

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：15201

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20729

研究課題名（和文）フィンランドに分布する厚層年縞堆積物を用いた人新世高精度環境情報の抽出

研究課題名（英文）The application of thick annually lake deposits in Finland as Anthropocene high-resolution environmental archives

研究代表者

鹿島 薫（KASHIMA, KAORU）

島根大学・エスチュアリー研究センター・客員研究員

研究者番号：90192533

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：フィンランドには毎年の季節変動が縞状構造（年縞）として保存されている湖沼が多数分布している。これらの湖では、年縞による堆積物の編年に基づき、詳細な環境変動の復元が可能となる。本研究では以下の湖沼において過去2000年間の洪水履歴・大規模火災の復元を行った。調査湖沼と分析試料数、分析間隔は以下の通りである。両湖沼はいずれもフィンランド中東部に位置している。Lehmilampijarvi 湖：402試料、コア基底はBC37に、Kalio-Kourjarvi 湖：438試料、コア基底はBC3397に、Kortta 湖：146試料、コア基底はAD121に、編年されることが年縞カウントでわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、福井県年縞博物館を通じ、その展示活動および社会教育活動に活用される。これらの活動を通じて、研究者のみならず学生生徒や市民に対して、環境問題への興味を深め、地球環境保全の重要性を訴えることができる。

若手研究者養成への貢献（若手研究者養成への取組、成果）としては、Turku大学博士課程大学院生2名、Sarianna Salminen及び Mira Tammelinnの博士論文最終審査（2022年7月実施）に参加し、彼らの博士論文成果の取りまとめに寄与した。

研究成果の概要（英文）：In Finland, there are plenty freshwater lakes where seasonal lake environmental changes were recorded as annually laminated deposits. We surveys at the following three lakes in the central Finland to reconstruct high resolution environmental histories using annually laminate time setting of the deposits. Our target was about these 2000 years to presume anthropogenic impacts and global climatic impacts during the Roman Warm Period, the Great Migration Period, the Medieval Warm Period, the Little Ice Age and the Global Warming. The survey lakes located in eastern-central part of Finland, were listed as follows; Lake Kalio-Kourjarvi (438samples; about 9 years' interval, until the base of the core, dated BC3397.), Lake Lehmilampijarvi (402 samples; about 4.5 years' interval, until BC37), Lake Korttajarvi (146 samples; about 9 years' interval, until AD121)

研究分野：自然地理学

キーワード：年縞湖沼堆積物 完新世 人新世 珪藻遺骸群集 長期的気候変動復元 破局的気候急変 大規模噴火 地球温暖化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年著しく増加してきた人間活動による地球環境システムの攪乱は、生態系を大きく改変し、人類生存の危機までが述べられるようになった。そこで、新しい地質時代として「人新世」(Anthropocene)が提唱されている。これには、化石燃料の消費による地球規模の温暖化、氷床の崩壊、海水準変動、異常気象、原生林の破壊、1950年代に始まる核実験による放射性物質の放出、マイクロプラスチックなどが含まれる。これらの環境変動が記録されているアーカイブとして、年縞湖沼堆積物が注目されている。年縞とは年々の季節変動の痕跡が不攪乱のまま湖底に堆積保存され、その結果縞状の堆積構造を示すことを指す。

フィンランドには、多数の年縞を伴った湖沼が分布している。これらの年縞の形成過程の解明と、環境変動の復元については、トゥルク大学地質学教室 Timo Saarinen 教授が精力的に研究を進めている。Timo Saarinen 教授は本研究のフィンランド側の代表研究者である。彼らの研究において、フィンランド北部、北極圏内の湖沼において、年縞の縞状構造の層厚が非常に大きい湖沼(Kevo 湖ほか)を発見した。その層厚は年々の変動は大きいものの、年によっては1cmを超える場合もある。そして10年以上にわたって毎年継続的に湖底試料の採取を続け、毎年、縞状堆積物が付加されていく過程を明らかとした。また、さらにこの厚層の年縞が過去5000年以上にわたって、中断されず、湖底に連続して堆積していることを示した。

