

国土地理院南極地域観測事業 50 年の変遷 50 Years of Antarctic Research Expedition by the Geographical Survey Institute

企画部・測地部・測図部・地理調査部 Planning Department, Geodetic Department, Topographic Department and Geographic Department

要 旨

我が国の南極地域観測事業は、1957～1958 年の国際地球観測年を契機に開始された。国土地理院は、南極観測事業を担う測量技術者を 1956 年の第 1 次観測から毎次隊員を派遣し、今日の第 48 次観測隊までに延べ 83 名を派遣してきた。国土地理院の南極地域観測は、基準点測量、空中写真測量による南極地図作成及び重力測量、地磁気測量等を実施している。本稿では、これまでの国土地理院の南極観測における 50 年間の歩みと測量技術変遷及び南極観測の成果の概要をまとめた。

1. はじめに

我が国の南極地域観測事業は、第 3 回国際極年（IPY：International Polar Year）の観測範囲を全地球規模に拡大した国際地球観測年（IGY：International Geophysical Year）を契機に開始された。

1956 年 11 月 8 日、日本南極地域観測隊（JARE：Japan Antarctic Research Expedition）第 1 次観測隊 53 名を乗せた「宗谷」が東京を出航し、1957 年 1 月 29 日、南極の地に第一歩をのしこった。この 2006 年秋には 50 年が経過し、日本の南極観測は、オゾンホールや大量の隕石の発見、オーロラの発生メカニズムや氷床コアによる過去 32 万年の気候変動の解明等、大きな科学的成果を上げてきた。

国土地理院においても、その前身である地理調査所から南極観測事業を担う測量技術者を第 1 次観測から毎次隊員を 1 名以上派遣し、今日の第 48 次観測隊までに延べ 83 名を派遣してきた。

国土地理院の南極地域観測は、基準点測量、空中写真測量による南極地図作成及び重力測量、地磁気測量等を実施している。その成果は、南極上陸まで全く人類未到の地であった昭和基地周辺をはじめとし、西は「セール・ロンダーネ山地」から東は「プリンスオラフ海岸」、南は「やまと山脈」までの地形図や衛星画像図などを作成するとともに、地学的、地球物理的現象の解明に資する地球物理観測を行い、順次まとめ上げ提供し、観測隊等が広く多方面に研究活動するための基盤を築いてきた。

さらに今日では、測量技術の進展により、昭和基地などに GPS 連続観測点を設置し、南極大陸の地殻変動の観測、氷河の後退による地殻の隆起現象の監

視や絶対重力測定など、地球物理的現象の解明に役立つ、より精密な観測を進めている。また、南極研究科学委員会（SCAR：Scientific Committee on Antarctic Research）の勧告に基づき、天文測量による古い測地系から世界測地系へ移行するための基準点測量も実施してきている。

本稿では、これまでの国土地理院の南極観測における 50 年間の歩みと測量技術変遷及び南極観測の成果について紹介する。

2. 南極地域観測事業の概要

2. 1 南極観測開始から現在までの経過

2. 1. 1 国際地球観測年と国際極年

地球を取り巻く地球物理学的研究調査は、1882 年から 1 年間にわたり第 1 回 IPY と称する国際共同観測から始まった。これは主に気象、海洋、地磁気、オーロラの諸観測で、中緯度 34 カ所、両極地域で 14 カ所の観測所を設け、日本を始め 12 ヶ国の参加によって行われた。第 2 回 IPY は 50 年後の 1932 年から 1 年間にわたり、44 ヶ国が参加し、前回と同様に全地球規模の地球物理学的研究調査が行われた。とくに両極地域に関しては北極観測が主力に置かれ、南極大陸内での観測は実現されなかったが、周辺のサウス・ジョージ島、ケルゲレン島等の諸島での観測は行われた。第 2 回 IPY から 25 年目にあたる 1957～1958 年にかけて国際地球観測年を実施することが、1951 年国際学術連合会議（ICSU：International Council of Scientific Unions）で採択された。IGY では、オーロラ、大気光（夜光）、宇宙線、地磁気、氷河、重力、電離層、経度・緯度決定（精密地図作成）、気象学、海洋学、地震学、太陽活動の 12 分野が観測の対象とされた。この IGY は、第 3 回 IPY に位置づけられた。ここに初めて南極大陸内での観測が正式に緒についた。南極大陸に科学基地を設けることが決定された国は、日本、アルゼンチン、オーストラリア、ベルギー、チリ、フランス、ニュージーランド、ノルウェー、南アフリカ共和国、イギリス、アメリカ、ソビエトの 12 ヶ国である。このようにして 1957 年 7 月 1 日から 1958 年 12 月 31 日までの IGY の全地球的国際観測が南極を含めて開始された。

1959 年、IGY の完了に伴って、低・中緯度地帯での観測を除き、極地の科学については多くの分野で

の観測継続の重要性が考慮され、ICSU 内部に設置された分科会の SCAR においてその観測の継続実施が定まった。地球物理学のほか、物理、地質、生物、測地及び地形の調査にも大きな比重がおかれ、今日に至っている。

なお、第4回 IPY (IPY2007-2008) は、2007 年3月～2009 年3月に計画されている。

2. 1. 2 南極条約

第二次大戦後の科学技術の進歩は著しく、これはとくに地球と宇宙に関する研究の発展を促すことになったが、そのことはまた南極大陸における地球物理学研究の重要性を喚起することともなった。同時に、各国の南極大陸への関心も高まることになったが、大陸に対する従来からの領土権の主張と国際共同観測の精神との間の不調和を解決する唯一の方策として提出されたのが 1959 年の南極条約である。この条約は南極大陸での科学観測が軍事目的としてではなく人類の平和利用に資するため行われること、更にその研究観測は参加 12 ケ国の国際協調の許で継続されるという精神でつづられており、20 世紀の諸国際条約の中でも最も崇高な格調の高い条約の一つといわれる。この条約の適用範囲は、南緯 60 度以南の棚氷を含む南極地域である。

2. 1. 3 南極地域観測への参加

1957 年7月から 1958 年12月までの IGY の観測事業の一環として実施されることになった、我が国の南極観測項目で、地理調査所は、特に関連の深い地磁気、緯度経度決定（精密地図作成）、重力を担当することになった。

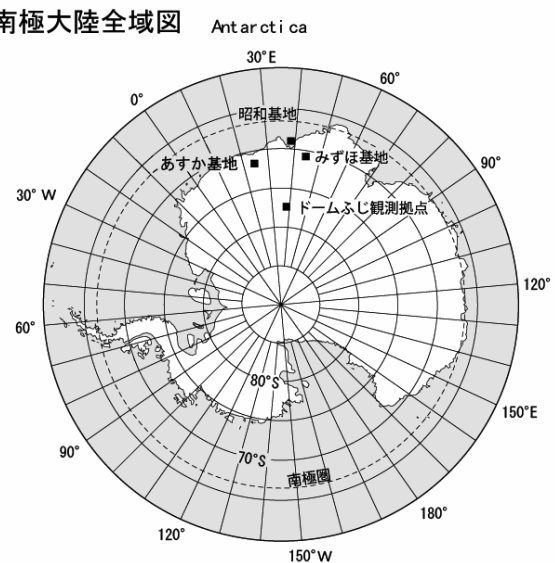
我が国の観測地に選定されたプリンスハラルド海岸の東経 35 度付近は、すでにノルウェーのクリステンセン第6次探検隊が 1937 年に撮影した斜写真より図化した 25 万分1地図と、アメリカ海軍第68機動部隊が 1947 年～1948 年に撮影したトリメトロゴン方式の空中写真があったが、地上測量はまだ行われておらず、また東経 40 度以東のプリンスオラフ海岸の形状も判明していない状態であった。したがって、観測隊の行う測量としては、第1に天文測量による緯度・経度の決定、第2に観測隊の行動範囲となる沿岸域図化及び地形・氷状予察のための空中写真の撮影が当面の課題であった。

観測隊の現地測量は、1957 年1月の昭和基地天文測量に始まり、IGY 期間終了後も引き続き各種の測量を実施しながら、1962 年1月の第6次観測隊（1961）による空中撮影をもって一応終止符を打った。この間、天測点を含む基準点設置総数は、29 点、垂直写真撮影区間の延長距離は、1,700km に達し、東経 38 度から東経 45 度までの沿岸域に対しては小

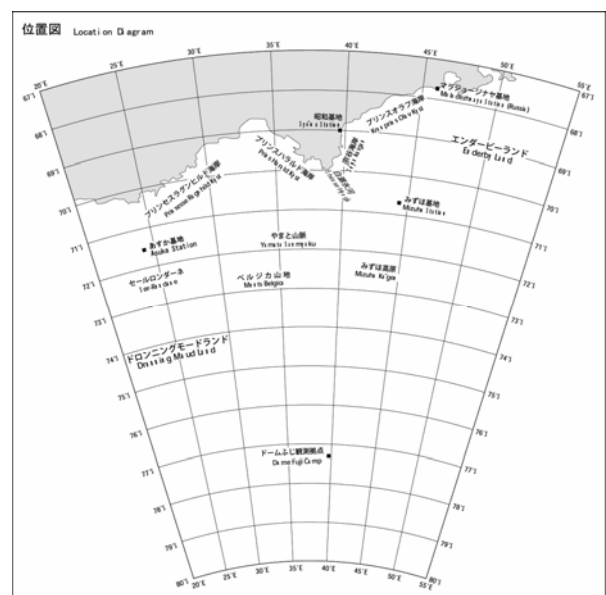
縮尺の地図作成が可能となった。この空中写真を使用した地図作成の手法は、日本国内より先駆けておこなわれたものである。

一方、第2次観測隊以降、重力観測も観測船の往復、寄港地、基地周辺、さらには内陸域においても実施している。なお、1958 年3月の第3回 SCAR において、我が国の地図作成分担区域を東経 30 度～東経 45 度の区域とする提言に基づいて、図化域を東経 38 度以西の沿岸に拡大するとともに、内陸露岩地帯の地図作成、昭和基地周辺の三角測量又は多角測量、周縁海岸付近の経年変化調査、重力測定点の追加及び継続観測、航空磁気測量等を実施している。また、1965 年に観測を再開した第7次観測以降も現地測量を継続的に実施している。

南極大陸全域図



図－1 南極大陸全域図



図－2 日本の四基地位置図

2. 2 国土地理院における南極観測事業の概要

2. 2. 1 第1次～第6次観測

南極地域における測量は、1957年1月の昭和基地における天文測量に始まり、1962年1月の第6次観測隊による空中写真撮影をもって一応の終止符を打った。この期間は、宗谷時代と言うべき初期の時代で、測量はすべて宗谷の極地行動期間中（夏期：12月下旬～2月上旬）に行われてきた。しかし、この期間は越冬隊交代の物資の輸送、基地建設作業等のふくそうする時期であり、この夏期間中の測量作業の実施には多くの制約が伴い、予定計画の遂行は困難であったが、南極地域観測は第6次観測隊(1961)で打ち切られることになったため、第6次観測隊(1961)において、空輸機動力を大幅に空中写真撮影に転用することができ、測量の総括的な締めくくりを行うことができた。

