

南極氷床を探る

－ 雪氷の世界から －

長岡工業高等専門学校 佐藤和秀 (1970 年学部卒, 1977 年院修了)

1. はじめに

中学、高校の時の 36, 38 豪雪は絶望的な小千谷の雪風景だった。多くの住民は雪を、雪国を呪っていた。しかし、こんな雪国に育った私は、オリンピックスキーで銀メダルの猪谷千春の父、猪谷六合雄著「雪に生きた八十年」や寺田寅彦、中谷宇吉郎の文章にも感銘した高校生だった。

大学に入って山岳部に入ろうとしたら、父が勘当するという。それほどまでして親不孝をする勇氣はなかったので、バスケットボール部と能の観世会で 4 年間過ごした。教養部時代、数ヶ月に 1 回、特別講演があった。吉川幸次郎、小川環樹、桑原武夫、梅竿忠夫、木原均など錚錚たる人たちの話は、楽しみで感激した。3 年からの分属進路はいろいろ迷ったが地球物理にした。狐崎先生の地震も興味があったが、多くの外国を見たかったから海洋や気象など考えた。気象学の浅井先生の「あることを理解する。理解の深さは際限がない。例えばコリオリ力・・・」の話が印象に残っている。熊野寮にも度々警察が入り、大学紛争が始まった。やはり、雪関係をとと思ったが、京都では雪は無理。北大や名大の院入試準備もしてはず、1 年京都に残り、じっくり考えようと思った。地物の院入試は反対運動で大幅に開始時間が遅れ、お陰で寝坊した私は合格してしまった。防災研の災害気候部門に 1 年先輩の井上治郎さんがいた。名大と一緒にヒマラヤ氷河などやるからいいぞと言われた。

その時から私の進路は決まった。防災研災害気候部門の中島暢太郎先生の研究室に進んだ。理学部気象学の講義と宇治との両方通いが始まった。私が最初にやった仕事は中島先生らがパタゴニアから持ち帰った輪切りの木の年輪からパタゴニアの気候変動を調べるもので、直径 10cm 弱の木を持って農学部のごろうの所に行き、いろいろハウツーを教えてもらうようにと言われた。「ヒマラヤ五郎」と言われる研究室へ恐る恐る訪ねた。趣旨を話す岩坪先生は「気象学はいいですなあー、こんな年輪で気候がわかり、論文が書けるんだから・・・」と豪快に笑われた。木肌を磨き写真を撮り、その写真で年輪幅の変動を調べた。災害気候部門は中島教授、樋口明生助教授、後町助手、田中助手の構成のできたばかりの部門で井上さんなど 2 人程しか学生がいなかった。気象、気候、海岸水理、雨、海塩核と先生の専門が違うのでゼミはちんぷんかんぷんだった。その後、いろいろな分野の研究は、所詮人間がすること、考え方・アプローチの仕方など共通項が沢山あること、知らない分野でも食わず嫌いにならないと多くの示唆を得られることなどを知ることになる。

たぶん中島先生と樋口明生先生との共通項は「山」だったのだろう。そのころ名大の樋口敬二先生の所と一緒に「ヒマラヤ氷河は日本がやるべし」と、渡辺興亜さんらを中心に動き出していた。私が仰せつかった仕事は、乏しいヒマラヤの情報を少しでも集めるべく、日本山岳会の年報「山岳」に載っている全てのヒマラヤの山の写真を接写し、整理することだった。中書島の宇治川水理実験所でくそ暑い夏の間、接写と写真引き伸ばしを酢酸のむせる小部屋で行った。名大との行き来も頻繁で、「お前はどこの学生だ」といわれたこともあったが、中島先生、樋口明生先生、井上さんはじめ、ヒマラヤ氷河調査遠征に燃えていた。まもなく安成哲三そして地形土壌部門に横山宏太郎、神山幸吉らの学生も増え、宇治キャンパスも賑やかになっていった。ヒマラヤ行きの資金を得るべく、東北高速道予定ルートでの雪崩、吹雪など雪氷調査のアルバイトを行い、数人をネパール氷河調査に送り込み、その後の「ネパールヒマラヤ氷河学術調査 (GEN)」(科研費：樋口敬二代表) へとつながっていった。丁度その頃、南極行きが現実の話になってきた。個人的には氷河のある外国留学を真剣に考えていた頃でもあった。南極は将来も一人では絶対行けない。「世界の雪を観る」計画ならこのビッグチャンスに逃すわけにはいかないと心を決めた。

