

## 19. 南極地域観測（研究観測）

国立極地研究所・藤井理行 (fujii@pmg.nipr.ac.jp)

### 1. 研究の目的

南極観測は、国際地球観測年（IGY:1957/58年）を機に国際共同観測として、観測の空白域であった南極地域での主として地球物理関連の観測から始まった。1970年代以降は、多くの研究観測がIMS、POLEX、IGBP、ACRなど国際協同プロジェクトとして実施されるようになった。1990年代以降、温暖化を含む地球環境変動の実態及びメカニズムの解明、地球環境変動の中での南極域の役割の解明を目的に、大気科学、雪氷、陸上及び海洋生物、地学分野で、さまざまな研究観測を進めている。

### 2. 研究の方法

温暖化に関わる研究観測は、観測基地、航空機、観測船、雪上車などをプラットフォームに、また、沿岸域などのフィールドワークとして、さまざまな方法を駆使して実施されている。

大気科学分野では、各種ゾンデやマイクロパルスライダー、二酸化炭素等連続測定装置、衛星受信装置などを用いて大気微量成分やエアロゾル、雲、放射の観測を進めている。雪氷分野では氷床コア掘削装置を用いての浅層コアや深層コアの採取、衛星や雪尺を利用した氷床質量収支観測を行っている。生物分野では、「しらせ」や専用観測船、衛星受信、マイクロデータロガーなどを用いて観測を、さらに、地学分野では合成開口レーダ受信による氷床接地線の変動観測などを進めている。

### 3. 研究の成果

#### 3.1 大気科学分野

(1) 温室効果気体：昭和基地で実施した1998年と2004年の成層圏大気採取装置回収気球実験から、南極上空の成層圏において二酸化炭素を初めとする温室効果気体濃度が上昇していることを世界で始めて明らかにした。また、1983年以降行っている大気採取などの航空機観測からは地上連続観測と合わせた解析により、対流圏上部・成層圏下部を通しての半球規模の輸送過程が南極上空での温室効果気体の鉛直分布の季節変化に影響を及ぼす結果を得ている。

(2) エアロゾル：粒径分布、化学的性状、放射効果、水蒸気・雲との相互作用などに関する総合的な研究が行われてきた。70年代の先駆的研究に始まり、80年代以降は、気球観測、ライダー観測、分光観測からオゾンホール生成過程と極成層圏雲の関係を解明する成果を上げてきた。一方、近年においては、南極域の大気中エアロゾルが関与する一連の化学プロセスの中で、海洋生物起源の温室効果ガスであるDMS（硫化ジメチル）が重要な前駆気体であることが知られており、2001/02シーズンおよび2004/05シーズンに昭和基地、南極観測船「しらせ」、そして海洋観測船（東京大学海洋研究所「白鳳丸」、東京海洋大学「海鷹丸」）による時系列観測や同時多点

観測を実施し、エアロゾルの粒子生成から成長に至る過程や、開水域と海氷域でのエアロゾル性状の違いなど新たな知見を得ている。

#### 3.2 雪氷分野

氷床深層コアによる氷期サイクルの気候変動：ドームふじ観測拠点で掘削した2500m深までの氷床コアの酸素同位体比、主要化学成分、固体微粒子、大気成分などの解析から、過去32万年の気候及び環境変動の実態を復元するとともに、変動メカニズムが明らかになってきた。気温の長期変動は、ミランコビッチサイクルを示すとともに、CO<sub>2</sub>やCH<sub>4</sub>濃度と調和的に変動している。100年間の“短期”の気温変化としては、1/100年以上の急激な温暖化が1000年に一回程の頻度で起きたことが明らかになった。また、氷期における異常な温暖化が海洋植物プランクトン起源のメタンスルホン酸の高濃度ピーク期に一致していることを見いだした。このことは、氷期における南極海洋の鉛直循環が温暖化に強く作用したことを示唆する。また、氷期のダスト濃度変動は、メタンスルホン酸濃度の変動とは独立しており、「生物ポンプ」シナリオが働いていなかった可能性がある。

