

## 「極域におけるテレサイエンス技術の現状と 展望に関する研究小集会」報告

金尾政紀\*

### Report on Workshop “Present status and future plans for telescience techniques in polar regions”

Masaki Kanao\*

(2004年2月6日受付; 2004年3月9日受理)

**Abstract:** A workshop on “Present status and future plans for telescience techniques in polar regions” was held on 17th November 2004, at the National Institute of Polar Research with 30 participants. The purposes of this workshop were to discuss several technical aspects of telescience observations in polar regions, such as of the utilization of natural energy, developments of low-power consumption instruments, development of a shooting-type acquisition-system from airborne platforms, and telecommunication techniques using satellite and/or radio transmissions. The workshop was divided into the following three sessions. 1) Basic technique for telescience observations by individual science branches. 2) Application to field observations in the Antarctic, in particular operations of the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE), together with future international cooperative programs. 3) Discussion about further approaches and future plans. The principal achievements of this workshop were to point out the significance of polar studies to global Earth science, in particular, for insight into the Earth’s environmental changes as viewed from high latitude remote stations. Moreover, we had fruitful discussions about the newest information and future plans for telescience technology, remote observation systems, and methodology for data communications. Finally, we reached agreements on the international collaborative program, with respect to contributions to the International Polar Year to be held on 2007–2008 austral summer.

**要旨:** 平成15年11月17日に国立極地研究所講堂にて、「極域におけるテレサイエンス技術の現状と展望に関する研究小集会」を、所内外の参加者計30名で開催した。本集会では、将来の南極における機動観測・無人観測点展開のための基盤技術として、自然エネルギーを利用した電源開発、低消費電力の観測器械の開発、また航空機からの投下設置式観測器械、さらに衛星通信・無線通信利用など、分野を越えた幅広い議論を行うことを目的とした。会合は、1) 極域科学に関係する様々な研究分野に応用できる基盤技術に関する発表、2) 実際の南極大陸への応用と関連する将来の国際共同研究の紹介、3) 今後の取り組み方等についての総合討論、に分けて行われた。本集会により、実際の観測例や現在の開発状況について情報提供を行い、地球環境変動を高緯度地域から視ることの重要性について再認識

\* 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

を行った。また、将来の南極における機動観測・無人観測点展開のための基本的な開発思想についても意見交換を行い、お互いに関連する技術について分野を越えた議論をした。さらに、2007-2008年の国際極年（International Polar Year: IPY）にも関連して、南極大陸内部で航空機を用いた大規模なアレイ観測計画等への我が国の取り組みについて、参加者の共通理解を得た。

## 1. はじめに

「極域におけるテレサイエンス技術の現状と展望に関する研究小集会」を平成15年11月17日に国立極地研究所講堂にて開催した。厳しい自然環境により人間の活動が極めて限定される南極大陸において、衛星や無線通信技術さらには流星通信等のテレサイエンス技術を駆使して無人観測点を設置し、実用に供することは極域フロンティア研究のために必要不可欠である。本集会では、極域科学に関係する様々な研究分野に応用できる基盤技術について、実際の観測例や開発状況についてお互いに情報提供を行い、機動観測のための基本的な開発思想に関して、積極的な意見交換を行うことを目的とした。

以下、集会の経過と内容について報告する。

## 2. 経 過

冒頭に主催者（著者）により、これまでの経過と開催の目的について簡単に説明がなされた。本集会は、これまでに開催されてきた同趣旨の集会（「航空機を用いた南極大陸無人多点観測に関する研究小集会」（平成13年3月1日）、「南極大陸無人自動多点観測に関する研究小集会」（平成14年3月27日）、「南極大陸における無人自動多点観測に関する研究小集会」（平成15年3月27日））の継続版として行ったものである。今年度は、第45次日本南極地域観測隊（the 45th Japanese Antarctic Research Expedition: JARE）（以下、第45次隊; JARE-45）の出発直前に行うことで、関連した研究分野の南極現地での観測予定、並びに持ち込む機器類について最新の開発状況等、話題提供が行われた。

### 2.1. テレサイエンス基盤技術

次に、極域における無人観測点展開のための基盤技術として、自然エネルギーを利用した電源開発、低消費電力の観測器械の開発、また航空機からの投下設置式観測機器、さらに衛星通信・無線通信利用についての工学的観点からも多数発表があり、分野を越えた幅広い議論が行われた。

