

東南極大陸の頂, ドームふじ基地で越冬観測始まる*

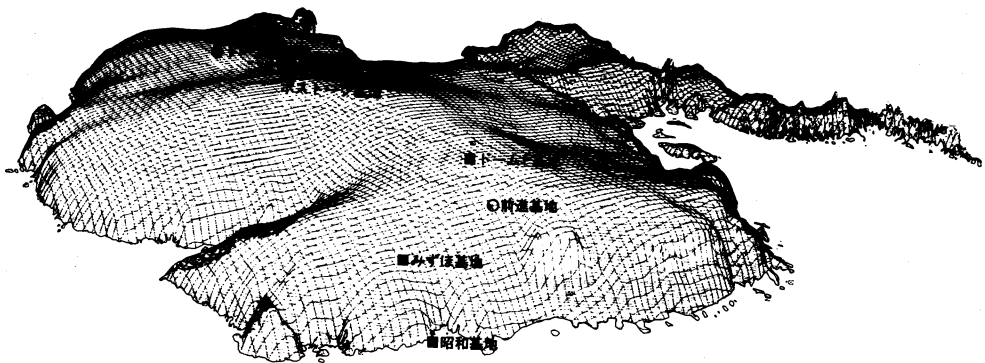
渡 辺 興 亜**

1. はじめに

1994年11月に日本を発った36次隊 (第36次南極地域観測隊) は, 12月中旬に昭和基地の沖合いに到着した。海水状況も良好で, 砕氷航行も順調に進み, 予定より早く接岸を果たした。昭和基地への物資の搬入など夏のオペレーションは順調に進み, 東南極大陸内陸奥地で建設中のドームふじ基地(第1図の「ドームF基地」)に向けて観測・設営資材を携えた内陸旅行隊も, 「しらせ」を早々と出発し, 旅行も順調に行われ, ドームふじ基地越冬観測がいよいよ始まった。

わが国の雪氷研究グループを中心にたてられた氷床深層掘削計画(ドーム計画)は, 南極観測における第3期の雪氷総合観測計画として位置づけられている。南極氷床の雪氷研究グループは, 1970年代初めから,

南極大陸の雪氷諸現象に関する観測を組織的に進めてきた。1970年代の「エンダービーランド計画」, 1980年代の「東クィーンモードランド計画」によって, 沿岸域から内陸高原域にかけての雪氷現象や氷床気候について多くの知見を得ることができ, 氷床の質量収支や流動の様子などの理解も進んできたのである。巨大な氷河ともいえる氷床はその見かけの形とは異なり, 氷床の成り立ちが独立したいくつかの単元的な流域に分かれる。そうした氷床流域のうち, これまで日本隊が観測してきた「白瀬水河流域」, 「ラグンヒルド流域」の地理的範囲も明らかにされ, そこでの質量収支, 流動, 気候の特性などについてもかなり明らかになってきた。「ドーム計画」はそうした長期雪氷総合観測の仕上げであり, 「白瀬水河流域」を主要な観測域に設定し,



第1図 東南極大陸とわが国の基地(■)および主な外国内陸基地(●)。

* Start of Japanese deep drilling project in newly established Dome Fuji Station, East Antarctica.

** Okitsugu Watanabe, 国立極地研究所.

© 1996 日本気象学会

氷床システムとしての雪氷諸現象を系統的に観測しようとするものである。また, その動態を長期にわたって観測するための衛星リモートセンシング観測も計画されている。さらに, 本計画の主要な目的として, 流

域の最上流にあたるドーム頂上で深層氷床コア掘削を行い、過去20数万年を遡る気候変動、氷床変動の復元を試みるのである。ドームふじ基地付近は南極大陸上空に発達する冷たい大気の塊、極渦の中心の直下であり、成層圏と対流圏との間の大気の流れを含めて、極域大気循環の構造とその季節変化、さらにそうした極域循環に伴う諸物質の輸送過程の観測にとっても最適な場所といえるだろう。38次隊には気象研究グループも参加し、国際大気化学観測計画の一環としての観測も行われる。3年間にわたる越冬観測が行われるドームふじ基地はこれまでに南極大陸の内陸部に設けられた越冬基地としては最高所にあり、人類が経験した生活環境としては最も苛酷な状況の一つと予想される。したがって、本計画の実現にはその準備のために10数年を越える年月を要したのである。いよいよ越冬観測が開始された今、極寒の地で行われる大規模プロジェクトの成り立ちとその経緯を振り返ってみよう。