2. 研究の目的

年縞の形成は、豪雨や融雪期における出水および湖沼における生物生産(主に珪藻類)が寄与している。珪藻類の生産量の変動は、気候と密接に関係していることから、この厚層の年縞堆積物の堆積物薄片試料を過去2000年間分作成し、MICRO-XRF、珪藻・花粉などの生物遺骸、微粒炭、堆積物粒度の顕微鏡レベルでの分析観察により、年縞中保存された過去2000年間のすべての出水イベントと気象イベント、森林火災イベントを判読することが本研究の目的である。

これによって、過去300年間の豪雨回数とその豪雨強度、毎年の降雪量、および夏季における水温および日射量の変動が定量的に復元され、さらに周辺地域における人間活動に伴う自然環境影響を評価することができる。



左写真:フィンランド北端、Kevo 湖における年縞堆積物採取風景 (鹿島撮影)

右写真: Kevo 湖において毎年付加される年縞(各年の調査試料を比較)

本湖では年縞の層厚が1cm以上となることがある(通常は1mm以下が多い)

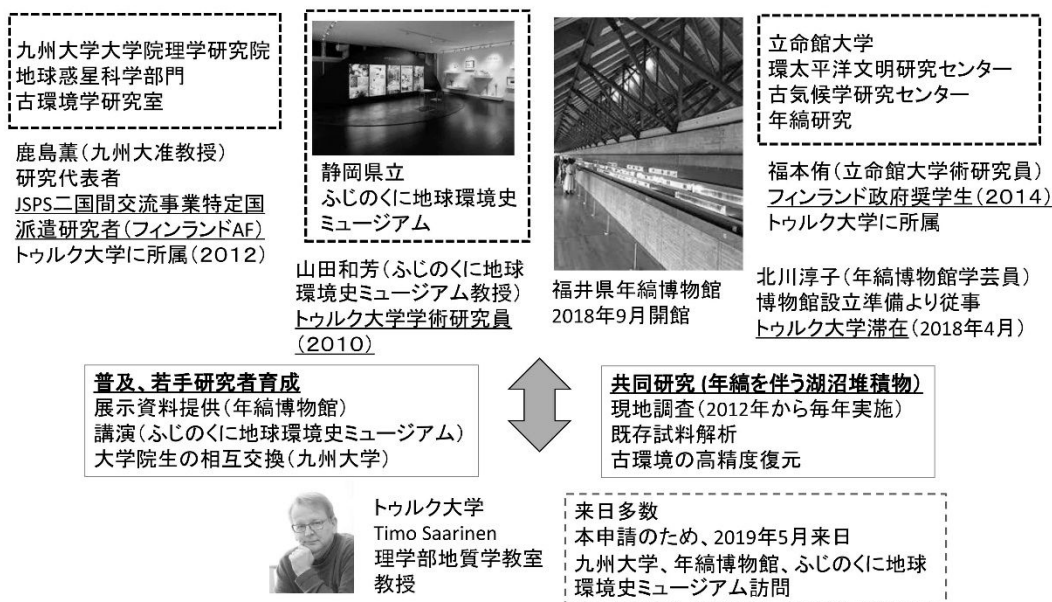
3. 研究の方法と研究体制

「人新世」(Anthropocene) 環境変動アーカイブとしては、年縞のほか、極地および高山における氷床コア、深海底コア試料、鍾乳洞、サンゴ礁堆積物などが提示されている。本研究による年縞の縞状構造の層厚が非常に大きい湖沼の堆積物を扱うことの利点は、年代計測とコア間の相互対比が簡便であること、湖沼が人間活動の場と接しており、古代から多くの遺跡が湖の周辺に分布し、人間活動による環境へのインパクトを計測しやすいこと、湖の堆積物は他の指標に比べて堆積速度が大きく、より精度の高い環境復元が可能であることがあげられる。

本研究によって「人新世」(Anthropocene) 環境変動アーカイブとして復元される環境変動史の精度が飛躍的に向上する。これは全地球規模の地球環境の将来予測にとって、多くの基礎的な情報を提示できることができ、その学術的社会的なインパクトは極めて大きい。

