

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：84202

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03692

研究課題名（和文）湖環境への人為的影響をはかるための歴史時代における湖内植物生産量変動

研究課題名（英文）Variation of plant production in the lake during the historical period to estimate the human impact in the lake environment

研究代表者

里口 保文（Satoguchi, Yasufumi）

滋賀県立琵琶湖博物館・研究部・上席総括学芸員

研究者番号：20344343

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：人間活動の自然環境による影響は、気候変動などの地球規模のもの以外にも、様々なレベルで報告がある。本研究は、琵琶湖周辺の人間活動が湖内植物生産に与える影響を検討するため、約1000年間における植物生産量の変化を明らかにするために実施した。南湖における約2000年間の泥質堆積物について、年代測定により堆積モデルを検討し、バイオマーカーによる水草繁茂量変化を検討した。結果、AD1000年やAD1300年頃に、多少の増加が認められるものの、1990年以降ほどの繁茂はなかった。このことは、人間活動の影響が少ない場合に、自然環境変化としての水草繁茂は現在ほどにはならなかったことを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間活動の影響については、現在環境（結果）と人間活動の環境への働きかけ（インプット）から、その関係性についてモデルを立てることで、影響度を検討される。本研究は、人間活動によるインプットが大きくなかった時代から現在までの変化をみることで、対象とした時代の中で行われてきた各時代の人間活動が、どの段階で影響が大きくなかったかを検討するための資料として位置づけられる。本研究の結果では、観測以前にはその影響が大きくなかったという結果であるが、過去の変化をより詳細に検討することで、人間活動の歴史性とその影響の積分値としての環境変化を議論できるようになるだろう。

研究成果の概要（英文）：The effects of human activities on the natural environment have been reported at various scale such as climate change. This study was conducted to reveal the water plant production changes in Lake Biwa for a period of approximately 1000 years to supply information of discussing the effects of human activities around Lake Biwa. As a result, a depositional age model was examined for muddy sediments in Lake Biwa for about 2000 years by using Pb210-dating and C14-dating, and changes in the amount of water plant were examined using plant biomarkers. The results indicate that water plant production after A.D.1990 was the highest in the previous 2000 years. It suggests that water plant flourishing on a natural environmental change was not as great as recent when human impact was little.

研究分野：第四紀地質学

キーワード：琵琶湖 泥質堆積物 ボーリング 水草 過剰繁茂 バイオマーカー

## 1. 研究開始当初の背景

人間活動の自然環境による影響は、気候変動などの地球規模のもの以外にも、様々なレベルで報告がある。このような人間活動による地球環境への影響が顕著に大きくなった時代を「人新世」として、現在の地質時代である完新世から区分する提案があるように（ザラシーウィッツ、2016 など）、近年には人類が環境へ大きく影響を与えているとの認識が一般的に広まっている。地質時代区分の必要性に関わらず、人間活動の自然環境への影響の大きさや、人間活動を伴う環境における変化の状況を正しく理解し、その影響度を検討することは、今後の人間活動を考える上で重要である。

人間活動が与える影響の範囲には、地球規模だけではなく、地域的なレベルのものも多く、顕著に表れる。そのような環境の一つには、湖などの淡水域がある。淡水の止水域については、人間活動を行う上で水源として重要であるため、人の暮らしという視点で見た場合には、環境変化が人間活動に与える影響力としては大きい。湖沼を対象とした現在環境の変化や物質循環などの多くの研究が行われ、これらを元にした環境変化と人間活動の影響の関係性の検討は、変化しない自然環境を前提としている。一方で、植物生産へ大きな影響を与える約 11 年や 100 から 300 年の周期がある太陽活動（宮原、2010）や、約 400 年の周期が指摘されている降水量の変化（中塚、2014）がある。これらは、近代の観測が行われている約 150 年よりも長い自然の周期があることを意味しており、実際の人間活動の影響を知るには、少なくとも 1000 年程度の歴史時代における湖沼環境を知る必要がある。

湖環境の変化の指標の一つとしては、湖内の一次生産の指標ともいえる植物生産量が重要である。湖内の植物の過去の生産量変動量のうち、植物プランクトンは堆積物中の化石や光合成色素分析によってその生産量変動の推定が行われている（占部 編、2014 など）。貧栄養湖の場合は、湖内の植物生産量はほぼ植物プランクトンが占めるが、水草の繁茂が著しい湖では、水草の量的変化の影響が大きくなる。たとえば、水草の過剰な繁茂が問題になっている琵琶湖においては、南部の浅い湖の範囲の約 96%が水草繁茂地であり（芳賀・石川、2016）、湖内植物生産量としては水草量の変化も重要であり、このような水草の生産量変化については、人間活動との関係が指摘されている（浜端、2001）。琵琶湖の例にみられるように、近年になって水草の過剰な繁茂があったことがわかる湖沼においても（Haga, 2012）、歴史的にみれば、水草は農業における肥料使用のための藻トリが行われてきたため、過去には水草の量を減少させる人間活動があったといえる。そのため、湖沼における植物生産量への、人間活動の影響度を検討するためには、人口が急増した江戸時代より前の時代からの、1000 年間程度の時間スケールで生産量変化を知ることが必要である。

