

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2022

課題番号：21K18405

研究課題名（和文）目に見えない地層の縞（黒色有機年縞）がもつ古環境アーカイブとしての有用性評価

研究課題名（英文）Evaluation of the usefulness for invisible annually laminated sediments as paleoenvironmental archives

研究代表者

山田 和芳（Yamada, Kazuyoshi）

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号：60508167

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）：本研究は古環境を精緻に記録する新しいアーカイブ（古環境記録計）として“目に見えない土の年輪（年縞）”の有用性について検証した。ヴィジブルではない年縞堆積の可能性が高い島根県中海、秋田県八郎潟の浚渫くぼ地を対象として、過去200年間程度に相当する表層地層を未かく乱で採取した。そのコアに対して年代モデル構築とともに古環境を復元するための総合的解析をおこなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、一般的に“ヘドロ”と呼ばれる黒色有機泥に、当該水域の自然年表を作成できる季節～年解像度をもつ年縞の形成が確認されれば、精緻に復元できる場所や時代（時間）が著しく増大する。広く古環境学的研究分野において、“目に見えない土の年輪”が新しい古環境アーカイブとしての有用性が証明されれば、これまで実施されている様々な環境プロキシを駆使して、さらなる地球環境史の解明につながるものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined the usefulness of "invisible annual stripes" as a new archive (paleoenvironmental recorder) to precisely record paleoenvironments. We collected undisturbed surface strata from dredged hollows in Nakamai Lagoon, Shimane Prefecture and Hachiro-gata Reservoir, Akita Prefecture, where non-visible annual stripes are likely to have been deposited over the past 200 years. We conducted a comprehensive analysis of the cores to construct a chronological model and to reconstruct the paleoenvironment.

研究分野：自然地理学

キーワード：年縞 ヘドロ 古環境アーカイブ 湖沼 八郎潟 中海 駿府城

1. 研究開始当初の背景

研究代表者による約四半世紀にわたる国内外の多様な湖沼年縞堆積物を採取・観察・分析する中で、在外研究として2009年の1年間滞在したフィンランドにて北欧圏の湖沼研究を進めた。その際に北極圏内にあるケヴォ湖（北緯69度45分、東経27度00分）での掘削調査を実施した。採取された凍結コアは黒色塊状有機質泥であり肉眼では年縞を確認することができなかった。しかし、念のためX線で観察をすると、そこにはミリスケールの縞模様が確認された。ケヴォ湖のそれは全く新しい年縞タイプの可能性があったが、それ以上の研究は行っていなかった。帰国後、国内湖沼にて年縞掘削研究調査を継続実施する中で、ボーリングコア等で年縞が確認できている湖沼域のほとんどの表層部では年縞が確認できず、いわゆる“ヘドロ（黒色有機泥）”が堆積していた。年縞が確認できない原因を探っていたところ、強還元環境下の中海の浚渫窪地で採取した“ヘドロ”の中に縞模様が確認できたが、試料は水分を多く含むため地層が乱れていた。この“ヘドロ”中の年縞の存在について、ケヴォ湖のケースと類似している可能性が高まった。近年、古気候・古環境学分野の新しいスコープとして、「人新世」の開始年に関するデータの蓄積を求められている。その中で、“ヘドロ”中の年縞が新しいアーカイヴとして有用できれば、さらなる貢献ができると考えた。そのために、未かく乱地層の確実採取や、縞の高解像度な解析とともに編年のクロスチェックをおこなう誰しもが信頼する採取から分析までの手法の確立を行いたい。そして、各水域の“ヘドロ”中の目に見えない縞の地層が、新しいタイプの年縞と認定できうるならば、それらを全世界の水域に存在する“ヘドロ”に適応させて、新しい古環境アーカイヴとしたいと考えている。このことで、人新世における環境変動の検出に大きな貢献ができるのではとの経緯によって、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、古環境を精緻に記録する新しいアーカイヴ（古環境記録計）として、“目に見えない土の年輪（年縞）”の有用性についてはじめて検証するものである。日本およびフィンランドの湖底下に堆積する“ヘドロ”に着目して、新しい地層サンプリング技術を駆使しながら、過去200年間程度の目に見えない年縞認定および編年研究を行う。