また、日本にも、水月湖に代表されるように多くの年縞を伴う湖が分布している。そして、多くの研究がなされ、2018年9月には、福井県年縞博物館が開館した。それらの研究によって、水月湖など日本の年縞の多くが、春季から夏季にかけての珪藻ブルーミングによって主に形成されていることがわかっている。

年縞形成過程の両国湖沼での比較検討は、年縞を用いた環境変動復元とその結果の考察に必須であると考えられ、「人新世」(Anthropocene) 環境変動アーカイブとしての年縞湖沼堆積物の活用を目的として、日本及びフィンランドの年縞研究者の国際的な研究交流が積極的に進められてきた。その交流の詳細と研究体制は、下図にまとめた。



なお、本研究期間中に研究分担者および研究協力者の所属は、以下のように変動した。

鹿島薫 九州大学 島根大学(エスチュアリー研究センター)
山田和芳 ふじのくに地球環境史ミュージアム 早稲田大学
福本侑 立命館大学 島根大学(エスチュアリー研究センター)

鹿島薫は2022年3月より2023年2月まで、フィンランド・トウルク大学理学部客員研究員として、主にトウルク大学で研究に従事した。福本侑および北川淳子は、短期訪問研究者として、トウルク大学理学部に滞在した。トウルク大学理学部の Timo Saarinen 教授および研究室スタッフ・大学院生は、本研究に積極的に関与した。

さらにトウルク大学理学部の博士課程大学院生の博士号審査に、鹿島薫は参加し、その博士号取得に寄与した。

4. 研究成果

(現地調査)

トウルク大学と共同で、野外による、湖沼堆積物の掘削調査を Kevo 湖ほかの湖沼で実施した。湖堆積物の採取は冬季、氷上で行い、氷に穴をあけて、そこから採取機器を吊下する。ピストンコアサンプリングのほか、トウルク大学の開発した、アイスフィンガーサンプラーを用いる。これらは、年縞を伴った湖沼堆積物を湖底で凍結させ採取する方法である。調査は、湖面が凍結している2022年3月および2023年3月に実施した。

(研究に用いた試料)

採取された試料については、以下のような分析を行った。トゥルク大学では、帯磁率、年縞薄片作成、MICRO-XRF による化学成分分析を行った。島根大学・早稲田大学・福井県年縞博物館においては、微化石分析(花粉・珪藻)、炭粒分析などを実施した。これらの分析には、現地調査によって採取した試料に加えて、トゥルク大学がすでに採取した湖堆積物試料をも用いた。具体的には年縞が明瞭に見られる湖沼(Kortta Jarvi, Lehmilampi Jarvi, Kalio-Kouru Jarvi), 年縞が不明瞭である湖沼(Vesi Jarvi), 海域からコースタティックに離水した湖沼(Pulmanki jarvi), 泥炭(Namma Jarvi), 鉱山跡地ため池(Ori Jarvi), 沿岸汽水湖沼(HAV-KU-2)である。いずれも、年縞の形成に特徴があり、人間活動に伴う環境変化を詳細に記録していることがわかった。

(フィンランドの年縞湖沼 における過去 2000 年間の洪水頻度・気候変動の詳細復元)

研究地域は以下の湖沼であり、過去 2000 年間に研究対象とした。調査湖沼と分析試料数、分析間隔は以下の通りである。両湖沼はいずれもフィンランド中東部に位置している。

