

第28次南極地域観測隊あすか観測拠点地学部門報告 1987

渋谷和雄*・酒井量基*

Outline of the Earth Science Programs at Asuka Station by the 28th Japanese Antarctic Research Expedition in 1987

Kazuo SHIBUYA* and Ryoki SAKAI*

Abstract: During the wintering season of the 28th Japanese Antarctic Research Expedition, we concentrated on observations of solid earth geophysics at Asuka Station and in the Sør Rondane Mountains region. The item of observation includes: (1) GPS interferometry for determining geoid height at L0 point, elevation above sea level at the Seal geodetic control station, performance test of the accuracy of the baseline length determination as compared with those by optical distance meter and NNSS translocation, (2) airborne proton magnetic survey and radio-echo sounding by Pilatus Porter PC-6, and surface feature recording by Cessna 185F, (3) 6 months' earth tide observation by the use of a LaCoste & Romberg G-type gravity meter, (4) gravity measurement on the L- and AB-routes at intervals of 1 km, (5) installation of a geomagnetic control station at the Seal Rock, (6) total magnetic intensity and magnetic susceptibility measurements on the AB-route and/or selected several stations in the region concerned, (7) seismic observation by arrayed 12 seismographs in the area 500 m by 1200 m to the south of Asuka Station.

This report briefly describes objective, method, technical problem, etc. of each item of observation.

要旨: 第28次「あすか観測拠点」越冬において地学部門は固体地球物理観測を重点的に実施した。観測項目としては(1) GPS 干渉測位を利用した L0 点でのジオイド高決定, シール岩測地基準点における海拔高度決定, 光波測距や NNSS トランスロケーションによる基線長収束精度と GPS 干渉測位との比較, (2) ピラタス機による航空磁気測量とアイスレーダー観測, 並びにセスナ機による氷床形態観測, (3) ラコステ・ロンバーグ G 型重力計による地球潮汐観測 (6 カ月), (4) L ルート, AB ルート上での重力測定 (1 km ごと), (5) シール岩における地磁気絶対測定, (6) AB ルート (2 km ごと) や, いくつかの測点での全磁力観測と帯磁率測定, (7) 12 台の地震計による多点地震観測 (500 m×1200 m 区域内に設置), などがあげられる。この報告は各観測項目につき, 観測の目的, 方法, 技術的問題点等をまとめたものである。

1. ま え が き

第28次あすか越冬隊地学部門は1987年2月20日の越冬成立以来, 同年12月28日の越冬交代までの約10カ月間にわたり, 主として固体地球物理学的諸観測を実施した。表1は, この間に行われた各観測項目を示している。各観測のオペレーションに関わる問題については, 越冬報告でも比較的詳しく述べたので, 記述の重複を避けるためにもここではいくつかの重

* 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

表 1 第 28 次あすか観測拠点越冬期間中(1987年2月-12月)における地学部門観測一覧表
 Table 1. List of earth science programs at Asuka Station and the Sør Rondane Mountains region during the wintering season of JARE-28 (February-December in 1987).

(I) 人工衛星測位	
a. GPS 測量 (SONY GTT-3000 と TEAC MT 2 GP 使用) (1)のみ 1986 年実施	(1) 「しらせ」-L0 同時受信 (12月23日) (2) L ルート標高精密測量とシール岩基準点 海拔高度取り付け (4月11日-23日) (3) あすか, 30 マイル, L0 でのひずみ方陣 (4月設 置, 12月再測) (4) 短距離光波測距との比較実験 あすか観測棟基準点-あすか沈下量ポール (5) 中・長距離 NNSS トランスロケーションとの比較実験 あすか沈下量ポール-シール岩基準点 25-01 あすか沈下量ポール-L0 海拔高度取り付け点 (6) 滑走路測量及び地震観測点測量
b. NNSS トランスロケーション (JMR-4 A 及び JMR-1 使用)	(1) あすか沈下量ポール-L66 (2) " -L90 (3) " -L47.5
(II) 航空機観測	
a. 航空磁気測量 (EG & G866 プロトン磁力計)	7フライト 35時間 15分
b. アイスレーダー (明星電気 179 MHz 三素子一対)	5フライト 23時間 15分
c. 氷床形態等 (コンパクトビデオカセット GR-C 7)	5フライト 14時間 35分
(III) 重力観測	
a. 重力潮汐観測 (ラコステ・ロンバーク G 805 重力計 とフィードバックアンプ使用)	雪室作成, 機器準備 5月18日-6月3日 予備観測 6月3日- 9日 本観測 6月10日-12月12日
b. 重力ポイント測定 (ラコステ・ロンバーク G 805 重力計)	(1) L0-L121 1 km ごと 122点 (2) シール岩, あすか周辺 25点 (3) AB ルート 1 km ごと 37点
(IV) 地磁気観測	
a. 地磁気絶対測定 (GSI 型二等磁気儀)	4月26日-12月18日にかけて合計9回 10月以降は1カ月に2回実施
b. 移動全磁力測定 (EG & G 866 プロトン磁力計)	(1) 30 マイル地点 9月25日 0949 UT-9月26日 0953 UT (2) L 97 10月1日 1424-2138 UT (3) L 61 9月24日 1956 UT-9月25日 0433 UT (4) AB ルート 2 km ごと 17点 (5) AA 20 10月13日 0917-0944 UT アウストカンパネキャンプ地 10月13日 1615-2130 UT, 10月14日 0532-0904 UT ブラットニーパネ第II稜キャンプ地 10月14日 1325-2114 UT, 10月15日 0542-0849 UT (6) 帯磁率測定: ブラットニーパネ第II稜キャンプ地4点 ロムナエス山1点, シール岩1点
(V) 地震観測 あすか観測拠点南 (1200 m×500 m) において 8月16日-10月2日の約50日間実施	
センサー	マークプロダクツ L22-D 2 Hz 上下動地震計10台, L22-H 2 Hz 水平動地震計 2 台
プリアンプ	応用地質(株) Model 1093, 2チャンネル 6台
ケーブルシステム	28芯インラインケーブル及びコントロール用コネクタボックス
メインアンプ	共和電業 DA-260 A 6台, 三栄 6M91 4台
レコーダー	TEAC HR30J 7chFM カセットレコーダー 2台
時計	コスモ計測 T-10 IRIG-H フォーマットジェネレーター
時計校正	SONY GTT-3000 GPS 受信器時刻モード
記録媒体	CT90 (type II) アナログカセットテープ各レコーダー1日あたり1巻使用

点項目について、その観測目的・方法、技術的問題点について若干の考察を加えることにする。

2. GPS 測 位

GPS 衛星を利用した氷床上での測地学、固体地球物理学、雪氷学的利用は始まったばかりであり、その応用には無限の可能性が考えられる。GPS 衛星が発信する軌道情報、発信時刻情報などのデータコードを解読して、受信器の時々刻々の位置情報を引き出す方法を航法モードと呼び、発信電波の位相差を求めることから、受信二点間の相対位置を精度良く求める方法を干渉測位モードと呼ぶ。航法モードについては、航空磁気測量、アイスレーダー観測における航空機位置決定法として、今回の観測でも利用されており 3 章で若干ふれる。干渉測位モードについては日本測地学会編 (1986) の教科書にその詳しい解説が述べられているので、ここでは南極への適用に関わる点について重点をおいて簡単に概観することにする。

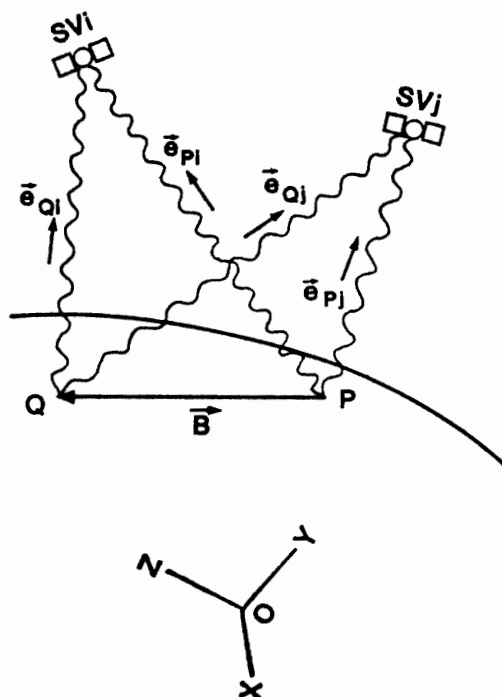
2.1. 原 理

図 1 において、 \vec{B} は地心座標系における GPS 衛星の受信点 P から同時受信点 Q へ向かうベクトル (基線ベクトル) である。天空上 GPS シリーズに属する衛星 (スペース・ビークル; SV と称される) の SV_i と SV_j が、発射する電波の位相をつないで受信点で復元すると視線距離ベクトルが得られる。この時、基線ベクトル \vec{B} と復元位相の間には、幾何学的関係式として次の式が成立する。

$$\left(\frac{\vec{e}_{P_i} + \vec{e}_{Q_i}}{1 + \vec{e}_{P_i} \cdot \vec{e}_{Q_i}} - \frac{\vec{e}_{P_j} + \vec{e}_{Q_j}}{1 + \vec{e}_{P_j} \cdot \vec{e}_{Q_j}} \right) \cdot \vec{B} = \Delta\Phi_{Q_{ij}} - \Delta\Phi_{P_{ij}} \quad (1)$$

図 1 GPS 干渉測位法の原理。GPS 衛星の発信電波の位相をつないでゆくと視線距離が復元できる。視線距離差は位相差 $\Delta\Phi_Q$ と $\Delta\Phi_P$ で表現できるがそれらは基線ベクトル $\vec{B}(=\vec{PQ})$ と式(1)で結ばれる関係にある。

Fig. 1. Principle of GPS interferometry. Carrier phases from GPS satellites can be integrated to recover slant ranges from the user receiver to the satellites. The difference of the slant ranges can be represented by the difference of measured carrier phases, which can also be related to the baseline vector $\vec{B} (= \vec{PQ})$ by eq. (1).