2. 構想から準備段階へ

第2期計画である東クィーンモードランド計画は「ドーム計画」への発展をその将来構想として始められた。しかし、その構想の実現には解決すべき多くの課題があった。最初に解決すべき課題はドーム頂上の発見であった。このことについては、もう少し詳しく述べる必要があろう。東クィーンモードランドの氷床地形は1970年代以前はほとんど空白といってもよい未知の状態にあった。しかし、いくつかの地形観測の試みにより、次第にその全容が明らかにされ、1980年代初め頃には東クィーンモードランドの中核域に Valkyrje Domen とよばれる氷床の高まりが存在することもわかってきた。しかし、その正確な位置は不確定で、まずその位置を確認する必要があった。氷床深層掘削にとって鉛直流が卓越するドーム頂上は最適の場所なのである。そこではその場所の積雪が深い氷層まで残っている。1982年に始まった東クィーンモードランド計画では、わが国最初の本格的氷床コア掘削がみずほ基地で行われ、深さ700m、1万年前までのコア採取に成功した。これも氷床掘削技術の開発という観点では、ドーム計画の準備の一環であるが、氷床の斜面域での掘削であったため、700mの深さの氷は110km上流から流れ下ってきたものであり、年代決定に問題が残された。

ドーム計画開始を前提とした準備として、25次隊は南緯75度の地に前進拠点を設け、26次隊はそこを足場

としてさらに奥地へ観測域を拡げた。目的は内陸高原域の地形探査であり、その結果として南緯77度、東経40度付近に内陸高原域の頂上を発見した。その後29次隊は前進拠点までの雪氷観測を行うとともに、本格的な内陸基地建設に向けての物資輸送ルートの調査を行った。続いて32次隊はドーム頂上に向かう新しいルートを設定し、新たに導入された耐寒型大型ブルドーザの運用試験を兼ねて、最初の物資輸送を実施した。

こうした準備のための調査から、計画推進への確かな見通しを得て、ドーム計画はその実施の段階に入り、33次隊(1992年)によって、本格的な越冬観測開始のための基地建設と物資輸送の内陸オペレーションが開始された(第1表参照)。

3. ドーム計画の開始

33次隊の最初の仕事は、越冬開始前の夏期間に沿岸から500km奥地の中継地点まで、26トンの燃料輸送を行うことであった。この最初の夏の旅行では、物資輸送だけではなくルートに沿ったいくつかの地点に基準観測点を設けた。ドームふじ基地へのルートは白瀬氷河流域を特徴づける氷床流動の中心線とほぼ一致している。中心線上の表面流動量、表面歪量、表面質量収支量などの観測は白瀬氷河流域の質量収支や氷床の流動状態を知る上で重要な観測である。この基準観測点では、計画期間中は少なくとも毎年1回は観測が行われることになっている。

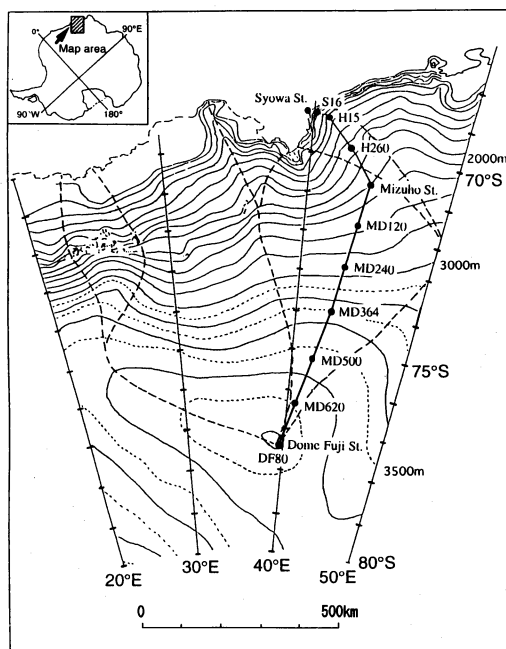
越冬中にはみずほ基地の先まで内陸旅行を実施し、ドーム計画のために新たに開発された大型(10トン)の雪上車の運用テストが行われた。ドーム計画のために開発された新型雪上車は -60°C までの耐寒性能をもち、2トン積みの木製そりを7台以上引いて走行出来るように設計され、これまでの雪上車をはるかに超えた性能を持つ。年平均気温が -60°C に下がる寒冷な内陸高原域での行動にはこうした高い性能が求められ、テストの結果は、この新型雪上車が期待された性能を持つことを示した。

