

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23247012

研究課題名(和文) 極限環境下の生物多様性 - モデルサイトとしての南極湖沼

研究課題名(英文) Biodiversity under the extreme environment - Antarctic lakes as a model site

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) 40,600,000円

研究成果の概要(和文)：南極湖底のコケ坊主については、原核・真核生物を網羅するメタゲノム解析等により多様性解析がほぼ完了した。微生物の多様性とそれらによる物質循環構造が再構築されたことで、モデル生態系としての意義が確立した。コケ植物、珪藻類、菌類に関しては、南極の広範囲に渡る多様性解析が進み、地域間比較や種間関係に関する研究へと発展した。クマムシについては昭和基地周辺の多様性の概要が明らかになったほか、飼育系を確立し繁殖生態に関する研究が進んだ。南極における外来種問題では、外来種子植物の起源が判明すると共に、生物多様性を脅かす重要なファクターとしての危険性評価を行うことが出来た。

研究成果の概要(英文)：Metagenome analysis on prokaryotes and eukaryotes was almost completed on moss pillars in Antarctic lakes. By understandings the biodiversity mainly on microbes, and reconstruction of material cycle by them, the meaning of moss pillars as a type-ecosystem for further studies was thought to be established. On mosses, diatoms and fungi, the diversity in wide area of Antarctica was clarified, and the studies on comparative analysis between the area and inter-specific relations were carried out. Especially on tardigrades, the diversity in Syowa Station area were completed and the researches on reproductive ecology by using culture system has developed and their characteristic features were clarified. On alien species, the origin of human-induced seed plant found in Langhovde area was clarified and risk on Antarctic biodiversity was estimated.

研究分野：植物生態学

キーワード：環境変動 極限環境 生態学 生物多様性 分類学

## 1. 研究開始当初の背景

南極陸上生態系における、人為起源の環境攪乱の影響に関する研究は未だ少ない。南極研究科学委員会(SCAR)のもとでは、生命科学グループの中核プロジェクトとして、「南極における進化と生物多様性研究計画(EBA)」が展開されていた。このプロジェクトの中心課題は、変動環境下における南極域の生物多様性の現状を早急に明らかにすることである。さらに、国際極年(IPY)での国際プロジェクトであった「南極における外来種の侵入に関する研究計画(Aliens in Antarctica Project)」においては、研究観測や観光活動に伴う外来種の持ち込みの危険性が訴えられ、その後も調査研究が進められている。南極観測に参加している各国には、これらの研究への参加とデータの提供が求められており、我が国も大きな責任を担っている。折しも当時、名古屋ではCOP10が開催されていた。全地球的な生物多様性の重要性が認知されつつある今、南極からの発信が持つ意味は大きい。

今回の申請課題は、これまで実施してきた南極湖沼研究を基礎として、各種生物群について分子系統学的手法の導入による再検討を進め、さらにこれまでにほとんど情報のない微小動物・菌類等を対象とすることにより、南極湖沼生態系の主要生物群についての生物多様性の全体像を把握することを目的として立案したものである。さらに、南極地域でも今後予想される地球規模の環境攪乱の影響を検出するために、南極湖沼における生物多様性データベースを構築・公開し、監視体制を整えることを目指す。

## 2. 研究の目的

本申請課題では、南極大陸沿岸露岩域に点在する湖沼を、環境攪乱による影響を評価するモデル生態系として設定し、その生物多様性の全体像の解明と変動監視体制の確立を目的とする。研究期間中に、以下の項目を明らかにする。

(1) 南極湖沼生態系の主要構成生物相に関する分子系統学的再検討：コケ植物や藻類等、これまでに主に形態学的に種多様性が認識されてきたグループについて、最新の分子系統学的手法を導入し、多様性の再検討を実施する。

(2) 微小動物群、菌類の多様性解明：これまでほとんど研究されてこなかったワムシ、クマムシ等の微小動物、および菌類を対象として、分類学的研究を進める。国内の研究グループに加え、これまでに構築してきた海外研究者とのネットワークを利用して、詳細な生物多様性の理解を目指す。これによって、主要構成種のすべてについて多様性情報をまとめ上げることが出来る。

(3) 外来種の侵入監視：国際的なAliens計画によって、南極地域への外来種持ち込みの研究が進められているが、湖沼域は対象とされてこなかった。しかし、環境条件の穏和な湖沼中は外来種にとっての格好の定着場所でもあり、集中的に監視を行う必要がある。