この宗谷時代の6年の期間は、当初の基地候補地とその周辺の予察と図化の目的で撮影したオングル島周辺の空中写真による大縮尺地図の作成に主体が置かれ、基準点測量は東・西オングル島周辺のみで行われていたが、第4次観測隊以降は基準点網も対岸へ拡張され、ラングホブデ地域、パッダ島、新南岩等順次大陸露岩域に及んできた。これらの基準点測量成果と第6次観測隊撮影の空中写真によって小縮尺地図が作成された。

第4次観測隊から、基準点測量に電波測距儀が用いられるようになり、広範囲な測量が能率的に行われるようになるとともに精度の向上を図ることができた。

第6次観測までの成果の総量は、空中写真撮影総延長、1,700km余、天測点を含む基準点総数29点である。これらの成果の分布する範囲、東経約37度～東経45度区間の沿岸域は、写真測量による図化に必要な基準点が、東に隣接するオーストラリア隊のデータを含め、一応必要量を満たしたので、日本隊活動域であるプリンスオラフ島、リュツォ・ホルム湾の10万～25万分1地形図の図化が可能となった。これらの成果を基に1963年に25万分1地形図を2面作成した。

第6次観測隊では、GSI型重力振子測定装置(GSI:Geographical Survey Institute 国土地理院)による精密重力測定をケープタウンと昭和基地の間で往復観測を行い、昭和基地の基準重力値を決定した。

2. 2. 2 第7次～第17次観測

第6次観測で打ち切られた南極地域観測は、1963年の閣議決定「南極地域観測の再開実施について」により「諸般の準備完了をまって再開するものとする。」旨決定し、1965年から観測が再開された。ま

た、自衛隊法が改正され輸送は防衛庁があたることになり、観測船「ふじ」が建造されるとともに大型ヘリコプター2機が導入され、極地での観測船基地間の輸送力は大幅に増強された。さらに各観測事情に大きく影響したことは、我が国が南極観測事業の継続化に踏切ったことで、各観測の長期的な展望も可能となった。このときより各種の観測項目は、研究観測部門と定常観測部門とに2分されることになり、国土地理院の担当する基準点測量と空中写真測量より成る測地部門、主として航空磁気測量を行う地磁気部門、重力測量及び海上重力測量を行う重力部門はともに、気象庁、海上保安庁水路部（現 海上保安庁海洋情報部）、電波研究所（現 情報通信研究機構）と類似の事情のもとに、「①学術研究上あるいは実用上不可欠の基礎的資料を取得するための観測、②恒常的あるいは業務的に実施する必要のある観測、③国際観測網の一翼を担うものでその作業基準が国際的協定等に定められている観測」の業務を主管とする国立機関が行う観測として定常観測部門に属することになり、それらの観測の調整には1970年度から発足した文部省（現 文部科学省）国立極地研究所が当たることになった。このような定常観測の定義は、各国に先駆けたものであり、その先見性が高く評価されている。

1960年5月の日本学術会議勧告以来、特に重視されている地図作成については、1967年3月同会議の南極特別委員会の立案になる南極観測将来計画の基本方針に、「東経30度～45度の扇形地形の地形測量を行う。特に37度以西の沿岸域及び内陸山脈付近の航空測量はできるだけ早い機会に実施する」と示されている。この扇形地域の区分はさきに1959年3月の第3回SCARの地図分科会において、ソビエトが提案した全南極大陸の300万分1地図整備区割による区域の一つであり、この東経30度～東経45度にはベルギー基地及び昭和基地が包含される地区である。したがって、その区域内の実施については両国間の協議によって重複をさけることが分科会で提言されていたが、当時ベルギー国の測地活動はほとんど行われない状況にあったので、今後我が国としての実施の方向は変更される必要はないと考えられた。

第7次観測隊(1965)から第17次観測隊(1975)までに、国土地理院が実施してきた観測において特記すべき事項を掲げる。

1) 越冬隊員による測地観測が初めて第7次観測隊(1965)によって行われ、夏期のみならず南極での春及び秋の期間において大・中縮尺図に必要な基準点測量を広い地域にわたって実施できることになった。

2) 第9次越冬隊の「昭和基地―南極点」間の調査旅行に参加し、南極点と南磁極が2,000 km以上離

れており、簡単に方位磁石で航路指針のできない南極大陸で、パイロット・サーベイによる旅行隊の航路の指針と位置の決定及び標高に関する多角測量、重力測量及び地磁気測量等の地球物理学的観測を全行程にわたって実施した。

- 3) 内陸やまと山脈の空中写真撮影及び基準点測量を実施した。第 16 次観測隊(1974)で固定翼航空機とその運航に必要な要員の越冬が実現し、また内陸に中継基地を設けて、昭和基地から 500km 隔たったベルジカ山脈等の内陸山地、或は東経 30 度までのリーセルラルセン地域において空中写真撮影を行うことができた。

雪氷学及び生物学的写真判読用として氷河流域及び生物棲息地などに対し赤外線空中写真、カラー空中写真撮影を実施した。

- 4) GSI 型海上重力計の開発により、船上観測による全航路期間中の重力測定を実施するほか、固定翼航空機及びヘリコプターの使用による基地を中心とする広域の航空磁気測量を実施して地域的な地磁気異常等の検出し、全磁力等磁力線図を作成・公開した。
- 5) 使用機器については、電波測距儀から光波測距儀による長距離区間の辺長測距と T-3 経緯儀の組み合わせ、撮影帯域の拡張を行うため超広角航空カメラの使用、ウォルドン重力計からよりドリフトの少ない定数の安定したラコスト重力計に替えてきた。航空カメラは、第 2 次観測隊(1957)以降、ツァイス RMK11.5/18 を使用していたが、第 11 次観測隊(1969)より従来の広角カメラより約 30 度広い超広角カメラのウィルド RC-9 を用いるようになった。

2. 2. 3 第 18 次観測以降

2. 2. 3. 1 中期計画による南極観測

南極地域観測事業は、南極地域観測統合推進本部が定めた「南極地域観測事業の将来計画基本方針(1976 年 3 月)」及び「21 世紀に向けた活動指針(2000 年 6 月)」に基づいて実施しており、1976 年度(第 18 次観測)から 5 ヶ年を 1 単位とする観測計画を策定し、効率的・効果的に観測活動を実施してきた。なお、第Ⅶ期については、2009 年度には、「しらせ」の後継船が就航し、新たな観測支援体制が導入されることから、その観測支援体制の確立と国立極地研究所の中期目標の期間との整合を図るために、4 ヶ年となっている。

各中期計画の国土地理院に関連するところは、次のとおりである(原文抜粋)。

(1) 第Ⅰ期 5 ヶ年計画(1976 年～1980 年・第 18 次～第 22 次)

(a) 地理・地形

1) 基準点測量

東経 30 度から東経 45 度までの沿岸地域を主とする地図作成のための基準点測量を継続実施する。とくに地学系観測に重点が置かれる第 20 次観測(1978 年)以降の夏期期間には、測量班を増強し、集中的かつ能率的な測量を実施する。

また内陸部の測量にあたっては、可搬型の衛星観測装置(位置決定用)の活用により作業の能率化を図る。

2) 航空写真測量

上記 1) の地図作成のための空中写真測量は、当初計画の地域についてはほぼ終了しているが、既応の成果などを検討のうえ、第 20、21 次観測(1978、1979 年)に補備撮影を行う。

- 3) 1) 及び 2) の成果にもとづいて、主として露岩域の 2 万 5 千分 1 地形図を順次作成する。

(b) 地震・重力

1) 重力測量(国土地理院・海上保安庁)

地学部門の調査との関連で必要に応じ海上重力測定を含め重力測量を協力して行う。

(2) 第Ⅱ期 5 ヶ年計画(1981 年～1985 年・第 23 次～第 27 次)

- 1) 国際地球観測年(1957 年)の当初、我が国に与えられた観測領域は、東経 30 度より東経 45 度の範囲にまたがる扇状地域であるが、現在、同地域を把握する地図は、その約半分に相当する東経 37 度から東経 45 度までの 25 万分 1 地図 2 面だけである。そのため、東経 30 度から東経 37 度については、LANDSAT の人工衛星画像を用い 25 万分 1 地図(2 面)を作成する。

- 2) 昭和基地のあるオングル諸島を中心とするリュツォ・ホルム湾に面した約 130km の海岸線に沿っては、既測の 2 万 5 千分 1 地形図の編集及び未測地の新規図化により 2 万 5 千分 1 地形図を規格化(緯度 5 分、経度 19 分)したもので系統的に整備し、南極における観測調査を効率的に行うための基礎資料とする。

- 3) 基準点測量と併せ、地上磁気測量、重力測量を実施する。航空磁気測量も地学部門との関連で必要に応じて行う。

(3) 第Ⅲ期 5 ヶ年計画(1986 年～1990 年・第 28 次～第 32 次)

1) 地上基準点測量等

地形図の作成のため、地上基準点測量及び空中写真測量を行う。

2) 重力測量等

基準点測量を併せて、重力測量、地磁気測量等の測地観測を行う。必要に応じて航空磁気測量、海上重力測定に協力する。

3) 地形図の整備

1) 及び2) の測量を通じて、セール・ロンダーネ山地地域の5万分1地形図、リーセルラルセン半島からセール・ロンダーネ山地周辺の小縮尺地形図、人工衛星写真地図等の地図の系統的整備を図る。

(4) 第IV期5ヶ年計画(1991年～1995年・第33次～第37次)

近年の宇宙測地技術をはじめとする各種の新技术の発展は、グローバル測地観測網の整備を促している。南極観測第IV期5ヶ年計画において昭和基地が「新測地基準観測所」として位置づけられることを踏まえて、国土地理院担当の測地定常観測及び関連観測の充実を図ることとし、次のことを計画する。

1) 測地基準点測量

- ・昭和基地を中心とする地域において、GPS（汎地球測位システム）による既設基準点の改測及び結合を行い、精密測地網を構築する。
- ・必要に応じ、基準点の増設を行う。
- ・地殻変動の検出のため、既設の水準測量路線の改測を行う。

2) 重力測量等

- ・重力異常図、地磁気異常図等の集成に備えて、基準点における精密重力比較測量、地磁気測量を実施するとともに、必要に応じて地磁気経年変化測定、航空磁気測量等の観測を行う。
- ・昭和基地において、第IV期5ヶ年計画中に実施される絶対重力測定を、他の機関とも協力して担当し、国際絶対重力基準点網（IAGBN：International Absolute Gravity Basestation Network）の設置に協力する。

3) カラー空中写真及びカラー写真図の整備

沿岸露岩地域のカラー空中写真（縮尺約1:12000）の撮影を行うとともに、オングル諸島、ラングホブデ、スカルブスネス、スカーレンの大縮尺カラー写真図を作成する。

4) 地形図の作成

セール・ロンダーネ山地地域の5万分1地形図の図化と刊行を完了する。

(5) 第V期5ヶ年計画(1996年～2000年・第38次～第42次)

近年の宇宙技術を始めとする各種の新技术の発展は、グローバル測地観測網の整備を促している。第IV期において昭和基地が宇宙技術・精密測

地観測所として位置づけられたことを踏まえ、測地観測を充実し、プロジェクト研究観測と連携して測地関連技術の南極域への適用性について検討することとし、次のことを計画する。

