

平成21年 6月 1日現在

研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19310015  
 研究課題名(和文) 自然レベル放射性炭素を用いた北極土壌微生物による新たなCO<sub>2</sub>放出メカニズムの解明  
 研究課題名(英文) Studies for new mechanisms of CO<sub>2</sub> emission by arctic soil microorganisms using natural radiocarbon  
 研究代表者  
 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

## 研究成果の概要：

本研究では、北極氷河後退域における土壌内有機炭素の分解に関する温暖化の影響を調べるため、化石炭素 (fossil organic carbon) の分布と分解に関する研究を行った。その結果、土壌表層の有機炭素の放射性炭素年代は、800～34,510年と fossil organic carbon の割合が多く、表層から得られた微生物の細胞膜脂質の<sup>14</sup>C年代も、640～17,070 yrs BPとなり、土壌微生物による fossil organic carbon の分解を示唆する結果を得た。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	12,500,000	3,750,000	16,250,000
2008年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
年度			
総計	16,100,000	4,830,000	20,930,000

## 研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：物質循環

## 1. 研究開始当初の背景

北極圏およびその周極地域は、地球温暖化に伴う気候変動が自然界のフィードバックを介して最も顕著に現れるといわれている。実際、近年の北極海氷の急激な減少などは、目に見える温暖化現象として認知されている。一方、陸域でも積雪面積の減少が報告されている(Forster et al. 2007)。グリーンランドでは夏期における陸地面積が1992年からの10年間で17%も増加したことが衛星観測データからも明らかとなってきた(Comiso & Parkinson, 2004)。北半球高緯度域の陸域においては、気温上昇に伴う氷河の後退や永久

凍土層の融解、生態系への様々な影響が懸念されている。特に土壌圏への影響に目を向けると、将来、土壌中に蓄積している炭素は気候変動により減少し、温暖化を加速させる正のフィードバックを起こすと予想されている(Forster et al. 2007)。しかし、この予測には大きな不確実性が伴っており、土壌圏における炭素動態を解明することは、温暖化の将来予測における不確実性を小さくする重要な課題の一つとなっている。

現在、土壌圏の炭素蓄積の多くは、北極・高緯度地域に集中し、その炭素量は、700億トンにもなり、人為的に排出される年間炭素

量のおよそ 10 倍である。これらの炭素は、地質時代を通じて長期間に渡って堆積した大量の fossil organic carbon を含む凍土から構成されている。これらの fossil organic carbon 有機物を大量に含んだ地層の多くは、これまでの安定した気候のもとでは氷河・氷床に覆われ、永久凍土という低温かつ嫌気的な状態で、過去 1 万年の温暖な間氷期であっても長期に安定して存在してきた。しかし、IPCC 第 4 次評価報告書にあるように、今世紀末の温暖化による気温上昇は、最大 6.5°C にも達すると試算されている。このような急激な温暖化は、気候変動に脆弱な炭素リザーバーを容易に不安定化させ、温暖化を加速させる正のフィードバックを引き起こすトリガーとなりうるものが懸念される。しかしながら、凍土中の有機炭素の総量や組成といった、基礎的なデータすら未だ正確な把握が難しいなか、凍土の融解に伴う fossil organic carbon の動態に関する知見は無い。

温暖化がこれらの土壤圏炭素リザーバーにもたらす影響の一つのシナリオは、温暖化の進行に伴い、これまで比較的安定に存在してきた土壤有機物が、酸化・湿潤環境に曝された結果、容易に分解されてしまい、正のフィードバック効果をもたらすことであろう。低温条件下での微生物による有機物分解は、難分解性の有機物ほど、温度変化に対して敏感であるとの報告もあり (Davidson & Janssens, 2006)、高緯度域土壤圏炭素蓄積量の変化とそのメカニズムについて詳細な研究が急務とされている。

## 2. 研究の目的

北極地域の土壤は、低温かつ、易分解性から難分解性の有機炭素を多量に蓄積するため、他の地域よりも温度変化に対して敏感で、分解が急速に進むことが予想される。本研究では、大きな炭素リザーバーを有する北極域土壤圏の温暖化に対する応答および氷河後退域における土壤内有機炭素の温暖化影響に関する情報を得ることを目的とした。