(4) 集水域としての氷床環境探索：南極大陸氷床は、夏期に露岩域の湖沼に水を供給する集水域である。氷床上、および氷床下に存在が予想されているバクテリア群集を調査し、これまで全く未知であった氷床域の生物相を明らかにする。

## 3. 研究の方法

研究分担者それぞれの専門分野を生かし、南極湖沼の生物多様性の現状を4年計画で解明する。得られた結果を基に、将来の変動に対する監視体制を整備する。生物多様性の解明には、基本的にDNAの遺伝子配列を用いた分子系統学的手法を用いるが、綿密な外部形態の検討による形態分類の手法も重視する。

サンプリングおよび現場実験は、基本的に日本南極地域観測隊に依頼して実施するため、その実施は現場の気象条件などに左右される。常に作業代替案、代替サンプル(これまでの

観測隊による試料のストック)を用意し、遅滞なく研究が進行するよう努める。

これまで解析が遅れている微小動物、菌類を中心に、生物多様性の解明に向けた研究体制を立ち上げる。比較的研究の進んでいる藻類、コケ植物、地衣類、バクテリア等については、生物相の全容解明を目指す。特にコケ植物については、分子情報からの全種の分類学的位置の再検討を実施する。

対象生物群それぞれについて、コケ植物、地衣類(伊村)、藻類・藍藻(大谷、福井)、バクテリア(伴、福井、長沼、黒沢)、微小動物(鈴木、鹿兒島)、菌類(星野、東條)と役割分担を行い、生物多様性の解明に向けた解析を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) 南極湖沼生態系の主要構成生物相に関する分子系統学的再検討

湖底のコケ坊主については、脂肪酸解析による多様性の概要解明に続き、原核・真核生物を網羅するメタゲノム解析がほぼ完了した。空間構造的な分析と多様性と代謝に関わる遺伝子の解析から、酸化還元電位の勾配に対応した生物多様性と物質循環構造が再構築されたのは大きな成果であり、モデル生態系としての提案に向けた体制が整いつつある。また微生物種間の遺伝子水辺伝播が広く頻繁に起こっていることが明らかとなり、新たな視点での研究展開が期待される状況となっている。コケ植物については、湖沼底に生育する種類を中心とした分子系統研究が進み、南米に由来する *Leptobryum* 属の種であることが判明すると共に、興味深い伝搬経路が明らかになった。珪藻類に関しては国際共同研究が進み、広範囲の多様性解析結果をまとめることができた。

##### (2) 微小動物群、菌類の多様性解明

微小動物相については、特にクマムシについて昭和基地周辺の多様性の概要が明らかにな

ったほか、飼育系を確立しての繁殖生態に関するデータについても研究が進んだ。菌類については、地上のおよび湖底の蘚類と共存する菌類種の検討が進められ、極限関係における種間関係が明らかとなった。

##### (3) 外来種の侵入監視

南極における外来種問題では、外来種子植物の起源が判明すると共に、生物多様性を脅かす重要なファクターとしての危険性評価を行うことが出来た。

##### (4) 集水域としての氷床環境探索

氷河表面にコケ植物の無性芽を中心とする植物集塊が発見され、その種の分子系統学的解析が行われた。これは世界初の発見であり、氷床環境での生物のあり方に新たな視点を与えるものである。

また、湖底堆積物を用いた古環境変遷解析では、各生物の南極への侵入時期の特定、侵入イベントの推定、新入起源地の特定について、生物、地学、大気などの幅広い分野からの検討によりその状況が明らかになった。データベースについては、既存の多様性データベースを拡張する形で整備を進め、一部データの公開を開始している。

#### 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23件)

- ① Muangchinda, C., Chavanich, S., Viyakarn, V., Watanabe, K. Imura, S., Vangnai, A.S. & Pinyakong, O. 2015. Abundance and diversity of functional genes involved in the degradation of aromatic hydrocarbons in Antarctic soils and sediments around Syowa Station. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 4725-4735. 査読有り  
DOI 10.1007/s11356-014-3721-y
- ② Tsuji M, Yokota Y, Kudoh S, & Hoshino T. 2015. Comparative analysis of milk fat decomposition activity by *Mrakia* spp. Isolated from Skarvsnes ice-free area, East Antarctica. *Cryobiology* accepted. 査

