

機関番号：62611
 研究種目：基盤研究（A）海外
 研究期間：2007～2010
 課題番号：19255003
 研究課題名（和文）北極高緯度地域における植生変化と炭素循環の解明
 研究課題名（英文）Vegetation change and carbon cycle in the high Arctic
 研究代表者
 神田 啓史（KANDA HIROSHI）
 国立極地研究所 名誉教授
 研究者番号：70099935

研究成果の概要（和文）：

過去数10年間の北極の気候温暖化の加速は顕著である。しかし、北極は炭素を放出するソース領域であるのか、炭素を吸収するシンク領域であるのかはいまだ十分な研究がなされていない。北極スピッツベルゲン島とカナダ北極エルズミア島の植生変化の監視区域（リファレンスサイト）を設け、地形、地表面観測、航空機による空中写真解析、生物多様性、炭素循環過程を調査、観測し、気候温暖化による生態系変動、植生変動の影響を評価した。

研究成果の概要（英文）：

The climate warming has been accelerated for dozens of years in the Arctic. However, enough studies are not done whether it is a source areas releasing carbon or a sink areas absorbing carbon in the Arctic. We established the reference sites for the vegetation change considering to be affected by the climate warming in Spitsbergen Island and Ellesmere Island. We investigated topography, edaphic features, analyses of air and satellite photographs, biological diversity, vegetation pattern and carbon cycle process, and evaluated an ecosystem change with special references with vegetation and carbon cycle influenced by the climate warming.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2008年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
総計	18,100,000	5,430,000	23,530,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：環境影響評価・環境政策

キーワード：北極、植生、氷河後退、蘚苔類、遷移、炭素循環、微生物、土壌

1. 研究開始当初の背景

2004年に発行されたACIA(北極気候影響評価)によると、過去数10年間の北極の年平均気温の上昇は、北極以外の地域のほぼ2倍であった。気候温暖化の加速はアラスカなどの永久凍土をはじめ、ツンドラ、北方林等が炭素を放出するソース領域であるとの考えに基づいている。しかし、一方では北極後退域の土壌環境と植生はスバルバル諸島等、

依然として炭素を吸収するシンク領域であるという報告がある。気候温暖化の正のフィードバック機構は、高緯度ツンドラ域における土壌環境が変化して、結果的には植生構造及び分布にも変化が現れ、ツンドラ生態系への変動を引きおこすことになる。これらの変動を顕著に予測する植生変化の研究は著しく少ない。

2. 研究の目的

すでに同研究グループによって実施されてきたスバルバル諸島スピッツベルゲン島ニーオルスンの植生変化の監視区域（リファレンスサイト）との比較研究を念頭に置いて、カナダ北極の高緯度地域（エルズミア島オーブローヤ湾）における氷河後退域に伴う植生変化を中心に、地形、地表面、生物多様性、炭素循環過程を調査、観測し、気候温暖化による生態系変動の影響評価に関わるデータ、資料を取得し、気候システムがツンドラ生態系の変動に与える影響を予測することを目的にした。

3. 研究の方法

カナダ高緯度北極の研究サイトの環境を把握するために、各種データロガーを設置し、微気象観測を実施する。氷河後退域の年代が異なる場所にリファレンスサイトを設け、北極陸域生態系の環境動態解析及び環境監視の調査を行う。さらに大気、雪氷、地形分野と連携して、陸域生態系と周氷河生態系における観測を行う。北極陸域生態系の環境変動を解明するために、地形図、植生図、生物分布図作成、および航空機による空中写真撮影を行い、地上観測を補完する体制を取る。これらの観測結果はスバルバル諸島スピッツベルゲン島ニーオルスンの観測と比較する。

4. 研究成果

(1) カナダ北極の環境と植生変化

北極における植生の活性度は気候温暖化が



図1. カナダ北極エルズミア島オーブローヤ湾の氷河後退域のリファレンスサイトと植生 (Mori, et al. 2008)