ここで \vec{e}_{P_i} , \vec{e}_{P_j} は各々 P から SV_i 及び SV_j に至る視線距離方向の単位ベクトルを表す。
 \vec{e}_{Q_i} , \vec{e}_{Q_j} の意味も同様である。また, $\Delta\Phi_{Q_{ij}}$ は Q における受信器が計測する SV_i から送られてきた電波の位相と, SV_j から送られてきた電波の位相の差である。

\vec{B} は三次元ベクトルなので, 式(1) は ij の組み合わせとして3通り (すなわち異なる4衛星) について同時観測が得られれば, 一意的な解を求めることができる。式(1)の右辺の持つ利点は, 受信器を固定し異なる SV から送られてくる電波の計測位相差を用いることから, 受信器に内在する時計, 位相計測電子回路の固有の誤差を相殺できる点にある。なお, 一点の時刻だけの $\Delta\Phi$ 計測では, 一般に波数の整数倍の不確かさ (ambiguity) が含まれるが, 衛星配置の異なる他の時刻での観測が得られれば, 不確かさを示す波数ベクトル \vec{n} (各方向成分の大きさ l, m, n) の決定も可能である。今回の観測では30分-1時間の時刻経過に伴う衛星配置の変化を見込んで式(1)を計算するために, 必要なデータを10秒ごとに集録し, 最小二乗法的に \vec{B} の最適解を求める方法を用いた。

2.2. L0 における海拔高度測量

南極域での地学観測においては, 観測地域の測定高度基準を独自に設定する必要がある。特に精度の良いフリーエア重力異常を求めたい時, 南極で一般に用いられる人工衛星測位により求められる楕円体高からジオイド高を分離する必要がある。ブライド湾は昭和基地付近と異なり, 露岩がないので精密な海拔高度の決定には工夫が必要であった。

「しらせ」がブライド湾定着水域に突入した1986年12月23日, L0点設置GPSアンテナと「しらせ」No. 01甲板ウィンチ突端上に取り付けたGPSアンテナ間の相対高度測定を, 干渉測位モードにより実施した。観測上の諸元, 諸要素を表2に, また観測の模式を図2に示す。GPS測量で求められるのは図2における h である。L0におけるアンテナの電気的中心の雪面からの高さ a' , 「しらせ」上のアンテナの甲板からの高さ a は, 巻き尺により直接測定で求められる。問題は甲板の舷高 b で, これは潮汐による海面高時間変動と連動し, 平均海水面 (ジオイド) に対し変化する。そこで, 海底潮位計 Z により水位の連続測定を実施し平均海水面を求める。図2中の各記号の観測値を用いると, 求める海拔高度 H は

表2 L0点海拔高度取り付け観測諸元

Table 2. Items of observation for the installation of elevation above sea level at L0 point.

1. L0-「しらせ」GPS 同時受信	12月23日 1720-1830 UT (データ集録10秒ごと) 受信器: SONY GTT-3000 L1 周波数 記録器: TEAC MT2 GP デジタルカセットデッキ
2. 海底潮位計観測	12月19日 1300 UT-12月23日 1800 UT (10分ごと) Aanderra WLR-7 圧力センサー型水位計 水深 ~200 m に設置
3. 船体傾斜観測	12月23日 0500 UT-12月24日 2100 UT (1時間ごと) ピッチ 船首, 船尾の喫水ゲージ読み取り ロール No. 01 甲板船尾左舷及び右舷高の巻き尺測定 海面補正のための気温, 気圧読み取り

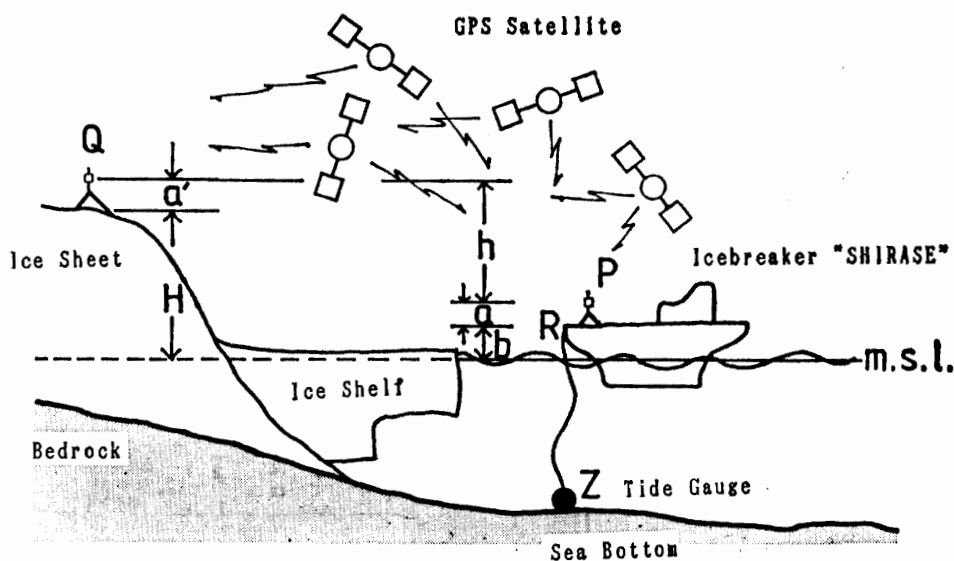


図2 人工衛星測位と海底潮位計を用いた L0 点海拔高度決定の原理
 Fig. 2. Principle of determination of the elevation above sea level at L0 point by the application of GPS interferometry and ocean tide observation.

$$H = h + b + a - a', \quad (2)$$

で与えられる。

2.3. L0-シール岩基準点 (25-01) 間 GPS トラバース測量

L0 点における海拔高度は 2.2 節で与えられるが、L0 は海洋性氷床上の点なので氷床流動、積雪等による経年変化を受ける。従って、不動点である内陸露岩域の測量基準点（例えばシール岩 25-01）の海拔高度を求めるには、L0 から水準測量トラバースをかけることが望ましい。しかし、現実には必要な高低差測定回数が膨大になること、劣悪な気象条件と作業性、雪面の軟弱さのため古典的な水準測量は、労力のわりには精度のよい測定結果を与えるとは思えない。そこで図3のように L ルート沿い、ほぼ 10km スパンで GPS 干渉測位法を用いた尺取り虫的なトラバースを行い、各区間相対高度差の合算から 25-01 の海拔高度を求めることを試みた。区間数が増えるほど、誤差伝搬により最終的に求めたい基準点での海拔高度の標準誤差は大きくなるが、目標精度は 1-2m である。

実際の測量旅行は 1987 年 4 月 11-23 日の 13 日間で完了した。各区間での GPS 同時受信を約 30 分間行うものとした。旅行期間中の観測可能時間帯は、7SV という衛星配置のもとで、1 日あたり 3-4 時間 (1100-1500LT) あったので、順調であれば 1 日あたり 3 区間の消化が見込まれた。しかし、同期間中、ブリザード、ホワイトアウトにほぼ連日みまわれ、予定より 1 週間長い日程でようやく測量を完了することができた。詳しい旅行報告は越冬報告に述べられているので、ここでは実験中の工夫について触れておくことにする。

GPS 受信アンテナは、クッション材とガムテープを用いて配管用プラスチックパイプ（径

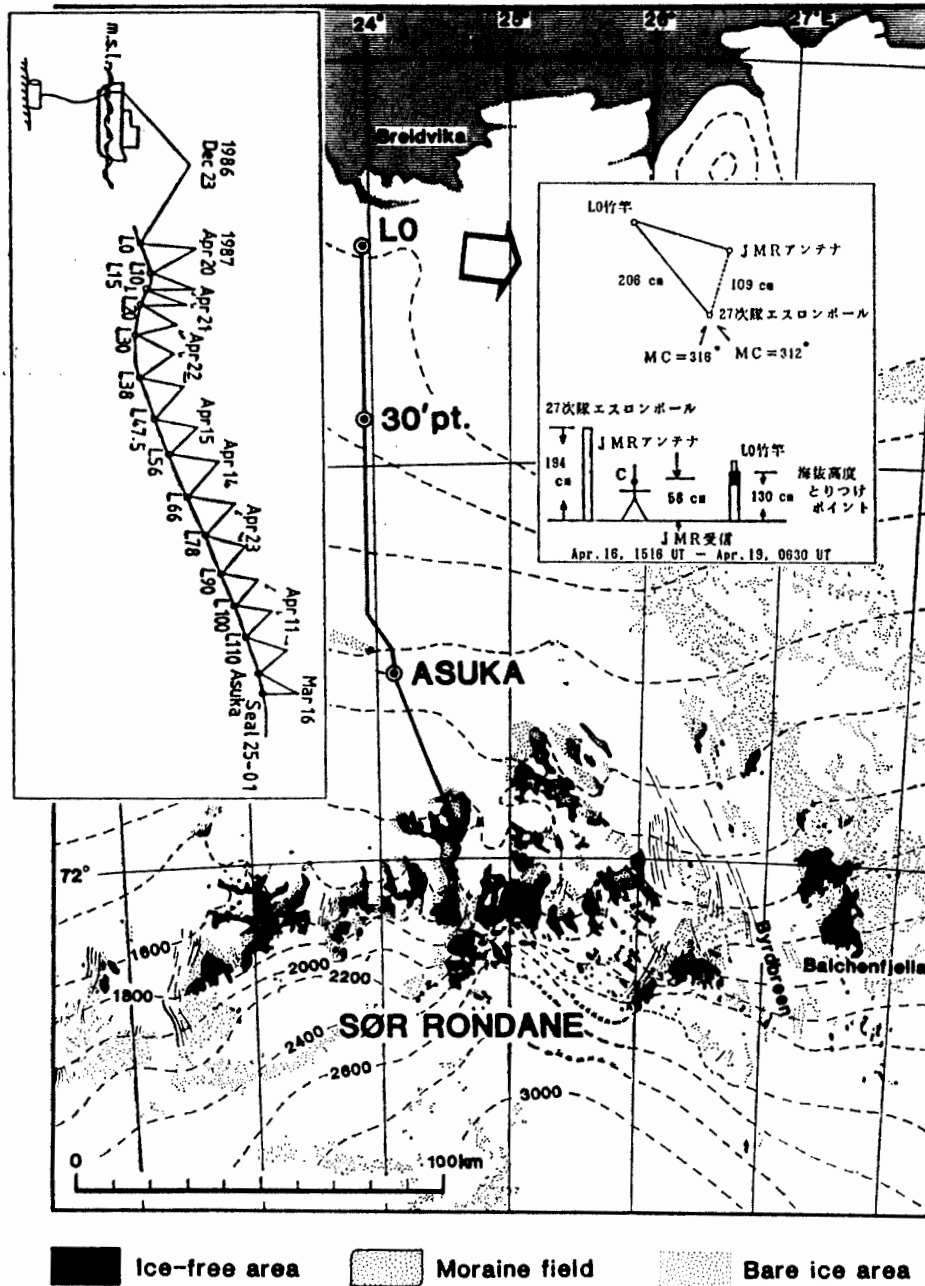


図 3 L ルート上 GPS 同時受信によるトラバース測量。ほぼ 10 km ごとに GPS 干渉測位を行い、シール岩測地基準点 25-01 まで結んだ(図左)。L0 点においては JMR 受信を実施した(図右)。

Fig. 3. GPS traverse survey on the L-route. Simultaneous receiving of GPS signals was made at both ends of 10 km segment. The segments were connected by the "geometer" method to reach at the geodetic control station 25-01 at the Seal Rock (left nest). At L0 point, NNSS receiving was made by the use of JMR-4A (right nest).