その後、南極の春まだ浅き9月に内陸旅行隊は昭和基地を発ち、1,000km奥地のドームふじ基地建設予定地に向かった。中継地点から先のルートを決めるのは33次隊の役目である。100km毎に基準観測点を新たに設けつつ、ドーム頂上を目指した。東クィーンモードランドの内陸高原の最高地点は26次隊によって南緯77度22分、東経39度37分付近(DF80地点、第2図参照)

第1表 ドーム計画の進捗状況

準備観測期間	ドーム深層掘削観測計画期間			
25次 (1984) ~32次 (1991)	33次 (1992)	34次 (1993)	35次 (1994)	36次 (1995)
25次：前進基地建設 26次：内陸高原域概査 29次：ドームふじ基地輸送ルート調査 32次：中継拠点へ物資輸送 (54 t) 耐寒型大型ブルドーザ運用試験	<ul style="list-style-type: none"> ドーム最高地点選定調査 (標高・氷厚観測) 基準観測点設置 GPS 干渉測位による氷床流動観測開始 中継拠点およびドームふじ基地への物資輸送 大型 SM 100 型雪上車運用テスト 	<ul style="list-style-type: none"> ドームふじ基地最終選定 深層掘削地点での前準備 (127 m 深掘削とケーシング) 無人気象観測の開始 ドームふじ基地からの衛星回線通信テスト 中継拠点およびドームふじ基地への物資輸送 	<ul style="list-style-type: none"> ドームふじ基地建物建設 掘削トレンチ掘削 中継拠点およびドームふじ基地への物資輸送 	<ul style="list-style-type: none"> ドームふじ基地にて越冬開始 通年雪水・気象観測開始 深層掘削開始 (37次まで)
物資輸送量 (輸送量/積算量)	中継拠点 22 t/76 t ドームふじ基地 23 t	47 t/122 t 42 t/65 t	-80 t/42 t 128 t/193 t	56 t/249 t
雪氷観測隊員	神山孝吉 (京大) 古川晶雄 (名大・水圏研) 前野英生 (通総研)	本山秀明 (極地研) 榎本浩之 (北見工大) 宮原盛厚 (地球工学)	庄子 仁 (北見工大) 齊藤隆志 (京大・防災研) 齊藤 健 (陸別町) 白石孝行 (北大・低温研) 夏隊 渡辺興亜 (極地研) 本堂武夫 (北大・低温研)	東 信彦 (長岡技工大) 亀田貴雄 (北見工大) 田中洋一 (ジオシステムズ) 中山芳樹 (日特建設) 夏隊 上田 豊 (名大水圏研) 古川晶雄 (極地研)

であることがわかってきた。この周辺をさらに精査し、真のドーム頂上を確認し、アイス・レーダ観測によってその氷床下の基盤地形を明らかにするのである。地形精査は、DF80 地点から放射状に 40~50 km の探査ルートを延ばし、標高と氷厚の観測が行なわれた。数年前に航空機観測用に開発されたアイス・レーダは、3,000 m 以上と予想される厚い氷厚の測定にはやや能力の不足が予想されたので、通信総合研究所の協力を得て、その性能向上がはかられた。3 素子のアンテナから 8 素子に変えて送信出力を高め、さらに反射信号の記録方法や解析方法の改良によって性能を高めたのである。しかしそうした工夫によってどの程度性能がアップしたかは、理論的推定の域を超えず、現場で実際に確かめるしかないのだが、観測の成果は予想以上のもので 3 千数百 m の氷床の底の基盤からも反射信号が戻ってきた。氷床の流動観測にも新しい観測方法が取り入れられた。GPS (Global Positioning System) 干渉測位法によって、旅行ルート沿いの基準観測点位置を昭和基地基準点との同時観測によって測定するのである。こうした高い精度の位置観測を 1 年毎に繰り返す。