1) 測地基準点測量

- a) 昭和基地を中心とする地域において既設基準点のGPSによる改測及び結合を行い、地図の改訂を行うとともに、地殻変動の検出に資する。
- b) 国際GPSサービス機構（IGS：International GPS Service）に参加し、昭和基地においてGPS連続観測を地学研究観測と連携して実施する。これにより、プレート運動の解明、地球回転運動の把握等地球科学の推進に資する。
- c) 必要に応じ基準点の増設を行う。
- d) 地殻変動の検出のため、既設の水準測量路線の改測を行う。

2) 重力測量等

重力異常図、地磁気異常図等の集成に備えて、基準点における精密重力測量、地磁気測量を実施するとともに、必要に応じて地磁気経年変化測定、航空磁気測量等の観測を行う。

3) カラー空中写真及びカラー写真図の整備

沿岸露岩地域のカラー空中写真の撮影を行うとともに、オングル諸島、ラングホブデ、スカルブスネス、スカーレンの大縮尺カラー写真図を作成する。

4) 人工衛星関連技術の南極域への適用

地球資源衛星 JERS-1 などの SAR データ、画像データ等を利用して地殻変動、氷床変動の検出、地形分類及びデジタル標高モデル作成に関する調査を国内において実施し、南極域における現地研究観測を支援する。

(6) 第VI期5ヶ年計画(2001年～2005年・第43次～第47次)

近年、宇宙技術等各種の新技术の開発、実用化が進展し、南極地域を含めたグローバルな視点からの測地観測及び地理情報整備が重要となっている。このため、昭和基地及びその周辺域における観測等を通じて測地・地理情報に関する国際的活動に貢献するとともに、南極地域の測地学的データ及び地理情報の整備を進める。

1) 基準点測量

測地基準系について、SCAR測地・地理情報作業部会（WG-GGI：Working Group on Geodesy and Geographic Information）勧告に基づき、現行の測地基準系1967から国際地球基準座標系（ITRF：International Terrestrial Reference Frame）に改訂する。

- a) 国際GPS地球力学事業（IGS）に参加し、昭和

基地における GPS 連続観測を継続する。

- b) 露岩地域において GPS 固定連続観測を行う。
- c) 基準点の増設・改測，水準測量路線の改測を行う。

2) 重力測量等

- a) 絶対重力測定を行う。
- b) 地磁気測量を行う。

3) カラー空中写真，カラー写真図等の整備

- a) 第Ⅴ期に引き続き，沿岸露岩域のカラー空中写真撮影，主要露岩域の 1 万分 1 カラー写真図，地形図を作成する。

4) デジタルデータの整備

- a) 地形図のデジタル化を実施する。
- b) 人工衛星画像，空中写真，既存資料等を利用して，地球地図を作成する。

(7) 第Ⅶ期 5 ヶ年計画 (2006 年～2009 年・第 48 次～第 51 次)

近年，衛星利用技術を始めとする各種の新技术の開発・実用化が進展し，南極地域を含めたグローバルな視点からの測地観測及び地理情報整備が重要となっている。このため，測地基準系については WG-GGI 勧告に基づき，現行の測地基準系 1967 から ITRF に改訂する。また，国際 GNSS 事業 (IGS) に参加し，GPS 連続観測を実施するなど，昭和基地における観測等を通じて測地・地理情報に関する国際的活動に貢献するとともに，各種観測を充実し，南極地域の測地学的データ及び地理情報の整備を進める。特に，本年から運用が予定されている陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS : Advanced Land Observing Satellite) (PALSAR, PRISM, AVNIR-2) を利用した観測等については，その運用期間を考慮して，第Ⅶ期計画期間より着手し重点的に取り組むものとする。

1) 測地測量

国際基準系への改訂を目的に GPS 観測を行うとともに，地殻変動・氷床変動の検出を目的とした干渉 SAR 観測，GPS 観測，水準測量，絶対重力測量を実施する。

2) 人工衛星を利用した地形図作成

「だいち」画像等により，数値標高モデル (DEM : Digital Elevation Model) の抽出，地形図作成，氷縁変動検出等を行うとともに，地球地図の更新を行う。また，航空機搭載レーザスキャナ等による詳細な地表面の形態及び変動観測の可能性について検討する。

2. 2. 3. 2 各観測項目の実施概要

(1) 基準点測量

天文測量により座標を決定する方式が第 24 次越冬隊(1982)まで実施された(第 26 次越冬隊(1984)でも

一部，太陽観測による基準点測量が行われた)。第 24 次越冬隊(1982)からは，ドップラー効果を利用した人工衛星観測システム (NNSS : Navy Navigation Satellite System) による測位方式を第 30 次観測隊 (1988) まで実施，その後は，現在に至るまで GPS 観測によって基準点測量が実施されている。また，1998 年に開催された SCAR の第 25 回総会において，WG-GGI から測地基準座標系として，ITRF に改定するように勧告されたことから，ITRF に基づく測量を実施している。

(2) 重力測量

昭和基地の国際重力基準網の重力 (IAGBN (A) 点) で第 33 次観測隊 (1991) により佐久間式絶対重力計を用い測定を実施し，さらに第 36，42，45 次観測隊 (1994，2000，2003) により FG5 絶対重力計を用いて測定を実施した。

また，重力異常図等の集成に備えて，露岩域及び内陸においてラコスト重力計又はシントレック重力計により精密重力測量を基準点上で実施した。

(3) 地磁気測量

地磁気測量は，地磁気異常図等の集成に備えて，基準点において測量を実施し，1978 年に磁気図を作成した。

(4) 水準測量

地図作成のための水準測量から，地殻変動の検出のための水準測量へと，その主な目的が見直しされている。第 20，23 次観測隊 (1979，1982) で，東オングル島の水準路線を整備し繰り返し観測を実施している。また，第 46 次観測隊 (2004) では，水準路線を西オングル島へ延長し，第 47 次観測隊 (2005) では，新設された西オングル島の水準測量と東オングル島の改測を行った。

(5) GPS 連続観測

昭和基地に GPS 連続観測点を，第 36 次観測隊 (1994) が設置した。連続観測点は，南極地域の測量の原点となるとともに，IGS に参加しデータの提供を行っている。

(6) 露岩域変動測量

露岩地域等において，氷床の変動，ポストグレーシャルリバウンドの検出を目的として測量を行っている。第 37 次観測隊 (1995) から氷床上に設置したポールを毎隊時観測し，氷床の移動を観測している。また，第 41 次観測隊 (1999) からラングホブデに太陽電池を有する無人の GPS 連続観測点を設置し，昭和基地の IGS 点を基点として地殻変動を監視している。

（７）人工衛星を利用した測地関連技術

人工衛星等の宇宙技術やデータ解析処理技術の高度化に伴い、これらの測地関連技術の南極地域への適用が図られてきた。1997年には合成開口レーダー（SAR：Synthetic Aperture Radar）データを用いて、氷床変動の検出及びDEMの試作を関係機関と協力して実施した。

（８）空中写真撮影及び地形図の作成

空中写真撮影は、昭和基地西南西約700kmに位置するセール・ロンダーネ山地の地形図作成に必要な空中写真の撮影を実施した。また、オングル地区、ラングホブデ地区及びスカルプス地区のカラー写真図作成のためのカラー空中写真撮影も実施した。

地図作成は、南極地図の主である2万5千分1地形図は、1965年から1987年までにリュツォ・ホルム湾東岸及びプリンスオラフ海岸に面した露岸域及びやまと山脈の範囲を72面作成した。5万分1地形図は、セール・ロンダーネ山地のほぼ全域を1988年から1992年までに21面整備した。また、1963年に作成した25万分1地形図は、整備した2万5千分1地形図を基に1990年に2面を再作成した。

人工衛星によるリモートセンシング画像データを利用した25万分1衛星画像図を35面、200万分1衛星画像図1面、1千万分1南極大陸図1面を作成した。

オングル地区、ラングホブデ地区、スカルプスネス地区の2千5百分1カラー写真図、1万分1カラー写真図の作成を実施した。また、第Ⅵ期からは地形図のデジタル化も実施している。

2. 2. 4 年次別観測概要

年次別の派遣隊員、測量等の種類、使用機器、観測内容・成果等をまとめたものを、別表－1に示す。

2. 3 南極地域観測体制

2. 3. 1 国土地理院の体制

国土地理院は、第1次観測以来毎次の南極観測に参加しているが、この観測事業の推進にあたっては、特に国土地理院内に南極観測に関する組織等は作らず、事業の一環として対応した。

国土地理院が担当する主要観測項目は、基準点測量、地球物理観測、空中写真撮影及び地図作成であったため、測地部と測図部の両部が南極観測を事業計画の中に盛り込み実施してきた。

初期には、1960年に地理調査所から国土地理院への改組に伴う組織の変遷等があったが、観測事業への対応体制には影響なく、基準点測量と地球物理観測は測地部、空中写真測量と地図調製は測図部の所掌業務として進めてきた。このため、観測事業への

対応が両部にまたがり、渉外的な窓口は不明確であったが、1967年に企画室（現 企画部）の設置により、同室が南極観測事業の企画調整業務を行うことになった。その後、1976年に企画部測量指導課、1995年に企画部国際交流室が業務を引き継いだ。

2007年3月現在、南極観測事業の企画調整は、企画部国際交流室が行い、観測事業は、従来どおり測地部と測図部において実施し、外国から国土地理院に送付された南極地図の管理は、地理情報部が担当している。また、国立極地研究所の南極地名委員会に、測図部より委員を派遣している。

これまでに作成した地図は、国立極地研究所をとおして、日本南極地域観測隊、研究者等へ提供されている。また、国土地理院は、SCARの測地地図作業部会（現 地球科学部会（GSSG：Geoscience Standing Science Group））の勧告に基づき、諸外国の南極地図担当機関と地図の交換を行っている。測地測量等の南極観測の成果は、技術資料としてまとめるとともに、適宜、解析結果を論文等で発表している。

国土地理院の2007年3月の実施体制は、図－3のとおりである。

2. 3. 2 南極地域観測における各関係省庁

南極地域観測事業は、1955年に閣議決定された「南極地域観測への参加および南極地域観測統合推進本部の設置について」に基づき、文部科学省を中心に関係各省庁が連携して研究観測や輸送などを分担して進めている国家事業である。また、厳しい気象条件の中で、広大な大陸を各国が分担しあって観測に当たる南極観測は、国際協調に基づく共同研究を前提とし、データの公開と共有を原則としている。

文部科学省は、南極観測事業の事務を統合及び連絡調整し、国としての基本方針を決定する機関として、「南極地域観測統合推進本部」（本部長：文部科学大臣）を設置している。国土地理院長は、本部設置当初より本部委員を務めている。

