999 年以降の観測について順調に解析結果が得られており，プレート運動等が検出されつつある．ここでは，Fukuzaki et al. (2005) の結果より，VLBI 観測の成果を概観する．

VLBI の解析では，最初に，各セッションにおける各観測局間の基線長が算出される．また，各セッションの基線長の時系列的な変化を調べることにより，各基線の基線長変化率を求めることができる．表－14 に VLBI 及び GPS から求められた昭和－Hobart，昭和－HartRAO 及び昭和－O'Higgins 基線の基線長変化率を示す．これらの基線長変化は，南極プレート，オーストラリアプレート及びアフリカプレートの各プレートの運動を反映していると考えられる．また，VLBI 及び GPS の結果は，いずれの基線でも誤差の範囲内で一致している．

表－14　VLBI と GPS による基線長変化率

	昭和—Hobart (mm/年)	昭和—HartRAO (mm/年)	昭和－O'Higgins (mm/年)
VLBI	58.4±1.9	10.9±1.9	4.5±3.1
GPS	56.0±0.3	13.0±0.2	0.6±0.7

次に，準拠する測地系を設定することにより，セッション毎の昭和局の座標が算出され，複数のセッションのデータを統合して解析することにより，その移動速度を算出することができる．表－15 に上下・東西・南北成分で表した昭和局の移動速度を示す．誤差が大きいものの，VLBI によって年間約５㎜の上方向の変化(隆起)が検出されている．一方，GPS では，年間約２㎜であり，いずれも隆起の傾向を示している．これは，ポストグレーシャルリバウンドの検出を期待させる．

表－15　昭和局の移動速度

	上下(mm/年)	東西(mm/年)	南北(mm/年)
VLBI	4.6±2.2	-2.5±0.6	4.0±0.7
GPS	2.3±0.3	-4.4±0.2	-0.2±0.2

得られた基線長変化率及び上下方向の移動速度より，VLBI 及び GPS の結果をプレート運動モデル NNR-NUVEL-1A と比較する．NNR-NUVEL-１A では上下方向の変動を仮定していないので，VLBI 及び GPS の基線長変化率から，昭和局及び O'Higgins 局の移動速度の上下成分を差し引く．ここでは，昭和局を年間３㎜，O'Higgins 局を年間５㎜の隆起と仮定する．VLBI 及び GPS の水平成分のみの基線長変化率，及び NNR-NUVEL-１A の基線長変化率を表－16 に示す．いずれも，誤差の範囲内で一致しており，VLBI や GPS で求められるプレート運動が，モデルと一致していることを示している．

表－16　上下変動を差し引いた基線長変化率

	昭和—Hobart (mm/年)	昭和—HartRAO (mm/年)	昭和－O'Higgins (mm/年)
VLBI	57.0±1.9	9.8±1.9	2.0±3.1
GPS	54.6±0.3	11.9±0.2	-1.9±0.7
NNR-NUVEL-1A	52.73	11.46	－