第2図 沿岸からドームふじ基地へのルートと基準観測点 (●)。

返し測定すれば広域の水床流動を明らかにすることができる。

4. 水床掘削の準備始まる

つづく34次隊(1993年)の計画も大規模なものとなった。この隊に課せられた役割は、1995年から始まる3年間の越冬観測に必要な発電・暖房燃料の輸送を行うとともに、基地建物の一つを建てること、さらに掘削予定地点で、深層掘削のために必要な準備作業を進めることである。内陸へ輸送すべき物資が大量にあるため、昭和基地に到着すると直ちに内陸旅行に出発し、沿岸から600 km 奥地の中継地点まで輸送旅行を行う必要があった。そして冬が明けると再度中継地点までの物資輸送を行い、一旦昭和基地に帰った後、本番のドームふじ基地予定地への夏旅行に出発した。11月から1月上旬にかけてドームふじ基地の建設予定地に滞在し、浅層掘削と最初の建物建設を行った。

夏期の中継地点までの旅行では最低気温はせいぜい -30°C 程度にしか下らず、内陸の気候としては穏やかなものであったが、8月下旬から約1か月間の、越冬期の2回目の中継地点旅行では、常に吹きまくる風速 10 m/s 以上の風に加えて最低気温は -63°C に達する厳しい寒さを体験した。こうした自然条件は内陸での行動可能限界であり、時には行動を中断し、気温が上がるのを待つこともあった。また、低温障害による雪上車のトラブルも頻発した。しかし、こうした寒冷体験はその後の内陸高原域旅行に大いに活かされたのである。

昭和基地付近はすでに春で、陽光に暖かさを感じる10月20日、大・中型雪上車3台、耐寒型ブルドーザ3台で編成された9名の内陸旅行隊は昭和基地を発ち、ドームふじ基地予定地に向かう。夏本番の旅行の開始である。途中、昭和基地東南270 kmの内陸にあるみずほ基地とそこからさらに244 km奥地の2地点(MD244; MDはみずほ基地～ドームふじ基地間のルートで、みずほ基地から244 kmの地点を意味する)に滑走路を整備し、昭和基地からの航空機によって、離発着テストが行われた。これは、人員交代や緊急事態の発生の際に航空機による支援を可能にするための準備である。

内陸旅行隊は11月25日にドームふじ基地予定地付近に達した。前年の隊の基地選点調査結果から、MD732付近が真のドーム頂上に近く、また水床基盤地形も比較的なだらかであることがわかっていた。34次隊はさ

らにその周囲の雪面の状態を調べ、深層掘削に最も適する地点を決定した。そこは南緯77度19分01秒、東経39度42分12秒の地点で、標高3,810 m、氷厚2,980 m、基盤高度830 mである。この地点にまず最初の内陸基地建物である食堂棟が建てられた。食堂棟は34次隊の作業活動のためにも必要であるが、この建物を前もって建てることにより、建物に付く吹き溜まりの方向や規模を調べ、1年後に建設するドームふじ基地全体の配置計画の参考にするのである。円滑な越冬生活や高度な観測を進める上で、確実に大量な情報の通信手段が不可欠となってきている。それを実現するには衛星回線による通信が最適であるが、緯度の高いこの内陸基地からは通信衛星への仰角が小さく、一般的には送受信が困難な領域と考えられていた。しかし、1年前に行われた中継地点からのテストの成功により、その可能性に期待が持たれていたのである。テストの結果は、電話、ファックスとも良好に送受信でき、ドームふじ基地越冬開始のための一つの課題が解決した。

34次隊に託された、何と云っても最大の仕事は、深層掘削のための前準備として、表層100 m深までの掘削とその掘削孔に対するケーシング(掘削孔に円筒を埋め込むこと)を行うことであった。100 m程度掘削することはすでに確立された技術であるが、ケーシングを行うためには、さらにリーマー(拡幅機)を用いて掘削孔を拡幅する作業が必要となる。ケーシングは、氷床のまだ十分氷化していない層に対して埋め込んでいく。氷層の深い所で発生する横圧による掘削孔の縮みを防ぐために、氷とほぼ同密度の液体が封入されるが、その液が積雪層へ漏れることを防ぐためにケーシングが必要なのである。この掘削孔の拡幅はわが国では初めての経験であり、技術的に十分確立していたわけではない。氷河の無い日本国内では実地試験ができないので、34次隊は昭和基地越冬中、対岸の氷床上で実地試験を繰り返し、改良を重ねてきた。13 cmの最初の掘削孔径は数段階の拡幅切削によって25 cm径まで上げられ、この深層掘削に不可欠な最初の作業は成功をおさめた。