植生変化に与える影響を調べる上で重要な指標となる。エルズミア島ではオーブローヤ湾にリファレンスサイトを設置（図1）、アークリオ氷河（Arklio glacier）のモレーン帯を新しいモレーンから順に、観測地点（A, B, C, D）を設置した。観測地点では詳細な現存植生を調査し、維管束植物（vascular plants）、維管束植物＋陰花植物（cryptogams）、岩礫（rocks）の分布を調査し、氷河末端から遠ざかるにつれて、維管束植物、陰花植物、岩礫のパターンが異なることを明らかにした（図2）。

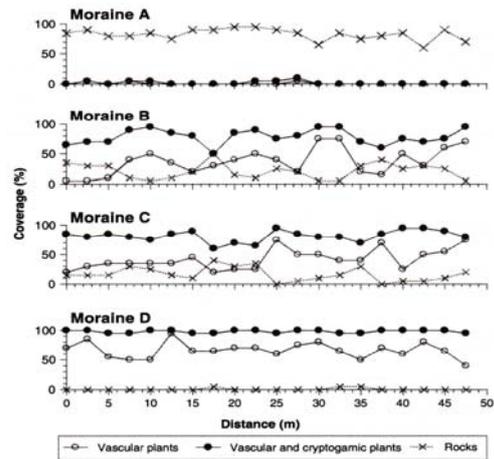


図2. カナダ北極エルズミア島オーブローヤ湾氷河後退域のモレーン上の植生パターン (Mori, et al. 2008)

小氷期に形成されたばかりの氷河後退域のモレーンを対象として、観測点を設け、トポロジー、凹凸、礫からの距離、その礫のサイズ、細粒物質の被度等を記録することにより、維管束植物の定着セーフサイトは凹地で大きな礫の近くであることが明らかになった。これにより新しいモレーン上は生物的環境としては厳しく、非常に不安定な場所だが、比較的生育に好適なマイクロサイトが存在すること分かり、氷河後退後の植生発達の第一段階として重要であることが示唆された。さらに、モレーンの植生パターンを全球測位システム（GPS）と葉面積指数（LAI）値の測定により、植生位置を明らかにした。また現地調査日に近い衛星画像（ALOS）を取得し、衛星画像の近赤外域と赤色域のバンドをもとに計算したLAI値と現地調査でのLAI値と比較した。結果として、LAI値の高い相関が見られ、広域にLAIの推定が可能となり、温暖化による植生変化を推定する方法が確立された。

一方、カナダ北極は植生の線的な広がりを観測することを視野に入れて、植生が緯度の異なった環境でどう変動するかを知るために、高緯度から低緯度に至るまでの地域を対象に、調査が進められた。4年間で、エルズミア島、アクセルハイバーク島、コンウオーリス島、ビクトリア島及び北米大陸最北部のコッパーマインで環境と植生の違いについて比較研究を行った。結果的に種子植物、蘚苔類、地衣類の組成が大きく異なり、とくに各島の植生の違いは数種のヤナギ属（*Salix* spp.）が鍵種になるという情報を得た。また、北米大陸部においてはセイヨウネズ（*Juniperus communis*）の新たな分布が確認され、温暖化の影響が示唆された。さらにコンウオーリス島レズリュートの植生については、小島でありながら基地周辺には大規模な蘚苔類群落が広がる地域が多数、認められた。この島は高緯度地域の航空拠点あるいは前進基地として位置づけられているため、自然環境とはいくらか異なった人為的な排水、廃棄物等による富栄養化の影響が進み、温暖化

に人為的な影響が加わった興味深い知見が得られた。

(2) スピッツベルゲン島の環境と植生変化

カナダ北極のもう一方のリファレンスサイトとして、スバル諸島スピッツベルゲン島のニーオルスンと比較研究の対象地域とした。ニーオルスンには氷河後域において土壤中から海成の貝化石が発見されているため、海成土壌層を含む土壌中の有機炭素量、窒素量が微生物呼吸やバイオマスの組成