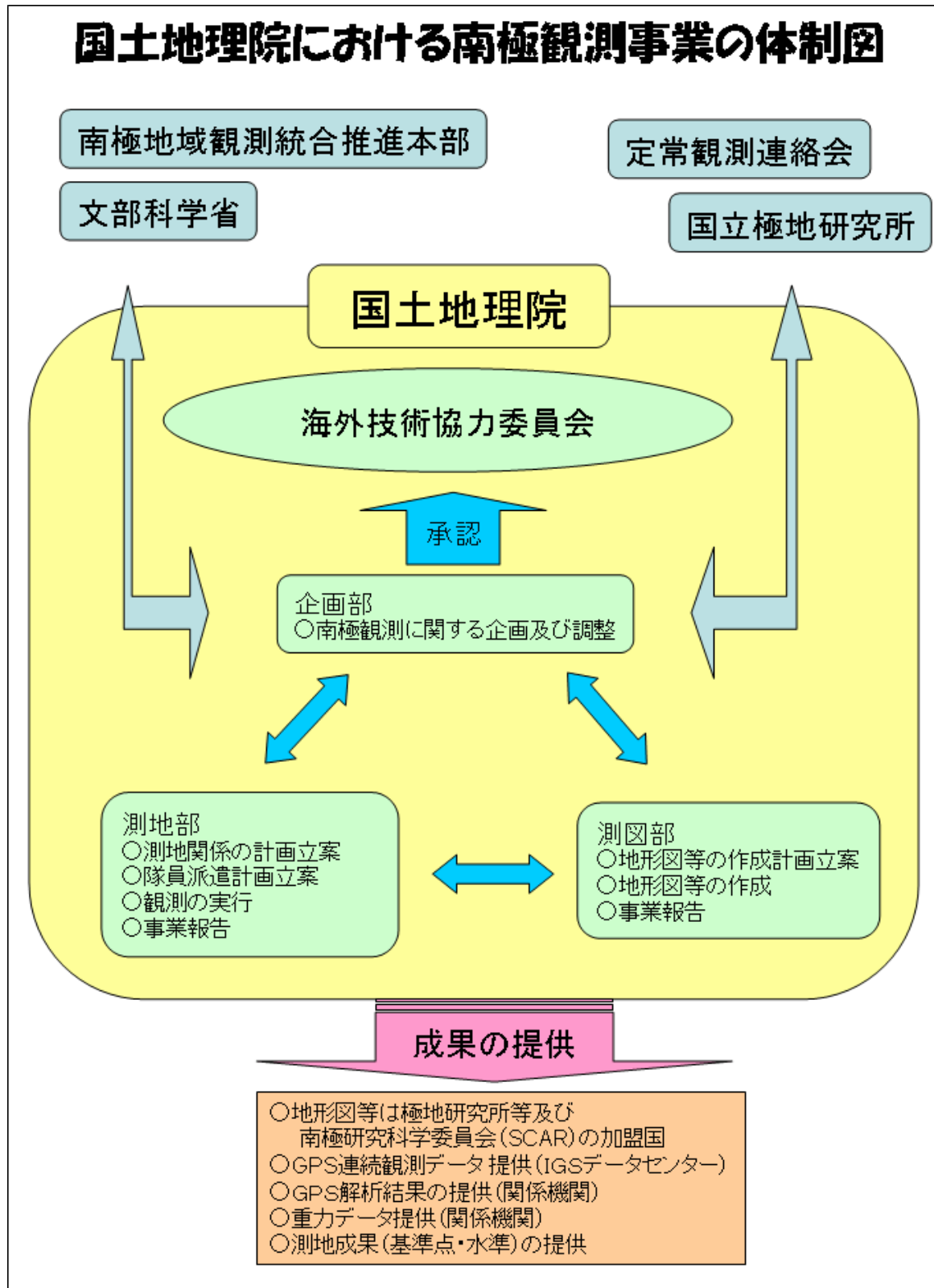
国立極地研究所は、学術研究を目的とする南極観測について計画を立案・実施する中核機関として1973年に設置され、以後、国立大学や研究機関等の協力を得て、極地における総合的な学術研究を推進している。また、同研究所は、南極観測を支える設営（機械、通信、建築、土木、調理、医療、航空、環境保全等）計画の立案や各種訓練の実施を担当している。定常観測は、現在、電離層観測を情報通信研究機構が、気象観測を気象庁が、測地観測を国土地理院が、海洋物理・化学観測を海上保安庁海洋情報部が担当している。

輸送は、1956年から「宗谷」（海上保安庁）、1965年から「ふじ」（防衛庁 現 防衛省）、1983年から現在まで、「しらせ」（防衛省）により行われている。

航空機の整備・操縦などの運用も、防衛省によって行われている。

南極地域観測事業の実施体制は、図－４のとおり

である。また、文部科学技術省以外の主要な機関の役割は、表－１のとおりである。



図－３ 国土地理院における南極観測事業の体制図

図-4 南極地域観測事業の実施体制

中核的機関	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立極地研究所	南極地域観測事業の中核的機関、研究観測を担当
定常観測官庁	総務省 (独立行政法人情報通信研究機構)	電離層観測、オーロラ観測などの『電離層』を担当
	国土地理院	GPS 観測や南極の地形図作成等の『測地』を担当
	気象庁	オゾン観測や高層気象観測等の『気象』を担当
	海上保安庁海洋情報部	日本南極間及び南極の、海流・水温観測、海水分析、海図整備等の『海洋物理・化学』及び海面水位観測等の『潮汐』を担当
輸送担当	防衛省	船舶及び航空機による観測隊員・物資の輸送
南極条約 地名通達・登録	外務省	南極条約協議国会議(ATCM: Antarctic Treaty Consultative Meeting) 対応 南極地域観測統合推進本部で決定された地名の諸外国と関係機関への通達・登録
南極の環境保護	環境省	「南極地域の環境の保護に関する法律」を所管 南極観光・訪問に必要な手続き

3. 南極地域観測技術の変遷

3. 1 測量の基準

日本国内における土地の測量に関する測量の基準は、測量法及び関係政令等において規定されている。しかし、我が国が採用した南極における土地の測量に関する測量の基準(以下、本項においては南極における測量の基準について言及する場合、特に断りがない限り、我が国が採用したものを指すものとする。)は、必ずしも測量法等に基づいていない。南極における測量の基準は、ほとんどの場合、成文となった基準が先にあったのではなく、関係した担当者が様々な背景の下に考え実効的に作り上げてきたというのが実情である。本項では、こうして作り上げられていった南極における測量の基準について日本国内における測量の基準との対比を中心に述べる。

3. 1. 1 測地座標系

本項において、「測地座標系」を測量法及び関係政令等において測量の基準として規定されている事項であると定義する。測量の基準については、平成13年の測量法等の改正(以下、改正前の測量法を「旧測量法」、改正後の測量法を「現行測量法」という。)により内容が変更されている。

旧測量法、現行測量法に共通する測地座標系の構成要素は、

- 1) 位置を地理学的経緯度及び平均海面からの高さで表示すること。
- 2) 準拠楕円体(現行測量法では政令に委任)
- 3) 経緯度原点及び水準原点
- 4) 実体地球と準拠楕円体との関係(旧測量法では明示されていない)

等からなる。

このうち1)については南極においても共通しているが、2)～4)については必ずしも一致していない。以下、準拠楕円体、経緯度原点及びその数値、標高の項目について測地基準系の相違点を中心について述べ、南極地域平面直角座標系、座標変換についても説明することとする。

現行測量法抜粋

(測量の基準)

第十一条 基本測量及び公共測量は、次に掲げる測量の基準に従って行わなければならない。

- 一 位置は、地理学的経緯度及び平均海面からの高さで表示する。ただし、場合により、直角座標及び平均海面からの高さ、極座標及び平均海面からの高さ又は地心直交座標で表示することができる。
- 二 距離及び面積は、第三項に規定する回転楕円体の表面上の値で表示する。

三 測量の原点は、日本経緯度原点及び日本水準原点とする。ただし、離島の測量その他特別の事情がある場合において、国土地理院の長の承認を得たときは、この限りでない。

四 前号の日本経緯度原点及び日本水準原点の地点及び原点数値は、政令で定める。

2 前項第一号の地理学的経緯度は、世界測地系に従って測定しなければならない。

3 前項の「世界測地系」とは、地球を次に掲げる要件を満たす扁平な回転楕円体であると想定して行う地理学的経緯度の測定に関する測量の基準をいう。

一 その長半径及び扁平率が、地理学的経緯度の測定に関する国際的な決定に基づき政令で定める値であるものであること。

二 その中心が、地球の重心と一致するものであること。

三 その短軸が、地球の自転軸と一致するものであること。

旧測量法抜粋

(測量の基準)

第十一条 基本測量及び公共測量は、左の各号に掲げる測量の基準に従って行わなければならない。

一 地球の形状及び大きさについては、ベッセルの算出した次の値による。

長半径一六、三七七、三九七メートル・一五五
扁平度一二九九・一五二八一三分の一

二 位置は、地理学的緯度経度及び平均海面からの高さで表示する。但し、場合により直角座標又は極座標で表示することができる。

三 距離及び面積は、水平面上の値で表示する。

四 測量の原点は、日本経緯度原点及び日本水準原点とする。但し、離島の測量その他特別の事情がある場合において、国土地理院の長の承認を得たときは、この限りでない。

五 前号の日本経緯度原点及び日本水準原点の地点及び原点数値は、政令で定める。

3. 1. 2 準拠楕円体

日本国内の測量の基準における準拠楕円体は、旧測量法では明治時代に当時の陸地測量部によって採用されたベッセル楕円体(長半径 6,377,397.155m, 扁平率 299.152813 分の1)、現行測量法(数値は測量法施行令で規定)では測地基準系 1980 楕円体(長半径 6,378,137m, 扁平率 298.257222101 分の1)である。

南極地域の測量の基準では概ね三世代の準拠楕円体が採用されてきた。第一世代のヘイフォード国際楕円体、第二世代の測地基準系 1967 楕円体、第三世

代の測地基準系 1980 楕円体である。この他に当時の国内の測量の基準と同じベッセル楕円体を採用して基準点を設置した隊もある。以下、各楕円体について順番に説明する。

19 世紀以降、大規模な三角測量網が各国で展開され、これらの測量の結果に基づいて様々な準拠楕円体が求められた。旧測量法に規定されていたベッセル楕円体もその一つである。それぞれの準拠楕円体の大きさは採用した三角測量網等によって食い違いがある。各国がばらばらに適当な楕円体を採用したのでは不便であるので、国際的に統一した楕円体を用いようという動きが起こった。1924 年にマドリッドで開催された第 2 回国際測地学及び地球物理学連合 (IUGG: International Union of Geodesy and Geophysics) 総会において、ヘイフォード楕円体(長半径 6,378,388m, 扁平率 297.00 分の 1)を国際楕円体として採用することとし、各国にこの楕円体を測量の基準として採用するように勧告した。ヘイフォード楕円体の特徴は、それ以前のベッセル楕円体、クラーク楕円体等が考慮していなかった鉛直線偏差の効果を補正して計算されたものであることであった。

南極観測開始当時の日本国内の測量の基準は、ベッセル楕円体であったが、南極での測地測量を実施するにあたり、国際的な決定に基づいたヘイフォード国際楕円体を測量の基準としたものである。

我が国の南極観測事業の契機となった国際地球観測年は、人類初の人工衛星スプートニク 1 号をソビエト連邦が打ち上げるなど、正に宇宙時代の幕開けであった。1960 年代には、人工衛星の軌道観測によって地球の形状等が従来に比して格段に精度良く求められるようになった。地球の形状及び大きさに関する宇宙技術による知見の蓄積を踏まえ、1967 年にルツェルンで開催された第 14 回 IUGG 総会は、ヘイフォード国際楕円体等が地球の形状等を適切に表していないこと等を認識し測地基準系 1967 を定義した。測地基準系 1967 に用いられた長半径及び扁平率を有する楕円体が測地基準系 1967 楕円体(長半径 6,378,160m, 扁平率 298.257 分の 1)である。南極での測量では、1971 年頃から使用された。