~5 cm, 長さ ~30 cm) に固定し, 区間目印用エスロンポールにワンタッチでかぶせられるよう工夫した。また, 作成した 2 台のアタッチメントを同一にすることにより, 尺取り虫測量において雪面とエスロンポールに取り付けた GPS アンテナの電気的中心の高度差(アン

テナオフセット)に、2班の観測パーティー間での相違が生じることのないようにした。アンテナケーブル(5D-2W 同軸ケーブル)は50mに設定した。雪上車と受信アンテナは十分距離をとることができたので、受信障害は避けられたと思われる。雪上車中のGPS受信器本体とデータ集録用デジタルカセットデッキ(表2参照)は、ディーゼル車用DC/ACインバーター(24VDC→100VAC, 2A)で駆動できた。受信器と記録器のインターフェイスはIEEE-488 2mケーブル1本で十分であり、車上装置、アンテナともにNNSS位置決定装置よりは簡素である。ただし、雪上車エンジン回転数が、安定するように注意していないとカセットデッキのテープ走行エラーをおこし、テープリワインドが途中で発生する点が問題である。除震はバリーマウントBA-64-10を4個使用した防震台を作成すること、低温対策は、受信のための電源投入前にヒーターで車内を0-5°C以上にしておけば、特殊仕様にする必要もなく、十分対処可能であった。

2.4. その他のGPS干渉測位

GPS干渉測位は、一般に一波受信器(L1周波数, C/Aコード使用)でも 10^{-6} の基線長測定精度を容易に与えるといわれる。これは100kmのスペンに対し10cm精度なので、南極などの広域概査には適している方法といえる。しかし、基線長が長くなってくると図1において、電波伝搬遅延誤差、大気屈折誤差補正等の条件が両受信点で異なってくるので、極域で実際にどのような測定精度を与えるかについては不確かな点も多い。そこで今回、測距儀を用いた短基線長測定とGPS干渉測位による同一基線長測定の比較、NNSSトランスロケーション法による~1km基線長及び~100km基線長測定と、GPS干渉測位による同一基線長測定の直接(または間接)比較をするために、いくつかの受信実験を行った。

2.4.1. 短距離基線

3月17日、図4のように観測棟基準点に測距儀YHP3808Aを設置し、沈下量ポール直上にミラーを設置して斜距離を測定した(図中(a)のペア)。測定気象条件、測定斜距離結果等も図4に記入してある。

3月18日、同上同一点にGPS受信アンテナを設置して干渉測位テストを実施した(図中(b)のペア)。アンテナオフセット等も図4に記入してある。アンテナオフセット補正ののち、両者の測定結果を比較すれば、~100m基線長でのGPS干渉測位収束精度を調べることが可能である。

2.4.2. 中距離基線

4月3-5日にかけて、図4のように、あすか沈下量ポールとシール岩測量基準点25-01の間でJMRトランスロケーションを実施した(図中(c)のペア)。第26次、27次観測隊がシール岩測量基準点25-01-あすか主屋棟基準点間、あすか主屋棟基準点-あすか沈下量ポール間の測距儀測距による斜距離測定を行っているので、上記トランスロケーションとの比較データを推定することが可能である。ただし、この場合には、あすか沈下量ポールとあすか主屋

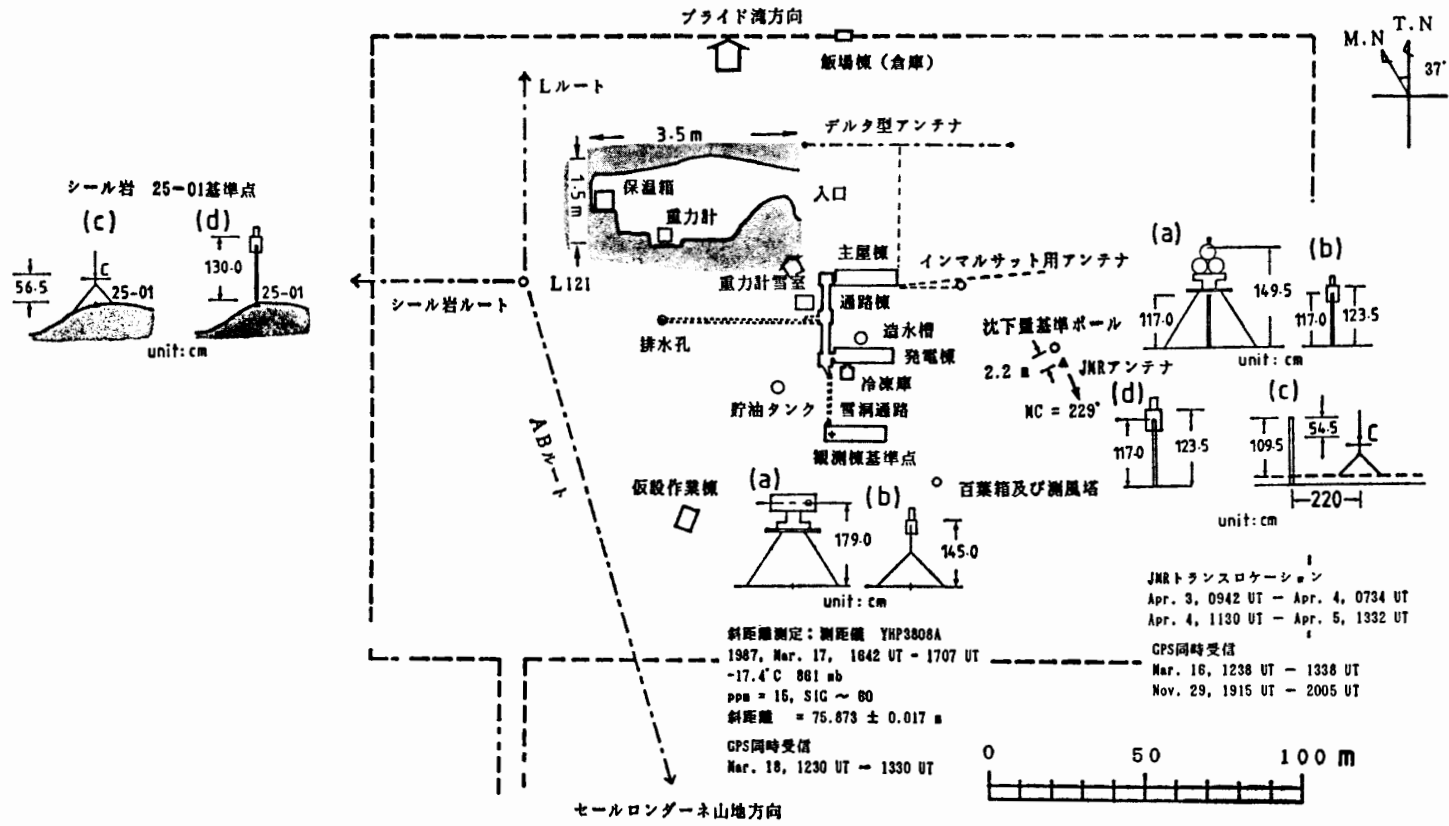


図 4 短距離基線における GPS 同時受信と光波測距の比較, 及び中距離基線における GPS 同時受信と JMR トランスロケーションの比較. 詳しくは本文参照.

Fig. 4. Comparison of GPS interferometry with the distance meter measurement for the short baseline (~100 m), and comparison of GPS interferometry with the NNSS translocation for the medium-length baseline (~2 km). For details, see text.

棟の氷床流動ベクトルが同一であるという仮定を要する。両点間において、3月16日及び11月29日、各1時間のGPS干渉測位観測を実施した(図中(d)のペア)ので、これら異なる3方法の基線解析結果比較から、GPS測量の~2km スパンでの収束誤差を見積もることが可能である。

2.4.3. 長距離基線

図3に記入したように、あすか沈下量ポール-L0間でJMRトランスロケーションをGPSトラバース測量旅行中に実施した。両点間での直接のGPS干渉測位は実施できなかったが、2.3節のL0点-シール岩測量基準点間トラバースの結果から高度差についての比較が可能である。