土壤内有機炭素には、地質時代から蓄積されてきた fossil organic carbon と最終氷期以降に成立した生態系により固定された新しい organic carbon が混在している。そこで、本研究では、高緯度北極の氷河後退域を利用し、生態系の発達と fossil organic carbon の空間分布との関係を調べ、fossil organic carbon が土壤微生物に利用されている可能性について、放射性炭素安定同位体を駆使することにより明らかにした。さらに、土壤微生物の分解特性および温度依存性に関する知見を得ることを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究は、北極海スバル諸島スピッツ

ベルゲン島ニーオルスンで行った。ニーオルスンの西側には、東ブレッガー氷河がある。この氷河は、1936 年以降は後退していることが航空写真により明らかとなっており、近年は年 10m 以上の速度で後退していることが観測されている。本研究では、この東ブレッガー氷河後退域を調査対象地に選定し、氷河末端から Kongsfjord 海岸へと至るおよそ 2.6km にわたり、ライントランゼクト法による土壤サンプリングを実施した (図 1)。土壤有機炭素、ブラックカーボン、放射性炭素、安定同位体比分析に基づく土壤有機炭素の分析を行い、それぞれの空間分布に関するキャラクターゼーションを行った。



図 1. スピッツベルゲン島調査地。氷溢源を挟む氷河末端から海岸へと渡る 3 本の調査トランゼクト (Line A, C, E) を設定

土壤から放出されている CO<sub>2</sub> に含まれる炭素の起源としては、最終氷期以降の動植物バイオマス由来の有機炭素や土壤内 fossil organic carbon が考えられる。本研究では、土壤内 fossil organic carbon を微生物が分解・資化している可能性を調べるために、土壤内微生物脂質の同位体分析を行った。

土壤微生物による有機物分解では、好気的な条件では呼吸により CO<sub>2</sub> が放出される。微生物の呼吸活性は温度の変化に伴って変化することが知られている。fossil organic carbon からなる土壤においても、土壤微生物の呼吸活性およびその温度依存性が認められるのかを明らかにするために、土壤をサンプリングしたのち、通気法を用いて異なる温度条件 (1-12°C) 下で土壤呼吸速度を測定した。

fossil organic carbon からなる土壤に生息する土壤微生物の組成と有機物分解特性を明らかにするために、DGGE (Denature gradient gel electrophoresis) 法および BIOLOG 社の ECOplate を用いて、分解可能な

有機物の種類を調査した。DGGE 法では土壌から抽出した DNA から、バクテリアのユニバーサルプライマーを用いて 16SrDNA を PCR で増幅したものを用いた。ECOplate には、31 種類の異なる有機物があらかじめ個別にセットされており、そこに土壌微生物を含む水を添加する。もし、土壌微生物が有機物を分解すると、あらかじめ含まれている酸化還元試薬が反応し、紫色に発色する。本調査では、fossil organic carbon を多く含む土壌層と動植物が最終氷期以降に固定した有機炭素が多く含まれる土壌層に生息する土壌微生物を用いて、有機物分解特性の違いを比較した。

#### 4. 研究成果

本研究により、北極の氷河後退域における fossil organic carbon の空間分布の特徴を明らかにすることができた。TOC は、氾濫源 (Line C-3) を挟んで大きく異なっていた。氾濫源より氷河側では、地表面に藻類、地衣類、コケ類やそれらが混在するバイオロジカルソイルクラストなどが存在しており、生態系の発達初期であった。土壌も未発達であり、礫とわずかに氷河からの碎屑物を含む砂質土壌が存在していた。TOC は、0.5%以下と少なく、土壌 pH は 8 以上と弱アルカリ性を示した。一方、氾濫源より海側は土壌の形成が確認され、TOC は氾濫源から離れるに従って、2%から 15%と増加した。土壌 pH は 7 前後で安定していた。土壌有機炭素の放射性炭素年代の結果によると、表層 0-1 cm における  $^{14}\text{C}$  年代は、全ての土壌採取地点において 800 年から 34,510 年と著しく古いことが判明した。この結果は、土壌有機炭素の年代が、土壌が作られた年代を示すものではなく、表層の動植物バイオマス由来の新しい有機炭素と古い有機炭素(fossil organic carbon)との混合されたものの年代であることを示唆している。つまり、北極の表層土壌では、土壌有機炭素の年代は土壌有機物が形成された年代、すなわち堆積年代を表しているのではなく、見かけの年代になることを裏づけていることが明らかとなった。これを支持する結果は、 $^{14}\text{C}$  年代の空間分布からも示された。土壌有機炭素の年代の空間分布は、氾濫源を挟んで大きく 2 つのグループに分けられた。表層のバイオマスの存在が乏しい氷河側は、海側と比べて著しく古い年代を示し、その年代差は最大で 16,000 年となった。この結果は、まさに fossil organic carbon からなる炭素リザーバーへの植物バイオマスからの新しい炭素の混入を表している。逆に考えると、氷河後退直後では、土壌深層のみならず、表面にさえも、fossil carbon が露出していることが明らかとなった。また、表層土壌の炭素安定同位体比の結果からは、氾濫源