以下、各発表内容の概要を個別に記載する。

極地におけるハイブリッド電源システム（石沢講演）: 昭和基地における自然エネルギーを利用した電力確保のため、既存のディーゼルエンジンと太陽光や風力発電とを結合（ハイブリット化）したシステムについて発表があった。昭和基地の現行のディーゼルエンジンは、

年間 450kWh の燃料使用で、平均電力として約 170kW を出力する。太陽光発電が順調に行われた場合、年間平均で 5kW (約 3%) が補え、また風力発電では、10kW 風車を数台稼働させることで、40kW 以上をまかなえるとの見積りが示された。将来的に、さらに自然エネルギーの比率を増すためには、本格的な電力貯蔵システムが必要であり、また別途各種の燃料電池の導入を検討していることが説明された。

昭和基地主要部のスノウドリフト観測 (高橋講演): 昭和基地主要部のスノウドリフトを低減するための基礎データ収集を目的として、第 43 次隊での越冬期間中にスノウドリフトの堆積状況について継続観測が行われた。ブリザードの階級別にドリフトの堆積量と飛雪流量(飛雪粒子の粒径と数より算出した、地上高度 50cm を 1 秒間に通過する量)とを比較検討した結果、ブリザード前の地形の状態が同じであれば、飛雪流量とドリフト堆積量はブリザードの階級に対して比例する傾向を持つことが示された。また、主風向の差異によるドリフト形状を比較した結果、主風向が北北東~北東よりも東北東~東の方が風上側の風速に対する風下側での風速の減少の割合が大きく、ドリフトが付きやすいことが確認された。さらに、スノウドリフトが累積するに従い、飛雪流量に比べてドリフト堆積量の増加の割合が少なくなることも報告された。

エアロゾルインパクターゾンの開発・製作 (原 講演): 対流圏~成層圏における大気中のエアロゾル粒子の捕獲を目的として、エアロゾルサンプラー (インパクターゾン) の開発・製作を行った。粒子を多量に捕獲して成分を測るバルク成分分析と、個々の粒子の組成分析とを両立させながら、航空機以外にも大気球・小気球等の飛翔体での使用も念頭に入れつつ、詳細な仕様を検討した。例えば、意図した時間・高度でサンプルできるように、インパクターゾンの起動、並びにサンプリング開始を手動で操作できるように開発した。平成 15 年 9 月には、ドイツのアルフレッド・ウェーゲナー研究所にて、試作したインパクターゾンをドルニエ機 (Polar-4) 内に搭載して動作試験を行い、概ね良好な結果を得た。

自律型模型航空機の現状と観測への応用 (船木講演): 南極観測における野外調査用として、自律型無人模型飛行機 (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) の開発を行った。UAV の利用により 1000km 以上の自律飛行距離が確保できれば、昭和基地を起点にやまと山脈まで、また、アムンゼン湾停泊中の「しらせ」からナビア岩体の内陸域の調査が可能になる。平成 15 年 11 月には、3 成分磁力計を搭載して桜島火山で試験観測を行い、概ね良好な結果を得た。南極で本格的に実施するためには、小型化・軽量化・離着陸の簡易化、等の性能向上が望まれる。そのためには、電動式・手投げ離陸式・パラシュート着陸機体の開発等が必要である。また、低温下で安定した長距離飛行を確保するためには、低温に強いディーゼルエンジンの開発が不可欠であることが指摘された。

地震観測分野でのテレサイエンス技術 (松島講演): 地震観測分野における各種テレサイエンス技術のレビューが行われた。地震観測で対象とするデータの特徴、データ取得のため

の技術開発の歴史、実際のデータ取得方法や伝送方式等が順にレビューされた。特にテレメータ技術については、伊豆鳥島を例に観測システムや波形記録、震源分布等が詳細に説明された。また遠隔地における例として、海底地震計、月・火山・南極域での投下式地震計（ペネトレータ）についても、それぞれの概況が述べられた。南極ペネトレータについては、第43次隊で行ったみずほ高原での試験結果が簡単に報告され、無線モデムの低温対策や空中での姿勢制御等、今後の改良点が指摘された。