Lehmilampijarvi 湖：402 試料、コア基底は BC37 に編年

Kalio-Kourjarvi 湖：438 試料、コア基底は BC3397 に編年

Kortta 湖：146 試料、下限は AD121 に編年

調査湖沼では、各年の年縞の層厚が計測されている。最近 50 年における観測気象結果を対照すると、冬季の気温低下と層厚増加が一致することがわかった。より長期の年縞の層厚変動も当時の気候を強く反映していると考えられている。火山噴火に伴う寒冷年(AD1783 アイスランド Laki 火山噴火ほか)には年縞層厚のピーク傾向が各湖で共通に観察された。一方、湖岸や周辺低地に生息している付着生珪藻や黄金色藻類休眠胞子の産出頻度は年縞層厚と対応して変動している。それらの産出頻度が増加する年は厚層の年縞が形成されている。このことから、融雪時の大規模出水が年縞の層厚増加をもたらしたことが、推定することができた。ここで明らかになった洪水頻度には、局地的気象および地形変動のほか、より広域の気候変動(気温・降水量など)との関連が強いと想定された。そして、北部ヨーロッパでは、年輪年代学などによって大規模噴火に伴う急激な寒冷化が生じたことが分かっている。これらの寒冷年では、厚層年縞が形成され、洪水頻度(主に融雪に伴う)が急増していたことがわかった。

(研究成果の公開)