読有り

- ③ Tsuji M, Kudoh S, & Hoshino T 2015. Draft genome sequence of cryophilic basidiomycetous yeast *Mrakia blollopis* SK-4 isolated from an algal mat of Naga-ike lake in Skarvsnes ice-free area, East Antarctica. *Genome Announcements* 3: e014554-14. 査読有り
- ④ Takano, Y. Kojima, H. Takeda, E. Yokoyama, Y. & Fukui, M. 2015. Biogeochemistry and limnology in Antarctic subglacial weathering: molecular evidence of the linkage between subglacial silica input and primary producers in a perennially ice-covered lake. *Progress in Earth and Planetary Science* (Accepted) 査読有り  
DOI: 10.1186/s40645-015-0036-7.
- ⑤ Tsujimoto, M., Suzuki, A. & Imura, S. 2015. Life history of the Antarctic tardigrade, *Acutuncus antarcticus*, under a constant laboratory environment. *Polar Biology* (Accepted) . 査読有り オンライン出版済み  
DOI 10.1007/s00300-015-1718-8
- ⑥ Huiskes, A.H.L., Gremmen, N.J.M., Bergstrom, D.M., Frenot, Y., Hughes, K.A., Imura, S., Kiefer, K., Lebouvier, M., Lee, J.E., Tsujimoto, M., Ware, C., Van de Vijver, B. & Chown, S.L. 2014. Aliens in Antarctica: assessing transfer of plant propagules by human visitors to reduce invasion risk. *Biological Conservation*. 171: 278-284. 査読有り  
DOI:10.1016/j.biocon.2014.01.038
- ⑦ Matsumoto, G. I., Honda, E., Seto, K., Tani, Y., Watanabe, T., Ohtani, S., Kashima, K., Nakamura, T. & Imura, S. 2014. Holocene paleolimnological changes of Lake Oyako-ike in the Soya Kaigan of East Antarctica. *Inland Waters* 4: 105-112. 査読有り  
DOI: 10.5268/IW-4.2.679
- ⑧ Tavernier, I., Verleyen, E., Hodgson, D.A., Heirman, K., Roberts, S.J., Imura, S., Kudoh, S., Sabbe, K., Batist, M.D. & Vyverman, W. 2014. Absence of a Medieval Climate Anomaly, Little Ice Age and twentieth century warming in Skarvsnes, Lützow Holm Bay, East Antarctica. *Antarctic Science* 26(5): 585-598. 査読有り
- DOI:10.1017/S0954102014000029
- ⑨ Tsujimoto, M. McInnes, S.J., Convey, P. & Imura, S. 2014. Preliminary description of tardigrade species diversity and distribution pattern around coastal Syowa Station and inland Sør Rondane Mountains, Dronning Maud Land, East Antarctica. *Polar Biology* 37: 1361-1367. 査読有り  
DOI 10.1007/s00300-014-1516-8
- ⑩ Uetake, J., Tanaka, S., Hara, K., Tanabe, Y., Samyn, D., Motoyama, H., Imura, S. & Kohshima, S. 2014. Novel biogenic aggregation of moss gemmae on a disappearing African glacier. *PLoS One*.9(11):e112510. 査読有り  
DOI: 10.1371/journal.pone.0112510.
- ⑪ Jadoon, W.A., Nakai, R. & Naganuma, T. 2013. Biogeographical note on Antarctic microflorae: endemism and cosmopolitanism. *Geoscience Frontiers* 4: 633-646. 査読有り  
DOI:10.1016/j.gsf.2012.11.002
- ⑫ Kagoshima, H., Imura, S. & Suzuki, A.C. 2013. Molecular and morphological analysis of an Antarctic tardigrade, *Acutuncus antarcticus*. *Journal of Limnology*. 72(s1):15-23. 査読有り
- ⑬ Kato, K., Arikawa, T., Imura, S. & Kanda, H. 2013. Molecular identification and phylogeny of an aquatic moss species in Antarctic lakes. *Polar Biology*. 36:1557-1568. 査読有り  
DOI 10.1007/s00300-013-1373-x
- ⑭ 辻本恵・伊村智. 2013. オーストラリア南極局における外来種持ち込み防止対策. 南極資料. 57: 137-150. 査読有り
- ⑮ Chown, S.L., Huiskes, A.H.L., Gremmen, N.J.M., Lee, J.E., Terauds, A., Crosbie, K., Frenot, Y., Hughes, K.A., Imura, S., Kiefer, K., Lebouvier, M., Raymond, B., Tsujimoto, M., Ware, C., van de Vijver, B., & Bergstrom, D.M. 2012. Continent-wide risk assessment for the establishment of non-indigenous species in Antarctica. *PNAS* 109: 4938-4943. 査読有り  
DOI:10.1073/pnas.1119787109.
- ⑯ Kagoshima, H., Kito, K., Aizu, T., Shin-i T., Kanda, H., Kobayashi, S., Toyoda, A., Fujiyama, A., Kohara, Y.,

