

20. 北極圏環境モニタリング・環境変動

国立極地研究所・神田啓史 (kanda@nipr.ac.jp)

1. 研究の目的

北極域は、地球規模の大気や海洋にとって冷源域であり、低緯度側熱源域との気温傾度に起因する大気大循環や深層水形成に因る海洋ベルトコンベアの駆動を通じ、地球規模の気候や環境に深く関係している。また、北極域は地球温暖化や降水の酸性化など人為的な原因による大気環境変化が最も鋭敏に現れる地域でもある。本研究では、北極圏における気候温暖化、炭素循環、北極振動など北極気候モードと大気、雪氷、海洋、陸域の環境変動との関連などについて、環境変動の実態を現地観測を軸に研究を進め、環境変動メカニズムを解明する総合研究を目的としている。

2. 研究の方法

北極における環境モニタリング及び温暖化に代表する環境変動に関わる研究観測は、スバルバルのニーオルスン観測基地、航空機、観測船などをプラットフォームに、さまざまな方法で実施している。大気分野ではニーオルスン基地（北緯 79 度、東経 15 度）において大気中の温室効果気体の観測を継続実施し、また、航空機を利用した上空の大気微量成分やエアロゾルの分布、光学特性、雲観測を実施している。雪氷分野は、環北極海水域で雪氷コア掘削を行い、陸域環境分野では、氷河後退域の生態系を最終氷期まで遡って解析し、気候温暖化が陸上生態系へ及ぼす影響を解明している。海洋環境分野ではカナダ沿岸警備隊の砕氷船を使用し、北極海域ではまれに見る砕氷船による越冬観測を行なった。

3. 研究の成果

3.1 温室効果気体の観測と航空機による大気観測

スバルバルの観測基地で温室効果気体やエアロゾルの観測を継続するとともに、ドイツと航空機・地上同期共同観測を実施し、北極圏航空機観測(AAMP 98)、北極海横断航空機大気観測(AAMP 02)、北極域対流圏エアロゾル・放射総合観測 (ASTAR 04)などの国際共同観測を実施してきた。平成11～13年度における観測大気中微量物質の高度分布や広域輸送状況では、スバルバル周辺海域は年間を通じて二酸化炭素の吸収域である事が明らかになった。一方、北極域における温室効果気体の変動と、その放出源・吸収消滅源の時間変化を明らかにすることを目的として、ニーオルスン観測基地において大気中のCO₂、対流圏O₃、N₂O、SF₆濃度及びそれらの同位体比の観測を実施している。これらの観測項目のうち、対流圏O₃については現地連続観測を、その他の項目について

は現地にて採取した大気試料を日本国内に持ち帰り、国立極地研究所及び東北大学において各種成分の分析を行っている。CO₂及びCH₄濃度については、1991年の観測開始以来現在まで、欠測のない高精度データを蓄積している。また、1996年からはCO₂炭素同位体比とこれまであまり長期間の観測例がなかったCH₄の炭素同位体比の高精度観測も開始し、現在まで継続実施している。CO₂濃度とCO₂炭素同位体比の変動を詳細に検討することにより、CO₂濃度の経年変化に見られる不規則な変動は、大気と陸上生物圏間のCO₂交換量の年々変動に起因することが明らかになった。また、CH₄濃度変動についても、CH₄濃度とCH₄炭素同位体比データを用いて、その季節変化・経年変化における様々なCH₄放出源の寄与を分離できる可能性があることが示された。

3.2 環北極海雪氷コア研究

北極域での過去の温暖化、環境変化を探るため、環北極海雪氷コア研究計画 (IGBP/PAGES/ ICAPP) の一環として、過去10年、グリーンランドで深層掘削、スバルバル諸島、マウントローガン、アルタイ、北極カナダのエルズミア島などで浅層コアを行ってきた。スバルバル諸島北東島アウストフォンナ氷帽のコアとグリーンランドSITE-Jのコアの対比により、酸素同位体組成およびpHは両コアで逆相関が卓越していること、酸素同位体組成が示す温暖期にはpHが示す酸性度が低下する関係が得られた。この結果は、スバルバルとグリーンランドが、アイスランド低気圧の消長に関連した北大西洋振動 (NAO) を記録していることを示すものである。また、スバルバルのコアは、20世紀初頭 (1910～1920年) に、急激な温暖化のジャンプをしていることを示した。グリーンランドでの氷床深層コア掘削コアのヨーロッパの研究者との共同解析の結果は、12万年程前の間氷期に氷床が存在していたこと、さらに完新世より数度温暖だったことを明らかにした。