測地基準系 1967 決議以降も宇宙技術を中心とした地球の形状及び大きさに関する知見は更に精緻なものとなっていき、1979 年にキャンベラで開催された第 17 回 IUGG 総会において測地基準系 1980 が決議されるに至った。測地基準系 1980 に用いられた長半径及び扁平率を有する楕円体が測地基準系 1980 楕円体(長半径 6,378,137m, 扁平率 298.257222101 分の 1)である。測地基準系 1980 の決議以降も国際測地学協会 (IAG: International Association of Geodesy) において、地球の形状及び大きさ等の最新

の値について検討されているが、数値の不確定性については減少しており、実質的な数値の変更はないものの、相対論的補正等について最終的な合意を得られていないこと等から測地基準系に代わる新たな決議を提案していない(IAG ホームページ)。

また、米国等の北米測地成果 1983(NAD83)における測地基準系 1980 楕円体の採用、GPS の普及による WGS-84 測地系(WGS-84 は測地基準系 1980 を基にしているが、楕円体の扁平率は 298.257223563 分の 1 を採用)に基づく座標値が容易に得られるようになったこと等から、測地基準系 1980 楕円体の重要性はそれ以前の国際楕円体に比べ高まっている。我が国においても、2002 年 4 月 1 日の現行測量法施行により、土地の測量の基準が測地基準系 1980 楕円体と地球重心座標系の採用による世界測地系へと変更された。

南極地域の成果集録(2002 年 3 月)の編集委員会(2001 年 8 月)において南極地域の測地基準系については、測地基準系 1980 楕円体を採用することが提案され、南極地域における測量の基準として採用された(この際、座標値の実現は ITRF2000(後述)によること、原点は第 36 次観測隊(1994)が昭和基地に設置し、後に IGS へ登録された GPS 連続観測点(以下、「IGS 点(SYOG)」という。)とすることも決定された)。

なお、2000 年 7 月に我が国で開催された第 26 回 SCAR 総会において、測地系として ITRF2000(2000.0 元期)と測地基準系 1980 楕円体を用いるとの測地・地理情報作業部会の常置決議が報告されている。

3. 1. 3 経緯度原点

経緯度原点の意義は、旧来の日本測地系のような局所測地系と世界測地系では異なる。局所測地系の場合の経緯度原点の意義は、1) 経緯度原点における局所的な鉛直線に準拠して実体の地球に対する準拠楕円体の置き方を規定する、2) 測量を行う場合の基点であるの二つである。一方、世界測地系の場合には、実体地球に対する準拠楕円体の置き方は地球重心等を基準としており、測量を行う場合の基点としての意味のみを有する。

南極地域の経緯度原点及びその数値は、2002 年より前には局所測地系(準拠楕円体はヘイフォード国際楕円体又は測地基準系 1967 楕円体)を採用していたが、2002 年 3 月に公表された南極地域の成果集録以降には世界測地系(準拠楕円体は測地基準系 1980 楕円体)に基づくことが原則となった。

局所測地系による経緯度原点は、東オングル島昭和基地に隣接する場所にあり第 1 次観測隊(1956)によって天文測量が行われたことから天測点と呼ばれている地点で金属標が設置されている。

我が国が天文測量により経緯度原点数値を決定し測地系を構築する以前には、昭和基地周辺に地上基

準点に基づく地図は存在しなかった。既刊のノルウェーの地図は地上基準点なしに作られたものであり、日本隊による天文測量の結果と比較してみると緯度は2.5分、経度は9.5分とそれぞれ北と東にずれていた(鍛冶, 1957)。このことから、科学的方法により当該地域で初めて地上基準点による局所測地系を確立した意義は大きかった。

世界測地系(その定義は現行測量法にもあるとおり地球重心に準拠したものである。)における経緯度原点は、IGS 点(SYOG)とされる。その原点数値は、ITRF2000 を基準として、GPS, VLBI, DORIS(Doppler Orbit determination and Radiopositioning Integrated on Satellite)による観測結果から与えられている。ITRF は、国際地球回転・基準系事業(IERS)が構築した世界測地系の実現であり、世界中の同事業に参加した観測局の座標値及びその速度を内容としている。ITRF にはいくつかバージョンがあり構築に使用した観測データから ITRFxxxx(yyyy)は西暦年号であり、1900 年代は下2桁、2000 年代は4桁である。なお、現行測量法施行令に規定されている原点数値は、ITRF94 が使用されている。)と記述される。本稿執筆時点(2006 年 12 月)において ITRF2005 が最新のものである。

3. 1. 4 標高

標高は測量法の規定のとおり「平均海面からの高さ」で表されることが原則である(また、実用的にも科学的な意味でも、南極地域ではGPS測量の利用拡大と精密なジオイド高が利用できないこと等から、楕円体高も非常に重要である。)。我が国における平均海面が東京湾平均海面を基準として日本水準原点により実現されているのに対して、南極地域における平均海面は、昭和基地のある東オングル島における平均海面であり、平均海面を実現した水準原点としては2種類の点が存在する。

第一の水準原点は、天測点であり、第1次観測隊(1956)による簡易驗潮等の結果から値が求められている。多角測量網によって天測点と結合されている基準点の標高については、天測点を基準として三角・水準測量により標高が与えられている。また、GPS やドップラー効果を利用した人工衛星観測システム(NNSS:Navy Navigation Satellite System)により設置された基準点については、天測点数値に基づく三次元的な相対位置から座標値が計算されている。従って、それらの標高は、天測点を基準とする楕円体比高に基づくジオイド勾配の補正は行われていない。この他、沿岸域の基準点については、我が国の離島での基準点の標高の場合と同様に、簡易驗潮による局所的な平均海面からの高さを与えられている場合もある。

なお、国内では、三次元的な位置情報の重要性を踏まえ、地心直交座標系が2002年3月国土交通省告示第185号により定義されている。

地心直交座標系

第一 地心直交座標系は、法第十一条第三項に規定する扁平な回転楕円体の中心で互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸の三軸からなり、各軸の要件は、次のとおりとする。

- 一 X軸は、回転楕円体の中心及び経度0度の子午線と赤道との交点を通る直線とし、回転楕円体の中心から経度0度の子午線と赤道との交点に向かう値を正とする。
- 二 Y軸は、回転楕円体の中心及び東経九十度の子午線と赤道との交点を通る直線とし、回転楕円体の中心から東経九十度の子午線と赤道との交点に向かう値を正とする。
- 三 Z軸は、回転楕円体の短軸と一致し、回転楕円体の中心から北に向かう値を正とする。

第二 地心直交座標系における日本経緯度原点の座標値は、次の表のとおりとする。

軸	座標値
X 軸	-3, 959, 340. 090 メートル
Y 軸	3, 352, 854. 541 メートル
Z 軸	3, 697, 471. 475 メートル

日本経緯度原点の地心直交座標系による数値が規定され、国内の三次元的な位置の基準としているものである。南極地域においてこれに相当するものは、経緯度原点のところで述べた IGS 点(SYOG)である。従って、南極地域の基準点の楕円体高の基準(原点)となっているのは IGS 点(SYOG)であると考えることができる。

第二の水準原点は、驗潮場脇の水準点(No. 1040)である。1978 年～1981 年に第20次観測隊(1978)から第23次観測隊(1981)により東西オングル島内に水準路線が設置された。この水準路線を構成する水準点の標高は水準点(No. 1040)を基準に求められている。水準点(No. 1040)の原点数値は、海上保安庁海洋情報部が管理する昭和基地の驗潮場の観測記録から計算されたものである。水準路線は、天測点を經由しており、基準点の高さの体系と水準路線の高さの体系は、相互に関係づけられている。

日本国内の水準測量は、世界測地系への移行を契機として、標準重力値による補正を行う正規正標高から、実測重力値による補正を行う正標高に改めら

れた。南極地域における水準点の座標値は、従前通り正規正標高によっているが、水準路線の範囲が限られていることから特段の問題は発生していない。

3. 1. 5 南極地域平面直角座標系

南極地域平面直角座標系は、1971 年頃、第 11 次観測隊(1969)による測量成果の整理の際に統一された平面直角座標の必要性から関係者による話し合いの結果、導入した。成果集録には、南極地域平面直角座標系について表－2 のように記載されている。

表－2 南極地域平面直角座標系（成果集録より抜粋）

座標系 番号	原点の経度・緯度		適用区域
	経度(東経)	緯度(南緯)	
X I X	44° 0' 0"	70° 0' 0"	新南岩, 竜宮岬, 日の出岬, 明るい岬, オメガ岩
XX	38° 0' 0"	70° 0' 0"	東・西オングル島, ラングホブデ, スカルプスネス, スカーレン, ブレードボーグニツパ, テーレン, パッタ島, ルンドボーグスコラネ, ルンドボーグスヘッタ, ストランニツパ, アウストホブデ, からめて岬, やまと山脈
XX I	32° 0' 0"	70° 0' 0"	リーセルラルセン, ベルジカ
XX II	26° 0' 0"	70° 0' 0"	セール・ロンダーネ山地
XX III	20° 0' 0"	70° 0' 0"	セール・ロンダーネ山地

備考：

- (1) 座標系は、ガウスの等角投影法による。
- (2) 座標原点による縮尺係数は 0.9999 とする。
- (3) 座標系の X 軸は、座標原点において子午線に一致する軸とし、座標系原点から真北に向かう値を正とし、座標軸の Y 軸は、座標原点において座標の X 軸に直交する軸とし、真東に向かう値を正とする。
- (4) 各座標系の原点の座標値は、次のとおりとする。
X=0.000m Y=0.000m
- (5) 成果表の記号の内容は、次のとおりとする。
B=緯度(度, 分, 秒)
L=経度(度, 分, 秒)
X=座標値(m)
Y=座標値(m)
H=標高(m)

上記の記述は、ほとんど国内の平面直角座標に関する規定(平成 14 年国土交通省告示第 9 号)と同様である。南極地域の座標系番号は、XIX 系から開始しているが、これは南極地域平面直角座標系設定当時、国内の同規定が XVIII 系までしかなかったことによる。国内平面直角座標系の座標系番号に連なる形で南極地域平面直角座標系の座標系番号を設定したのである。その後、小笠原諸島における平面直角座標系を定義する必要性から国内の規定に XIX 系が追加されたが、国内での XIX 系以前に既に設定されていること、一般の公共測量に使用されることがないこと、混同して利用されることがないこと等から、南極地域平面直角座標系の座標系番号の変更は行われていない。

3. 1. 6 座標変換

南極における測量の基準は、当初ヘイフォード楕円体と一部にベッセル楕円体がいわれてきたが、第 13 次観測隊(1971)頃からは、測地基準系 1967 楕円体が使われ始めた。このとき、ヘイフォード楕円体とベッセル楕円体に基づく測量成果は、再計算が

行われ測地基準系 1967 楕円体に基づく測量成果に統一されてきた。

その後、位置を決定する手法が、それまで行ってきた天文測量等に代わり、人工衛星を利用した NNSS や GPS が用いられるようになった。これらは、従来の測量の基準とは異なる WGS-72 測地系や WGS-84 測地系が用いられている。このため、これらで得た測量成果については、それぞれの座標変換パラメータを求め、座標変換を行うことで測量の基準を測地基準系 1967 楕円体へ統一した。