- Convey, P., & Niki, H., 2012, Multi-decadal survival of an Antarctic nematode, *Plectus murrayi*, in a -20°C stored moss sample, *Cryo Letters*: 33(4):280-288. 査読有り
- ⑰ Nakai, R., Abe, T., Baba, T., Imura, S., Kagoshima, H., Kanda, H., Kanekiyo, A., Kohara, Y., Koi, A., Nakamura, K., Narita, T., Niki, H., Yanagihara, K. & Naganuma, T. 2012. Microflorae of aquatic moss pillars in a freshwater lake, East Antarctica, based on fatty acid and 16S rRNA gene analyses. *Polar Biology* 35: 425-433. 査読有り  
DOI: 10.1007/s00300-011-1090-2
- ⑱ Nakai, R., Abe, T., Baba, T., Imura, S., Kagoshima, H., Kanda, H., Kohara, Y., Koi, A., Niki, H., Yanagihara, K. & Naganuma, T. 2012. Eukaryotic phylogenies in aquatic moss pillars inhabiting a freshwater lake in East Antarctica, based on 18S rRNA gene analysis. *Polar Biology* 35: 1495-1504. 査読有り  
DOI: 10.1007/s00300-012-1188-1.
- ⑲ Nakai, R., Abe, T., Baba, T., Imura, S., Kagoshima, H., Kanda, H., Kohara, Y., Koi, A., Niki, H., Yanagihara, K. & Naganuma, T. 2012. Diversity of RuBisCO gene responsible for CO<sub>2</sub> fixation in an Antarctic moss pillar. *Polar Biology* 35: 1641-1650. 査読有り  
DOI 10.1007/s00300-012-1204-5
- ⑳ Tojo M & Newsham KK. 2012. Snow mould in polar environments. *Fungal Ecology* 5: 395 -402. 査読有り
- ㉑ Tojo M, Van West P, Hoshino T, Kida K, Fujii H, Hakoda H, Kawaguchi Y, Mühlhauser HA, Van den Berg AH, Küpper FC, Herrero ML, Klemsdal SS, Tronsmo AM, & Kanda H. 2012. *Pythium polare*, a new heterothallic Oomycete causing brown discoloration of *Sanionia uncinata* in the Arctic and Antarctic. *Fungal Biology* 116: 756-768. 査読有り
- ㉒ Tsujimoto, M. & Imura, S. 2012. Does a new transportation system increase the risk of importing non-native species to Antarctica? *Antarctic Science* 24: 441-449. 査読有り  
DOI:10.1017/S0954102012000272.
- ㉓ Verleyen, E., Hodgson, D.A., Gibson, J., Imura, S., Kaup, E., Kudoh, S., de Wever, A., Hoshino, T., McMinn, A., Obbels, D., Roberts, D., Roberts, S., Sabbe, K., Souffreau, C., Tavernier, I., van Nieuwenhuyze, W., van Ranst, E., Vindevogel, N. & Vyverman, W. 2012. Chemical limnology in coastal East Antarctic lakes: monitoring future climate change in centres of endemism and biodiversity. *Antarctic Science*. 24(1): 23-33. 査読有り  
DOI:10.1017/S0954102011000642.
- [学会発表] (計 15 件)
- ① Kurosawa N, Kubo S, Chaya A, Kawamata A, Kosugi M, Imura S. Community structures of prokaryotes and protistan microplankton in the Antarctic saline lake Nurume-Ike revealed by SSU ribosomal RNA gene clone analysis. 2015 Aquatic Sciences Meeting. Feb. 2015 Granada (SPAIN)
- ② Kurosawa N, Chaya A, Kawamata A, Imura S. Bacterial Diversity in Saline and Freshwater Lakes in Antarctica. (Invited Plenary Lecture). 7th International Seminar of Indonesian Society for Microbiology (ISISM2014). Oct. 2014, Padang (INDONESIA).
- ③ Tojo M, Phytopathogenic fungi in polar regions and their relationship with climate change. 3rd Korea-Japan Joint Symposium & The 2014 KSPP Fall Meeting on Plant Pathology. 2014 年 10 月 23 日, Busan (KOREA, Invited)
- ④ 伊村智. 極寒にして極乾の南極沙漠. 日本沙漠学会第 24 回学術大会. 公開シンポジウム「地球は沙漠とオアシスの星！」2013 年 5 月 25 日. 広島大学生物生産学部. 招待講演.
- ⑤ Kato, K., Imura, S. and Kanda, H. Molecular phylogeny of the moss genus *Bryum* Hedw. in Antarctica. XIth SCAR Biology Symposium. 15-19 July. 2013. Barcelona (SPAIN).
- ⑥ 辻本恵・伊村智 南極に見つかった外来イネ科植物はどこからやってきたか. 第 59 回日本生態学会 2012 年 3 月 21 日 龍谷大学
- ⑦ 馬場知哉・阿部貴志・豊田敦・藤山秋佐夫・伊村智・神田啓史・本山秀明・仁木宏典. 南極細菌のゲノムレベルでの環境適応. 第 3 回極域科学シンポジウム. 2012 年 11 月. 東京都立川市.