2. 第15次・第22次越冬隊

第15次隊(1973-75年)は村山雅美観測隊長、村越越冬隊長以下、南極経験者も多く、個性豊かな強力な隊であった。「隊長、何してるんですか」「1次の時、確かこの辺に埋めて置いたんだが」と、村越越冬隊長が、昭和基地天測点のある岩山で捜し物をしている。一緒に探し始めて「あった、あった!」と、岩のくぼみから缶詰を隊長が見つけて取り出した。早速、缶を切って、2人でおそろおそろ中のコンビーフを食べてみる。何ともなく、普通にうまい。1次越冬の時、基地に帰れなくなった時のために、緊急用にデポしたのだろう。さすがに缶の外観はさび付いていたが、18年たっても中身は何ともない。こんな第1次越冬経験の隊長と第15次隊は盛り沢山のメニューをこなした忙しい隊であった。私の南極雪氷研究もここから始まった。

雪氷研究者を結集して実施された「エンダービーランド計画」(第10次~15次)は、最初、北大や京大の学生、大学院生を中心に計画され、それが現実のものとなっていった。雪氷観測の目指すところは、みずほ高原・エンダービーランドで内陸トラバースを展開し、その領域の質量収支および氷床のダイナミクスを解明しようとする野心的なもので主に氷床質量収支と氷床流動の観測であった。

質量収支は氷床形態、気象・気候状況を知るために内陸部での調査旅行が計画された。氷床流動は10次隊でやまと山脈を起点とする三角鎖測量、11次隊でサンダーコック・ヌナタークを起点とした開放基線測量を実施し、14次隊、15次隊が4年後に再測するものだった。エンダービーランド計画が開始された頃、アメリカが西南極とグリーンランドで2000mと1000mの深さを越える深層掘削に成功し、得られた雪氷コアから過去の気候を復元するという画期的な報がもたらされた。日本も将来の深層掘削の方向を見定め、また内陸旅行の拠点とすべき、昭和基地より300kmの内陸に、11次隊によってみずほ観測拠点(後にみずほ基地に改名)が建設された。

このような機運の中、15次隊は3月から8月までみずほ観測拠点の整備、掘削場の整備、雪氷・気象観測を行った。私は5月から9月までの真冬の内陸基地に3人で越冬した。夏場の掘削と3つの内陸旅行があるため、燃料は極力切り詰めなければならず、調理は石油コンロ、暖房は石油ストーブのみ。建物はすでに上端まで地吹雪で埋まり、基地内はロウソクと数個の裸電球で明かりをとった。1kVAの発電機は1日1回、昭和基地との通信のための充電用だった。3人の任務は越冬あけに掘削ができるように、基地建物から50mの所に掘削場を作り、外にある掘削機を設置し、建物と雪穴通路でつなぐことであった。チェーンソウは早々に故障したため、鋸での雪穴掘りが毎日毎日続いた。切り出した雪ブロックは基地の外に出し、人引き橇で風下100m辺りに捨てる。太陽が没し氷点下50℃を下る日が増し、生きるためだけの作業の日もあった。真夜中、ボンツという音で跳び起きる。煙突が雪で詰まり暖房用ストーブの火が消え一酸化炭素ガスが発生、3人とも極夜の外に飛び出した。間一髪で助かる。ガチガチ震えながらガスが収まるのを待つ寒空に、オーロラが美しく舞っていた。掘削場は深さ5mほどの空間を作らなければならない。最後に1トン近い3個の掘削機械パーツを外から搬入する。チェーンブロック、レバーブロックを総動員し、H綱に吊しながら穴底に下ろす。H綱は雪穴の縁の道板上に乗っているが、縁がくずれないか気が気でない。3人しかいないから大変だ。無事、設置したときは本当にホッとしたものだった。掘りまくった雪の量は200m³近くにもなった。