過去の植物の生産量を知るには、堆積物中のアルカンなどのバイオマーカー分析が用いられる（関、2014 など）。海洋堆積物から得られるバイオマーカーは、陸域から流入する植生変化や気候変動を検討するマーカーとして用いられる（Uno et al., 2016 など）。これは、植生によって生産される物質が異なることを利用して行われ、陸域植物と水生植物の違いも指摘されている（Ficken et al., 2000 など）。ただし、日本に繁茂する水生植物の生産量を推定するバイオマーカーの基礎データは明らかにされていないことから、日本の植生による基礎データセットによるバイオマーカーの検討を行うことができれば、過去の植物生産量の変化を明らかにすることができる。

水深が浅い領域での水草の過剰繁茂が問題になっている琵琶湖は、広くて深い北部の北湖と、狭くて浅い南部の南湖という異なった性質をもつ 2 つの湖からできているともいえる。その性質の違いは水草の繁茂状況に影響しており、1994 年と 2000 年の観測による水草繁茂面積の変化は、南湖 12.1%から 56.7%に対し、北湖では 5.5%から 6.7%へと比率の変化が大きく異なる（浜端、2001）。このような同一集水域をもつ一つの湖でありながら、2 つの湖の湖内環境の違いは、陸域からの影響の受けやすさの違いをも表している可能性がある。つまり、琵琶湖北湖が人間活動の影響が少ない自然の変動をとらえており、南湖は人間活動の影響を強く受けていることが予想され、その比較により人間の影響度が解析できる可能性がある。

## 2. 研究の目的

本研究は、湖周辺の人間活動が湖内植物生産に与える影響を検討するため、約 1000 年間における植物生産量の変化を定量的に明らかにする。その対象湖沼として、歴史時代において周辺に人の利用が認められる琵琶湖を設定し、水生植物の繁茂が著しい面積が小さく浅いために周辺地域からの影響を受けやすい南湖と、面積が広く深い湖であるために人の影響が少なく水生植物量変化の影響も小さいと考えられる北湖を対象とすることで、自然変化と人間活動の影響を受けた変化の両者を比較し、人間活動の影響評価を検討する。

環境に関する自然の変動は、湖沼環境のような地域的な狭い範囲での環境変化と捉えられる環境においては、近代以降の人間活動の影響のみ議論されることが多い。本研究では、数百年スケールで起きる自然の変動と人間活動の両面に着目し、その理解を進めることで、環境変動の要因への人為の影響度を測ることを試みるという点で、人間の生活圏にある湖沼における環境変動と人為の影響を検討するための、新たな視点を提案するものである。

また本研究は、地質学、古環境学、地球化学、環境学の研究者による分野横断型研究である。現在の環境を理解するには、生態学などの現在環境を扱う研究領域の研究者によって複合的な研究が行われているが、観測史上に例のない事象やその原因の検討には、近過去の時系列的変化

の情報により、自然環境そのものの変動パターンを読み取ることが不可欠である。その情報から、現在環境との比較による相対的变化を数値化して自然環境変化指標をつくり、生態学などの現在環境の変動を検討する分野へ新たな視点を提供することで、異なる視点による議論が可能になる。本研究はそのための試験的な研究という側面を持っている。

### 3. 研究の方法

湖沼における約 1000 年程度の期間における植物生産量変化を定量的に分析するために、次のことを行う。琵琶湖の北湖および南湖において約 1000 年間の堆積物を採取する。堆積物からは、層相および粒度組成により陸域からの洪水による流入強度変化、バイオマーカーによる湖内の水生植物生産量変化および陸域起源植物流入量、花粉分析による湖へ流入する周辺森林植生変化、光合成色素分析による植物プランクトン生産量変化を明らかにする。堆積物の年代決定は、堆積物の鉛 210 年代測定、植物化石および花粉化石の抽出による炭素 14 年代測定を行う。

1) 湖底堆積物の採取：北湖は環流で堆積物が集まる沖合の地点、南湖は人為的攪乱や植生による攪乱が少ない水深が深い地点において、琵琶湖博物館の調査船で、コアラーによって採取。

2) 層序記載・粒度組成：採取したコアの層相記載、含水率、粒度分析。これらの情報は堆積過程および堆積速度の検討情報になる。粒度分析は、滋賀県立大学に設置のレーザー回折式粒度分析装置によって行った。