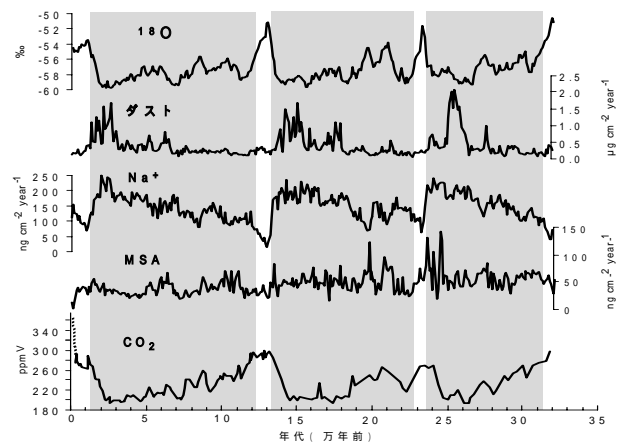


図1 ドームふじ氷床コアに記録された過去32万年の気温、陸海域起源物質、CO<sub>2</sub>の変動。

#### 3.3 生物分野

##### (1) 南極沿岸域における環境変動と生態系変動

生物分野では1961年（JARE-5）以来、昭和基地周辺の営巣地におけるアデリーペンギン個体数の観測を続けてきた。その結果、海氷の張り出しとアデリーペンギン個体数が逆相関の傾向にあることが明らかとなり、海洋環境変化、特に海氷分布の影響が沿岸生態系に大きな影響を及ぼしていることが分かった。また、新たに開発したマイクロデータロガーを用いて、定着氷域におけるアデリーペンギンの採餌行動及び繁殖生態の研究も行っている。その結果、アデリーペンギンの親は、海氷状況に応じて採餌行動を変化させることを明らかにした。このことは、

海水分布の変化は、アデリーペンギンの採餌場所と大きく関わり、餌の探索コストに影響を与えることになるが、その影響が繁殖へ及ぶのを緩和しているものと解釈される。この様なペンギンの行動的調節能力の高さが、海水条件の厳しい定着氷域での繁殖を成功させる鍵となっていることを示した。

## (2)環境変動に伴う極地湖沼の生物変遷

最終氷期以降、南極大陸沿岸の露岩域では、南極氷床の後退及び隆起により大きく環境が変遷した。それらの新しい生物環境にどのような生物が移入、定着して、変化を遂げて来たかを知ることを目的にした。露岩域の陸上表面には現存の生物相に加え、湖沼の堆積物から過去2万年に及ぶ生物相の変遷の研究を進めてきた。本研究により、南極大陸昭和基地の露岩域には南極氷床の後退により、淡水湖が形成され、湖水の環境が変化する過程と、氷床の後退に伴う大陸の隆起により海水環境から陸水環境への変化過程の二つの環境変遷が明らかになった。この結果、高塩分、低温、無酸素という特殊な極限的な湖沼環境に至っている。すなわち、氷縁域の湖では氷河性堆積物、氷縁から離れるに従って、藍藻類、藻類、コケ類が出現し、海岸に近い湖には海成堆積物、有機質泥などが見出される。1996年、湖底一面に生育するコケ植物の大群落(コケ坊主)が発見された。これまでに南極に発見されていない植物で構成され、群落の成長解析の結果、わずか数十cmで数百年を経過していることが確認された。本研究は南極においては氷床生物が陸域生物の発達に貢献しているという仮説のもとで、氷床、湖沼、陸域、海洋微生物の多様性解析を開始した。