2.5. GPS干渉測位法の南極域適用における問題点

GPS干渉測位はSVが発信する電波の位相を精密に検出することによって達成される。

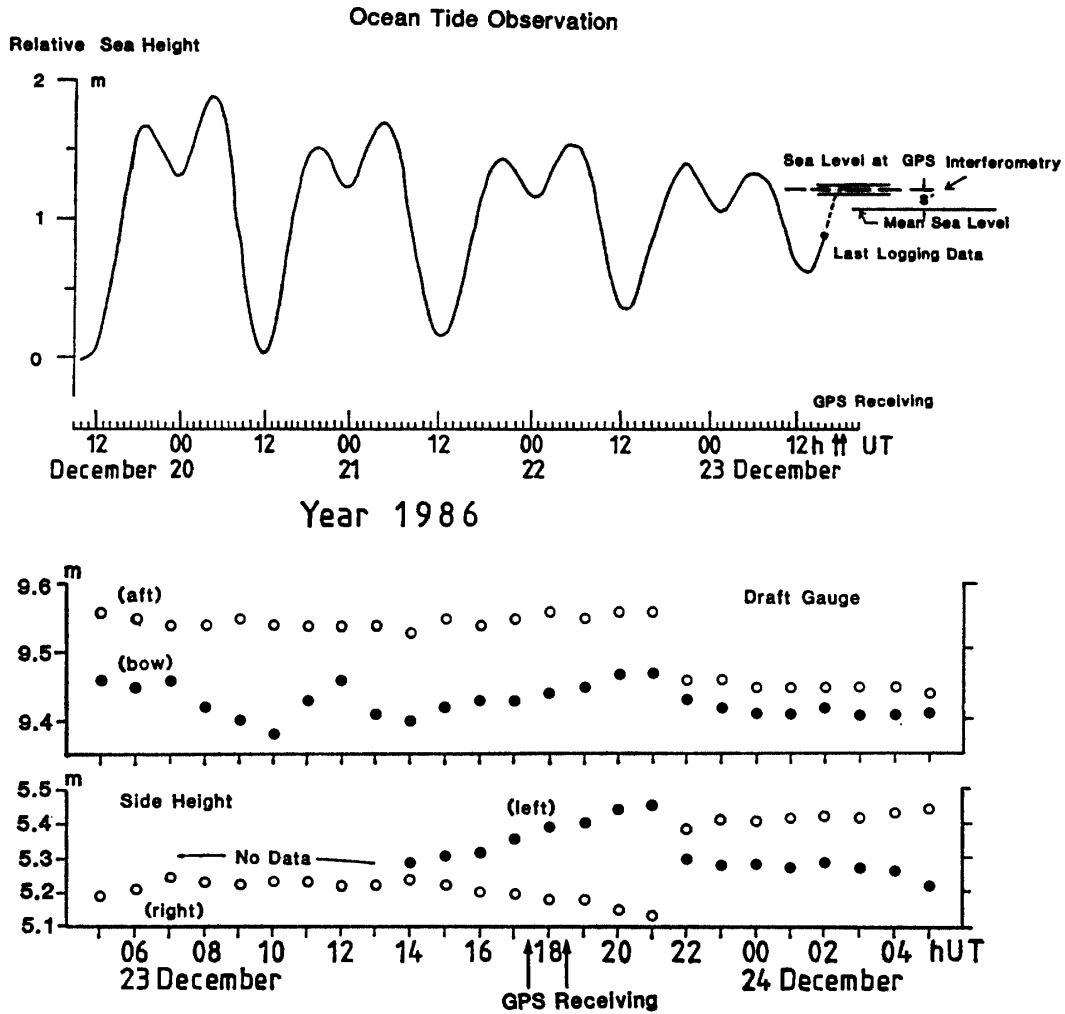


図5 「しらせ」-L0間GPS同時受信における海面昇降時間変化と「しらせ」喫水ゲージの読みとり値時間変化

Fig. 5. Sea level change and the monitoring of draft gauges and deck heights of ice-breaker SHIRASE during the GPS interferometry.

従って、受信アンテナの電気的中心が空間的にふらつかないことが必須条件である。しかし、雪面は一般に軟弱で三脚が沈下するし、また常時 $\sim 5 \text{ m/s}$ の風が吹く条件下ではアンテナの“ゆらぎ”をなくすことは難しい。受信アンテナの設置方法としては、エスロンポール (2 m) をコアドリルで雪面に穴あけして 50 cm ほど突き差し、その先端に 2.3 節で述べたようなアンテナ取り付けパイプをかぶせるという方式が、最も単純かつ安定した方法と思われた。予察的な解析結果によると、この場合 $\sim 10\text{--}15 \text{ m/s}$ という風速条件でも収束解が得られるが、アンテナの電気的中心が微振動するため、収束性は基線長にかかわらず 5 cm より良くはならないようである。これは 1 km 未満の短距離基線の場合、相対精度が 10^{-4} 程度に劣化してしまうことを意味し、歪測量、精密水準測量への適用には限界があることを示している。

2.2 節のように基線の一端が船上 (海水上) の場合の一番の心配は、波浪・潮汐による船体のロール、ピッチ及び上下運動であった。図 5 は海底潮位計記録による海面昇降と「しらせ」の喫水ゲージの読み、舷高の時間変化を示したものである。GPS 干渉測位に必要な 30-60 分間の受信中に、アンテナの電気的中心はゆっくり 5-10 cm 動いたであろうことが推察される。以上のことより結局、位相ロックがはずれない限り基線長解析解は得られるが、アンテナの絶対空間に対する固定の限界が見かけ上の収束測位誤差として表れているのではないかと思われる。

3. 航空機観測

「あすか」における航空機観測は、1987年11月6日の昭和基地からのフェリーより12月28日のブライド湾における揚収までの約50日間に実施された。しかし、ブリザードなどの天候不順もあり、本格フライトが開始されたのは11月28日からで、12月20日までの23日間に、ピラタス機 (以後 PC-6 と称する) について 14 フライト (合計飛行時間 66 時間 55 分: うちウィンチテスト 1 フライト) (表 3a)、セスナ機について 5 フライト (合計飛行時間 14 時間 30 分) (表 3b) が実施された。フライトコースについては鮎川 (1989) を参照。

滑走路造成、気象条件、運行計画などオペレーションにかかわる観測報告はすでに第 28 次隊越冬報告 (国立極地研究所, 1988)、渋谷 (1988) でも述べたので、ここでは観測システム、データ後処理システム及び予察的な結果を中心に記述する。

3.1. 航空磁気測量

第 21 次観測隊以来第 25 次観測隊までの 5 カ年間使用されてきたバリンジャー社 M123 磁力計一式を、EG & G 社の G866 磁力計一式へ更新した。

3.1.1. ウィンチ及びバードセンサー

大きな変更点は電動ウィンチの導入である。M123 磁力計では手動ウィンチによりバードえい航ケーブル 30 m の繰り出しと巻き上げが必要で、観測者に大きな負担となっていた。今回、電動ウィンチの導入により、プッシュボタン式の FAST, SLOW 選択とレバー操作に

表 3a ピラタス機による観測飛行

Table 3a. Observation flights by Pilatus Porter PC-6.

月日	時間(LT)	項目	搭乗者			コース, 備考
			機長	観測	補佐	
11 12	1120-1255	航空磁気	大本	渋谷		ウィンチテスト
11 13	1245-1510	航空磁気	大本	渋谷	高橋	測線 1, 2 (風強く中断)
11 28	1820-0150	航空磁気	大本	渋谷	野崎	測線 7-12
11 30	2020-0330	航空磁気	森	渋谷	富田	測線 13-18
12 1	2025-0225	航空磁気	森	渋谷	高木	あすか-やまと往復
12 2	2020-0355	航空磁気	大本	渋谷	大坂	24°E に沿う南北測線 +測線 2-3
12 4	2030-0230	航空磁気	森	渋谷	鮎川	測線 1, 4-6
12 5	2005-2305	CO ₂ サンプルング	森	渋谷		計 8 高度 各フラスコ 2 本
12 9	1615-1945	アイスレーダー	森	渋谷	高橋	ICE 1 (南コース)
12 10	1630-2050	アイスレーダー	大本	渋谷	野崎	ICE 2 (南東コース)
12 11	1430-1925	アイスレーダー	森	渋谷	高木	ICE 3 (東コース)
	2210-0230	アイスレーダー	大本	渋谷	富田	ICE 4 (北東コース)
12 12	2020-0230	アイスレーダー	森	渋谷	高木	ICE 5 (バード氷河)
12 18	2110-2335	氷床形態・氷上偵察	森	酒井	高橋 他 3 名	あすか-ブライド湾

表 3b セスナ機による観測飛行

Table 3b. Observation flights by Cessna 185 F.

月日	時間(LT)	項目	搭乗者			コース, 備考
			機長	観測	補佐	
12 12	2000-0005	氷上偵察	大本	鮎川	酒井	
12 13	1545-1830	氷床形態	森	富田	野崎	フライトコースにつ
12 13	1925-2215	氷床形態	大本	酒井	大坂	いては鮎川(1989)を
12 18	2115-2345	氷床形態・氷上偵察	大本	高木	有賀	参照
12 20	1640-1900	雲観測	大本	矢内(29次)		

よる繰り出しと巻き上げが可能となり, 安定したバード降下及び上昇操作が可能になった。バードは実際のフライト条件下において極めて安定した姿勢を保ち, 昇降操作中ぶれないことが確かめられている。また, 非常の場合は, 電気スイッチ式ギロチンカッターによって瞬時にバードケーブルの切断, 投下が可能となり安全性も高まった。

ウィンチには, センサーケーブルからの出力信号を磁力計レコーダーへ送るための結線用ケーブルコネクタがとりつけてある。実機において, ウィンチ操作のドラム停止位置によっては, 磁力計レコーダーケーブルが接続しづらいのが構造上の難点である。また, 観測終了後, 誤ってケーブルを接続したままウィンチによるバード巻き上げ操作を行ってしまったことにより, コネクタ部を損傷してしまう事故が発生した。幸い, コネクタ部を改変して観測続行できたので大きな支障はなかったが, 一瞬の気のゆるみがウィンチドラムに手を巻き込んだりする危険性を常にはらんでおり, バード昇降には細心の注意を要する。

3.1.2. 磁力計レコーダー

磁力計はボタン操作によるデータ入力によって、精確なデジタルチューニングが可能になった点が大きな特色である。従来の M123 磁力計では、スイッチによるチューニング範囲の切り換え操作しかできなかったため、フライト中の時間経過に伴う設定ミスマッチにより全磁力カウントの誤りが比較的多く生じた。今回は、全フライトを通じそのようなカウントエラーは、6時間観測全データ（2秒間隔で～11000 データ得られる）の 1.0% 以下（～100 データ以下）におさえることができた。PC-6 の VHF 及び HF 送信時に、バードセンサーからノイズをひろうことは、M123 磁力計の時と同様、今回のシステムでも避けることはできなかったが、全磁力カウントの“みだれ”を短時間（継続時間～10 秒：4～5 カウント）に抑えることができた点が、データの質の改善に寄与している。

G866 磁力計は放電プリンター方式によるアナログモニターチャートと 0.1 nT 分解能のデジタルプリント値を出力する。しかし、チャート 1 巻の記録可能時間は、2 秒サンプリングで約 5 時間なので、今回のような 6-7 時間の長時間フライトに対しては機上でのチャート交換が必要となり、データ欠落部を生じることになる。特にチャート交換は機上での作業性が悪く、ハサミ、メンディングテープ等も使う必要があるため 5-10 分程度時間を要する点が問題である。

3.1.3. 磁力計システムとう載チェック

実機とう載でのチェックはできなかったが、準備した二式のバードセンサー、二式の磁力計レコーダーの組み合わせを変えて雪上車バッテリーを電源として、あすか観測棟南方 50 m 氷床上において、全磁力値データ集録を並行実施した。磁力計レコーダーとバードセンサーの組み合わせを交換しても、4 種の取得データは 0.2 nT 以内で一致した。

また、機体磁気影響の有無を見るため、駐機場においてウィンチからケーブルを巻き出し、機体後方あるいは側方にずらしてバードセンサーを氷上におき、全磁力カウント値を観察した。バードセンサーが、15-20 m 離れるとカウントの“みだれ”やオフセットがなくなるので、飛行中のケーブルたわみにより、30 m ケーブルを巻き出した時のセンサー～機体の直距離が 20 m と短くなったとしても、機体磁気の影響はほとんど受けていないと推察される。