太陽が顔を出し、冬があけた10月にはハイランドトラバースで南緯77度まで到着。その当時の日本隊の南進記録3番目となった。12月にサンダーコック・ヌナタークへのトラバース測量線の再測隊が出発したが、多雪のため4年前の標識は殆ど埋没して測定はできなかった。また、やまと山脈への旅行隊はそれまで10次隊で9個、14次隊で12個見つけた隕石を659個も発見してしまった。その後、世界一の隕石保有国になり、月隕石、火星隕石も同定されていく。これらの旅行は9次隊の極点旅行に匹敵する規模となった。氷床の質量収支に関する氷床表面・基盤地形、降水量、氷床流動、気候区分を明らかにするため、内陸調査で気圧、表面最大傾斜、雪尺、ピット、10mボーリング、アイスレーダー、人工地震等の観測を実施した。卓越風向、表面形態、気象観測、化学分析用の積雪採取、雪温測定もあった。100km毎にウィルドT2経緯儀を使って太陽高度測定为天測を行うナビゲータを仰せつかる。アムンゼン、スコットの頃の時計管理の苦勞を思った。丸善の

三角関数表も世話になったが、今は GPS 位置測定装置のスイッチを押すだけでいいという。

みずほ観測拠点での電気熱式掘削機（サーマルドリル）による掘削も開始され、146m深の雪氷コアが得られた。その後、苦勞した日本独自の掘削機の開発と相俟って、氷床深層コア掘削の道が開かれていく。また 15 次隊で小型航空機（セスナ 185 型機）の初越冬が試みられ、16 次隊観測でのやまと山脈航空写真撮影など多くの成果をあげた。線から面への南極氷床観測の新しい時代を感じさせる隊となった。

次に参加した第 22 次隊（1980-1982 年）は、南極気水圏観測計画（POLEX-South）3 カ年計画の最後の年であった。これは国際学術連合会議（ICSU）と世界気象機構（WMO）との共同事業で、大気物理学を中心に雪氷学や海洋物理学が関与している。日本では北極の観測も計画されたが、南極ではみずほ基地と昭和基地を中心として放射収支、大気・氷床・海洋（氷）の相互作用、極域大気の循環をとりあげ、雪氷学的研究も行われた。氷床上の放射収支や接地気層の観測のため、みずほ基地に高さ 30m の観測タワーを建て、種々の測定器が設置された。最終年次の 22 次隊では、内陸部での移動気象観測（主に接地気層の観測）に重点を置き、みずほ基地から内陸へ 400km の V 地点とやまと山脈での低層ゾンデ観測、係留気球観測、無人観測点による広域気象観測、気象衛星受信などを行った。

極域の熱収支がどうなっているのか、それが地球全体の気候にどのような影響しているのかを解明することを目的としたこのプロジェクトは V ルート旅行 2 回、W ルート旅行、やまと山脈旅行と多忙であったが、その他はみずほ基地での観測だった。みずほ基地はすでに氷床表面下 2~3m にある。毎日、基地出入り口より 100m 程の所にある 30m 観測タワーに通い、観測機器のチェックを行った。基地内の記録機器類はアースがうまくとれない。あちこちで火花が散り、ドアの取っ手を握るのはいつも勇気がいった。