第 33 次観測隊(1991)では、昭和基地の水準点(No. 23-16)を GPS の観測点(以下、「GPS 観測点(SYOW)」という。)として SCAR 提唱による GPS のキャンペーン観測(以下、「SCAR キャンペーン観測」という。)に参加した。その後は、この観測点を基点とした GPS 測量を開始した。さらに、第 36 次観測隊(1994)では、IGS 点(SYOG)を設置した。それ以降 IGS 点(SYOG)を実質的な測量の原点として位置づけるようになってきたが、計算処理ではそれぞれの既知点座標として WGS-84 測地系に基づく座標値が用いられた。このため、これらを既知点とした新設点や改測点の測量成

果については、座標変換パラメータを用いて WGS-84 測地系から測地基準系 1967 に基づく値に座標変換を行って基準を統一している。

第 40 次観測隊(1998)では、IGS 点(SY0G)の座標値を ITRF2000 及び測地基準系 1980 楕円体に基づく測量成果に改訂するとともに、第 33 次観測隊(1991)から第 39 次観測隊(1997)において、GPS 観測点(SY0W)や IGS 点(SY0G)を基点として求めた各基準点の測量成果については、座標変換パラメータを用いて ITRF2000 及び測地基準系 1980 楕円体に基づく測量成果に座標変換を行った。

第 41 次観測隊(1999)からは、ITRF2000 及び測地基準系 1980 楕円体に基づき、基準点測量を行っている。

また、第 32 次観測隊(1990)以前に設置した基準点については、改測等を進めているところである。

それぞれの座標変換の実際については、3. 2 基準点測量で述べる。

3. 2 基準点測量

南極地域における基準点測量は、昭和基地周辺での第 1 次観測隊(1956)が設置した天測点の観測が始まりである。

天文測量は、恒星を観測するのが常であるが、南極地域の夏期は太陽が沈まず恒星の観測が困難であ

るため、太陽の高度角観測と時刻測定から緯度と経度を、方位標と太陽との水平角観測と時刻測定から方位角を求め、座標値を決定する方式で第 24 次夏隊(1982)まで実施した(第 26 次越冬隊(1984)でも一部、太陽観測による基準点測量で行った)。

第 24 次越冬隊(1982)からは、NNSS による測位方式を第 30 次観測隊(1988)まで実施、その後は、現在に至るまで GPS 観測によって基準点測量を実施している。

3. 2. 1 天文測量と三角・多角測量

図-5 は、第 1 次観測隊(1956)による昭和基地周辺の基準点測量網図である。第 1 次観測隊(1956)の印部隊員は、2 日間、30 対回の太陽高度角を観測する天文測量によって、昭和基地南側の小高い峰の位置を決定した。以後、この峰は現在も「天測点」と称されている。また、三角網に大きさを与える基線は、天測点南側の平らな氷上に設置し、距離測定には長さ 2 m のウィルド社製サブテンスバー(写真-1)を使用した。この観測では、サブテンスバーによる測定精度を考慮し、サブテンスバーを基線上のほぼ中央に設置して基線を二区間に分け、両端点からウィルド T2 による 5 対回観測によって基線長 235.71m を決定した。

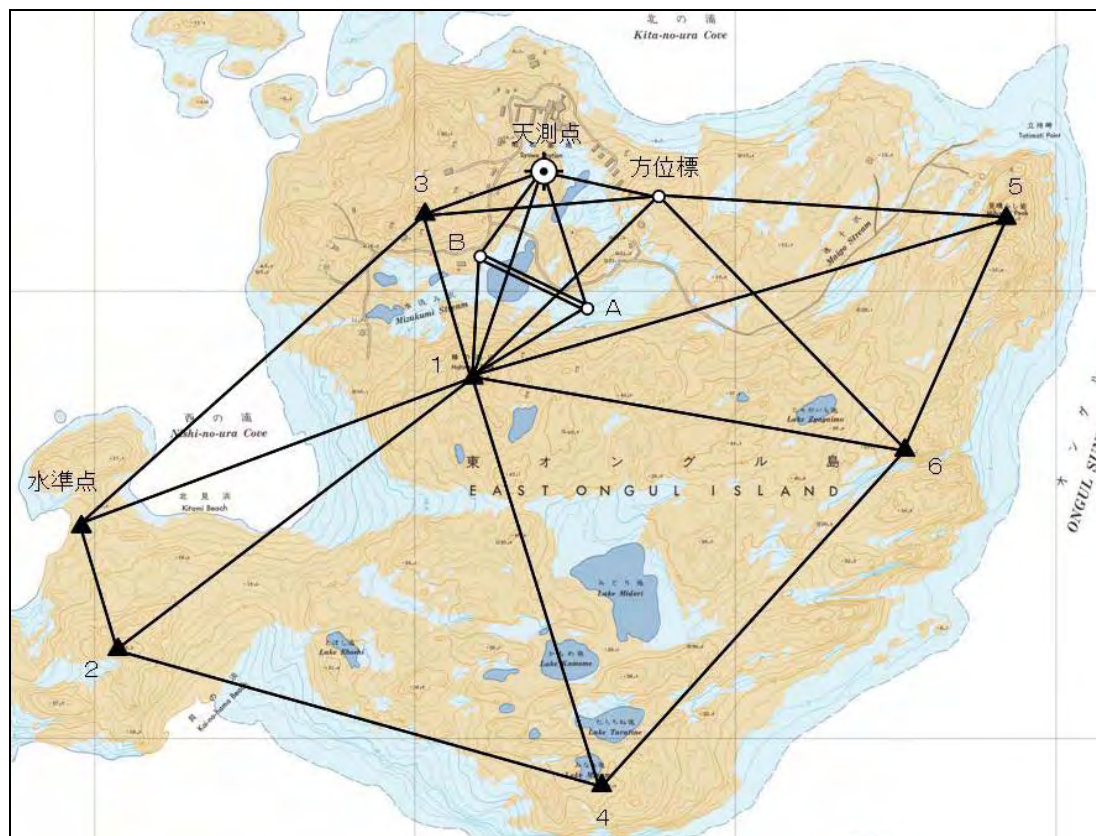


図-5 第 1 次観測隊の基準点測量網図



写真－1 ウィルド社製2mサブテンスバー
(ライカ社カタログより)

この基線長をもとに、図－5のように三角点9点(基線端点を除く)を角観測した。当時、天測点を含む三角点は、金属標の設置はせず、天測点は岩盤に十字を刻み、他の三角点は岩盤にマジックインキのマーキングだけに留まった。現在残されている天測点の金属標は、第3次観測隊(1958)が岩盤の十字の刻み上に設置したものである(写真－2)。第1次観測隊(1956)で基準点測量が実施されたのは東オングル島のみであったが、この測量により「1千分1昭和基地」、「5千分1東オングル島」の大縮尺地形図が作成され、この地形図は各部門で基図として広く利用された。



写真－2 天測点の金属標

第2次観測隊(1957)は、氷の状態が悪く「宗谷」が昭和基地へ近づくことができず越冬を断念した。当然、夏のオペレーションである基準点測量も断念せざるを得ず、天測点の位置を子午儀で再測定しよ

うとした計画も実施に至らなかった。

第4次観測隊(1959)では、電波測距儀のテルロメータ(写真－3)を導入して、東オングル島の改測と西オングル島への基準点網の拡大、さらに、大陸露岩のラングホブデを結ぶ観測も実施した。これは、第3次観測隊(1958)から輸送に導入された大型ヘリコプターの機動力の利用という面で、夏の期間に基準点測量を実施することの先駆けともなった。しかし、宗谷の輸送力では、接岸中は越冬交代、建設作業等が優先され測量作業でのヘリコプターの使用は望めず、基準点測量の大きな進展はなかった。露岩での基準点測量が軌道に乗ったのは、第7次越冬隊(1965)のラングホブデからである。



写真－3 テルロメーターによる観測
(第4次観測隊)

基準点測量の多くは、露岩単位で天文測量と基線測量、またそれらの測量成果を与件とする三角測量によって実施した。各露岩での三角・多角測量は、四等三角測量に準じて実施し所定の精度を得ているが、経緯度を最初に与える天文測量の精度は、滞在日数の制約があるため、決して十分なものではなかった。

このため、各露岩の基準点を1つの原点に結合することが望まれ、長距離の観測が可能な光波測距儀であるジオジメータ8型(写真－4)が、また水平角の観測には、ウィルドT3を第13次観測隊(1971)から使用し、昭和基地以南のおもな露岩は長距離の多角測量で結合した。

しかし、測距儀を用いた露岩の基準点網の結合は、視通の可能な箇所で行えず、昭和基地東側のプリンスオラフ海岸では、後のGPS時代まで待つことになる。

基準点網の結合に使用されたジオジメータ8型は、そのバッテリーまで含めると大きくて重量があるため、単独の露岩ではあまり使われず、第18次観測隊(1976)以降は軽量なヒューレット・パッカード

社の 3800B や 3808A などを使用した。



写真－４ ジオジメータ 8 型による観測
(第 14 次観測隊)

天文測量によって経緯度を求める場合、観測地点の位置精度は、時計に大きく依存する。緯度の値は、観測した高度角の精度に依存するが、第 1 次観測隊(1956)の当初からウィルド T2 を使用しており、隊次による差はあまり考えられない。しかし、経度の精度に関しては、時計が支配している。例えば、昭和基地のある緯度 70 度付近では、1 秒異なると経度差は約 11m となる。

第 1 次観測隊(1956)では、時計としてナルダン・クロノグラフ(写真－5)を船上に積み込んだ。しかし、文字盤の大きさが約 15cm、ゼンマイ式のこの時計は、管理が大変であるため、天測点ではナルダンやオメガのストップ・ウォッチを使用した。クロノグラフは、「宗谷」に置いて校正に使用した。そのクロノグラフは、船内に持ち込んだ時報受信機によって校正した。

この大きさのクロノグラフは、第 6 次観測隊(1961)まで使用した。



写真－５ ナルダン・クロノグラフ

水晶時計が基準点測量で使用され始めたのは、第 10 次観測隊(1968)からであるが、この水晶時計も当初は大型のもので、常に恒温状態が望まれ、管理が大変だったようである。クォーツの腕時計が初めて観測に使用されたのは、第 18 次観測隊(1976)からである。しかし、いずれにしても現地では、時報受信機などを用いて時刻校正を実施していた。天文測量が行われた第 1 次観測隊(1956)から第 26 次観測隊(1984)までの観測状況を、表－3 に示す。

