

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04321

研究課題名(和文)南極陸上植生コアに刻まれた人新世における地球環境変動の解析

研究課題名(英文)Environmental change during Anthropocene - from the analysis of vegetation core in the Antarctica

研究代表者

伊村 智 (Imura, Satoshi)

国立極地研究所・研究教育系・教授

研究者番号：90221788

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：南極地域に生育するコケ植物植生コアの解析によって、人新世における人間活動が地球環境に及ぼしてきた影響を知る事を目的として研究を進めた。ところが、本研究課題がスタートした2019年度末に拡大したコロナ禍の影響をまともに受けることとなり、研究計画の主要部分である豪州の研究協力者との共同研究による色素分析、および英国の研究協力者に依頼しての年代測定を実施することができなかった。このため、コアの時間軸解析を断念し、南極昭和基地および周辺地域から採取された土壤中の水銀含有量の分析に方針を転換して南極における重金属汚染のバックグラウンド値、および昭和基地活動などが与える影響の面的な評価に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

いわゆる「人新世」において、人間活動が地球環境に及ぼしてきた影響を知ることは、過去の歴史の理解に留まらず、将来の環境変動予測のために極めて重要である。南極地域に生育するコケ植物からなる植生コア中の重金属を分析することにより、南極外からの環境汚染の影響と共に、昭和基地などの南極観測活動が現地環境に及ぼす影響も検出できる。これによって、地球温暖化の進行やオゾンホールの発達、工業化による環境汚染の進展などを包含する「人新世」の約350年スケールの時間軸の中で、人間活動が地球環境に及ぼしてきた影響および将来の環境変動予測のための極めて重要な情報を提供する。

研究成果の概要(英文)：The project had launched in 2019, to clarify the effect of human activity on global environment during the Anthropocene, by analyzing the moss-based vegetation core in Antarctica. But from 2020, almost all the research activities not only in Japan but also in the world was blocked under the spread of COVID-19. Our two main units of the project, UV protecting pigment analysis and dating of vegetation core were not able to carry out. So, we gave up the chronological core analysis and focused on soil/vegetation surface analysis of mercury contents in and around the Syowa station, to detect the background level of heavy metal contamination and clarify the recent human activity in Antarctica.

研究分野：生態学

キーワード：人新世 地球環境 環境モニタリング コケ植物 植生コア 重金属

## 1. 研究開始当初の背景

2000年、ドイツの大気化学者 Crutzen 博士らは、全球的な生態系や気候への人類の影響が拡大しているとの危機感から、「人新世 Anthropocene」という新しい年代を提唱した。「人新世」の定義やその意義については議論のあるところであるが、本研究では主に人間社会の工業化の進展、地球温暖化の進行、オゾンホールが発達などのイベントを包含する、産業革命が始まった17世紀後半からの約350年を想定する。この「人新世」において人間活動が地球環境に及ぼしてきた影響を知ることは、過去の歴史の理解に留まらず、将来の環境変動予測のために極めて重要な研究課題である。

そこで今、人間活動の直接的な影響を受けにくく、かつ地球規模の環境情報を集積するという理想的なモニタリングサイトとして、南極が注目されている。南極大陸は、主に北半球にある人間活動地域から地理的に孤立し、ノイズとなり得る直接的な影響をほとんど受けていないが、全球的な大気循環によって混合された大気が最終的に収束する場となっているためである。我が国も大きな貢献を果たしている南極氷床コアの研究からは、過去数十万年スケールの地球環境変動の歴史が、高精度、高分解能で明らかになってきた。しかし、人間活動が地球環境に与えてきたこの数百年間の影響を読み取るためには、南極氷床の時間スケールは長すぎ、時間分解能が不足する。南極という理想的な環境において人間活動の影響を評価するためには、氷床に代わる新たな試料を探すことが求められる。本研究では、このような学術的要請を満たす分析対象として、南極昭和基地周辺の露岩域に成立した陸上植生の柱状試料(コア)を提案する。

昭和基地の位置する東南極地域は観測基地も少なく、また攪乱要因となる動物の活動もほとんど無いため、南極の中でも最適なモニタリングサイトといえる。この地域では、厳しい気候条件によりコケなどの植物の年間成長量は1mm以下と小さいことに加え、低温のため下部の植物体の分解が非常に遅いため腐植が長期にわたって蓄積し、やがて永久凍土となって固定されてゆく。このため数10cmの厚さの植生の中に、十分に長い時間スケールを持った情報が蓄積されている。比較的温暖な南極半島地域での先行研究では、深さ30cmのコケ植生コアで約300年から500年前まで遡れることが明らかになっており、本研究で想定する「人新世」の約350年を対象とした堆積物として、最適な条件を備えている。