ある日、いつものように観測タワーから基地に帰ろうとした時、ホワイトアウトで天地の境も定かでない、視程数 m、少しの凸凹に足を取られ転んだ。あるはずの基地入り口がない。すこし焦った。すぐ見つかるだろうと思ったが見つからない。ひょっとしたら・・・4 次隊の福島隊員遭難のことがチラッと思い浮かんだ。全身を悪寒が走る。落ち着けと言いつつも焦っている自分がわかった。とにかく今いる場所に雪靴で×印を雪面に印し、そこを起点に四方八方に行き、戻ってくることを思いついた。地吹雪で足跡が消えないうちに大急ぎで元に戻らなければならない。1 回目、見つからない。急いで戻る。×印が消えないうちに再び書く。永遠に南極氷床上の迷子になるのか、動悸が激しくなり、うろたえている自分。5 回か 6 回目だったろうか、突然、千切れかかった色あせた赤旗が目の前に現れた。助かった！ライフロープに付けた旗だった。嬉しかった。私は無事基地に帰還した。自然を甘く見てはいけないと、つくづく心に刻んだ。

W 旅行（みずほ基地からサンダーコック・ヌナタークへのルート）は私のリベンジ旅行でもあった。15 次隊のサンダーコック旅行には、雪氷掘削の準備で参加できなかったからだ。積雪の多い所で気象観測、雪氷観測、積雪試料の採取など

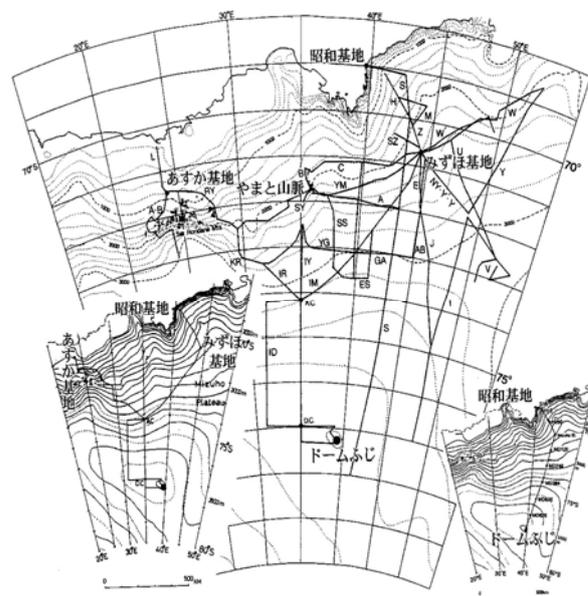


図 1. 10 次隊以降の内陸調査トラバース（文献 1 より）
太線：内陸調査ルート（アルファベットはルート名）、
左下図：ドームふじ頂上探索ルート、
右下図：昭和基地 - ドームふじ基地ルート

を 200km のルート上で行った。V 旅行は接地逆転層の発達機構、カタバ風（斜面下降風）の生成機構の解明を目的に、みずほ基地から 400km の内陸を目指した 1 ヶ月以上の旅行であった。ランバート氷河源頭部では乱流観測、日射・放射量観測、気温・雪温観測、30m 深雪氷コア掘削のほか高層気象観測も行った。パイロットバルーンによる上層風と気温分布の測定は、ヘリウムで膨らました風船にゾンデをつり下げ放球、それをデジタルセオドライトで追跡する。さらに小型カイツーン（係留気球）やカイト（凧）による観測も行ったが、カイツーンは低温で破れてしまった。カイトによる観測は今後、有望と思われた。逆転層の強さは地上から 200m の間で 25°C にも達したことがあり、改めて放射冷却の大きさに驚く。11 月 18 日には氷点下 65.8°C を記録。これはしばらく、日本隊が経験した最低記録となった。22 次隊の気水圏観測も無事終了し、これらの観測研究がもたくなって井上治郎さんと私、北大の N 君はその後、学位を取ることができた。お世話になった吉田栄夫 22 次越冬隊長は、4 次隊越冬で福島隊員の最後の行動を共にした人であった。