- ⑧ 中井亮佑・阿部貴志・馬場知哉・伊村智・鹿兒島浩・神田啓史・小原雄治・仁木宏典・柳原克彦・長沼毅. 南極コケ坊主生態系における窒素固定菌と脱窒菌の多様性. 第3回極域科学シンポジウム. 2012年11月. 東京都立川市.
- ⑨ 柏原克彦・伊村智・小林悟志・長沼毅. 南極の地衣類に共生する細菌群の分子系統解析. 第3回極域科学シンポジウム. 2012年11月. 東京都立川市.
- ⑩ 加藤健吾・伊村智. 汎世界種ナシゴケ (ヌマチゴケ科・蘚類) を対象とした分子系統地理学的研究. 第3回極域科学シンポジウム. 2012年11月. 東京都立川市.
- ⑪ 鈴木忠・鹿兒島浩・伊村智. 昭和基地周辺の南極クマムシ *Acutuncus antarcticus* について. 第3回極域科学シンポジウム. 2012年11月. 東京都立川市.
- ⑫ 辻本恵・伊村智. Tardigrades in the lakes in Skarvsnes, Dronning Maud Land, Antarctica. 第3回極域科学シンポジウム. 2012年11月. 東京都立川市.
- ⑬ 伊村智. 氷床を巡る生物探査と地球規模気候変動. 日本気象学会 2011年度春季大会シンポジウム「変動する地球気候の鍵—南極・北極—」基調講演. 2011年5月20日. 東京.
- ⑭ Kagoshima, H. and Kohara, Y. Functional genomics of two Antarctic nematodes, *Panagrolaimus davidi* and *Plectus murrayi*. 18th International C. elegans Meeting. 2011 June 22-26. University of California, Los Angeles (USA)
- ⑮ 大谷修司. 昭和基地周辺の土壌より分離された緑藻 *Macrochloris multinucleata* の分類学的研究. The Second Symposium on Polar Science. 2011年11月18日 国立極地研究所, 立川.

[図書] (計 2件)

- ① 中井亮佑・長沼毅. 「微生物の生態学」第6章 辺境の微生物. 共立出版. 85-97. 2011年
- ② 長沼毅. 生命とは何だろう? 集英社インターナショナル. 168pp. 2013

[その他]

ホームページ等

Database of Polar Biodiversity

<http://polaris.nipr.ac.jp/~antmoss/datab ase.html>

## 6. 研究組織

### (1)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

### (2)研究分担者

大谷 修司 (OHTANI, Shuji)  
島根大学 教育学部・教授  
研究者番号: 50185295

鹿兒島 浩 (KAGOSHIMA, Hiroshi)  
大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 新領域融合研究センター・融合プロジェクト特任研究員  
研究者番号: 00550063

黒沢 則夫 (KUROSAWA, Norio)  
創価大学 工学部・教授  
研究者番号: 30234602

鈴木 忠 (SUZUKI, Tadashi)  
慶應義塾大学 医学部・准教授  
研究者番号: 90216359

東條 元昭 (TOJYO, Motoaki)  
大阪府立大学 生命環境科学研究科・准教授  
研究者番号: 90254440

伴 修平 (BAN Shuhei)  
滋賀県立大学 環境科学部・教授  
研究者番号: 50238234

福井 学 (FUKUI, Manabu)  
北海道大学 低温科学研究所・教授  
研究者番号: 60305414

星野 保 (HOSHINO, Tamotsu)  
産業技術総合研究所. バイオマスファイナリー研究センター、研究チーム長  
研究者番号: 60357944

### (3)連携研究者

長沼 毅 (NAGANUMA, Takeshi)  
広島大学 生物圏科学研究科・准教授  
研究者番号: 70263738

井上 源喜 (INOUE, Genki)  
大妻女子大学 社会情報学部・教授  
研究者番号: 80245357