年縞堆積物（「年縞」と呼ぶ）とは、土の年輪とも呼ばれる湖底地層に形成される毎年1セットのラミナ模様が形成される地層のことである（図1）。この年縞は、氷床コア、



図1 年縞に保存された地震層や微化石・鉱物

石筍、サンゴなどの地質アーカイヴとともに、一年あるいは季節単位での古環境復元が可能な、高精度時間軸レコーダーである。とくに、年縞は、「時間のものさし」となるだけでなく、長期的気候変動から災害など比較的短期間の事象、人間による環境破壊の痕跡までの環境変動を、高精度に復元できるものである。1993年に端を発した水月湖の年縞研究は、年縞が正確な時間軸、すなわち標準時計になるべく地道な研究が展開され、5万年前までさかのぼる暦年代の基準データセットを作成し、2013年にIntCalと呼ばれる放射性炭素年代の暦年代への標準換算表にはじめて採用され、2020年に改訂された最新版にも、引き続き多数収録されている。

年縞は世界では120地点、日本国内では10か所程度の湖沼域で発見され、編年学及び古環境学的研究が進められている。ただし、年縞の形成・保存には、季節的に異なった堆積メカニズムを有し、なおかつ底生生物などによってかく乱されることなく長期にわたって安定的な堆積環境が求められるため、その古環境学的なアドバンテージは理解されるものの、復元できる地域や、時間（年代）についての制約が大きかった。

現在、「人新世」と呼ばれる、人類が地球環境や生態系に重大な影響を与えた時代を、新しい地質時代区分として制定されることが承認され、その開始年について国際的な議論が進んでいる。そのため、世界各地の様々な環境下における近過去の季節～年単位の地球環境履歴復元が喫緊の課題となっている。この課題克服を担うべく古気候・古環境研究分野においては、樹木年輪、サンゴ、貝殻、魚類の耳石など季節～年解像度をもつアーカイヴを用いて、近年新しい分析装置の開発や精度向上によって古環境プロキシ（代替指標）の定量化や多様化が進められ、著しい研究成果が出てきている。しかしながら、広域に適応できる新しいアーカイヴの発見がなく、データの地域的偏在化となるボトルネックが存在していた。

本研究では、それらを解消すべく、水域の無～貧酸素水塊下で堆積する、いわゆる“ヘドロ（黒色有機泥）”に着目して、新しい地層サンプリング技術と、高解像度の堆積解析を駆使して、肉眼では判別できない季節の縞（年縞）の認定とそれに基づいた編年研究を世界ではじめて行うも

のである。つまり、最終的目標となる近過去の季節～年単位の地球環境履歴復元のための足掛かりとなる編年学的研究に重きを置き、新しいアーカイブとしてその有用性や信頼性を証明して、古環境学の新しい潮流をつくることを究極の最終目標と掲げた。

3. 研究の方法

存在の可能性が秋田県八郎潟および鳥根県鳥取県中海の浚渫くぼ地、また人工水域として静岡県駿府城水堀を対象として、過去200年間程度に相当する全長50センチの表層地層をリミノスコアサンプラー（グラビティコアサンプラー）及び押し込み型ピストンコアサンプラーを用いて未かく乱で採取して、見えない縞の総合的解析とともに、他年代測定などを援用させながら、独自の年縞編年を作成して、その有用性を検証した。

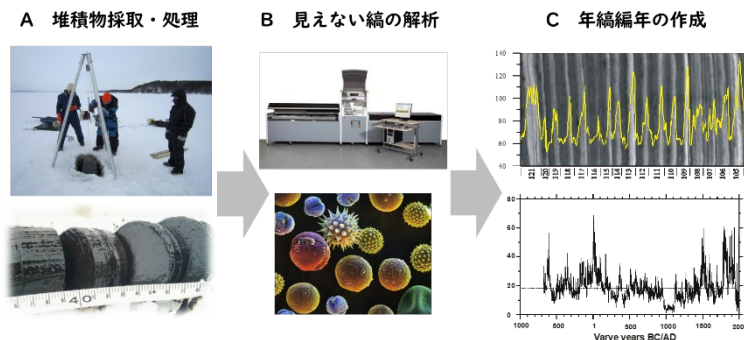


図2 研究フロー

その具体的な研究フローは図2のとおりである。

- A 堆積物採取・処理—未かく乱で凍結させながら地層を採取するための採泥器を開発・導入する。得られた凍結サンプルからは、薄片試料と、高解像度分析用試料に分割する。
- B 見えない縞の解析—肉眼では把握できない縞模様の把握のために、X線・顕微鏡観察、 μ XRFスキャン分析、花粉分析を実施して、季節サイクルの検出を行う。
- C 年縞編年の作成—得られたデータを取りまとめ年縞の認定や堆積年代の推定を行う。その際、鉛210/セシウム137年代測定を援用させ年代推定のクロスチェックを行う。同時に、歴史的イベントとの対応関係などから精度向上をはかる。