から海側のトランセクト上で、-27.0‰(海側)~-24.4‰(氾濫源側)まで変化し、2.6‰の同位体比の勾配のあることが明らかとなった。海側の地点ほど表層のバイオマス(*Salix polaris*: -28.1‰、*Dryas octopetala*: -29.8‰)の値に近いことから、この勾配は、植物バイオマスからの土壌有機物への炭素のインプット量の違いを反映している可能性が明らかとなった。

サイト 3 (図 1 中の★印) における土壌深度方向でのバルク土壌有機物の TOC,  $^{14}\text{C}$  年代および  $\delta^{13}\text{C}$  値のプロファイルを図 2 に示した。土壌バルク有機物の  $^{14}\text{C}$  年代は、表層から 15cm 深までは、5 千年から 1 万年と推移し、それ以深では、急激に古くなり 2 万 5 千年から 4 万年の間をとっていた。表層 15cm 深までは、深度とともに古くなる傾向があり、堆積過程の変化をとらえているとも見て取れるが、特に 20cm 以深においては、そのような特徴は見られなかった。さらに 20-25cm 深のところ、赤色層のバンドとともに貝化石の断片が多数産出した。

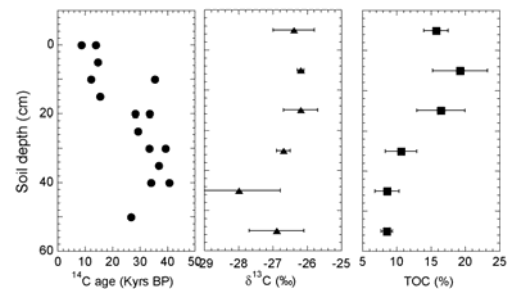


図 2. サイト 3 における土壌有機物の TOC、 $^{14}\text{C}$  年代、炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ )

貝化石の年代は、11,080 年となり、周辺の土壌有機炭素の年代よりも新しいことが分かった。これは、20-25cm の層準を挟んだ上下の層で堆積環境が異なっていることを示唆するものかもしれない。 $^{14}\text{C}$  年代のプロファイルでは、この層を挟んだ表層と深層における  $^{14}\text{C}$  年代は、2 グループに分けられた。このことも、堆積有機物の組成が大きく異なる可能性を示唆した。貝化石の産出については、最終退氷期における氷床量変動と大きな関係がありそうなことが分かった。最終氷期、スピッツベルゲン島はユーラシア、スカンジナビア、バレンツ、グリーンランドに存在した広大な大陸氷床に囲まれ、氷床量減少によるアイソスタシーの変化のあったことがわかっている。したがって、貝化石が見つかった層準より下部の土壌においては、最終退氷期以前の地層であると同時に、貝化石の産出する浅海域での堆積有機物の特徴を持つことが示唆された。すなわち、海洋起源の有機

物を含んでいる可能性がある。一方、15cm以深の $^{14}\text{C}$ 年代の逆転や同一層準における年代のばらつきについては、凍結と融解による土層の攪乱現象（クリオターベーション cryoturbation）の影響も考えられた。クリオターベーションでは、表層からのフレッシュな水溶性有機物の移動が起きた場合、年代は新しい方にシフトし、年代の逆転が起きることが考えられた。

TOCは、表層の15%であったのに対して、10-30cm深では16-19%と増加し、それ以深では8%まで減少していた。 $^{14}\text{C}$ 年代の結果と同様に20-25cmの層準を挟んで2グループに分けられるかもしれない表層の高いTOCは、表層の動植物バイオマス由来の炭素のインプットの影響と考えられる。一方、TOCの炭素安定同位体比は、45cm深で若干軽い方にシフトしている以外は、0-1cmの-26.4‰から50-60cm深の-26.9‰と大きな変化は認められなかった。土壤有機物の値は、表層のバイオマス (*Salix polaris*: -28.1‰、*Dryas octopetala*: -29.8‰) に比べて高かった。