3.2. アイスレーダー観測

アイスレーダー観測は、第 27 次観測隊により相当数のフライトがセールロンダーネ地域においてすでに実施されているので、第 28 次観測隊はその空白域を埋める形で測線を設定した（鮎川，1989）。アイスレーダー送信器、受信器、アンテナ素子等は第 27 次観測隊使用のものをそのまま引き継いで使用した。観測システムの詳細はここでは省略する。

岩盤からの反射エコー波形は、ビデオカセットテープ（SONY P6-120MP）にアナログテープ記録されているほか、明星ビデオパルスデジタルイザーによる A/D 変換後、後述の JARDAS にもデジタル記録される。今回実施の ICE1-ICE5 フライトにおいてはアナロ

グ波形は問題なくテープ記録できたが、デジタル集録は電磁干渉により継続記録できない場合を生じた。これについては後述する。

エコーパルスビデオモニター上で観察していると岩盤の複雑な地形を反映して、航跡に沿い基盤が急に深くなるほど、ノイズにうもれてエコーが出にくくなる傾向がある。逆に急激に浅くなる場合は、エコーパルス自身は比較的是っきりしているが、パルス幅及びマーカ位置の設定を調整し、時間軸上でのパルス位置を注意して追いかけてやらなくては見失う場合もあり、注意が必要である。バード氷河上のフライト (ICE5) では、2000 m 深度の二回反射と見られる鮮明な多重反射エコーが観察された。バード氷河の横断測線下の基盤地形は、一般にU字谷状になっていると推察されるが、このような地形と多重反射波形成との関係が興味深い研究対象となろう。

このように反射エコーのモニターは、良い観測データを取得する上で重要であるが、現在の機上装置のレイアウトでは、観測者はビデオモニター画面に対し90度直角の方向にすわる形になるので、正対して楽な姿勢で監視ができるように改善するのが望ましい。

3.3. デジタルデータ集録システム

第 25 次観測隊までの航空磁気測量、アイスレーダー観測における問題点の一つとして、観測量と位置情報が同一の時刻ベース上のデジタル時系列データとして与えられていなかった点があげられる。このため、計算機処理によるデータ解析を行うには不便であった。しかし今回、1985-87 年度国立極地研究所設備費の一環として認められた「航空機用位置決定システムの開発」をもとに、PC-6 の総合的なデータ集録システムの設計、製作を行うことができた。

製作されたデジタルデータ集録装置を JARDAS (Japanese Antarctic Research air-craft

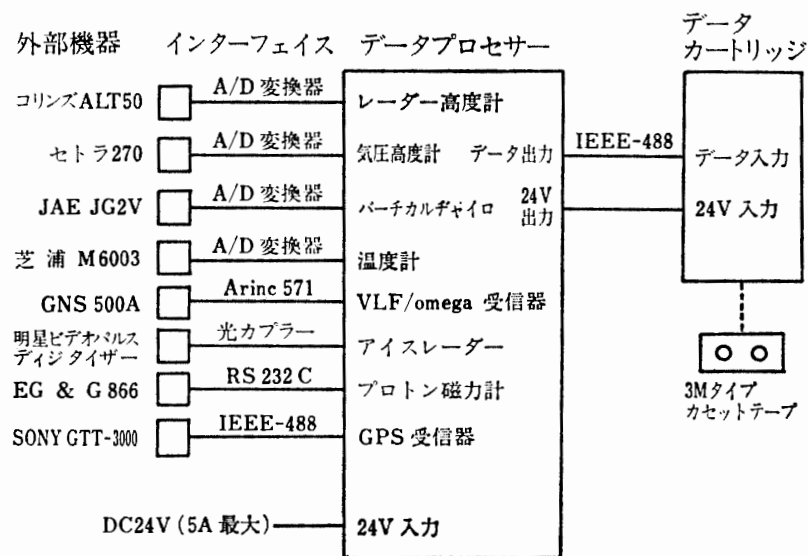


図 6 JARDAS システム構成図

Fig. 6. System configuration of JARDAS.

Digital data Acquisition System) と称する。そのシステム構成図を図6に示す。詳細な設計、デザインは SHIBUYA and YOSHIDA (1987) により既に記述されているのでここではふれない。

JARDAS は第27次観測隊の南極搬入に合わせ、ぎりぎりの日程で製作された関係上、国内での実機テストは2-3時間しか行えなかった。そのため、国内テストでは発見できなかった、あるいは出現しなかったトラブルが現地運用において発生した。幸い記録として使用不能となった観測フライトは一つもなく、この報告書を書いている現時点(1989年3月)でトラブルの大多数はその原因が判明した。しかし、現在でも原因が推測の域を出ず、今後の究明を待たねばならないものもある。

以下、簡潔に JARDAS 運用時の問題点について列記することにする。

3.3.1. 電磁干渉

JARDAS 運用時の一番の問題点はアイスレーダー観測時、レーダー送信器の発信開始に伴い、データカートリッジのテープ記録動作に SRQ がかかり停止することであった。この現象は第27次観測隊の運用時ではほとんど問題にならず、第28次観測隊の運用時にだけ表れた。帰国後の通信総合研究所電波無反射室での実験(以下、西尾・浦塚、私信)により、(1)電磁干渉は、送信アンテナからの放射が直接機器に影響する(電源系統、アースまわりから漏れ込むのではない)、(2)機器のシールドを強化するために、アルミホイールを張ったクッション材で、送信アンテナ-JARDAS 機器間のしゃへい条件をよくすると SRQ のかかる頻度は減少する、(3)第27次観測隊搬入のデータカートリッジにくらべ、第28次観測隊搬入のデータカートリッジは、同一規格の機器であってもシールド効果が悪かった、などが判明した。すなわち機器のシールド強化が緊急対応策と思われ、その観点から点検し直した。特にデータカートリッジのストリーマーテープ挿入口付近の部材は、プラスチック加工なので、送信アンテナから多重反射、う回して PC-6 の機内に飛び込む電波に対し全く無防備である。そこでデータカートリッジ前面にアロハンテープ(アルミニウム表面加工)を張りつけ、対処したところその後のテストでは記録動作エラーは発生していない。

3.3.2. 振動・衝撃

航空機は運航時絶えず細かい振動をしている。また、旋回時のGの変化や風のあおりなどの衝撃でとう載機器が正常動作を継続するかどうかは、実機テストでなければ判明しない問題点の一つであった。特にデータ集録装置として採用したデータカートリッジ Anritsu DMT750 は、サーペンティンヘッドを採用しており、4回ヘッドを動かして、1/4インチテープ幅のカートリッジテープ(ANSI×3.55-1977, 450ft)に8トラック記録して、テープ1巻あたりの記録容量(38MB)を高めている。ヘッドを動かすという機構上、動作時の振動条件は0.3G以下に規格で抑えられており、実機上での記録動作に一まつの不安があった。我々の場合、1秒あたり811byteデータが必要なので6-7時間以上の長時間連続記録を得るためには、合計20Mbyte以上の記録容量が必要であり、PC-6のとう載容積、重量の制限を

考慮するとき、ほかに候補がないというぎりぎりのデータカートリッジ選択であった。

防震対策としては、4 個ずつの防震台 Barry Mount M-64 BA-10-20-10 lbs を持った架台を作成し、それをとう載ラックにビス固定して、この台上にプロセッサ、カートリッジを固定して対処した。幸い振動が原因と見られるテープ書き込みエラーは、ほとんど発生せず、カートリッジの有効性を証明した。ただし、記録媒体のテープは、走行安定性につけられた厳しい条件から、リテンション操作によるテープ巻きとりの一様化、機上でのテープ保温に配慮する必要があった。

なお、図 6 の航法用外部機器群のうち機体側で最初から防震台を用意している GNS 500A (VLF/オメガ受信器) を除いて、特別の防震台マウントは準備できなかった。そのため振動が原因と思われる下記のトラブルが、日本へ持ち帰り後の動作チェック中に発生した。

(1) パーチカルジャイロ駆動用スタティックインバーター電源ラインショートが発生した。これはアースラインハンダのはく離が原因と判明した。

(2) 温度計の表示が出なくなった。これは計測器内部基板上的のコイル切れ、及び放熱板のはがれによる IC 焼損が原因と判明した。

従っていずれは全構成観測機器への防震対策が必要となろう。

3.3.3. 静電気と低温

「あすか」においても、みずほ基地と同様、特に冬季において静電気が頻発した。静電気発生条件は、(1) 風速が 15 m/s 以上になる、(2) 風上側で降雪がある、が二大要素と思われる。このような飛雪が「あすか」を襲い、観測機器の (1) IC 一つ一つにパスキонденサーが実装されていない、(2) センサーケーブル等のシールド線で浮いているものがある、等があるとトラブルの原因となる。

航空機はスタティックディスチャージャーを翼に取り付けている。いったんとう載した機器は、カートリッジを除いてブリザード中も航空機に残置したが、見かけ上、静電気の影響は受けなかったように思われる。

JARDAS 運用では10月29日の、この時期としては比較的大きなブリザードが襲来した時、観測棟内で動作テストしていたプロセッサ一式が静電気が原因と思われる故障で動作不良となった。CPU ボード、ROM ボード等の現地チェック、基板交換等では回復しなかった一連の故障が、帰国後の動作テストでは、修理なしでも見かけ上直っているなど、静電気対策のむつかしさをうかがわせる。

とう載機器内の電子部品の温度規格は、大抵のものは動作温度 0°C、保存温度 -30°C 保障である。カートリッジテープトランスポート機構のメーカー動作保障温度は 5°C までである。一般に11月~1月期の「あすか」外気温は -25°C~-10°C で、運航機内の環境温度も -5°C~0°C と思われ、仕様条件外にある。しかし (1) 機器全体をダンボール材や毛布で覆う、(2) 機内をあらかじめマスターヒーターで暖気する、(3) カートリッジは雪上車バ

バッテリーでフライト準備ができるまで通電保温しておく、などの対策をしておけば実際上の不都合は生じなかったといえる。

3.3.4. データ処理システム

南極における航空機観測においては、取得データが即時に現場でモニターできることが極

表 4 航空磁気測量データモニタープログラム。“READ”はカートリッジテープ上のデータをパーソナルコンピューター PC 9801 VM 上のフロッピーディスクへ転送してストアし、“READ 1”は転送データをディスプレイ画面及びプリンター用紙へ出力する。

Table 4. BASIC programs to monitor data obtained in the aeromagnetic survey.