3. 南極の雪氷観測

日本の南極観測は 1956 年 11 月「宗谷」が第 1 次南極観測隊を乗せて日本を出航したときから始まり、オングル島に昭和基地が建設された。6 次隊で基地閉鎖、4 年間の中絶後、南極観測再開をして現在 51 次隊が観測を行っている。

雪氷分野からみると、昭和基地から内陸へ内陸へ、そして氷床深く深くの観測の歴史が読み取れ、大きく 3 つの段階が理解される。最初の段階は探検的段階で、内陸への進出探査そして旅行技術、設営ロジスティクスの確立が大きな課題であり、9 次隊による昭和基地-極点往復旅行が最初の集大成であった。観測船の「宗谷」から「ふじ」、「しらせ」へ、そして雪上車の開発、改良による輸送量の拡大によって、線から面への広域観測をめざす第 2 段階では、1969~1975 年（10~15 次隊）に展開された「エンダービーランド計画」が始まり、1982~1986 年（23~27 次隊）の「東ドローニングモードランド計画」と多くの内陸調査旅行が実施された（図 1）。第 3 段階で「氷床ドーム深層掘削計画」（1 期：1992~1997 年（33~38 次隊）、2 期：2003~2006 年（44~48 次隊）でドームふじ基地を建設し、1 期で最終深度 2504m、34 万年前までの雪氷連続コアを採取。2 期で最終深度は 3028.5m、72 万年前までの雪氷連続コアの採取に成功した。これらのコアの精力的な解析と研究発表が現在も続いているが、さらに地球最古の氷を求め、国際協同計画が進行している。

日本の南極観測 50 年が過ぎ、少しでも南極氷床の素顔が見えてきた。いくつかを紹介すると、東ドローニングモードランドの流域、形態が明らかに成り、おおよその質量収支、流動メカニズムが明らかになったこと、氷床表面の堆積環境特性が明らかになったこと、深層雪氷コア解析からは海底コアよりも時間分解能の高い 72 万年の大気環境変動が記録されていることがわかり、その特性が明らかにされつつあることなどがあげられる。

私の関連でいえば、その地点の年平均気温に近い 10m 深雪温分布の解析から氷床の気候区分を明らかにできた。また、積雪の酸素同位対比と温度や積雪量との関係を見だし、その分布特性を明らかにした。この関係から、深層コアなどの酸素同位対比から温度に換算し、過去の温度変動を復元できた。10 万年の氷期と 2 万年ほどの間氷期の見事な繰り返し、その変動の周期解析は天文学のミラコンヴィッチ・サイクルの 3 つの周期に近いのには、自分でもビックリしてしまった。また、多くの協同研究を通して、私にはわからないことが理解された現象も枚挙に暇がない。

4. 南極と人間

人跡未踏の内陸奥深く調査旅行中、見渡せば真っ平らな白の世界、しかしよく見れば雪の特性と風とのコラボレーションで氷床表面はいろいろな顔を持っている。それぞれの表情に名前をつけたら大変なことだろう。非常におもしろい作業だが、手を付けた人はあまりいない。極夜のみずほ基地、一人空を仰ぐと天を真っ二つにするようなオーロラが乱舞していたこともあった。こんな感動を独り占めして良いのだろうかとか氷点下に晒されているのも忘れて見とれていた。みずほ基地の建物はすでに雪面下で、雪の部屋が無数にあり、雪の通路が延べ数百メートルにもなる。宇宙人が南極に降り立って、こんな基地を作っても人間には知られないだろうと妄想したりした。太陽光が積雪層を通してできる何とも魅力的な光の雪の部屋“紫御殿”もあった。長年使用していない部屋