一方、地質時代に生成した fossil organic carbon の起源については、氷河の浸食作用による堆積岩などの風化による堆積岩由来の有機炭素源が考えられる。しかしながら、北極の沿岸域はアイソスタシーにより、海と陸の両方を経験していることが、本研究からも裏付けられた。最近の研究によると、白亜紀北極海の環境は水温が27-32°Cと高く、亜熱帯環境であったことが明らかになった。当時の海洋環境は、現在よりも著しく高い生物生産が行われ、大量の有機物が海底に降り積もり、中・深層は酸欠状態になり、嫌気性のバクテリアが大量に存在していたようである (Jenkyns et al., 2004)。そのとき形成された堆積層は、黒色を呈し TOC が10%と高く、土壤有機炭素の  $\Delta^{13}\text{C}$  値は、-30‰前後と現在の-22‰前後とくらべて著しく低かった。同様な堆積環境の元で形成された堆積岩の風化を起源とした場合、現在の土壤有機炭素の fossil organic carbon の起源である可能性もあり得ることが本研究から考えられた。

深さ0-2、10-12および20-22cmの深さの土壤から放出される  $\text{CO}_2$  の速度を測定したところ、同じ温度では土壤深度が増すにつれて、放出速度は低下する傾向が認められたものの、いずれの層準からも  $\text{CO}_2$  の放出が認められ、土壤微生物による有機物分解が行われていることを示唆する証拠を得た。各層準に生息する土壤微生物の分解特性を BIOLOG 社の ECOplate で調べた結果、分解できた有機物数は土壤深度が増すにつれて減少し、20-22cm では15種類の炭素源の分解が認められた。炭素源の中で、*i-Erythritol* のみがこの層準で分解されたことから、土壤深層にのみ存在している微生物がいる可能性が示

唆された。DGGE法の結果からも上述のことは示唆された。20-22cmの層準のみに生息する3つのバクテリア個体群が検出された。これらの微生物を中心に、fossil organic carbon の分解に関わる微生物について、今後も研究を継続する。

土壤微生物が fossil organic carbon を分解しているならば、土壤微生物の細胞膜脂質であるリン脂質脂肪酸(PLFA)に fossil organic carbon 由来の古い年代の炭素が含まれているはずである。そこで、膜脂質に含まれる $^{14}\text{C}$ 濃度分析を行うことで、微生物脂質の炭素源を明らかにし、微生物による fossil organic carbon の資化・分解に関する直接的証拠を得た。その結果、表層0-5cmの層から得られた PLFA 分子の $^{14}\text{C}$ 年代は、640-17,070 yrs BPであった。これは、同層準のバルク有機物の8,580-14,520年と調和的に古いことから、同層準に生息している微生物の一部は、その代謝基質として古い有機炭素を利用していることを示すものである。これらの結果は、まだ一部であるが、本研究の作業仮説並びに目的を満足させるものであり、今後のさらなる分析の進捗が大いに期待されるものである。

このように、本研究結果から、北極土壤には fossil organic carbon が蓄積しており、土壤微生物はそれを利用していることが、野外観測では世界で初めて明らかとなった。温暖化は土壤温度の上昇を引き起こす可能性がある (IPCC, 2007)。本研究では、20cmまでの深さでは、深さが増すにつれて土壤からの  $\text{CO}_2$  放出速度の温度依存性は高くなる傾向が認められた。換言すると、土壤深度が増すほど、 $\text{CO}_2$  放出速度は敏感に応答する可能性がある。その一方で、永久凍土の融解面付近は土壤含水率が非常に高く、嫌気的な条件となっていることも考えられる。今後は、温暖化が fossil organic carbon の分解に及ぼす影響について、fossil organic carbon の組成や分解に関わる微生物の組成、そして凍土融解時の環境条件に関する研究を行い、fossil organic carbon の分解に及ぼす温暖化の影響についてより詳細な研究を行う必要がある。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計14件)

- ① 中坪孝之, 内田雅己, 村岡裕由, 野田響, 吉竹晋平, 内田昌男, 気候変動と高緯度北極陸上生態系—炭素循環過程を中心に— 総特集北半球高緯度海域における気候変動研究 III, 月刊地球, 30, 240-250, 2008, 査読無し