(a) Program “READ” transfers data on the cartridge tape of JARDAS to the Personal Computer PC 9801 VM 2 and stores data on the floppy diskette.

program READ

```

100 *****
200 CONSOLE 0,25,0.1
300 WIDTH 80,25
400 COLOR 7,0,0,7
500 SCREEN 3,1
600 KEY 7,"ISET IFC"+CHR$(13)
700 KEY 8,"ISET REN"+CHR$(13)
800 KEY 9,"?@ 11;" +CHR$(&H22)+"P2"+CHR$(&H22)+"@"
900 CLS 3
1000 OPEN "2:FLT5Dk" FOR OUTPUT AS #1
1100 ***** MT READ *****
1200 ISET IFC
1300 ISET REN
1400 CMD DELIM=0
1500 TIMEOUT=0
1600 ON SRQ GOSUB *OWARI
1700 MT=10:MTF=MT+1:MTD=MT
1800 SRQ ON
1900 PRINT@ MTF;"P1"
2000 PRINT@ MTF;"P2"
2100 PRINT@ MTF;"R811S4D1M1"
2200 *****
2300 SKIP=0
2400 CI=SKIP
2500 *MAIN
2600 CI=CI+1
2700 PRINT@ MTF;"P3"
2800 ON ERROR GOTO *OWARI
2900 FOR CP=1 TO 10
3000 INPUT@ MTD;A$,B$,C$,D$
3100 ON ERROR GOTO *OWARI
3200 T0$=MID$(A$,2,10)
3300 OM1$=MID$(A$,12,5)
3400 OM2$=MID$(A$,22,6)
3500 OM3$=MID$(A$,32,7)
3600 GP1$=MID$(A$,42,8)
3700 GP2$=MID$(A$,52,9)
3800 GP3$=MID$(A$,62,6)
3900 GPH$=MID$(A$,72,5)
4000 GPV$=MID$(A$,82,6)
4100 TEMP$=MID$(A$,92,5)
4200 HGT1$=MID$(A$,102,5)
4300 HGT2$=MID$(A$,112,5)
4400 GYR1$=MID$(A$,122,5)
4500 GYR2$=MID$(A$,132,4)
4600 PRT$=MID$(A$,142,7)
4700 PRINT T0$;" ";OM1$;" ";OM2$;" ";OM3$;" ";GP1$;" ";GP2$;" ";GP3$;" ";GPH$;" ";GPV$
4800 PRINT TEMP$;" ";HGT1$;" ";HGT2$;" ";GYR1$;" ";GYR2$;" ";PRT$
4900 PRINT #1,T0$;" ";OM1$;" ";OM2$;" ";OM3$;" ";GP1$;" ";GP2$;" ";GP3$;" ";GPH$;" ";GPV$;" ";TEMP$;" ";HGT1$;" ";HGT2$;" ";GYR1$;" ";GYR2$;" ";PRT$
5000 NEXT CP
5100 GOTO *MAIN
5200 PRINT@ MTF;"P2"
5300 *OWARI
5400 CLOSE
5500 END

```

- (b) Program "READ 1" opens the file and displays data on the console display and outputs data to the printer.

program READ1

```

100 '*** OPEN ***
110 CONSOLE 0,25,0,1
120 WIDTH 80,25
130 COLOR 7,0,0,7
140 SCREEN 3,1
150 CLS 3
160 OPEN "2:TST1" FOR INPUT AS #1
170 '*** FILE READ ***
180 CI=0
190 *MAIN
200 CI=CI+1
210 FOR C=1 TO 10
220 MT=10: MTD=MT
230 INPUT #1,T0$,OM1$,OM2$,OM3$,GP1$,GP2$,GP3$,GPH$,GPV$,TEMP$,HGT1$,HGT2$,GYR1$
,GYR2$,PRT$
232 TIM$=MID$(T0$,5,6)
234 TIM=VAL(TIM$)
236 'IF TIM<53730# GOTO *PASS
240 ON ERROR GOTO *OWARI
250 'LPRINT T0$;"",":OM1$:"";":OM2$:"";":OM3$:"";":GP1$:"";":GP2$:"";":GP3$:"";":GPH$:"";":GPV$
,"";PRT$
252 LPRINT T0$;"",":GP1$:"";":GP2$:"";":GP3$:"";":PRT$
260 PRINT T0$;"",":GP1$:"";":GP2$:"";":GP3$:"";":PRT$
262 *PASS
270 NEXT C
280 GOTO *MAIN
290 NEXT CI
300 *OWARI
310 PRINT USING "***** *****";CI,C
320 STOP
330 END

```

めて重要である。1 フライトごとにバックアップデータファイルの作成，観測の良否を判定するために簡単な計算機データ処理システムが要求される。データカートリッジ DMT750 は，IEEE-488 インターフェイスを実装しているので，例えば，PC9801VM2 に IEEE-488 インターフェイスを装備しインターフェイスバスで結べば，データ転送に必要なハードウェアとしては準備されたことになる。

DMT750 はテープ巻きもどし，データのブロック読み込み，ブロック書き出しなどに特別のコマンド群を用意しているので，ユーザー側では簡単な basic プログラムで処理プログラムを作ることができる。表 4a にカートリッジデータのフロッピーディスクへの転写プログラム，表 4b に転写データのプリンター出力及び画面モニター表示プログラムの例（航空磁気観測用）を示す。このように処理システムは，パーソナルコンピューターと機上集録装置及び簡単なアプリケーションソフトだけなので，雪上車内でも扱える利点がある。

3.4. GPS 位置と VLF/オメガ位置

従来，PC-6 の飛行中の位置は VLF/オメガ受信器 GNS500A の表示緯度，経度を読みとり，その値を採用していた。しかし，VLF/オメガ受信器は，(1) “みずほ高原” など大陸氷床部へ向かう時，ロックがはずれやすい，(2) いったんロックがはずれると，位置の確定した目標物のない大陸氷床上では，受信器の正確な再起動が事実上行えず，その後の位置精度が悪くなる，(3) ice cap 上を伝搬してきた局の波を使用したり，電離層じょう乱時には位

置のオフセットを生じるといわれるが、その値について系統性がつかめない、などの問題点があった。

3.3節で述べた JARDAS の導入は、氷床上でのよりよい航空機測位システムの開発を目

表 5 VLF/オメガ位置と GPS 位置の比較. 3つの場合につき10秒ごとの位置データの並列出力を行った.

Table 5. Comparison of the VLF/omega position with the GPS position. Positional data from the two receivers are parallel sampled at intervals of 10 s for the 3 flight examples.

	日付 m d h m s	オメガ 方位 (deg)	オメガ緯度	オメガ経度	GPS 方位 (deg)	GPS 緯度	GPS 経度	GPS 速度 (km/h)
(A) 東行	1130202521	065	-71°24.4'	23°43.7'	048	-71°21'22.2"	23°46'26.2"	135.6
	31	062	-71 24.2	23 44.3	045	-71 21 13.4	23 46 52.6	133.3
	41	061	-71 24.0	23 44.9	044	-71 21 05.3	23 47 18.5	134.9
	51	060	-71 23.8	23 45.4	042	-71 20 57.1	23 47 47.1	136.7
	2601	059	-71 23.6	23 45.8	041	-71 20 48.4	23 48 11.0	141.0
	11	059	-71 23.4	23 46.4	041	-71 20 37.7	23 48 34.9	142.2
	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
	203241	077	-71°19.5'	24°05.9'	066	-71°16'04.0"	24°08'28.2"	124.3
	51	076	-71 19.5	24 06.4	063	-71 15 59.4	24 08 59.4	124.8
	3301	076	-71 19.4	24 07.0	063	-71 15 52.6	24 09 26.6	126.8
	11	075	-71 19.4	24 07.5	064	-71 15 49.0	24 10 00.2	126.8
	21	074	-71 19.3	24 07.9	062	-71 15 42.3	24 10 30.1	127.2
	31	074	-71 19.2	24 08.4	062	-71 15 36.5	24 11 00.7	125.9
(B) 西行	1112091226	198	-71°46.5'	23°50.4'	341	-71°48'55.9"	23°49'17.9"	188.7
	36	197	-71 46.8	23 50.0	342	-71 49 12.4	23 49 02.5	182.1
	46	197	-71 47.0	23 49.7	343	-71 49 26.2	23 48 43.7	180.9
	56	197	-71 47.3	23 49.4	342	-71 49 43.2	23 48 29.4	182.1
	1306	199	-71 47.6	23 49.2	340	-71 49 58.1	23 48 14.6	178.6
	16	199	-71 47.9	23 48.9	339	-71 50 14.1	23 47 56.7	176.1
	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
	2156	190	-72°01.2'	23°37.4'	346	-72°03'21.5"	23°34'14.4"	179.8
	2206	190	-72 01.5	23 37.2	347	-72 03 39.7	23 34 03.0	182.7
	16	190	-72 01.7	23 37.0	347	-72 03 53.5	23 33 50.5	185.4
	26	190	-72 02.0	23 36.8	346	-72 04 10.3	23 33 38.4	185.9
	36	192	-72 02.2	23 36.6	345	-72 04 25.7	23 33 23.7	191.0
	46	195	-72 02.5	23 36.3	342	-72 04 41.3	23 33 09.3	195.5
(C) 南行	1202192851	163	-71°23.7'	24°26.2'	191	-71°31'57.7"	24°33'14.2"	142.0
	2901	162	-71 23.9	24 26.0	188	-71 32 09.1	24 32 38.7	139.8
	11	162	-71 24.2	24 25.8	184	-71 32 25.4	24 33 30.5	140.0
	21	158	-71 24.4	24 25.6	182	-71 32 36.3	24 32 50.6	134.3
	31	158	-71 24.6	24 25.4	183	-71 32 48.7	24 32 44.8	133.2
	41	157	-71 24.8	24 25.3	185	-71 32 58.6	24 32 54.6	130.2
	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
	3541	155	-71°32.3'	24°25.0'	178	-71°40'27.4"	24°33'59.4"	160.3
	51	155	-71 32.4	24 25.0	176	-71 40 44.9	24 34 19.1	161.3
	3601	154	-71 32.6	24 25.2	174	-71 40 59.6	24 34 23.7	160.7
	11	154	-71 32.7	24 25.3	176	-71 41 15.7	24 34 37.7	156.8
	21	154	-71 32.9	24 25.5	176	-71 41 27.9	24 34 18.9	154.4
	31	153	-71 33.1	24 25.7	177	-71 41 44.1	24 34 45.5	150.4