3) 年代測定：表層堆積物は鉛 210 年代測定を愛媛大学において実施した。それより古い時代の層準は、堆積物中の植物化石または花粉化石の抽出による炭素 14 年代測定を業者への依頼によって行った。

4) バイオマーカー分析：アルキル脂質の平均炭素鎖数 (ACL) のバイオマーカーを用いて、陸域から流入してきた陸上草本類、樹木と、湖内生産の植物とを見分け、その量的変化を検討した。

5) 花粉分析：陸上植生の影響を検討するため、花粉化石から過去の陸上植物の植生を検討し、バイオマーカーの変化との関係を検討する。

6) 光合成色素分析：湖内の植物プランクトン生産量の解析。

これらのデータから、約 1000 年における湖沼の自然環境変動と人間活動による影響を受けた環境変化との比較を行う。

### 4. 研究成果

琵琶湖南湖において、南北方向でほぼ中央の西岸よりの水深が深い地点において、パイロットコアを採取し、鉛 210 による年代測定とバイオマーカー分析を実施した。これらからみた、水草生産量変化は、琵琶湖南湖において推定されている過去の水草生産量変化と概ね一致していた(林ほか, 2021; 植生史学会大会)。同様の方法で琵琶湖南湖における他地点での分析でもほぼ同様の結果が得られたことから、バイオマーカーによる水生植物生産量の量比の変化をこの方法で知ることができることがわかった(図 1)。

琵琶湖南湖における現在の表層部に泥質堆積物が分布している地域を対象に 10 地点ほどで約 1m のボーリングを行い、層相記載、含水率、粒度分析の深度方向への変化を分析し、側方変化と対比を検討した(図 2)。どの地点においても、層準によって、有機質泥や、やや砂質の泥、細かい植物片を含むなどの違いがあるが、概ね泥質堆積物からなる。深度方向への粒度変化は、複数地点で同様の変化が認められ、地点間の層序対比に有効と考えられる。炭素 14 年代測定のために必要な炭素試料は、ボーリングコア内にあまり多くないことから、複数地点で測定のための有機炭素が得られた層準で分析を実施し、地点間の層序対比から各地点の堆積年代を検討した。年代測定の結果から、泥質堆積物の地点によって堆積速度がやや異なるが、側方変化よりも深度方向への変化、つまり年代による堆積速度変化が大きいことが推定された。湖底表層部は堆積物の単位重量当たりの堆積速度が AD1940 年代付近以降にそれ以前の時代より数倍速く、周辺地域から琵琶湖への粒子が細かい泥の供

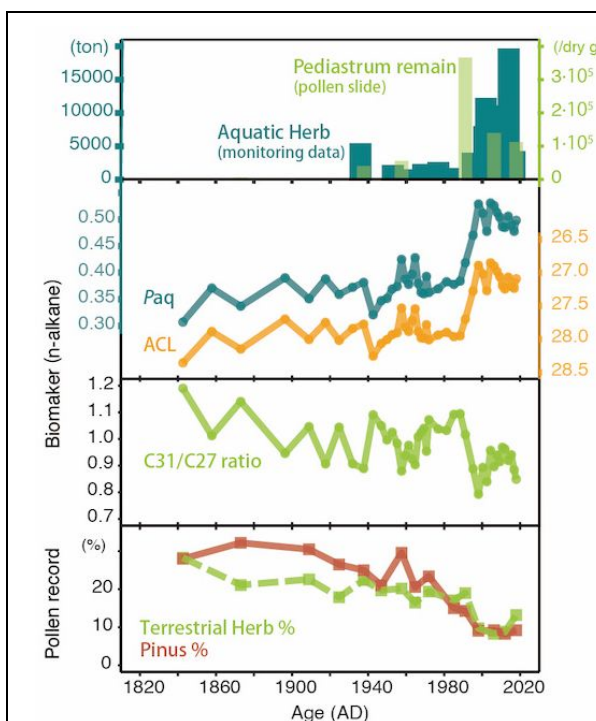


図 1 琵琶湖南湖の泥質堆積物の表層部における分析結果。上から水生植物生産量(緑色) n-アルカン指標(2つのグラフ、バイオマーカー) 花粉分析。Paq は C23+C25 と C29+C31 アルカン比、ACL はアルキル脂質の平均炭素鎖数を示す。上部のグラフで示されている実際の測定による水生植物生産量(芳賀, 2015)の変化と Paq 等のバイオマーカー変化が 1940 年以降に相関があることがわかる

給が増えた可能性を示している。

琵琶湖北湖は、人為的な影響が少ないと考えられ、堆積速度が比較的早いとされている水深が深い地点である近江舞子沖の水深約 78m において掘削を行った。ほぼ均質な泥堆積物からなり、植物片などを含まない。表層付近の堆積年代は鉛 210 年代測定によって得られたが、それ以下の層準については植物化石などが得られなかったために年代測定はできなかった。