本研究は、「人新世」における人間活動が、地球環境にどこまでの影響を及ぼしてきたのかという問いに、東南極という理想的なモニタリングサイトからの陸上植生コアの解析によって答えようとするものである。

## 2. 研究の目的

本研究では、南極の陸上植生コアに精密な年代測定により時間軸を設定したうえで、人間活動により大気中に放出された各種汚染物質に起因すると考えられる、コケを取り巻く微気象の指標としての生物種構成と群落構造、紫外線照射量の指標としての植物の紫外線吸収色素量、人為的汚染の指標としての水銀等の重金属蓄積量などを分析する。これにより、地球温暖化の進行やオゾンホールが発達、工業化による環境汚染の進展などを包含する「人新世」の約350年スケールの時間軸の中で、人間活動が地球環境に及ぼしてきた影響を評価することを目的とする。

約350年にわたる「人新世」のなかで、産業革命の進展とともに地球環境にもたらされた主要な変動要因としては、化石燃料の使用による温室効果ガスの蓄積と温暖化の進行、フロンガスの放出によるオゾンホールが発達、さらに工業化の進展による大気中への重金属の放出などがあげられる(図1)。本研究では南極の陸上植生コアに、1)年代測定による時間軸を設定したうえで、2)温暖化の進行等の環境変動の指標としての生物種構成と群落構造の変化、3)オゾンホール発達の指標としての植物が蓄積する紫外線吸収色素量の変化、4)重金属放出の指標としての水銀等の蓄積量の変化を解析する。

東南極に位置する昭和基地周辺の日本南極観測隊の活動地域において、安定した立地に発達しているコケ群落を複数選定し、表面から可能な限り深くまでの植物体、その下の腐植および永久凍土からなる植生コアを採取する。平成31年春に帰国する第60次日本南極観測隊夏隊に植生コアの採取を依頼し、昭和基地周辺の複数の露岩域から10本のコアを得た。

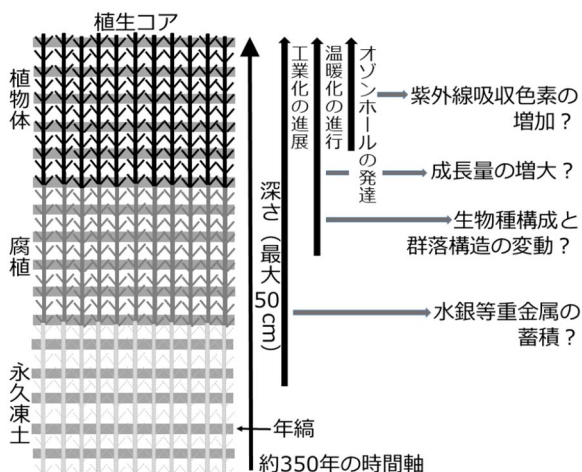


図1. コケ植生コアの構造と、そこから読み取る諸情報

### 3. 研究の方法

#### 0) 実験計画と統計解析 (担当: 金藤)

本研究に使用する植生コアは、南極観測事業によって南極域から取得される極めて貴重なものである。このため統計学を専門とする研究分担者(金藤)を迎え、サンプリングや分析に先だって統計学的な実験計画法の導入を図ることで、最少量のサンプルからの効率よいデータの取得を実現した。また得られたデータの解析においても、統計学的なデータ解析により、より深く精密な解析を実施した。

#### 1) 年代測定 (担当: 伊村・永淵)

植生の主体であるコケの成長期間は夏期の1~2ヶ月に限られるため、植生断面には断続的な成長を反映した明瞭な年縞が記録されていることが知られている。一定深度間隔でコアからのサブサンプリングを行い、 $^{210}\text{Pb}$  堆積年代測定法および炭素 14 を用いた年代測定を実施することで、年縞解析とあわせてより正確な年代を決定する計画であったが、COVID-19 の影響で実施できなかった。