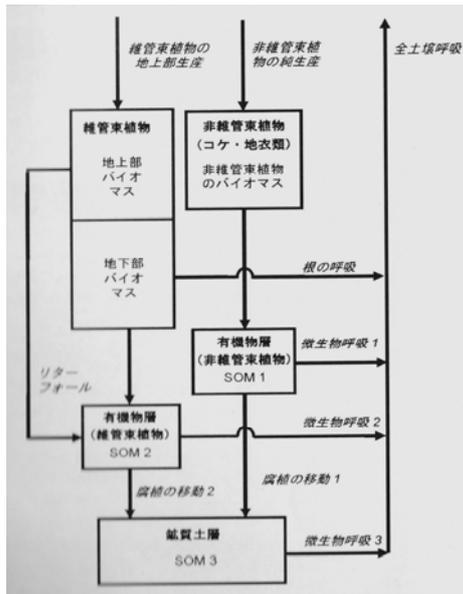


図3. 炭素循環のコンパートメントモデル (中坪他、2008)

変化が植生の遷移初期と後期でどのように影響を与えているかを検証するために野外実験を行った。遷移初期と後期では、炭素、窒素、炭素・窒素を添加した際の応答は異なり、遷移初期では微生物による呼吸は炭素・窒素両方が制限要因となっていることが明らかになった。さらに、氷河後退域の群落における土壌微生物の呼吸、植物の光合成生産と呼吸および土壌炭素や植物バイオマスなどの生理生態学的データを積み上げ、氷河後退域における炭素循環モデルを構築しつつ、種子植物、蘚苔類、地衣類、菌類とそれぞれの環境の関わりについて調査した (図3)。氷河後退域では遷移の進行に伴う変化と、温暖化による環境変化が同時に進行しており、炭素循環機能はその両方の影響下にある。前者はリモートセンシング手法と遷移に沿った現地調査、後者はモデル解析が最も有力な手段となった。本研究ではこれらのアプローチを総合し、地球観測衛星データが存在する1980年代から将来にわたる植物生態系の分布および構造や機能の変化について観測し、炭素の蓄積量や放出量などの経時的な変動や、温暖化による機能変化についての情報が得られ、陸上生態系の機能変化が気候環境にもたらすフィードバックに関する理解が得られた (図4)。

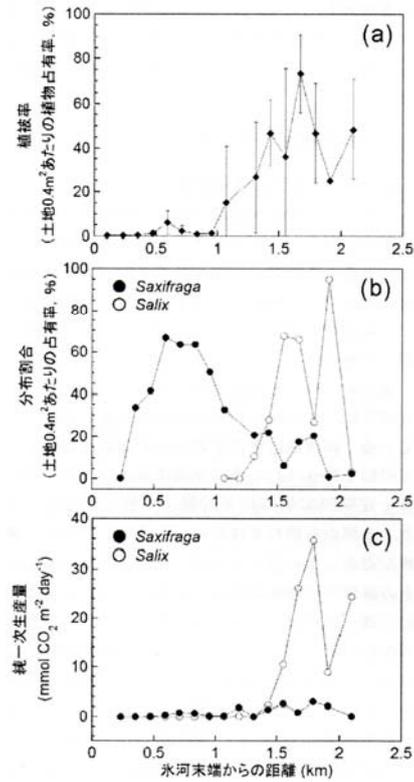


図4. 遷移段階を異にする主要維管束の光合成特性と分布、および二酸化炭素吸収量 (第一次生産量) の分布. (a) 氷河後退域における植被率の変化, (b), (c) 先駆種 *Saxifraga* と遷移後期種 *Salix* が単位土地面積に占める割合と純一次生産の分布 (Muraoka, et al., 2008)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 37 件)