的としており、VLF/オメガ受信器の緯度経度出力と GPS 受信器 (SONY GTT-2000 又は GTT-3000) の緯度経度出力を同時並列集録している。GPS 位置は、その測位原理から考えて、良い衛星配置 (PDOP<10) ならば、地球上任意の点で少なくとも 30 m rms の絶対精度が実現できると考えられているので、VLF/オメガ位置が GPS 位置に対しなんらかの系統的差異を示せば、過去のフライト位置の規制がある程度可能とも考えられる。

詳しいフライトレコードの解析は今後の課題であるが、表 4a, b のプログラムにより得られた現場でのモニタープリンター出力をもとに若干の比較を行った。表 5 は 3 つのフライト中のある時間帯の 1 分間と、それから 6-7 分間経過した後のさらに 1 分間につき 10 秒ごとの VLF/オメガ位置、GPS 位置を併記したものである。これらのフライトにおいては、飛行高度を 0 m, または 560 m に固定した 3 衛星による二次元モードの GPS 位置を得ているので、実際の飛行高度との差 (0-2000 m) が緯度、経度誤差に反映している可能性がある。表中 (A) は、図 7 のコース 11 を東へ飛んでおり、(B) はテストフライト (ほぼコース 7 に一致) において西へ飛んでいる。また、(C) は $24^{\circ}30'E$ 経度線沿いに山地を南行している。これら 3 つの場合の VLF/オメガ位置と GPS 位置の相対位置関係は、どの時刻においてもほぼ図 7 のように示される。VLF/オメガ位置は GPS 位置に対し、(1) 経度方向に 2'-4', 大きい場合 9' の差を持つ、(2) 緯度方向にも 2'-3', 大きい場合で 8' の差を持つ、(3) 東行 (A), 西行 (B), 南行 (C) の各場合で相対位置関係が入れ替わる。

これらがセールロンダーネ域での両位置の規則性を示すものかどうかについては、さらに検討を要する。また、表中 VLF/オメガ方位、GPS 方位はデータ復元が完全でないよう再検討を要する。なお、東の風 (30 km/h \sim 8 m/s) を反映し、真対気速度が \sim 150 km/h でも、

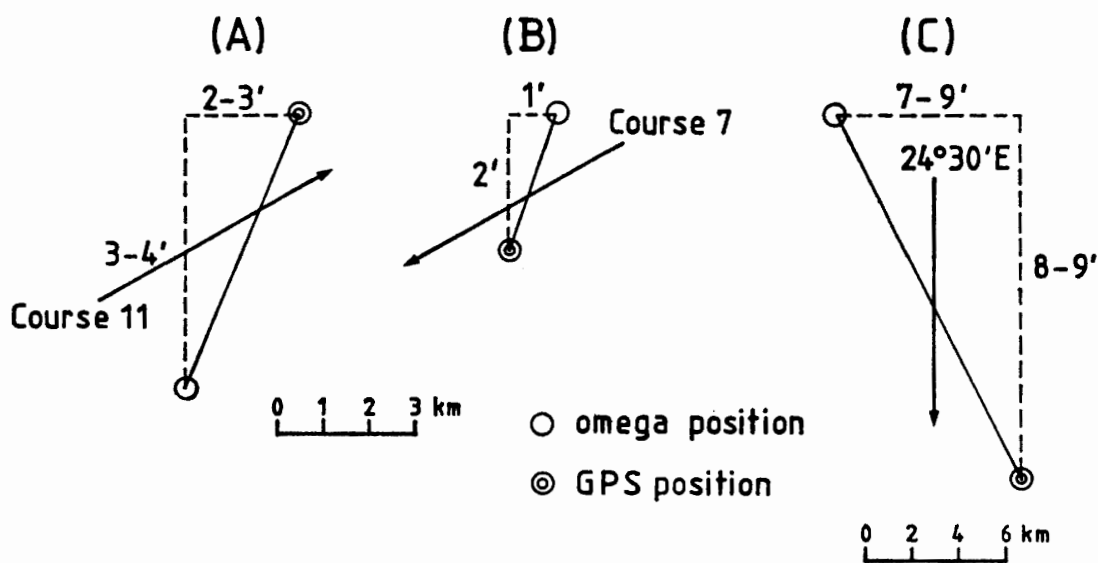


図 7 GPS 位置と VLF/オメガ位置の相対位置関係。表 5 の結果を図示した。

Fig. 7. Relative location of GPS position with respect to VLF/omega position. This can be obtained as the schematic illustration of the results in Table 5.

東行 (A) で ~ 120 km/h, 西行 (B) で ~ 180 km/h のもっともらしい対地速度が GPS 速度 (表 5 第 8 列) として得られていることは, GPS 受信器の航法計器としての将来性を示している。

4. 重力・地磁気・地震観測

「あすか」を中心に第 28 次観測隊で行われた地上重力, 地上地磁気, 地震観測は手法としては従来通りの方法によっている。その観測概要, オペレーション経過はすでに越冬報告で述べられているので, ここでは各項目につき特記すべき点のみを記述する。

4.1. 重力潮汐

日本南極地域観測隊では, 第 21 次観測隊によりラコステ重力計を用いて昭和基地地学棟で予備観測が行われた例がある。今回の特徴点はフィードバックアンプ法により, 潮汐変化をアナログ電圧出力として取り出し, A/D 変換後カセットテープレコーダーにデジタル集録する方式を採用したことである。

観測の成功は, (1) 重力計を生活環境から切り離れた雪室に設置し, ドアの開閉, 歩行による振動, 衝撃を抑えたこと, (2) フィードバックアンプを保温箱内に設置し, 温度変化を抑えたこと, (3) こまめに (\sim 約 10 日間おき), ロングレベル, クロスレベルの調整を行ったこと, によると思われる。特に衝撃は必ずレベル変化を招くので, 雪室の作成と整備 (図 4 参照) には 7 日間をかけた。

フィードバックアンプを入れた保温箱には, 重力計のフローティング充電用電源, バッテリー, 水晶温度計等も入れ, 息抜き穴とふたの空隙の微妙な調整で箱内の温度が一定に保たれるよう工夫した。水晶温度計出力は, 重力潮汐記録とともにペンレコーダーモニターできるようにして温度監視を行った。全期間を通じ, フィードバック抵抗の環境温度は $20^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ に保たれ, 温度の時間変化も極めてゆっくりとしている。温度変化, すなわち抵抗値変化がひきおこす出力感度の変化は, 1-2% と推定される。

予察的な解析結果は, 小川ら (1988) により行われ, 分潮ファクター等が推定されている。海洋潮汐補正後の分潮ファクター値と中, 低緯度での値との比較が待たれる。

4.2. 移動重力測定

航空重力測定が実用化されていない現在, 極域での重力測定はラコステ G 型重力計の雪上車移動によるポイント測定に頼らざるを得ない。今回, 重力潮汐観測終了後の 1987 年 12 月期に 4 日間をかけて L ルート, AB ルートの 150 km にわたり, 1 km ごとの測定を実施した (図 8 参照)。

重力測定は習熟を要するとはいえ, 作業それ自身はルーチン的であり, 機器の取り扱いに注意すれば氷床上でも $10 \mu\text{gal}$ 精度で再現性が得られる。そのためには機器にテアを生じさせないことが最も重要で, 結局, (1) 雪上車の速度は $10-15$ km/h 以下におさえ, 極力衝撃

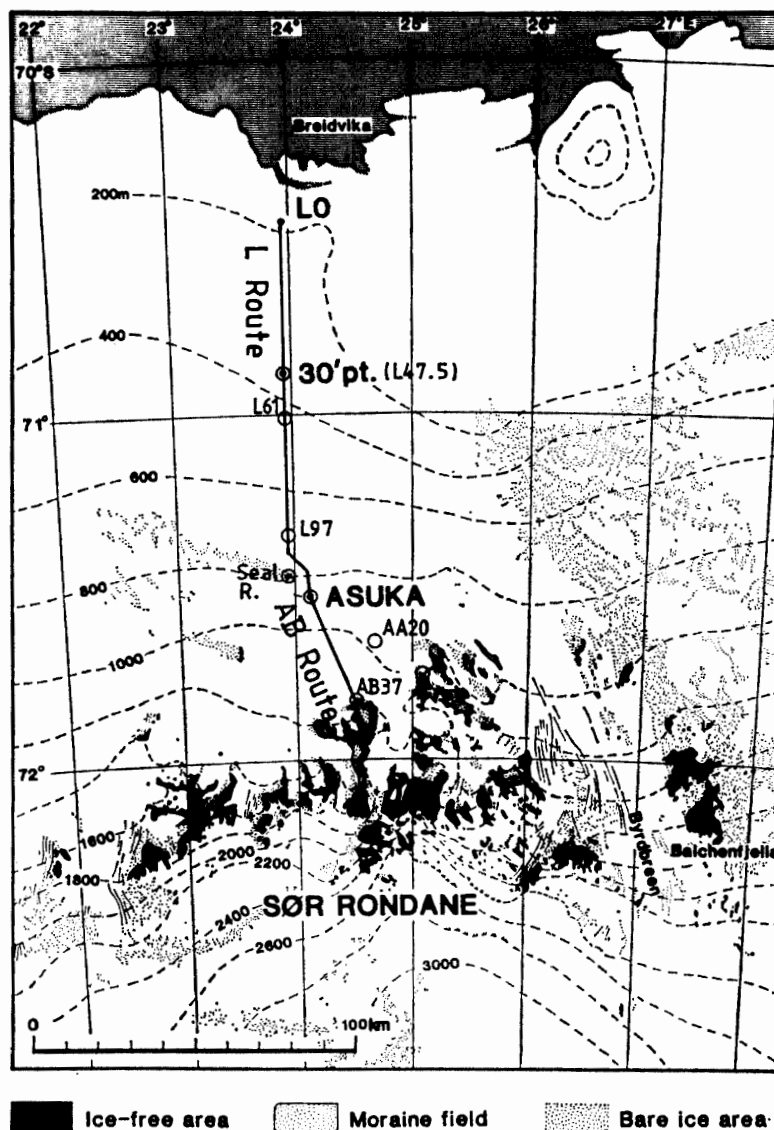


図 8 重力測定, 地磁気測定点配置. 重力測定はLルート, ABルート上1kmごと, 地磁気測定は図中白丸の測点で実施した.

Fig. 8. Location of gravity and geomagnetic stations. Gravity measurements were made at intervals of 1 km on the L- and AB-routes, while the geomagnetic total intensity was measured on the AB-route at intervals of 2 km and at the stations indicated by open circles.