や風呂場近くの雪の通路には見たこともない大きさ 3~4cm の“しもざらめ雪”がきらきら発達していた。

南極と人間の関係とは何だろう。氷点下 50~60°Cの空気を大きく吸い込むと咳き込んでしまう。体内は 40°Cほど、温度差 100°Cにもなる。それでも生きていける人間とはすごいものだ。食料、燃料、機材などはすべて文明圏からの持ち込みである。最近は不要になったものは日本に持ち帰りが原則になっていると聞く。食料については、余裕のあるときにせつせと南極に備蓄することも考えられる。エネルギーについては風力がすごい。南極行きの前には、寒さについて多くのことを聞いていたが、現地に行って風の威力を痛感した。ほとんど一年中、風の世界と言ってもいいだろう。氷床表面の放射冷却に由来する斜面下降風だ。風力発電は将来もっと有力となるだろう。しかし、この莫大なエネルギーを現地で熱に変えてしまえば、その地域の気候変動を起こす可能性もある。

南極観測隊に参加した京大関係者リストをみると、こんなにも多くの方が参加しているのに驚く。雪氷関係では北大出身者が多いが、9次隊に遠藤八十一が、初期の「エンダービーランド計画」には上田豊、中尾正義、横山宏太郎、私が参加している。その後、「POLEX-South」、「東ドローンモードランド計画」、「ドームふじ深層掘削計画」などに、井上治郎、神山孝吉、内藤望、斎藤隆志、藤田耕史などが名前を連ねている。またドームふじ深層掘削期間には上田(36次)が隊長で、横山(35次)、神山(43, 47次)が越冬隊長として重責を果たし活躍した。50年も南極観測が続いているので、関係者のつながりは限られた年齢内であったと思われるが、年齢差を超えて、例えば1次の西堀、北村先輩達の活躍は人づてに、あるいは書物を通して、何かしらエキスをもらっているのは間違いない。私ごとでいえば、南極観測隊員は公務員でなければ行けない。民間の方や学生は極地研究所の公務員枠で行くが、15次は学生が多く、あきらめかけていたところ、京大の助手になり行くことができた。帰ってきて復学しようと理学部事務に行ったら、退学した者が復学はないでしょうとけんもほろろ、指導教官の中島先生に相談したら、昔、北村さんの例があるはずといわれ、再度事務へ。詳しい内容は知らないが、めでたく復学できた。ありがたい先輩がいた。また山岳部出身の上田、井上、横山諸氏を通し、また1次隊員だった村越15次隊長を通し、西堀1次越冬隊長のことも多く聞くことができた。

私は26歳から南極に関係してきた。京大防災研での中島先生はじめスタッフ及び活気ある仲間、南極での隊長や多くの隊員仲間から暖かく支えてもらった。研究観測を通して、いかに多くの大切なものを頂いたか、その時はわからなかったことも、その後ひしひしとそれを感じて今日に至っている。そして多くの失敗をし、多くのことを学んだ。仕事の段取り如何が仕事の正否を決めること、仕事の喜び、共同作業・安全のルール、人間関係の大切さと機微、そして南極の、地球の大自然の大きさと人間圏との関係等々数えきれない。しかし南極体験者の多くの話(文献2)は、2回位の南極体験では5~6000kmも続く広大な南極大陸のほんの一部分しか知らないことを教えてくれる。月の世界が、火星の世界がだんだん理解されてきた現在でも、南極を科学的に知ろうとした努力はたかだか50年ほどだ。南極はまだまだわからないことが次々に出てくる謎の宝庫でもある。

そして南極は人を思索的にする不思議な魅力を持っている。理系だけでなく、文系の人も、普通の人も、政治家も経済人も老若男女ぜひ南極に行ってみるといい。きっと得るものがあるのは間違いない。そんな時代が来そうで楽しみでもある。

文献1: 渡邊興亜「内陸への道」、小野延雄・柴田鉄治編「ニッポン南極観測隊 人間ドラマ 50年」、丸善(株)、p.81-108, 2006

文献2: 南極OB会・観測五十周年記念事業委員会編「南極観測隊 - 南極に情熱を燃やした若者たちの記録 -」、技報堂出版(株)、521pp., 2006