4. 研究成果

(1) 鳥根県／鳥取県中海

米子湾に存在する浚渫くぼ地4か所において、リミノスコアサンプラーを用いて最表層に堆積していたヘドロを採取して、粉末ドライアイスを充填させて凍結コアを採取した。肉眼では黒色を呈するものの、X線ラインスキャナの計測では年縞と思われる縞状構造を確認できた。今後年縞認定のための分析を進めている。

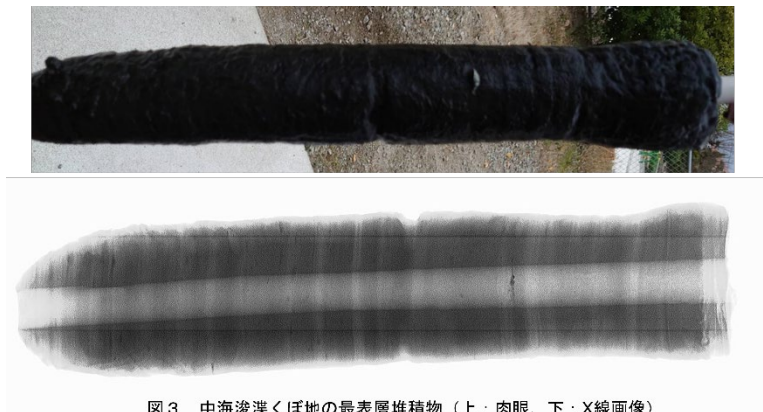


図3 中海浚渫くぼ地の最表層堆積物（上：肉眼、下：X線画像）

(2) 秋田県八郎潟

秋田県八郎潟調整池（東部承水路内）の浚渫くぼ地においてコア（柱状試料）を採取して、堆積物の層相観察とともに珪藻分析およびCNS元素分析を高時間分解能で実施した。そして、主に八郎潟の干拓工事開始期から現在までの底質環境の変遷とその要因について考察した。その結果、八郎潟残存湖の湖底堆積物には、干拓事業に関する歴史から、その後の台風による海水侵入という事件記録まで明瞭に記録されていた。また、干拓時につくられた浚渫くぼ地は、70年あまり長い年月をかけて、急速に埋積が進行していることも明らかになった。本研究成果は、日本第四紀学会大会等で報告済である。現在論文投稿準備中である。

(3) 静岡県駿府城水堀

人工水域における可能性を探究するため、静岡県静岡市中心部に位置する駿府城水堀にて同様の調査研究をおこなった。採取したコアの解析記録から鉛210年代測定の結果深度17cmまでは混合層であり、それ以深では堆積速度は0.26cm/年と求められた。その結果、コア最深部を1972年とした場合、深度17cmは2012年となる。深度17cmよりも上位の層は、堀に人為的に投棄され生息するコイによって混合されたものと考えられる。花粉分析の結果、コア全体を通して花粉の構成に大きな変化は見られなかった。マツ属やヒマラヤスギ属、ニレ・ケヤキ属などの花粉が比較的多く見られ、過去50年間にわたり駿府城公園の植生が安定的に管理されてきたことが反映されたものと考えられる。珪藻分析の結果、最下部には工事の際の土砂の影響が見られたものの、コア全体を通して種の構成に大きな変化は見られなかった。Stauroneis spp. やAulacoseira spp. などがみられ、典型的な淡水の沼沢地の環境が維持されてきたことが示された。CNS分析の

結果、C/N比は最下部と深度19cm付近を除いて10前後で推移し、堆積する有機物は陸上高等植物とプランクトン由来の両方の影響があることが示された。TOCは最下部から深度19cm付近にかけて上昇し、それより上位では4~5%程度で安定して推移した。TSは最下部から深度21cmにかけて上昇して0.4%に迫ったが、深度17cmにかけて0.2%程度まで減少し、それより上位でも同様の値で推移した。C/N比は最下部から深度21cmにかけては10程度で推移し、深度15cmにかけて上昇し、それより上位では20前後で推移した。この結果から、1970年代から2000年代にかけて底質環境がやや悪化した後、2010年代に安定したものと推定される。本研究結果は、日本地球惑星科学連合2022年大会等で報告済である。また、新聞紙にも取り上げられた。