- ① Yoshitake, S., M. Uchida, T. Ohtsuka, H. Kanda, H. Koizumi and T. Nakatsubo (2011). Vegetational development and carbon storage on a glacier foreland in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Science*: doi:10.1016/j.polar.2011.03.002. (査読有)
- ② Uchida, M., A. Kishimoto, H. Muraoka, T. Nakatsubo, H. Kanda and H. Koizumi (2010). Seasonal shift in factors controlling net ecosystem production in a high Arctic terrestrial ecosystem. *J. Plant Res.*, 79-85. (査読有)
- ③ Yoshitake, S., M. Uchida, H. Koizumi, H. Kanda and T. Nakatsubo (2010). Production of biological soil crusts in the early stage of primary succession on a High Arctic glacier foreland. *New Phytologist*, 186, 451-460 (査読有)
- ④ Ueno T., T. Osono and H. Kanda (2009). Inter- and intraspecific variations of the chemical properties of high-Arctic mosses along water-regime gradients. *Polar Science*, 3, 134-138. (査読有)
- ⑤ Yukimura, K., R. Nakai, S. Kohshima, J. Uetake, H. Kanda and T. Naganuma (2009). Spore-forming halophilic bacteria

isolated from Arctic terrains: Implications for long-range transportation of microorganisms. *Polar Science*, 163-169. (査読有)

- ⑥ Mori, A., T. Osono, M. Uchida and H. Kanda (2008). Changes in the structure and heterogeneity of vegetation and microsite environments with the chronosequence of primary succession on a glacier foreland in Ellesmere Island, high arctic Canada. *Ecological Research*, 23, 363-370. (査読有)
- ⑦ Muraoka H., H. Noda, M. Uchida, T. Ohtsuka, H. Koizumi and T. Nakatsubo (2008). Photosynthetic characteristics and biomass distribution of the dominant vascular plant species in a high-arctic tundra ecosystem, Ny-Ålesund, Svalbard: implications to their role in ecosystem carbon gain. *Journal of Plant Research*, 121, 137-145. (査読有)
- ⑧ Nakatsubo T., S. Yoshitake, M. Uchida, M. Uchida, Y. Shibata and H. Koizumi (2008). Organic carbon and microbial biomass in a raised beach deposit under terrestrial vegetation in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 27, 23-27. (査読有)
- ⑨ Kume, A., Y. S. Bekku, T. Hanba, T. Nakano and H. Kanda (2008). Nitrogen concentration within *Saxifraga oppositifolia* in different successi. *Polar Science*, 143-147. (査読有)

[学会発表] (計 87 件)

- ① 吉竹晋平・藤吉正明・中坪孝之・増沢武弘
小泉博. 荒原生態系における土壤微生物群集の制限要因: 富士山火山荒原の土壤微生物に対する炭素・窒素・リン制限. 日本生態学会 第 5 8 回全国大会. 2011, 3.9, 札幌.
- ② Osono, T., T. Ueno, M. Uchida and H. Kanda. Abundance and diversity of fungi in relation to chemical changes in Arctic moss profile. Second International Symposium on the Arctic Research (ISAR-2), 2010, 12.7, Tokyo, Japan.
- ③ Kishimoto, A., K. Hayashi, T. Motohka, M. Uchida. Exchange of greenhouse gas fluxes in relation to vegetation coverage on a glacier foreland in the high Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. Second International Symposium on the Arctic Research (ISAR-2), 2010, 12.7, Tokyo, Japan.
- ④ Hayashi, K., M. Hayatsu, S. Morimoto, A. Kishimoto, T. Motohka, M. Uchida and T. Nakatsubo. Features of nitrification and denitrification of an Arctic soil in Ny-Ålesund, Svalbard. Second International Symposium on the Arctic Research (ISAR-2), 2010, 12.7, Tokyo, Japan.
- ⑤ Tomita, M., T. Masuzawa, H. Kanda. Comparison of characteristics of *Polygonum viviparum* distributed on the Arctic region and Japanese Alpine zone. ASSW Science Symposium, 2010, 3.29, COEX, Seoul.
- ⑥ Osono T., M. Uchida and H. Kanda. Natural

abundance of ¹⁵N in leaves and stems of *Salix arctica* on a recently-deglaciated moraines on Ellesmere Island, high arctic Canada. Xth SCAR International Biology Symposium. 2009, 7, Sapporo.