防災・火山ペネトレータの開発と応用（斉藤講演）：気象庁が火山域における緊急観測用として導入した、自律型無人ヘリコプター、ならびに火山用ペネトレータについて説明があった。ペネトレータに搭載したGPSを用い、主に火山活動に伴い急速に進行する地殻変動を観測することを目的としている。開発された装置の各機能が詳細に報告された。例えば、地面の状態により貫入深度を調節するためのヘッド3種類が用意されている。また、記録されたデータは、無線を用いたコマンド・リブライ方式により、無人ヘリコプターを中継し、地上基地局に送られる。実用化の目処はほぼ終えているため、今後の伊豆諸島等での臨時観測に使用する予定である。

アルミ一次電池の特性と応用（山口講演）：極域における大容量電源の候補の一つとして、アルミニウム一次電池の開発状況が説明された。この電池の利点として、アルミニウムを負極材料として利用することで、一次電池としては基本的に大きな単位体積当りの電気容量（体積容量密度）を実現することができる。これまでアルミニウム一次電池は、電解液の乾燥防止、反応生成物による放電阻害の防止、常温での保存等に技術的課題があり、現在まであまり広く普及していない。上記の技術的課題に対して、極板の材料や構造、電解液の組成、不要な気体（ $H_2$ 等）が発生しない反応理論、等の検討を重ね、 $-30$ 度を超える性能を持つことを目標に電解液が設計された。現在、北海道内で低温試験を継続していることが報告された。

衛星を用いた極域データ伝送システムの検討（山本講演）：準天頂衛星システムは、静止軌道を傾斜させた傾斜同期軌道を持ち、日本上空に少なくとも1機の衛星が存在し、高仰角で衛星通信・放送などのサービスを提供する。日本に特化したシステムであるが、極域でも24時間の運用が可能である。この衛星を用いて、極域の無人観測点よりデータや観測装置の状態を伝送するためのシステム構成、並びに問題点を検討した。通信システムの低消費電力化のために、衛星通信で用いられるS-bandで動作する高効率増幅器の開発を進めていることが報告された。また無人観測点では、温度環境がシステムの性能に直接影響する。特に、送受信周波数を決める素子である周波数発振器の温度安定性向上が重要課題であり、素子の低温域での周波数変動の様々な状況を考慮したデータを取得し、実運用時に役立てる予定が示された。また、低消費電力化のために高効率増幅器の開発を進めており、今年度中に試作を行うことが報告された。

## 2.2. 南極科学研究への適用

主に実際の南極観測研究への応用についての話題提供を中心に行った。前半は、実際の南極観測での観測例について詳細な情報提供が行われた。後半は、磁力計や地震計等を用いた、国際協力を踏まえた将来の南極大陸における大規模な機動観測について紹介があった。

西オングル島の超高層テレメトリー観測の現状 (山岸講演): 西オングル島の超高層テレメトリー観測施設の目的として、1) 宙空部門による波動観測データの無人伝送 (FM 及び PCM 方式)、2) 昭和基地の大型アンテナ保守のためのコリメーション標的信号の発信起点、等が説明された。また、同施設の太陽電池システム導入の歴史が詳細に紹介され、例えば太陽電池パネルの持ち帰り後の検査では、パネル表面のガラス部分全面に細かい亀裂が多数確認できる場合でも、機能的には全く問題ないことが確認された。さらに、各装置の負荷とこれまでの実績から、越冬中に必要な電池容量が詳細に見積られた。例えば、太陽電池の最大出力を 172 W、負荷を 9.6 W として、1 年間に必要な蓄電池容量は約 1400 Ah (実質的にはその半分の 700 Ah 程度) 等である。

昭和基地・ラングホブデにおける GPS 連続観測 (木村講演): 国土地理院が行っているラングホブデ露岩における GPS 連続観測について紹介があった。ラングホブデ固定観測点の主な目的は、27 km 離れた昭和基地 GPS 連続観測点 (IGS 局) との基線長変化や、固定点の楕円体高変化を連続的に求めることで、リュツォ・ホルム湾沿岸域の地殻変動を長期的に調べるためである。十分な低温対応が施された観測システムの概要や、装置収納箱内外の気温の年変化データが示された。また、太陽電池以外に風力発電装置を試験的に導入していることが報告された。最後に、これらの固定点を利用して、周辺露岩域 (約 20 km 以内) での基準点測量の際に、RTK-GPS 測位システムを導入することで、これまで以上に簡便な位置測量が可能になることが示唆された。