- ② 内田昌男, 内田雅己, 熊田英峰, 高橋善幸, 大塚俊之, 内海真生, 近藤美由紀, 中坪孝之, 柴田康行, 気候変動と高緯度北極土壌圏 土壌有機炭素リザーバーへの温暖化影響. 総特集北半球高緯度海域における気候変動研究III, *月刊地球*, 30, 216-229, 2008, 査読無し
- ③ Uchida M., Ohkushi K., Kimoto K., Inagaki F., Ishimura T., Tsunogai U., Tuzino T., Shibata Y., Radiocarbon-based carbon source quantification of anomalous isotopic foraminifera in last glacial sediments in the western North Pacific, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9, Q04N14, doi:10.1029/2006GC001558, 2008, 査読有り
- ④ Uchida M., Kondo M., Mukai H., Murayama S., Koizumi H., Ambe Y., Ecosystem-scale carbon isotope ratio of respired CO<sub>2</sub> in cool-temperate deciduous forests under Asian monsoon climate, *Journal of Geophysical Research* 113, G02015, doi:10.1029/2007JG000574, 2008, 査読有り
- ⑤ Ohkushi K., Uchida M., Aoki K., Yoneda M., Ikehara K., Minoshima K., Kawahata H., Tada R., Murayama M., Shibata Y. Radiocarbon marine reservoir ages in the Northwestern Pacific of Hokkaido island, Japan, during the last deglacial period. *Radiocarbon* 49, 963-968, 2008 査読有り
- ⑥ Muraoka H., Noda H., Uchida M., Ohtsuka T., Koizumi H., Nakatsubo T., 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. 2008, 査読有り
- ⑦ Nakatsubo T., Yoshitake S., Uchida M., Uchida M., Shibata Y., Koizumi H., 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, 2008, 査読有り
- ⑧ 内田雅己, 北極圏の蘚苔類・地衣類, *生物の科学 遺伝*, 62, 39-42, 2008, 査読無し.
- ⑨ Yoshitake S., Sasaki A., Uchida M., Funatsu Y., Nakatsubo T., Carbon and nitrogen limitation to microbial respiration and biomass in an acidic solfatara field, *European Journal of Soil Biology*, 43, 1-13, 2007, 査読有り
- ⑩ Yoshitake S., Uchida M., Koizumi H., Nakatsubo T., Carbon and nitrogen limitation of soil microbial respiration on a successional glacier foreland in the High Arctic: Ny-Ålesund, Svalbard, *Polar Research*, 26, 22-30, 2007, 査読有り
- ⑪ Mori A., Osono, T., Uchida M., Kanda H., 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, 2007, 査読有り
- ⑫ Copporal G. O., Andersson P., Eglinton T. I., Uchida M., Dickens A. F., The importance of ultrafine particles as a control on the distribution of organic carbon in Washington Margin and Cascadia Basin sediments, *Chemical Geology* 243, 142-156, 2007, 査読有り
- ⑬ Peregon A., Uchida M., Shibata Y., *Sphagnum* peatland development at their southern climatic range in West Siberia: trends and peat accumulation patterns, *Environmental Research Letters*. 2 045014 doi:10.1088/1748-9326/2/4/045014, 2007, 査読有り
- ⑭ Mampuku M., Yamanaka T., Uchida M., Fujii R., Maki T., and Sakai H., Changes in C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub> vegetation in the continental interior of the Central Himalayas associated with monsoonal paleoclimatic changes during the last 600 kyr. *Climate of the Past*, 3, 871-898, 2007, 査読有り
- [学会発表] (計19件)
- ① Kondo M., Uchida M., Uchida M., Ohtsuka T., Yoshitake S., Kanda H., Koizumi H., Nakatsubo T., Isotopic Signatures of Soil Organic Carbon and its Relation to Vegetation in a Successional Glacier Foreland in Ny-Ålesund, Svalbard, Arctic Science Summit Week (ASSW) 2009, 23-28 March 2009, Bergen, Norway
- ② 菅尚子, 内田雅己, 小泉博, 神田啓史, 北極ツンドラ生態系における厳冬期の土壌呼吸の行方, 日本生態学会第56回大会, 2009年3月19日, 岩手県立大学
- ③ 菅尚子, 内田雅己, 小泉博, 神田啓史, Winter CO<sub>2</sub> efflux from snow surface on the high Arctic glacier foreland, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月19日, 千葉幕