- ⑦ Uchida, M., S. Yoshitake, T. Nakatsubo and H. Kanda. Effect of temperature and ecosystem development on substrates utilization pattern by soil microorganisms on Ellesmere Island, High Arctic Canada. Xth SCAR International Biology Symposium. 2009, 7, Sapporo.
- ⑧ 内田昌男, 内田雅己, 近藤美由紀, 柴田康行. 北極スバルバル諸島土壤微生物による化石炭素を用いた従属栄養代謝に関する証拠—分子レベル放射性炭素同位体分析による検証. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会 2009, 5, 19, 幕張.
- ⑨ Kanda H. Evolution of Arctic Ecosystems in a Warming World. Symposium on Arctic Connection, Results of 150 years of Research (Arctic Science Summit Week 2009), 2009, 3, 24 Bergen, Norway.
- ⑩ Osono, T. Estimation of the decomposition rates of dead woody stems of *Salix arctica* in recently-deglaciated area in Canadian high arctic using radicarbon (¹⁴C). First International Symposium on the Arctic Research (ISAR-1). 2008, 11, 5, Miraikan, Tokyo, Japan.
- ⑪ Uchida M., M. Uchida, T. Nakatsubo and H. Kanda. Microbial activity and decomposition characteristics in a raised beach deposit under terrestrial vegetation on the high Arctic deglaciated area. First International Symposium on the Arctic Research (ISAR-1). 2008, 11, 5, Miraikan, Tokyo, Japan.
- ⑫ 中坪孝之, 村岡裕由, 内田雅己. 高緯度北極陸上生態系の炭素循環に対する温暖化の影響: モデルによる予測 第 55 回日本生態学会. 2008 年 3 月, 福岡国際会議場.
- ⑬ 富田美紀, 増沢武弘. 北極域に生育する多年生草本植物の生態学的研究〜ムカゴトラノオについて〜, 第 30 回極域生物シンポジ, 2007 年 11 月, 国立極地研究所.

[図書] (計 8 件)

- ① 神田啓史 (共著). 成山堂書店. アイスコア—地球環境のタイムカプセル— (藤井理行・本山秀明編著), 2011, 217-226.
- ② 伊村 智 (共著). 成山堂書店. アイスコア—地球環境のタイムカプセル—. (藤井理行・本山秀明編著), 2011, 227-229.
- ③ 和田直也・今村弘子 編著. 富山大学出版会. 自然と経済から見つける北東アジアの環境, 2009, 311 頁.
- ④ 増沢武弘 (編著) 共立出版. 高山植物学, 2009, 446 頁.
- ⑤ 和田直也 (共著). 共立出版. 高山植物学 (第 7 章 3 節: 風衝地と雪田に生育する矮性低木の生活と繁殖). (増沢武弘編著),

2009,
214-224.

- ⑥神田啓史(共著). 共立出版. 高山植物学
(第10章:高山のコケ植物)(増沢武弘
編著), 2009, 293-306.
- ⑦久米 篤(共著). 共立出版. 高山植物学
(第13章2節:ハイマツ群落)(増沢武
弘編著, 2009, 348-359.

[その他]

極地生物多様性画像データベース
<http://antmoss.nipr.ac.jp/database.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神田 啓史(KANDA HIROSHI)
国立極地研究所・名誉教授
研究者番号: 70099935

(2) 研究分担者

増沢 武弘(MASUZAWA TAKEHIRO)
静岡大学・理学部・教授
研究者番号: 40111801

坂田(別宮) 有紀子(SAKATA [BEKKU]
YUKIKO)
都留文科大学・文学部・教授
研究者番号: 20326094

大園 享司(OSONO TAKASHI)
京都大学・生態学研究センター・准教授
研究者番号: 90335307

久米 篤(KUME ATSUSHI)
九州大学・農学部・准教授
研究者番号: 20325492

伊村 智(IMURA SATOSHI)
国立極地研究所・研究教育系・准教授
研究者番号: 90221788

内田 雅己(UCHIDA MASAKI)
国立極地研究所・研究教育系・助教
研究者番号: 70370096

和田 直也(WADA NAOYA)
富山大学・極東地域研究センター・教授
研究者番号: 40272893

(3) 連携研究者

なし