## 3.4 地学分野

氷床後退後のアイソスタティックなリバウンドで形成された、昭和基地周辺の隆起海浜堆積物の掘削、原地性貝化石の産状、放射性炭素年代、酸素同位体比の分析から、東南極氷床は約2万年前の最終氷期最盛期(LGM)の拡大規模は比較的小さく、少なくとも4万年前以前に、より大規模な拡大が生じたことが明らかになった。これは、これまで知られていた北半球氷床や西南極氷床とは異なる「東南極氷床型」といえる挙動パターンである。最終氷期の氷河堆積物の堆積変形構造の観察から、当時の氷床底面は融解状態にあり、氷河底地層変形が氷床の流動に大きな影響を与えていたことが示唆される。この隆起海浜堆積物に含まれる原地性貝化石の年代と高度から得られた相対的海水準変動データと地球の粘弾性モデルを用いた計算結果は、LGM以降のグローバルな海水準変動に対する南極氷床融解の寄与量が、最大で17m、最小で6mであることを示した。また、隆起海浜堆積物のシークエンス層序にもとづく完新世中期の相対的海水準の急激な低下は、放棄されたペンギンルッカリー遺物の放射性炭素年代測定値の時代的集中とならび、完新世中期の温暖化の存在を示唆する。同様の粘弾性モデル計算によれば、完新世中期の急激な海水準低下の説明には、昭和基地周辺で約1000年間に150~200mの厚さの氷床を融解さ

せる必要があり、これはグローバルな海面上昇にすると約1mに相当し、これまで完新世に融解したとされる南極氷床融解量の約30~50%になる。

## 4. 今後の課題

地球環境関連課題など社会的要請の大きな研究をさらに推進してゆくとともに、学際的な分野の研究については、立案過程から分野横断型で行う必要がある。2007年から2009年にかけての国際極年では、研究者の交換を含め、積極的にプロジェクト研究観測を進めて行くことが重要である。

## 5. 成果文献

- Aoki, S. and 8 others, 2003: Carbon dioxide variations in the stratosphere over Japan, Scandinavia and Antarctica. *Tellus*, 55B, 178-186.
- Endo, Y. and 5 others, 2002: Biological characteristics of euphausiids preyed upon by Adelie penguins in relation to sea ice conditions in Lutzow-Holm Bay. *Polar Biology* 25: 730-738.
- Fujii, Y., Kohno, M., Matoba, S., Motoyama, H. and Watanabe, O., 2003: A 320 k-year record of microparticles in the Dome Fuji, Antarctica ice core measured by laser-light scattering. *Mem. Natl Inst. Polar Res.*, Special Issue, 57, 46-62.
- Hara, K. and 8 others, 2004: Chemistry of sea-salt particles and inorganic halogen species in Antarctic regions: Compositional differences between coastal and inland stations. *J. Geophys. Res.*, 109, D20208.
- Imura, S., Bando, T., Saito, S., Seto, K. and Kanda, H., 1999: Benthic moss pillars in Antarctic lakes. *Polar Biology*, 22: 137-140.
- Kato, A., Y. Watanuki, Y. Naito, 2003: Annual and seasonal changes in foraging site and diving behavior in Adelie penguins. *Polar Biology* 26: 389-395.
- Kawamura, K. and 5 others, 2003: Atmospheric CO<sub>2</sub> variations over the last three glacial-interglacial climatic cycles deduced from the Dome Fuji deep ice core, Antarctica using a wet extraction technique. *Tellus*, 55B, 126-137.
- Kudoh, S. and 4 others, 2003: Ecological studies on aquatic moss pillars in Antarctic lakes. 1. Macro structure and carbon, nitrogen and chlorophyll a contents. *Polar Bioscience*, 16, 11-22.
- Miura, H., Maemoku, H. and Moriwaki, K., 2002: Holocene raised beach stratigraphy and sea-level history at Kizahasi Beach, Skarvsnes, Lutzow-Holm Bay, Antarctica. *Antarctica at the close of a millennium, Royal Society of New Zealand Bulletin*, 35, 391-396.
- Nakada, M. and 5 others, 2000: Late Pleistocene and Holocene melting history of the Antarctic ice sheet derived from sea-level variations. *Marine Geology*, 167, 85-103.
- Shiobara, M., M. Yabuki, and H. Kobayashi, 2003: A polar cloud analysis based on Micro-pulse Lidar measurements at Ny-Alesund, Svalbard and Syowa, Antarctica. *Phys. Chem. Earth*, 28, 1205-1212.
- Takahashi, A. and 6 others (2003): Parental foraging effort and offspring growth in Adelie penguins: does working hard improve reproductive success? *Functional Ecology* 17, 590-597.
- Watanabe, O. and 5 others, 2003: Homogeneous climate variability across East Antarctica over the past three glacial cycles, *Nature*, 422, 509-512, doi:10.1038, 2003.