- 張メッセ
- ④ 内田雅己, 村岡裕由, 神田啓史, 中坪孝之, The impact of climatic warming on the ecosystem carbon cycle of a high Arctic glacier foreland II: long-term simulation 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 19 日, 千葉幕張メッセ
- ⑤ 近藤美由紀, 内田昌男, 内田雅己, 大塚俊之, 吉竹晋平, 小泉博, 中坪孝之, Isotopic Signatures of Soil Organic Carbon in a Successional Glacier Foreland in Ny-Ålesund, Svalbard, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月19日, 千葉幕張メッセ
- ⑥ 吉竹晋平, 内田雅己, 小泉博, 神田啓史, 中坪孝之, Contribution of biological soil crusts to the terrestrial carbon cycle in a High Arctic glacier foreland in Ny-Alesund, Svalbard, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 19 日, 千葉幕張メッセ
- ⑦ 内田昌男, 内田雅己, 近藤美由紀, 柴田康行, Evidence of Heterotrophic Microbial Decomposition of Soil Ancient Carbon in the Glacier Retreat, Svalbard, Norway Arctic, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月19日, 千葉幕張メッセ
- ⑧ 内田雅己, 内田昌男, 中坪孝之, 神田啓史, 高緯度北極陸域の海成堆積物層における二酸化炭素放出と微生物の有機物分解特性, 日本生態学会第 55 回大会, 2008 年 3 月 16 日, 福岡国際会議場
- ⑨ 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, 日本生態学会第 55 回大会, 2008 年 3 月 16 日, 福岡国際会議場
- ⑩ 内田雅己, 内田昌男, 中坪孝之, 神田啓史, Soil microbial respiration and decomposition characteristics in a raised beach deposit in the High Arctic., 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月30日, 千葉幕張メッセ
- ⑪ 内田昌男, 内田雅己, 高橋善之, 中坪孝之, Radiocarbon based carbon source identification of soil respiration, Spitsbergen Island in the Norwegian high Arctic, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 30 日, 千葉幕張メッセ
- ⑫ 近藤美由紀, 内田昌男, 内田雅己, 吉竹晋平, 大塚俊之, 中坪孝之, Elemental and isotopic signatures of soil organic carbon in a successional glacier foreland in Ny-Alesund, Svalbard, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 30 日, 千葉幕張メッセ
- ⑬ Uchida M., Uchida M., Nakatsubo T., Kanda H., Soil microbial activity and decomposition characteristics in a raised beach deposit under terrestrial vegetation on a high Arctic glacier foreland, SCAR/IASC IPY OPEN SCIENCE

CONFERENCE, July 9 2008, St. Petersburg Russia

- ⑭ 吉竹晋平, 内田雅己, 小泉博, 神田啓史, 中坪孝之, 高緯度北極ニーオルスンの一次遷移初期における土壌クラストの光合成特性, 第 31 回極域生物シンポジウム, 2008 年 12 月 4 日, 国立極地研究所
- ⑮ 内田雅己, 菅尚子, 吉竹晋平, 中坪孝之, 神田啓史, Winter CO<sub>2</sub> emission from Oi layer on a High Arctic deglaciated terrain 地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007 年 5 月 21 日, 千葉県幕張メッセ
- ⑯ 吉竹晋平, 内田雅己, 中坪孝之, 神田啓史, 荒原生態系における土壌微生物に対する制限要因: 高緯度北極氷河後退域における炭素・窒素制限, 地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007 年 5 月 21 日, 千葉県幕張メッセ
- ⑰ 神田啓史, 内田雅己, 村岡裕由, 吉竹晋平, 野田響, 内田昌男, 大塚俊之, 中坪孝之, プロジェクト計画紹介: 温暖化に対する高緯度北極ツンドラ生態系の応答, 地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007 年 5 月 21 日, 千葉県幕張メッセ
- ⑱ 内田雅己, 伊村智, 工藤栄, 神田啓史, Studies on nutrient dynamics and cycling in the Antarctic terrestrial ecosystems 南極研究観測シンポジウム, 2007 年 6 月 15 日, 国立極地研究所
- ⑲ 内田雅己, 内田昌男, 中坪孝之, 神田啓史, 高緯度北極ニーオルスンの海底堆積物層におけるCO<sub>2</sub>放出と微生物の分解特性, 第 30 回極域生物シンポジウム, 2007 年 11 月 15 日, 国立極地研究所

[その他]

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

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

##### (2) 研究分担者

内田 昌男 (UCHIDA MASAO)  
独立行政法人国立環境研究所・化学環境研究領域・主任研究員  
研究者番号: 50344289