以上のように、ヘドロが堆積している環境では年縞形成の可能性が高いことがわかった。また年縞形成がされていない堆積物についても高解像度で過去の環境を復元できることが解明した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 7件）

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 該当する
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 奥野充, 黒木貴一, 藤木利之, 中西利典, 山田和芳	4. 巻 44
2. 論文標題 「基礎データから考える第四紀の新展開 - 火山の地形・地質・年代」について	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 月刊地球	6. 最初と最後の頁 127 ~ 130
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 -

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 Daphnia pulex 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 該当する

1. 著者名 山田和芳, 村尾 智, 富安卓滋, 奥野 充, 瀬戸浩二, 香月興太, 中西利典, 加田 渉	4. 巻 71
2. 論文標題 ASGM (人力小規模金採掘) に関連した環境汚染研究における湖沼掘削科学の貢献と役割	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 号外地球	6. 最初と最後の頁 70 ~ 77
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 -

1. 著者名 大森信宏, 山田和芳, 西岡佑一郎	4. 巻 8
2. 論文標題 裾野市茶畑山出土埋没木の保存と活用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 静岡県埋蔵文化財センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 25 ~ 28
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9件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 山田和芳, 鹿島 薫, 瀬戸浩二, 香月興太, 福本 侑, 辻本 彰, 藤木利之
2. 発表標題 浚渫くぼ地堆積物にみられる秋田県八郎潟調整池における近年の環境変化
3. 学会等名 汽水域研究会2022年 (第14回) 佐賀大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田和芳, 鹿島 薫, 瀬戸浩二, 香月興太, 辻本 彰, 福本 侑, 井上 淳, 藤木利之
2. 発表標題 人工水域の古環境研究が目指すところ ~地質学が都市を診断できるのか~
3. 学会等名 国際火山噴火史情報研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤木利之, 金子純也, 山田和芳, 鹿島 薫, 瀬戸浩二, 香月興太, 辻本 彰
2. 発表標題 岡山城堀堆積物に記録された過去100年間の都市環境変遷
3. 学会等名 日本第四紀学会2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子純也, 山田和芳, 藤木利之, 瀬戸浩二, 香月興太, 辻本 彰, 鹿島 薫
2. 発表標題 駿府城堀の水環境の現在地 -水質と堆積物コアによる検討-
3. 学会等名 日本第四紀学会2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田和芳, 鹿島 薫, 瀬戸浩二, 香月興太, 辻本 彰, 福本 侑, 藤木利之
2. 発表標題 浚渫くぼ地堆積物を用いた秋田県八郎潟調整池における近年の環境変化
3. 学会等名 日本第四紀学会2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田 和芳, 金子 純也, 瀬戸 浩二, 香月 興太, 辻本 彰, 藤木 利之, 鹿島 薫
2. 発表標題 人工水域堆積物に記録される都市域の環境史
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清政宗一郎, 香月興太, 瀬戸浩二, 山田和芳
2. 発表標題 猪鼻湖の縞状堆積物を利用した古環境復元
3. 学会等名 汽水域研究会第 10 回例会
4. 発表年 2022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 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田和芳
2. 発表標題 ASGM (零細および小規模金採掘) に関連した環境汚染研究における湖沼掘削科学の貢献と役割
3. 学会等名 汽水域研究会第 10 回例会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 日本古生物学会、西 弘嗣	4. 発行年 2023年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 790
3. 書名 古生物学の百科事典	

1. 著者名 渋川 浩一, 中西 利典, 日下 宗一郎, 山田 和芳, 菅原 大助, 岡本 一利, 橋本 正洋, 印南 敏秀, 渡邊 眞一郎, 後藤 義正	4. 発行年 2022年
2. 出版社 ことのは社	5. 総ページ数 244
3. 書名 うつりゆく駿河湾(しずおかの文化4)人と自然の関わりから見た過去、現在、そして未来	

〔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	藤木 利之 (Fujiki Toshiyuki) (10377997)	岡山理科大学・理学部・准教授 (35302)	

	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	サーリネン ティモ (Saarinen Timo)		

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	トゥルク大学		