表-3 天測量の頃の各露岩における観測状況

隊次	地域名or島名	天測点			験潮(標高)		基準点 新設 点数	基線 機器名
		点数	対回数	時計	点数	時間等 状態		
1	東オンゲル島	1	30	ナルダン・クロノグラフ	1	開水	8	2mサブテンスパー
4	ハッタ島 東オンゲル島 西オンゲル島	1			1	開水	12	テルロメーター
5	新南岩	1					1	
	かすみ岩	1					1	
6	スカーレン ネスオイヤ	1		クロノメーター	1	2日間10回 パドル		
7	東オンゲル島 ラングホフテ				1	1年	8	
10	からめて岩	1	19	クロノメーター	1	気圧計 天測点上	1	
	ネスホルメン	1	30	水晶時計			1	
	オースホフテ	1	30	水晶時計			1	
	サク	1	30	水晶時計			1	
	フレッタ	1	30	水晶時計			1	
	スカルフスネス	1	15		1	4回	10	エレクトロテープ
11	新島	1					1	
	西オンゲル島						5	
	プレートホークニハ						3	エレクトロテープ
12	弁天島ほか2島*1 ルンハ島ほか4島*2 スカルビークハルセン ヤルトオイ島 小露岩			*1ウートホルメン・オンゲルカルペン *2シカールン、テオイヤなど	1	数回	3 6 4 2 1	エレクトロテープ エレクトロテープ
13	日の出岬 インステクレハネ	1 1					9 1	ジオジメーター8型
14	大和山脈 ターレン・ヒューカ ビオホークオサネ	1 1		マリシクロノメーター	1	気圧計	33 7 7	ジオジメーター8型 ジオジメーター8型 HP3800B
15	ルンドホークスヘッタ ストラニツハ 新南岩 リーサーラルセン	1 1 1 1			1 1 1		6 6 8 1	エレクトロテープ ジオジメーター8型 ジオジメーター8型
16	アウストホフテ ルンドホークスコラネ 明るい岬 よもぎり島 明るい岬 大和山脈	1 1 1 1 1		水晶腕時計 水晶腕時計 水晶腕時計 水晶腕時計 水晶腕時計	1 1 1	気圧計 天測点上	2 7 1 1 2 10	ジオジメーター8型 ジオジメーター8型 ジオジメーター8型
18	オモガ岬	1	17	クォーツ	1	半日 開水	5	HP3800B
19	竜宮岬 奥岩	1 1			1 1	30分間隔で13時間 開水	10 3	HP3800B HP3800B
20	かすみ岩 ホノル奥岩	1		クォーツ クォーツ	1	30分間隔で6時間 開水	4 3	HP3800B
21	明るい岬 二番岩	1 1		クォーツ クォーツ	1	60分間隔で13時間 開水 固定点	5 6	HP3808A HP3808A
22	あけぼの岩 天文台岩	1 1			1 1	2時間 2時間	4 4	HP3820A HP3820A
23	ランホフテ諸島	1					4	HP3808A
24	エインストーインゲン島	1	36	クォーツ	1	60分間隔で12時間 開水	3	ペンタックスPM-81
26	ベルオッテン	1					3	HP3808A

※ パドル：海氷にパドルと呼ばれる水溜まりができる。
基準点標識を設置した隊次だけを表示した。

3. 2. 2 人工衛星測量 (NNSS)

第 24 次観測隊(1982)からは、昭和基地の西南西約 700km に位置する東南極の大山脈の一つであるセール・ロンダーネ山地において 5 万分 1 地形図作成のための基準点測量を開始した。この基準点測量では、天文測量に代わり南極の測量作業では初めて NNSS(写真-6)を採用した。NNSS による基準点測量は、第 24 次観測隊(1982)ではセール・ロンダーネ山脈調査旅行隊と合同、第 25 次観測隊(1983)はセール・ロンダーネ山地地学予備調査隊等と合同、第 26 次観測隊(1984)から第 30 次観測隊(1988)は、セール・ロンダーネ地学調査隊等と合同で実施した。



写真-6 NNSS 観測装置 (JMR-4A)

NNSS は、米海軍の航法システムで、当時は 7～8 個の衛星が高度約 1,100km の極軌道を周期約 107 分で周回し、衛星からの電波を受信することで、観測地点の経度・緯度・楕円体高を決定することができた。NNSS を用いることで、観測者は極寒の野外での長時間におよぶ天文観測から解放された。しかし、このシステムで高精度に経度・緯度等を決定するためには、数日間の連続観測が必要であり、すべての基準点をこの方法で観測することは作業効率が悪いことから、ベースキャンプ周辺で NNSS の観測を行い、この観測点を基点として光波測距儀と経緯儀を用いた多角測量(写真-7)あるいは三角測量を実施した。このとき、方位角が必要となるが、方位角は、これまでと同様に経緯儀を用いた太陽観測により求めた。また、標高は、NNSS で観測した値から座標変換(後述)を行い、それにより求めた高さ(ジオイド勾配の補正は行っていない)を標高の基点とし、経緯儀を用いて高度角観測を行って決定している。多角測量等における視準目標(測標)は、軽量で運搬に適していることから 2 mポールに標旗をつけて針金で岩などに固定(写真-8)している。なお、この地域での観測点間の移動には、おもにスノーモビルを用いた。

NNSS の場合、測地基準系として WGS-72 測地系を採用していることから、基準点測量で使用している

測地基準系 1967 楕円体に基づく経度・緯度に整合させるための座標変換を行う必要があった。このため、座標変換のためのパラメータは、昭和基地の天測点における、NNSS 測量の観測結果に基づいて決定している。

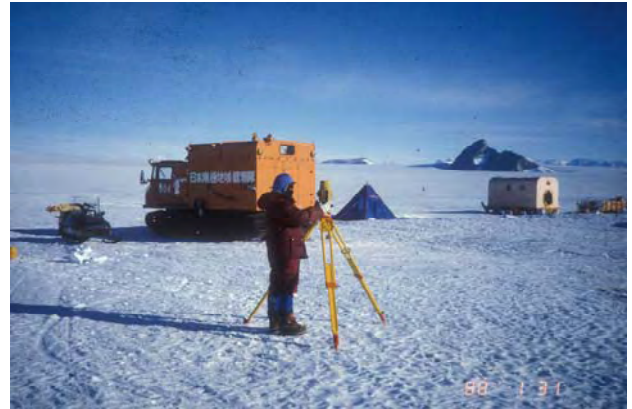


写真-7 多角測量の風景



写真-8 基準点と視準目標(測標)

3. 2. 3 人工衛星測量 (GPS)

1980 年代後半になり GPS の利用が可能になってきたことから第 30 次観測隊(1988)では、セール・ロンダーネ山地において GPS のテスト観測を実施した。その結果をふまえ第 31 次観測隊(1989)及び第 32 次観測隊(1990)は、セール・ロンダーネ山地において GPS を用いた単独測位による基準点測量を実施した。この当時は GPS 衛星の数が少なく、観測できる時間帯は 1 日のうち 4～5 時間と限られていたが、各基準点において 5 秒のサンプリング間隔で 3 時間以上の観測を実施した。GPS 測量は、NNSS 測量に比べ作業が短時間で済むことから作業効率が大幅に向上した。特に第 31 次観測隊(1989)では、セール・ロンダーネ山地南方の高山地帯で基準点測量を実施したが、この地域はクレバス帯も多く雪上車やスノーモビルによる陸路の進入が困難であることから、地学調査グループと合同で、移動手段に観測隊独自のヘリコ

プターを使用した。ヘリコプターと GPS を使用することで安全に機動力を活かした観測が可能となった。

また、GPS を利用する場合も、測地基準系が異なるため、GPS が採用している WGS-84 測地系から測地基準系 1967 に座標変換する作業を行う必要がある。実際には、WGS-84 測地系と WGS-72 測地系との間は U.S. Defense Mapping Agency によって変換パラメータ (DMA1987) が決定されていたので、座標変換パラメータを用いて WGS-84 測地系から WGS-72 測地系へ変換した後、さらに WGS-72 測地系から測地基準系 1967 へ座標変換を行った。

3.2.4 精密測地網測量(基準点の改測及び新設)

第 33 次観測隊(1991)は、SCAR キャンペーン観測に参加し、昭和基地の GPS 観測点(SYOW)において、21 日間の GPS 連続観測を実施した(3.6.1 SCAR キャンペーン観測参照)。この GPS 国際共同観測により、昭和基地の経度・緯度が高精度に初めて地球規模の測地網と結合した。このキャンペーンによる GPS 国際共同観測は、その後も第 34 次観測隊(1992)から第 36 次観測隊(1994)によって継続され、その後は IGS 点(SYOG)の GPS 連続観測へと引き継がれた。

GPS 国際共同観測を契機として、第 33 次観測隊(1991)から第 37 次観測隊(1994)までは、GPS 観測点(SYOW)を基点として、露岩域の既設基準点と GPS による相対測位で測地網の結合観測が行われ、既設基準点の改測作業を行っている。また、同時に 1 万分 1 カラー空中写真図作成等のため、基準点の新設を実施している。

その後、第 36 次観測隊(1994)により昭和基地に IGS 点(SYOG)が設置されたことから、第 37 次観測隊(1994)以降は、この IGS 点(SYOG)を実質的な原点として扱い、各露岩域の基準点測量(写真-9)は、ここを基点とした GPS による相対測位で基準点の新設及び改測を行っている。ただし、第 37 次観測隊(1995)では、IGS 点(SYOG)を基点とした観測を行うとともに一部の観測については、IGS 点(SYOG)の観測システムの故障等のため、GPS 観測点(SYOW)を基点とした観測も行っている。

改測は、IGS 点(SYOG)等を基点とした長時間の相対測位による観測を行う方法と作業効率を考慮して露岩内に基準とする観測点(以下、「基準観測点」という。)を決めて IGS 点(SYOG)等との間で長時間の相対測位の観測を行い、露岩内の他の改測点については、基準観測点を基点として数時間の相対測位の観測を行う方法で行われている。

しかし、改測は、すべての基準点について行うのは困難であることから、既設基準点の設置時の観測網図を考慮して、露岩毎の複数の基準点について行い、その露岩の座標変換パラメータを決定し、他の

未改測の基準点については、旧測量成果に座標変換パラメータを加えて新しい測量成果を決定する方法も用いている。

なお、第 33 次観測隊(1991)から第 39 次観測隊(1996)では、GPS 観測点(SYOW)又は IGS 点(SYOG)の WGS-84 測地系に基づいた座標値を基点として改測点及び新設点の座標値を算出した後、WGS-84 測地系から測地基準系 1967 へ座標変換パラメータを用いて座標変換を行って測量成果を得ている。

第 40 次観測隊(1998)では、第 33 次観測隊(1991)から第 39 次観測隊(1997)で不統一となっていた基点座標値の統一を行うとともに、IGS 点(SYOG)の測量成果を ITRF2000 及び GRS80 測地系に基づく測量成果に改訂した。この IGS 点(SYOG)の座標値は、VLBI 及び DORIS 観測点との結合観測を行っており、ITRF2000 に基づく座標値が求められ、IGS 点(SYOG)は VLBI 観測点とともに 2001 年 3 月に ITRF に登録されている。

その後、第 41 次観測隊(1999)以降の観測及び解析は、IGS 点(SYOG)の ITRF2000 の座標値に基づいて行っている。



写真-9 露岩域での GPS 観測

3.2.5 測地基準系の統一

(1) 第 32 次観測隊(1990)以前

第 32 次観測隊(1990)以前の計算処理は、測量の基準としてヘイフォード楕円体、ベッセル楕円体、測地基準系 1967 楕円体がいわれてきた。また、観測に用いてきた NNSS や GPS は、それぞれ WGS-72 測地系、WGS-84 測地系がいわれた。このため、測量の基準を統一するために最終的には、すべて測地基準系 1967 楕円体に統一する作業を行っている。