昭和基地周辺の沿岸露岩での広帯域地震連続観測 (中西講演): 宗谷海岸に設置している広帯域地震計 (CMG-40T) のこれまでの観測状況について説明があった。データロガーの低消費電力・大容量仕様への変更、また密閉型サイクロン式電池への変更により、最近では越冬明けの適当な時期に保守を行えば、年間を通じてデータ取得が可能であることが示された。今後の方針として、保守作業のさらなる軽減化のために、イリジウム電話回線等を用いたデータ伝送、並びにバッテリー電圧確認や地震計振子のゼロ調整等の遠隔制御を検討している。

構造探査用低消費電力ロガーの開発と極地での応用 (神谷講演): みずほ高原で行われた人工地震探査で実績のあるデータロガー (LS8000SH) について、全体の仕様と極地で応用する際の特徴的な機能 (電源管理、時刻校正、スケジュール管理) について述べられた。また、極地での応用という観点から、ロガーの操作性について今後の改善が必要とされる項目 (設定作業、設置作業) についての具体的な指摘がなされた。



植物生態系の微気象観測リモートデータ収集 (伊村講演): ラングホブデの雪鳥沢における微気象のモニタリング観測として、第45次越冬隊で導入する太陽電池を利用した自立型データ収集システム、ならびにイリジウム電話回線によるデータ伝送システムについて、概要報告があった。これまで超高層のPPBデータ伝送や、野外における非常用通話システムでイリジウム電話回線の実績はあるが、越冬中を通じての運用は今回が最初になるため、第45次隊では試験的運用として実施する。また将来的には、湖沼環境観測を統合した広域微気象ネットワークの構築を検討していることが示唆された。

極低消費電力磁力計の南極大陸への展開 (山岸講演): 磁気圏衛星観測や電離層レーダーとの相補観測、また高密度・長大ネットワークによる大規模対流中の小規模構造(渦の発生や磁力線振動、等)の研究、さらに両極同時観測による夏冬半球の磁力線電流等の非対称性研究を目的として、南極大陸内の広域な磁力計ネットワーク(ICESTAR)の構築が国際共同観測で計画されている。これまでに実績のあるイギリス南極調査所(BAS)の低電力磁力計を用いて、第44次隊ではすでに昭和基地周辺100km域でのグリッド観測を実施し、第45次隊では昭和基地~ドームふじ観測拠点間のルート上に100~500km間隔での展開を予定している。また、極地研モデル無人磁力計の開発を別途進めており、1) 脈動研究が可能な感度・サンプリング間隔の設定(0.3nT, 1s)、2) 準リアルタイム観測(1日1回、イリジウム電話回線で国内へデータ伝送)、3) 遠隔制御(イリジウム電話回線)、4) 将来的に投下型への発展、等が検討されている。

南極大陸での広帯域地震計の展開計画 (金尾講演): 南極プレート内部の構造と進化過程の解明、並びに地球深部の構造とダイナミクスの解明などに関連して、南極大陸内に広域的な地震計観測点ネットワーク(Antarctic Arrays)を構築することが、国際共同観測で計画されている。南極点基地(SPA)から航空機で氷床上に無人観測点を展開することが具体的に検討され、2007-2008年の国際極年(International Polar Year: IPY)を契機にして、数年単位での観測が予定されている。西エンダービーランドを中心とした地域でも、JAREの設営的サポートの首尾範囲内で協力可能であろう。また、独自の技術で内陸無人地震観測点を設置することで、Antarctic Arraysに貢献できると思われる。さらに、現在宗谷海岸でモニタリング観測を行っている広帯域地震計アレイについても、沿岸域ではあるが継続したデータを上記の計画に提供可能なことが示唆された。