を避ける, (2) 防震台よりは雪上車の床に敷いた厚いふとんの上に重力計を置き, 人手でおさえて運搬する, (3) 他の観測項目との同時並行作業は極力やめ, 重力測定のみを短期集中的に実施し, 機器の時間経過によるドリフトを抑えることが良い測定の条件と思われる.

表6に測定概要を示す. ABルートでは一地点3回の重力値読みとりを行ったが, Lルートでは1回とした. 雪上車の1km走行, 重力計設置, レベル調整, 重力値読みとり, 気温, 気圧, 器械高測定, フィールドノート記入, 重力計撤収・雪上車搬入までの1サイクルに要した時間はABルートでは13-15分, Lルートでは9-10分であった.

表 6 L ルート, AB ルート重力測定行動

Table 6. Operation of gravity survey on the L- and AB-routes.

実施日	区 間	使用車	参 加 者	備 考
12月14-15日	あすか-AB 37	SM513 SM512	渋谷・有賀・大本 高木・森	第5回セールロンダーネ 山地調査 AB 37-あすか GPS 同時 受信実施
12月17日	あすか-L121-L190- シール岩基準点-あすか	SM513	渋谷・鮎川	日帰り
12月25日	あすか→L90-L43	SM513	渋谷・富田	日帰り
12月28-29日	あすか→L43-L0	SM512 SM513	渋谷・高木・高橋・大坂 酒井・富田	あすか撤収行動 30 マイル, L0 にて GPS ひずみ方陣実施 1月2日昭和基地重力基 準点と結合

4.3. 地磁気絶対測定

地球磁場の基本量（偏角，伏角，全磁力等）を知るうえで貴重な観測である。特にセールロンダーネ地域では初めての観測結果が得られた。測定は酒井隊員が担当し，その詳しい作業経過が越冬報告書に述べられている。

観測の成功は，(1) 磁気儀のブライド湾からあすか観測拠点への搬入をヘリコプター第一便にお願いし，衝撃，振動が避けられたこと，(2) シール岩での石こう，銅筋による基準台設置がうまく行ったこと，に依存するところが大きい。

観測作業の問題点，改良点としては，(1) 気温が -25°C 以下になると，磁気儀ハンドルが固くなるほかアンブノイズが高くなる，(2) 磁気儀とアンブのケーブルコネクタが電気的接触不良をおこす，(3) イヤホンケーブルの材質と長さ及びイヤホンの頭部固定方法に改善の余地がある，等があげられる。

4.4. 移動地磁気・帯磁率測定

EG & G866 プロトン磁力計とベースステーション用センサーを雪上車で運搬し，図8の白丸の地点において測定を実施した。特に30マイル地点，AB37野外調査キャンプ地では，連続測定（2-10sのサンプリング間隔で5-10時間継続）を実施した。「あすか」においても同時観測を実施しているので，地磁気じょう乱時の比較データが得られた。各点間の時計の同期には注意を払い，UTC に対し1-2秒精度が保たれている。

セールロンダーネ山地調査において同上システムで観測を行ったが，電源としては12V 50AH バッテリーを用意せねばならず作業性が悪い。山地調査には別にG856磁力計など携帯用を用意すべきであった。帯磁率計(EDA K-2)の内蔵電池(006p)の消耗が早いことも問題である。

4.5. 地震観測

図9の観測システムを用いて約50日間（1987年8月16日-10月2日）の多点地震観測を行

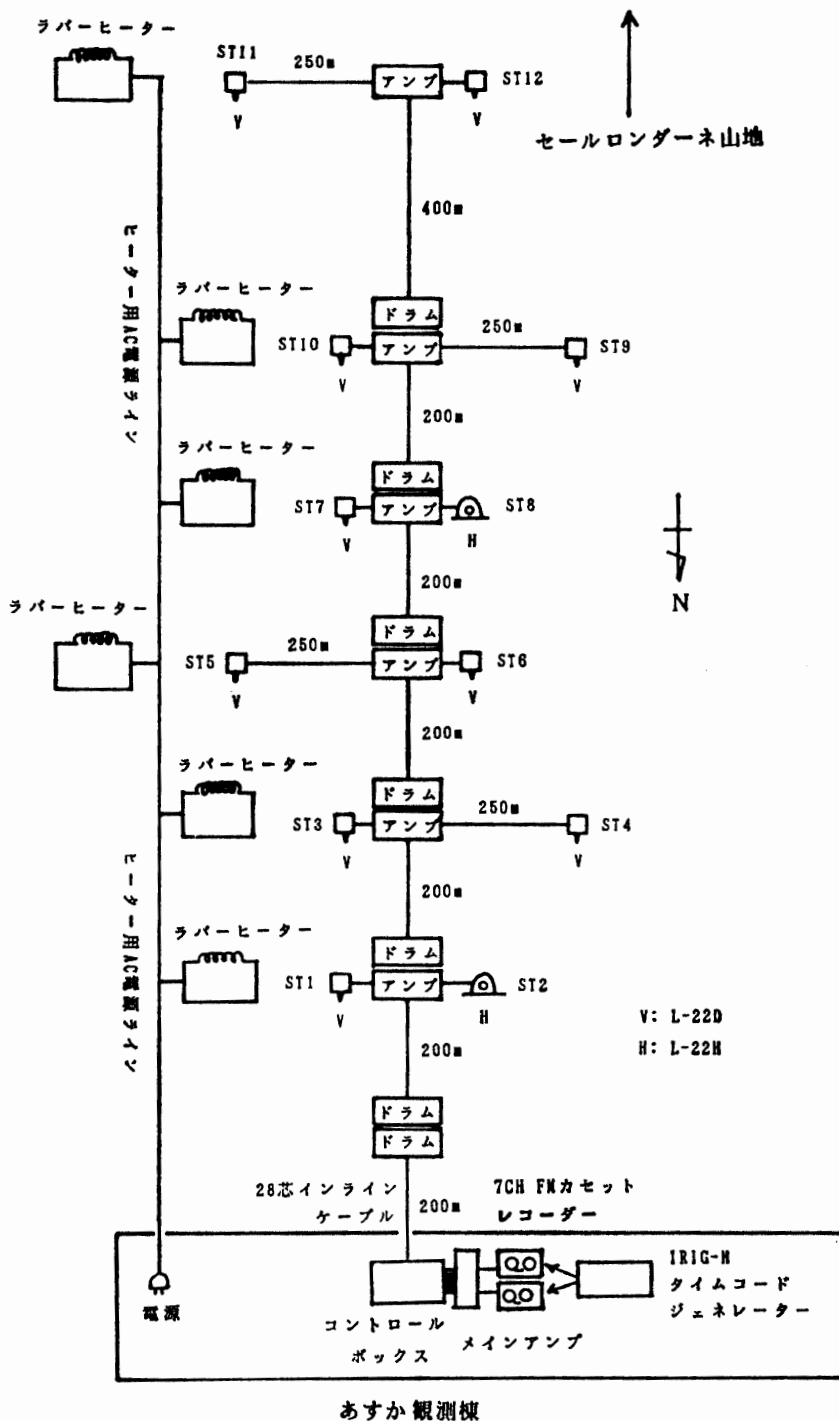


図9 地震観測システム。詳しくは本文参照。

Fig. 9. Arrayed seismic network installed to the south of Asuka Observation Hut. For details, see text.

った。上下動 2 Hz センサー (マークプロダクツ L-22D) 10点, 水平動 2 Hz センサー (マークプロダクツ L-22H) 2点を 500 m×1200 m 範囲に展開し, 規模の大きな雪震, 氷震, 岩盤と氷床境界での stick slip 現象 (あるとして) の検知を目標とした。

プリアンプはラバーヒーター (10W) 2 枚を巻きつけ、エアキャップでくるんで木箱内に設置した。温度はサーモスタットでコントロールできるようにした。電源ケーブルは観測棟より 2CT ケーブルを結線して信号用インラインケーブルと並行して敷設し、コンセントとプラグで接続延長ができるようにした。コンセント部は木箱内におさまるように電源ライン長さを設定した。このようにして設置された保温用木箱内の温度は、外気温 $-20^{\circ}\text{C}\sim-30^{\circ}\text{C}$ に対して $0^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ で安定したものである。

準備に約 40 日を要し、観測中も 1 日 1 回カセットテープ交換を要するなど“最も手間のかかった観測”であったが、全期間の 1/3 程度しか良好な記録が得られなかった。その最大の理由は、観測期間中絶えずブリザードが襲来し、風速が $\sim 10\text{ m/s}$ 以上であることが多く、雑微動 (\sim 数 mkine に達する) が大きかったことである。

謝 辞

上記各種固体地球物理観測を「あすか観測拠点」越冬初年度という困難な時期に支障なく成し得たのは、鮎川勝越冬副隊長はじめ高橋茂夫、野崎勝利、大坂孝夫、富田瑞穂、高木知敬各隊員の一致協力のおかげである。また、航空機観測は昭和基地から飛来した有賀文昭、大本和隆、森誠航空隊員の文字通り不眠不休の努力で予定フライトを完遂できた。

なお、「あすか」夏季建設期における星合孝男観測隊長、大山佳邦越冬隊長はじめ夏季設営隊員 (寺井啓、石沢賢二、村松金一、宮下良雄) を中心とした夏隊員と昭和基地越冬の第 28 次観測隊全員の全面的支援、倉田篤艦長はじめ「しらせ」乗組員の献身的な輸送支援がなければ「あすか」越冬観測そのものが有り得なかったことを付記して感謝の意を表す。

文 献

- 鮎川 勝 (1989): 第 28 次南極地域観測隊あすか観測拠点越冬隊報告 1987. 南極資料, **33**, 234-268.
国立極地研究所編 (1988): あすか観測拠点越冬報告. 日本南極地域観測隊第 28 次隊報告. 東京, 383-589.
日本測地学会編 (1986): GPS—人工衛星による精密測位システム—. 東京, 日本測量協会, 263 p.
小川文雄・福田洋一・赤松純平・渋谷和雄 (1988): 南極昭和基地及びあすか基地における重力潮汐データの解析 (序報). 日本測地学会第 70 回講演予稿集, 77-78.
渋谷和雄 (1988): 「あすか観測拠点」を中心とした 28 次越冬による航空機観測を終えて. 極地, **47**, 67-72.
SHIBUYA, K. and YOSHIDA, Y. (1987): Digital Data Acquisition System of the Japanese Antarctic Research aircraft Pilatus Porter PC-6. Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci., **1**, 15-22.

(1989 年 4 月 7 日受付; 1989 年 4 月 19 日改訂稿受理)