#### 2) 生物種構成と群落構造の解析 (担当: 伊村・辻本)

生物種構成と群落構造は、様々な環境の影響を受けていち早く変動することが知られている。昭和基地周辺の陸上環境に知られている7種類ほどのコケでは、水分や栄養塩の要求性による明瞭な生育環境選択性が明らかであるため、コアを構成するコケの種構成と群落構造を光学顕微鏡によって深さ毎に分析することで、コケ植生を取り巻く微気象の復元に挑んだ(伊村)。

コケ植生中に共棲する微小動物の一部は変性しにくい外殻を持つため、環境指標として有効であることが知られ、多くの研究がある。本研究では、南極陸上植生中に高頻度で見つかるクマムシなどの微小動物を対象とし、それらの脱皮殻に基づく形態分類を行い、種構成の時間変動情報取得に挑んだ(辻本)。

#### 3) 紫外線吸収色素分析 (担当: 伊村・辻本)

コケの光合成は紫外線により阻害効果を受けるが、過剰な紫外線を吸収する褐色の色素を合成し細胞壁に蓄積することにより、阻害を回避することが知られている。植生コア中のコケの植物体に含まれる紫外線吸収色素量を深さ毎に測定し、これを紫外線照射量の変動の指標として解析する計画であったが、COVID-19 の影響で実施できなかった。

#### 4) 水銀等の重金属蓄積量の分析 (担当: 永淵・中澤)

植生コアから深さ毎にサンプルをとり、水銀を中心とした重金属の蓄積量を明らかにすることで、南極への人為的汚染物質輸送の時間変動を解析する計画であったが、COVID-19 の影響で実施できなかった。そこで、現地での攪乱要因である昭和基地や基地周辺の観測活動の影響を評価するために表層土上・コケ植生における水銀蓄積量の分析に挑んだ。

### 4. 研究成果

南極地域に生育するコケ植物植生コアの解析によって、人新世における人間活動が地球環境に及ぼしてきた影響を知る事を目的として研究を進めた。ところが、本研究課題がスタートした2019年度末に拡大したコロナ禍の影響をまともに受けることとなり、研究計画の主要部分である豪州の研究協力者との共同研究による紫外線吸収色素分析、および英国の研究協力者に依頼しての年代測定を実施することができなかった。このため、コアの時間軸解析を断念し、南極昭和基地および周辺地域から採取された土壤中の水銀含有量の分析に方針を転換し、南極における重金属汚染のバックグラウンド値、および基地活動などが与える影響の面的な評価に取り組んだ。

#### 1) 昭和基地周辺地域における水銀汚染のバックグラウンド解析

昭和基地周辺地域、およびほとんど観測隊が立ち入っていない周辺露岩地域に於いて、植生表面のサンプルを収集し、水銀含有量を測定した。その結果、基地活動の影響がないと考えられる露岩地域に於いても、国内に匹敵するような相当量の水銀蓄積が観測された。

この結果は、南極大陸という他から地理的に隔離された地に於いても、地球規模の大気循環によって人間活動によって放出された水銀が輸送され、散布・蓄積されていることを示している。南極は既にクリーンな地では無く、相当規模の人為攪乱を受けているという事実を前提に今後の重金属汚染分析を進める必要があることが明らかとなった。

この結果はかなりのインパクトを持つため、サンプリング地点を増やしより確実な結果を得た後に論文執筆を行う予定である。

#### 2) 昭和基地および野外観測拠点における人間活動が周辺地域に与える重金属汚染の実態把握

昭和基地の位置する東オングル島内、および夏期を中心に頻繁に観測グループが訪問する野外観測地点であるラングホブデの雪鳥沢生物観測小屋、スカルプスネスのきざはし浜生物観測小屋の周辺に格子状のサンプリングポイントを設定し、人間活動による重金属汚染の面的把握に取り組んだ。

昭和基地の位置する東オングル島内の土壌水銀蓄積量は、基地建物周辺で高く、 $5.0 \text{ ug/kg}$  に達する地点が散見された(図2(a))。それらは主に基地建物の南東方向に分布しており、北東からの卓越風による基地からの汚染物質飛散を反映していると考えられる。また島の東端、基地建物から遙かに離れた場所にも高濃度の蓄積が認められたが、ここは観測船「しらせ」の接岸点に近いことが指摘できる。「しらせ」のエンジンからの排煙、船上での可燃物焼却による排煙、もしくは氷上輸送時の雪上車の排気由来する汚染が予想される。この「しらせ」接岸点は毎年ほ