5. 「しらせ」接岸せず、計画は延期か

1993年～94年の夏(35次観測期間)、昭和基地沖合いの海水状況は異常であった。通常の年では、浮氷帯縁から定着氷縁までの航行には、少々海水の状況が悪くても数日しかかからないのだが、この夏の浮氷帯はあたかも定着氷のようにしっかりと固くしまった状態に

あった。ハンモックした海水盤は互いに厚く積み重なり、その上に厚い積雪が載り、こうなるとさしもの世界最強の砕氷能力をもつ南極観測船「しらせ」も、まったくなす術もない状態となる。それでも何とか1994年の正月早々には定着氷縁にたどりつき、湾内へ侵入を開始したが、順調な砕氷航行は一年氷帯のみで、多年氷帯に入ると再び難航し、結局、昭和基地があるオングル島の手前10海里の地点で4mもの厚さの海水と出会い、砕氷航行を断念したのである。

接岸できないとなると「しらせ」から昭和基地への物質輸送に要する労力と時間は大変大きなものとなる。パイプ輸送されることになっていた油はすべてドラム缶に詰め替えられ、1本ずつ空輸するしかなく、雪上車や基地建物建材のような大型資材はすべて氷上輸送せねばならない。

「しらせ」が接岸を断念した頃、34次隊はドームふじ基地で、ケーシングのための浅層掘削の作業を続けていた。当初計画では35次隊の内陸旅行隊は「しらせ」接岸後、直ちにドームふじ基地に物資とともに向かい、34次隊と合流して建設作業と観測の引き継ぎを行うことになっていた。しかし、「しらせ」の行動の大幅な遅れはこれを不可能にし、結局中継地点までの輸送に終わってしまった。この計画の変更は物資輸送計画に大幅な遅れをもたらした。その遅れを取り戻すために、35次越冬隊は新たに秋旅行を計画した。南極の秋は天候も不順で、南極での生活間もない隊員達の耐寒順応度も低く、辛い旅行となるのだが、遅れを取り戻すための方策としてはこれしかなかった。

秋も深まり、陽も短くなった4月4日、中継地点への輸送隊は昭和基地を出発、4月26日には25トンの物

資とともに目的地に到着した。凍傷に悩まされもしたが、寒さに慣れる耐寒訓練ともなったことが一つの収穫であった。中継地点までの輸送旅行は一層寒さの厳しい8月下旬から9月にかけてさらにもう一度行われた。夏、秋、春の3度の中継地点輸送旅行によって、物資輸送計画の遅れを取り戻すことが出来た。しかし35次内陸旅行隊の最も重要な役目は、夏期間にドームふじ基地建設を完成し、36次隊に引き継ぐことである。10月11日に先発隊が、12日ほど遅れてブルドーザ輸送隊が出発した。先発隊はドームふじ基地到着後物資をおろし、再び中継地点に引き返し、そこからまた物資をドームふじ基地に輸送するのである。11月25日にブルドーザ隊の到着によってドームふじ基地へのすべての物資輸送が完了した。

1月初めにはドームふじ基地の建物、深層掘削場となる積雪を掘り下げた深さ4m、幅4m、長さ20mのトレンチも完成した。越冬開始に必要な発電機や通信機の立ち上げおよびその他の諸準備も順調に進んでいた。

その頃、1年前とは異なり好転した海水を順調に砕氷航行し、「しらせ」は昭和基地の沖合いに到着していた。36次隊のドームふじ基地越冬隊と夏の支援隊員は12月30日雪上車6台、ブルドーザ1台、そり35台とともにS16地点を出発、1月15日に先行隊が、24日には後続隊がドームふじ基地に到着、35次隊の9名と合流した。そして残されたいくつかの越冬開始準備を35次、36次両隊の共同作業ですませ、35次隊は1月29日にドームふじ基地を出発、帰途についた。そして36次隊の9名だけのドームふじ基地での越冬生活が始まり、新たな内陸観測の頁が開かれたのである。