これらの研究活動に加えて、市民公開のための展示資料作成を目的とした年縞湖沼堆積物試料採取をトゥルク大学で実施した。これらの試料は福井県年縞博物館において、今後の展示資料作成のために活用される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Salminen Sarianna, Tammelin Mira, Jilbert Tom, Fukumoto Yu, Saarni Saija	4. 巻 66
2. 論文標題 Human actions were responsible for both initiation and termination of varve preservation in Lake Vesijärvi, southern Finland	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Paleolimnology	6. 最初と最後の頁 207 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10933-021-00200-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Cho Ara, Kashima Kaoru, Baranes Hannah, Ladlow Caroline, Katsuki Kota, Woodruff Jonathan D.	4. 巻 32
2. 論文標題 Fossil diatom assemblage changes due to paleoenvironment change, tsunami, and typhoon in southern Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12476	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Yang Dong-Yoon, Han Min, Yoon Hyun Ho, Cho Ara, Kim Jin Cheul, Choi Eunseo, Kashima Kaoru	4. 巻 603
2. 論文標題 Early Holocene relative sea-level changes on the central east coast of the Yellow Sea	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	6. 最初と最後の頁 111185 ~ 111185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.palaeo.2022.111185	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Seto Koji, Katsuki Kota, Tsujimoto Akira, Kitagawa Junko, Yamada Kazuyoshi, Suzuki Yoshiaki	4. 巻 68
2. 論文標題 Records of environmental and ecological changes related to excavation in varve sediment from Lake Hiruga in central Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Paleolimnology	6. 最初と最後の頁 329 ~ 343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10933-022-00251-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Masanobu, Wang Fangxian, Irino Tomohisa, Yamada Kazuyoshi, Haraguchi Tsuyoshi, Nakamura Hideto, Gotanda Katsuya, Yonenobu Hitoshi, Leipe Christian, Chen Xuan-Yu, Tarasov Pavel E.	4. 巻 623
2. 論文標題 Environmental evolution and fire history of Rebun Island (Northern Japan) during the past 17,000 years based on biomarkers and pyrogenic compound records from Lake Kushu	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Quaternary International	6. 最初と最後の頁 8~18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.quaint.2021.09.015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Otake Yurie, Innan Hideki, Ohtsuki Hajime, Urabe Jotaro, Yamada Kazuyoshi, Yoshida Takehito	4. 巻 67
2. 論文標題 Population genetic dynamics during colonisation and establishment of an obligate parthenogenetic <i>Daphnia pulex</i> population in a small lake of a continental archipelago	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Freshwater Biology	6. 最初と最後の頁 1428~1438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/fwb.13951	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nara Fumiko Watanabe, Watanabe Takahiro, Matsunaka Tetsuya, Yamasaki Shin-ichi, Tsuchiya Noriyoshi, Seto Koji, Yamada Kazuyoshi, Yasuda Yoshinori	4. 巻 592
2. 論文標題 Late-Holocene salinity changes in Lake Ogawara, Pacific coast of northeast Japan, related to sea-level fall inferred from sedimentary geochemical signatures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	6. 最初と最後の頁 110907~110907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.palaeo.2022.110907	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Otake Yurie, Ohtsuki Hajime, Urabe Jotaro, Yamada Kazuyoshi, Yoshida Takehito	4. 巻 22
2. 論文標題 Long-term changes in morphological traits of <i>Daphnia pulex</i> in Lake Fukami-ike, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Limnology	6. 最初と最後の頁 329~336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10201-021-00659-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Masanobu, Wang Fangxian, Irino Tomohisa, Suzuki Kenta, Yamada Kazuyoshi, Haraguchi Tsuyoshi, Gotanda Katsuya, Yonenobu Hitoshi, Chen Xuan-Yu, Tarasov Pavel	4. 巻 9
2. 論文標題 A Lacustrine Biomarker Record From Rebun Island Reveals a Warm Summer Climate in Northern Japan During the Early Middle Holocene Due to a Stronger North Pacific High	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2021.704332	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Nara Fumiko, Yokoyama Tatsunori, Yamasaki Shin-ichi, Minami Masayo, Asahara Yoshihiro, Watanabe Takahiro, Yamada Kazuyoshi, Tsuchiya Noriyoshi, Yasuda Yoshinori	4. 巻 55
2. 論文標題 Characteristics in trace elements compositions of tephras (B-Tm and To-a) for identification tools	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 GEOCHEMICAL JOURNAL	6. 最初と最後の頁 117 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0619	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鹿島 薫・福本侑・サーリネンティモ	4. 巻 4
2. 論文標題 フィンランドにおける年縞堆積物から産出する珪藻遺骸群集-人新世環境変動アーカイブとしての年縞湖沼堆積物の活用をめざして-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 環境考古学と富士山	6. 最初と最後の頁 20-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 山田和芳	4. 巻 4
2. 論文標題 年輪環境学の新しい軸	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 環境考古学と富士山	6. 最初と最後の頁 3-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 鹿島 薫・福本侑・サーリネンティモ
2. 発表標題 フィンランドの年縞湖沼における生物遺骸群集（珪藻・黄金色藻シスト）変動を用いた過去2000年間の洪水頻度・気候変動の詳細復元
3. 学会等名 日本地理学会2023年春季学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鹿島 薫・福本侑・サーリネンティモ
2. 発表標題 フィンランド中部の年縞湖沼堆積物における珪藻遺骸群集の変動と過去2000年間の環境変動復元
3. 学会等名 日本珪藻学会第42回研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鹿島 薫、福本 侑、Saarinen Timo
2. 発表標題 フィンランドの年縞湖沼における珪藻・黄金色藻遺骸群集の変動を用いた過去750年間の洪水頻度の復元
3. 学会等名 日本第四紀学会2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kaoru Kashima, Yu Fukumoto, Timo Saarinen
2. 発表標題 Reconstruction of environmental and flooding histories since AD1250 at three annually laminated lakes in the Central Finland presumed using diatom assemblages
3. 学会等名 26th International Diatom Symposium (Online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鹿島 薫、福本 侑、Saarinen Timo
2. 発表標題 珪藻および黄金色藻遺骸を用いたフィンランド中部年縞湖沼Kortta湖におけるAD1250年以降の環境・洪水変動史の復元
3. 学会等名 地球惑星科学連合大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuyoshi Yamada
2. 発表標題 Sedimentary science to access mercury in 'varves'
3. 学会等名 Online Seminar on Geological and Environmental Research Methodology for ASGM (国際学会)
4. 発表年 2021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	福本 侑 (Fukumoto Yu) (20772974)	島根大学・エスチュアリー研究センター・客員研究員 (15201)	
研究分担者	山田 和芳 (Yamada Kazuyoshi) (60508167)	早稲田大学・人間科学学術院・教授 (32689)	

	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
研究協力者	北川 淳子 (Kitagawa Junko)	福井県立年縞博物館	

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			
フィンランド	University of Turku			
韓国	KIGAM	Kyunghee University		
その他の国・地域	National Chung Cheng University	National Taiwan University		
モンゴル	National University of Mongolia	Institute of Geography and Geocology		
ドイツ	Gottingen University			