とんど変わらないため、長期間にわたる蓄積が影響していることも考えられる。

野外観測拠点のデータとしては、ラングホブデの雪鳥沢生物観測小屋周辺での結果を示す(図2(b))。ここでも、当初の想定以上に大きな蓄積量が小屋近くで検出された。この小屋では、発電機からの排煙、小屋の灯油ファンヒーターからの排煙、夏期にはヘリコプター、冬期には雪上車からの排気が汚染源として想定される。汚染範囲は狭く、建物周辺に限定されていた。この小屋は建設から40年近くが経過しており、長期にわたって使われてきた歴史がある。南極特別保護地域(ASP A)の入口に位置するため、使用に於いては環境保全に関わる注意喚起が徹底しているが、この結果をもってより厳密な管理計画を考える必要がある

以上の結果は断片的なものに過ぎないが、少なくとも南極昭和基地周辺地域に於いては一定以上の人為汚染の影響が蓄積されていることが分かった。人の立ち入りの無い地域からも検出されているため、グローバルな拡散が南極に及んでいることは確実である。一方で、基地を中心とした人間活動の影響も顕著であると言える。

### 3) 外国基地との比較

昭和基地との比較のため、オーストラリアの観測基地周辺における汚染状況の解析を計画した。2022年に先方の研究協力者から基地周辺からの土壌サンプルを輸入し、分析を待っている状況である。

以上三項目の面的な解析を進め、その結果を取りまとめることで、南極地域における重金属汚染の実態把握に関わる論文を執筆する予定である。本研究課題における最重要ポイントである時間軸の導入は期間中に叶わなかったが、サンプルの蓄積、解析の準備は十分に進めることができた。今後は新たな資金の獲得を目指し、時間軸解析を進めてゆきたい。

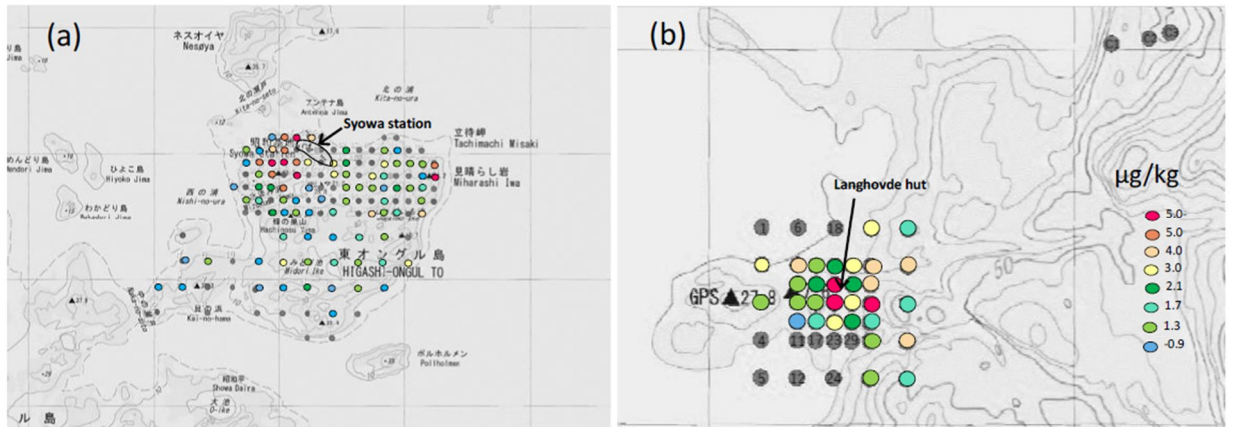


図2. 昭和基地周辺(a)およびラングホブデ雪鳥沢生物観測小屋(b)における土壌水銀蓄積状況

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Nakazawa, K., Nagafuchi, O., Tsujimoto, M., Kanefuji, K., and Imura, S.
2. 発表標題 Mercury concentration in soil observed around Syowa station, Antarctica.
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中澤 暦 (Nakazawa Koyomi) (10626576)	富山県立大学・工学部・講師  (23201)	
研究分担者	永淵 修 (Nagafuchi Osamu) (30383483)	福岡工業大学・付置研究所・研究員  (37112)	
研究分担者	金藤 浩司 (Kanefuji Koji) (40233902)	統計数理研究所・データ科学研究系・教授  (62603)	
研究分担者	辻本 恵 (Tsujimoto Megumu) (90634650)	慶應義塾大学・環境情報学部(藤沢)・講師  (32612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------