### 2.3. 総合討論

最後の総合討論では、今後の基盤技術開発研究の進め方について議論を行った。具体的には、基盤技術の分類項目(例えば、自然エネルギーを利用した電源開発、低消費電力の観測器械の開発、航空機からの投下設置式観測器械、衛星通信・無線通信技術、等)別に、ワーキンググループを発足して進めることが提案された。数年後の実用化を旨として、官民共同

での我が国の技術の粋を集結させて、極域での無人観測網の充実とデータの早期利用に貢献していきたいと考える。

また、南極大陸内部での航空機を用いた大規模な磁力計や地震計のアレイ観測計画等への取り組みについても議論した。国際極年（IPY）との関連や、JAREにおける取り組み方についても積極的な意見交換がなされた。その結果、現段階の準備状況からIPYの時期には間に合わないが、将来的にエンダービーランドを中心とした南極大陸内部に、航空機を用いて無人観測点を設けるよう努力することで共通理解を得た。今後は、JAREにおける後継船やヘリコプターの導入などの動向に配慮しながら、また、磁力計や地震計の国際共同計画等の進捗状況を踏まえつつ、南極大陸内部での無人自動多点観測を実施できるよう検討することで共通認識を得た。

### 謝 辞

本集会での研究発表のために、以下に示した多数の参加者（敬称略）のご協力を頂き、無事成功裏に終えることができた。ここに記して感謝致します。また本集会の開催に当り、ご協力を頂いた所内外の関係者の皆様に、重ねてお礼を申し上げます。

参加者一覧（順不同）：

木村 勲，雨貝知美（国土地理院），斉藤伸二，佐久間喜代志，碓井勇二，近澤 心（気象庁・地震火山部），山本伸一（通信総研），寺田暁彦（北大・地震火山センター），福西 浩，三浦哲（東北大），中西 崇（京大・防災研），臼井佑介（金沢大），松島 健（九大・地震火山センター），宮町宏樹（鹿児島大），神谷大輔（白山工業），山口文紀，四ノ宮浩（(株)エヌ・イー・ティ），名出智彦（(株)IHI エアロスペース），大川 滋（富士通モバイルコミュニケーションテクノロジーズ），山岸久雄，和田 誠，佐藤夏雄，森脇喜一，石沢賢二，伊村 智，高橋弘樹，原圭一郎，田口 真，金尾政紀（国立極地研究所），山下幹也（総合研究大学院大学極域科学専攻），計 30 名。

表 1 「極域におけるテレサイエンス技術の現状と展望に関する研究小集会」プログラム  
 Table 1. Program of Workshop “Present status and future plans for telepresence techniques in polar regions”.

---



---

11月17日(月)(13:00-18:00)

■ はじめに

■ テレサイエンス基盤技術

極地におけるハイブリッド電源システム: 石沢賢二・鮎川 勝 (極地研)

昭和基地主要部のスノウドリフト観測: 高橋弘樹 (極地研)

エアロゾルインパクターゾンデの開発・製作: 和田 誠・原圭一郎 (極地研)

自律型模型航空機の現状と観測への応用: 船木 實・平沢尚彦 (極地研)

地震観測分野でのテレサイエンス技術: 松島 健 (九大・地震火山センター)

防災・火山ベネトレータの開発と応用: 斉藤伸二 (気象庁・地震火山部)

アルミ一次電池の特性と応用: 山口文紀・四之宮浩 (エヌ・イー・ティ)

衛星を用いた極域データ伝送システムの検討:

山本伸一 (通信総研)・大川 滋 (富士通モバイルコミュニケーションテクノロジーズ)

■ 南極科学研究への適用

西オングルの超高層テレメトリー観測の現状: 山岸久雄 (極地研)

昭和基地・ラングホブデにおける GPS 連続観測: 木村 勲 (国土地理院)

昭和基地周辺の沿岸露岩での広帯域地震連続観測: 中西 崇 (京大・防災研)・臼井佑介 (金沢大)

構造探査用低消費電力ロガーの開発と極地での応用: 神谷大輔 (白山工業)・宮町宏樹 (鹿児島大)

植物生態系の微気象観測リモートデータ収集: 伊村 智 (極地研)

極低消費電力磁力計の南極大陸への展開: 山岸久雄 (極地研)

南極大陸での広帯域地震計の展開計画: 金尾政紀 (極地研)

■ 総合討論

今後の基盤技術開発の進め方, その他

---