堆積年代データが得られなかった層準範囲が大きい付近について、堆積物中に含まれる花粉化石の抽出を行い、その炭素年代測定を依頼によって行った。その結果、これまで得られている炭素年代から推定される年代としておおよそ 1000～2000 年前と考えられる層準(2 層準)については、年代測定を行うための十分な花粉化石を得ることができなかった。北湖について、コア中に年代を測定もしくは推定できるものがないため、かなり漠然とした推定ではあるが、おおよそ 500～1000 年前のものと考えられる層準でも、年代測定に十分な花粉化石を得ることができなかった。琵琶湖地域においては、近世には周辺の山がはげ山化していたことが知られており、それ以前についても、当時の都が近いことから、山林の木が伐採されていたことが知られている。このことから、この当時に琵琶湖へ花粉を供給する森林環境が少なかったことを示している可能性がある。

琵琶湖南湖堆積物についてのバイオマーカー分析結果は、水草の繁茂が著しい記録がある 1990 年代以降にはパイロットコアと同様の結果が得られており、多少の増減はあるものの、1990 年頃から急速な増加が認められた。それより古い時代については、全体的に水草量が少なかった傾向を示している。そのうち、AD800～1000 年付近や AD1300 年付近にやや増加傾向が認められたが、いずれも 1990 年以降よりも少ない量と推定され、1990 年以降の水草繁茂の状況は、ここ 2000 年間でみても多いことがわかった。

人間活動による自然環境への影響については、他研究のとくに近代以降の変化に関する研究と合わせて慎重な議論が必要であるが、本研究からは、歴史時代における堆積物中の花粉化石が少ないことや、琵琶湖内で生産された水草量が歴史時代を通じて増減がややあるものの 1990 年以降の繁茂状況が人間活動の活発化と無関係ではないことを示唆するものであるといえる。今後、本研究のように、人間活動が活発化し、自然環境への影響が大きくなる以前からの環境変化を詳細に捉えることで、現在の環境に対する人間活動の影響を検討する資料として利用できることが示された。

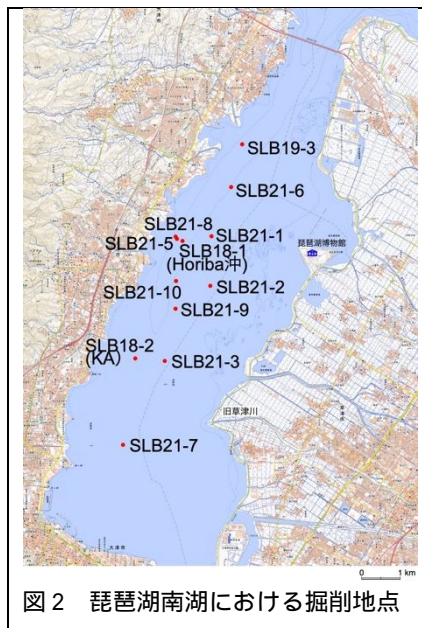


図 2 琵琶湖南湖における掘削地点

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 里口保文・林竜馬・加三千宣・芳賀裕樹
2. 発表標題 琵琶湖南湖の泥質堆積物の堆積速度
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 里口保文・林竜馬・加三千宣・芳賀裕樹
2. 発表標題 琵琶湖南湖の表層堆積物の面的変化
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 林 竜馬・里口保文・芳賀裕樹・鈴木隆仁・関宰・加三千宣
2. 発表標題 湖沼近過去調査法による琵琶湖南湖における過去 150 年間の集水域・水草植生の復元
3. 学会等名 第36回日本植生史学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 里口保文・加 三千宣・林 竜馬・芳賀裕樹
2. 発表標題 琵琶湖南湖と北湖の泥質堆積物の堆積速度比較
3. 学会等名 日本第四紀学会2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 正木紫苑・堂満華子・大塚泰介・林竜馬・里口保文・芳賀裕樹・加三千宣・廣瀬孝太郎
2. 発表標題 琵琶湖南湖における過去30年間の珪藻群集変化と湖内環境変化
3. 学会等名 日本珪藻学会第44回大会
4. 発表年 2023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	槻木 玲美 (Tsugeki Narumi)  (20423618)	松山大学・法学部・教授  (36301)	
研究分担者	関 宰 (Sekii Osamu)  (30374648)	北海道大学・低温科学研究所・准教授  (10101)	
研究分担者	林 竜馬 (Hayashi Ryoma)  (60636067)	滋賀県立琵琶湖博物館・研究部・専門学芸員  (84202)	
研究分担者	加 三千宣 (Kuwaie Michinobu)  (70448380)	愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・准教授  (16301)	

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
---------	---------