ヘイフォード楕円体やベッセル楕円体に基づくものについては、再計算を行い測地基準系 1967 楕円体に統一した。

そして、NNSS 測量で用いられている WGS-72 測地系や GPS 測量で用いられている WGS-84 系に基づいて得られた座標値は、表-4 の座標変換パラメータを

用いて測地基準系 1967 へ変換して測量成果としている。

なお、表－4 の WGS-72 測地系から測地基準系 1967 への変換パラメータは、天測点における測地基準系

1967 楕円体に基づく測量成果と同点において第 21 次観測隊(1979)が実施した NNSS 測量による WGS-72 測地系の観測値(表－5)をもとに決定した。

表－4 南極地域の座標変換パラメータ

From	To	T _x (m)	T _y (m)	T _z (m)	R _x (″)	R _y (″)	R _z (″)	D ($\times 10^{-6}$)
WGS-72	測地基準系 1967	-292.82	227.49	-29.93	0	0	0	0
WGS-84	WGS-72	0	0	-4.5	0.000	0.000	-0.554	-0.2263
WGS-84	測地基準系 1967	-292.82	227.49	-34.43	0.000	0.000	-0.554	-0.2263

※ T_x : x 座標の平行移動量 R_x : X 軸回りの回転量
 T_y : y 座標の平行移動量 R_y : Y 軸回りの回転量
 T_z : z 座標の平行移動量 R_z : Z 軸回りの回転量
 D : スケール補正量

表－5 天測点の測量成果と NNSS による観測結果

天測点の測量成果 (測地基準系 1967 楕円体)	NNSS による観測値 (WGS-72 測地系)
緯度(南緯)=69° 00′ 22″ 000	緯度(南緯)=69° 00′ 19″ 205
経度(東経)=39° 35′ 24″ 000	経度(東経)=39° 34′ 51″ 428
標 高=29.18 m	楕 円 体 高=54.91 m

(2) 第 33 次観測隊(1991)以降

第 33 次観測隊(1991)から第 37 次観測隊(1995)まで基準点測量で使用した GPS 測量の基点は、第 33 次観測隊(1991)が SCAR キャンペーン観測を実施した GPS 観測点(SYOW)であったが、IGS 点(SYOG)の設置以降は、IGS 点(SYOG)が用いられてきた。しかし、各隊次が使用した基点の座標値は、表－6 で示すように統一されたものではなく様々であった。

表－6 GPS 測量で使用した基点の座標値 (WGS-84 測地系) と基点シフト量

番号	測点	緯度 (南緯)	経度 (東経)	楕円体高	使用隊次	備 考
		(ddmmss. sssss)	(ddmmss. sssss)	(m)		
①	GPS観測点 (SYOW)	690024.54524	393506.01104	41.918	33, 34, 35, 36, 37	第33次観測隊の観測データで決定
②	IGS点 (SYOG)	690024.99112	393501.34542	49.516	37	第36次観測隊の観測データで決定
③	IGS点 (SYOG)	690025.04566	393501.48359	50.169	38	ITRF94からWGS84に座標変換
④	IGS点 (SYOG)	690024.99091	393501.34542	49.684	39	①の成果に2316～IGS点の座標値 (1995/8/17の観測値)を加えた値
⑤	IGS点 (SYOG)	690025.04537	393501.48332	50.168	40	ITRF94からWGS84に座標変換
基 点 シ フ ト 量	⑤－①	-0.50013	-4.52772	8.250		
	⑤－②	-0.05425	0.13790	0.652		
	⑤－③	0.00029	-0.00027	-0.001		
	⑤－④	-0.05446	0.13790	0.484		

また、第 33 次観測隊(1991)から第 39 次観測隊(1987)では、それぞれ各隊次が GPS 観測点(SYOW)又は IGS 点(SYOG)を基点として求めた各基準点の WGS-84 測地系に基づく座標値を測地基準系 1967 へ変換する座標変換パラメータ(表-4)を用いて、座標変換を行い測量成果とした。

なお、第 39 次観測隊(1997)が IGS 点(SYOG)の座標値を求めるために使用した GPS 観測点(SYOW)と IGS 点(SYOG)間の三次元座標差は、1995 年 8 月 17 日の約 24 時間の観測値を用いて決定しており、その三次元座標差は、表-7 のとおりである。

表-7 GPS 観測点(SYOW)から IGS 点(SYOG)間の三次元座標差

dX=	+25.240m	X 軸方向の座標差
dY=	-46.394m	Y 軸方向の座標差
dZ=	-12.1973m	Z 軸方向の座標差

※ ただし、dX、dY、dZ は、三次元座標差

その後、第 40 次観測隊(1998)では、第 40 次観測隊(1998)が使用した基点の座標値と各隊次が使用した基点の座標値から基点シフト量(表-6)を求め、そのシフト量を使用して各基準点の測量成果を補正して、第 40 次観測隊(1998)が使用した基点に基づく測量成果へ基準を統一するとともに、表-8 の座標変換パラメータを用いて、WGS-84 測地系から ITRF94 を経て ITRF2000 に基づく測量成果へ変換している。

この ITRF94 から ITRF2000 への変換パラメータは、IGS 点(SYOG)における ITRF94 の座標値と ITRF2000 の座標値から決定した。

これらの作業により、第 33 次観測隊(1991)から第 40 次観測隊(1998)が GPS 観測点(SYOW)又は IGS 点(SYOG)を基点として、相対測位方式の GPS 測量で実施した基準点測量の測量成果(改測点及び新設点)は、すべて IGS 点(SYOG)の ITRF2000 の座標値に基づいて整理した。

第 41 次観測隊(1999)以降の観測及び解析は、IGS 点(SYOG)の ITRF2000、測地基準系 1980 楕円体に基づく測量成果を使用している。

表-8 WGS-84 測地系から ITRF 測地基準座標系への座標変換パラメータ

From	To	T _x (m)	T _y (m)	T _z (m)	R _x (″)	R _y (″)	R _z (″)	D (×10 ⁻⁸)
WGS-84	ITRF94	-0.078	0.505	0.253	-18.300	0.300	-7.000	1.01
ITRF94	ITRF2000	-0.0166	-0.0341	0.0802	0.000	0.000	0.000	0

(3) 未改測点の措置

改測点周辺の未改測点については、露岩毎に改測点の改測値(新測量成果)と旧測量成果との較差(緯度、経度、楕円体高)を変換パラメータとし、このパラメータを旧測量成果に加えて新測量成果とした。

改測が行われていない地域(セール・ロンダーネ山地、やまと山脈など)の既設基準点については、測地基準系 1967 楕円体に基づく測量成果となっている。

3. 2. 6 標高と潮位

昭和基地のあるオングル島の三角点も含め、周辺露岩の標高は、すべてその露岩周辺の平均海面高から算出している。ただし、平均海面高の算出方法については、その観測時点の状況(場所、海の状態、気象など)に応じて異なる。

平均海面高は、言うまでもなく長期間のデータによる平均化が理想であるが、南極の露岩では 1 日あるいは数日の滞在中にすべてのオペレーションを終了させなければならない。すべてのオペレーションとは、同じ露岩に滞在している各隊員個々の任務す

べてを指す。これらを共同で実施するため、基準点測量に費やせる時間は少ない。標高を決定するための潮位観測もこの制約から逃れることはできない。どの隊でも潮位観測は、長くて 1 日である。

潮位観測の方法は、開氷(open sea)が露岩近くにあれば、そこにエスロン巻き尺などの目盛りをつけたポールを立てて、この目盛りを一定間隔で目視し、直接読み取って潮位データを収集した(写真-10)。

南極大陸沿岸は、ほとんど棚氷に覆われて波がない。このため潮位差はあっても、目盛りの読み取りに手間取ることはない。開氷がない場合は、海水を 0 m として標高を決定した。また、内陸部では、気圧計によって決定した。基準点の標高は、これらによって求められた値を基点として、水準測量あるいは経緯儀を用いた高度角観測により決定した。

第 24 次観測隊(1982)から第 32 次観測隊(1990)において、NNSS や GPS を用いて行っているセール・ロンダーネ山地の基準点の標高は、NNSS や GPS で観測した値から座標変換を行い、それにより求めた高さ(ジオイド勾配の補正は行っていない)を標高の基点とし、経緯儀を用いて高度角観測を行って決定した。

第 33 次観測隊(1991)以降に GPS を用いて実施された改測点の標高は、基準点設置時にその露岩周辺の平均海面高から算出されていることから改訂を行わずに旧測量成果における標高をそのまま使用した。

また、改測と新設が同時に行われる場合の新設点の標高は、観測で求めた新設点の楕円体高から改測点において求めた楕円体高と旧測量成果の標高の差から求めたジオイド高を差し引いて決定した。

なお、新設点周辺に改測点がない場合や験潮が行われていない地域においては、楕円体高のみを決定しており標高は求められていない。



写真-10 ヤルトオイ島における簡易験潮(第12次観測隊)
(上): 海中に立てた標尺, (下): レベルによる観測

3. 2. 7 まとめ

南極は、氷に覆われた特殊な地形であるとともに、測量を行うための人員・移手段・時間等が限られていることから、当初の基準点測量では、各露岩において独立した天文測量を行い経度・緯度を決定する方法を採用してきた。このため、露岩間の測量や大縮尺図を作成すると不整合がおきることが懸念されていた。

これを解決するため、1960 年代から測地網の結合観測を開始し、1970 年代には長距離の辺長が測定可能なジオジメータ 8 型や高性能の経緯儀ウィルド T3 を導入し、長距離の多角測量を行うなど測地網の結合に努めてきたが、直接視通が可能な昭和基地の南城にあるおもな露岩にのみにとどまっていた。

1980 年代に入り南極の基準点測量に NNSS が導入されたが、このシステムでも位置の決定精度は向上したものの、統一した測地網の結合には至っていない。その後、1990 年代前半になり、GPS の利用が活発になり、SCAR キャンペーン観測や GPS 連続観測の実施により、昭和基地の経度・緯度が高精度に地球規模の測地網との結合が実現された。そして、IGS 点(SYOG)を基準点測量における実質的な原点として、ここを基点とした GPS の相対測位を行うことで、長年の願望であった統一した測地網構築が実現できるようになった。

今後とも、未改測の露岩や内陸山地の測地網結合を推進し、正確な位置基準を提供することが重要であるとともに、定期的な繰り返し測量を行うことで、地殻変動や地盤隆起といった地球環境変動に起因する変動の検出に貢献できるものと期待している。

3. 3 重力測量

重力は地球の形状や性質にかかわる最も基本的な物理量の一つであり、地球上でその値を正確に測定することは地球科学分野の重要なテーマである。南極地域は、重力をはじめ種々の測定が地球上でもっとも困難な場所であり、他の地球科学的観測と同様、南極以外の地域のように豊富なデータが整備されていない。南極観測を開始した当初、南極において重力値を決定すること自体が重要な事業であった。

国土地理院の南極における重力測量は、第 2 次観測隊(1957)から第 6 次観測隊(1961)までは、地理調査所(現 国土地理院)が開発した重力振子(以下、「GSI 型重力振子」という。)とウォルドン重力計による観測が中心であった。その後第 8 次観測隊(1966)からは、ラコスト重力計が導入され、第 37 次観測隊(1995)に導入したシントレックス重力計と併せて現在も使用されている。また、第 33 次観測隊(1991)以降 3 ～ 6 年毎に高精度な絶対測定が佐久間