3.3 温暖化に伴う氷河後退域の植生遷移及び炭素循環

ツンドラの植生変遷と炭素循環コンパートメント研究を国際共同観測として進めるために、スバルバル諸島スピッツベルゲンの氷河後退域において平成11～16年度で観測を実施して来た。氷河生態系を代表するキョクチヤナギの一次生産量の推定、カギハイゴケの水分光合成特性等を解析することにより、ツンドラ地域の氷河後退域では温暖化にも係らず炭素吸収域であることが明らかになった。一方、日加国際協力の下で北極カナダのエルズミア島オーブローヤ湾において、環境変化に伴う氷河

後退域の植生変化の観測を、平成13～16年度に実施した。最終氷期の氷河後退域の地形と生物多様性はどのように変遷してきたか、また、植生の分布と生態系純生産量の測定を行い、温暖化影響の予測についての課題に取り組んでいる。

3.4 北極域海洋動態と生態系変動の研究

北極海氷域における気候変動に伴うであろう海氷減少が及ぼす海洋生態系への影響を明らかにすることを目的とした。

本研究の対象海域は温暖化の影響を大きく受けるであろう海氷海域であるにも関わらず、これまでにはほとんどその生態系に関する知見が無かった。ノースウォータポリニア (NOW) では、植物プランクトンの現存量や光合成特性、動物プランクトンの現存量や摂餌量、沈降粒子量の時間的・地理的变化、さらにはこれらを決定する要因などに関して明らかにした。これらの知見は更なる継続的観測を行なうことによって気候変動に対する海洋生態系の変動を明らかにするための非常に貴重なデータとなった。CASES 計画は研究航海が終了して間もないためにデータは解析中である。

4. 今後の課題

大気分野では現在実施している観測を継続し、長期間の時系列データとして蓄積していくことが重要である。また、大気中の CO₂、CH₄ の放出源・吸収消滅源の同定とその強度変動を把握するために、CO₂ の酸素同位体比や大気中酸素濃度の精密観測・連続観測、CH₄ の水素同位体比観測等を実施する必要がある。本観測のモニタリング (監視) と総称される大気微量成分の高精度時系列観測を維持していくために、国内での人的・財政的サポートを拡充する必要がある。陸域分野においては植生・土壤炭素の広域分布をどのように炭素循環モデルに反映していくか、遷移初期の維管束植物の活性、地衣類、藻類などの役割について今なお、課題が残っている。海洋環境分野では観測を実施した海域ではいまだこれらの海域では知見が乏しく、特に気候変動に伴うであろう海洋生態系の変動を明らかにするためには長期間に渡る継続的観測を続けることが重要である。

5. 成果文献

大気分野

- 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.
- Hara, K. Osada, C. Nishita, S. Yamagata, T. Yamanouchi, A. Herber, K. Matsunaga, Y. Iwasaka, M. Nagatani, and H. Nakada. 2002: Vertical variations of sea-

salt modification in the boundary layer of spring Arctic during the ASTAR 2000 campaign, *Tellus* 54B., 361-376.

- Morimoto, S., Nakazawa, T., Higuchi K. and Aoki, S., 2000: Latitudinal distribution of atmospheric CO₂ sources and sinks inferred by d13C measurements from 1985 to 1991. *J. Geophys. Res.*, 105, 24315-24326.

雪氷分野

- Kawamura, K., Yokoyama, K., Fujii, Y. and Watanabe, O., 1999: Implication of azelatic acid in a Greenland ice core for oceanic and atmospheric changes in high latitudes. *Geophysical Research Letters*, 26, 7, 871-874.
- Fujii, Y. et al, 2001: 210-year ice core records of dust storm, volcanic eruption and acidification at Site-J, Greenland. *Mem. Natl Inst. Polar Res.*, Spec. Issue, 54, 209-220.
- North Greenland Ice-Core Project Members, 2004: High resolution Climate Record of the Northern Hemisphere reaching into the last Interglacial Period. *Nature*, 431, 147-151.

陸域環境分野

- Bekku, S.Y. et al, 2004: Soil respiration in a high arctic glacier foreland in Ny-Alesund, Svalbard. *Polar Bioscience*, 17, 36-46.
- Okitsu, S. et al, 2004: Vegetation development on the glacier moraines in Oobloyah Valley, Ellesmere Island, high arctic Canada. *Polar Bioscience*, 17, 69-82.
- Uchida, M. et al, 2002: Net photosynthesis, respiration, and production of the moss *Sanionia uncinata* on a glacier foreland in the high Arctic, Ny-Alesund, Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 34, 287-292.

海洋分野

- Kashino, Y. and Kudoh, S., 2003: Concerted response of xanthophyll-cycle pigments in a marine diatom, *Chaetoceros gracilis*, to the siffts of light condition. *Phycol. Res.* 51(3), 168-172.
- Odate, T. et al, 2002: Temporal and spatial patterns in the biomass of phytoplankton in the North Water Polynya. *Deep-Sea Res.* II, 49, 4947-4958.
- Sampei, M., et al, 2004: Fate of sinking particles, especially fecal pellets, within the epipelagic zone in the North Water (NOW) Polynya of northern Baffin Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 278, 17-25.