

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 7 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400493

研究課題名(和文)琵琶湖堆積物の高時間分解能環境記録復元による水収支予測仮説の検討

研究課題名(英文)Water balance prediction based on high resolution sedimentary climatic history

研究代表者

井内 美郎 (Inouchi, Yoshio)

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号：00294786

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：今回の研究で氷期の湖水面高度上昇期と急激な寒冷化事件であるハインリッヒイベント期とが対応していることが明らかになった。そのメカニズムとして、氷期の中でも急激な寒冷期には日本海を渡る冬季季節風が強化され、日本海から大量の水蒸気が運ばれ、それによって日本列島日本海側そして琵琶湖流域の降雪量が増加し、その結果琵琶湖の水収支がプラスに転じ、湖水面が上昇したと考えた。琵琶湖高島沖コアには琵琶湖周辺域の古気候変遷が記録されているが、北部大西洋の寒暖変動に対応して偏西風帯の南北シフトがおき、偏西風帯の形状が地球上を移動することで、結果的に大西洋の気候変動が伝達(テレコネクション)したと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Periods of high lake level in Lake Biwa in glacial age correlate well with those of Heinrich events which shows abrupt cooling. The mechanism for this phenomena is that during glacial times, winter monsoon have been strengthened which result in heavy snow fall to Japanese island as well as catchment basin of Lake Biwa. Cored sediment taken at Takashima-oki drilling site and that off Echi river drilling records climatic change history and water balance history around Lake Biwa as well as that of Japanese island. Flow pattern of westerlies is strongly controlled by abrupt cooling events which cause teleconnection of global flow pattern and affecting limiting location of east Asian summer and winter monsoons.

研究分野：地質学

キーワード：水収支 気候変動 湖沼 堆積物 音波探査 琵琶湖

1. 研究開始当初の背景

研究の全体構想

猛暑日が異常なほど連続し、大型台風の襲来回数が増えるなど、地球温暖化の影響が現実のものとして実感されるようになった現在、地球温暖化がさらに具体化した際の自然環境変化に関心が高まっている。水資源が豊富だと考えられている我が国だが、高校教科書にも示されているように (Sellards(1965))、緯度的に見ると我が国が位置する北半球での緯度帯は水収支のバランスが非常に微妙な位置にある。我が国の水収支をプラス側に寄せているのは東アジアモンスーンの影響である。この東アジアモンスーンの強度が将来どの様に変動し、日本国土の水収支がどの様になるかは日本国民にとって重大な関心事である。最近の我々自身の研究の結果、野尻湖の湖水面高度が過去数万年間に数度大きく上下した証拠が得られた (中村ほか (2013))。野尻湖のケースは北陸地方特有の「冬のモンスーンの影響」の影響であるが、日本列島はどのようになるのであろうか。

湖水面高度は湖流域の水収支を示すすぐれた指標としてみなされ、世界各地の湖沼で湖水面高度に関する研究が行われてきたが、我が国ではこのような過去数万年にわたる研究例は我々の成果を除いて全くない。本研究は、これまでの10年間に実施してきた研究の集大成として、数千年～数百年程度の未来予測を行う際に参考となる仮説の検証を行うことを目的とする。

研究の学術的背景

近年、東アジアモンスーン (夏季モンスーン) 強度の変動が地軸歳差運動の影響を受けた日射量変動に大きく支配されて起こっていることが様々な研究の結果明らかにされてきた (Wang et al.(2008)、Nakagawa et al.(2008) など)。これらの研究結果をもとにすれば、東アジアの夏季モンスーン変動は、温室効果による影響を度外視すれば、今後徐々に弱体化を示すことになり、自然の変化が人為的な影響を上回る限り急激な対応は不要となる。つまり、その周期は (2.3 万年程度なので) 地球温暖化に比べれば非常にゆっくりした変動であると見込まれているからである。一方、上記測定結果 (とくに Wang et al.) にはさらに短周期の変動 (ダンスガード-オシュガーサイクルなど) が観察される。これらの変動がどの程度の環境変化を東アジアにもたらすか、またそれが次にいつ起こるか、つまりどのようなメカニズムによって引き起こされるかについては、様々なモデルが提案されているが明確な解答が得られていない。今回提案する研究は、従来考えられてきた北半球の中・高緯度の日射量変動を原因とする説に加え、熱帯域の日射量変動に起因する暖海水の北上による東アジアモンスーンの活発化という仮説などを検討しようとするものである。

研究成果と着想に至った経緯

提案時進行中の研究課題において、4つの湖水面変動に関する証拠が琵琶湖で得られた。第1は、ユニブームを用いた音波探査記録において「強制的海退」の堆積様式を示すデルタの前進が数回みられること。第2は、琵琶湖東岸沖で含砂率の増加がデルタの前進期とはほぼ一致する形で得られたこと。第3は、高島沖ピストンコアの詳細な放射性炭素年代を基に作成された年代モデルにおいて、堆積速度の周期的増加・減少現象が得られたこと。第4に、生物源シリカ濃度が湖水面高度の変遷に対応する形で増減していたことである (これらの現象が時間調和的に発生しているということを確認するのが今回提案の第1の目的である)。これらの現象の生起周期は歳差運動周期より短いものであり、その原因解明が求められる一方、日本列島中央部の水収支を考えるうえで非常に貴重なデータと考えられる。今回の提案ではその原因として、中緯度地方の日射量変動に加えて熱帯域の気候変動が暖海水の北上を通じて東アジアの気候に影響を及ぼすという仮説などを考え、その検証を試みるものである。

これまでの研究成果の発展とその内容

旧課題「琵琶湖の古環境プロキシ (指標) と測器データとの対応をもとにした古環境変遷史解読」では、湖底表層堆積物の様々な物理量・化学量を測定し、測候所の様々な測器データとの相関を求めた。その結果、生物源シリカ濃度と年平均気温や年降水量との間で有意の相関が見られた。前課題「琵琶湖周辺域における高分解能気候・水収支変遷史解明」では典型音波探査測線において湖水面変動の可能性が得られるとともに、過去約13万年間の高分解能生物源シリカ濃度プロファイルによって東アジアモンスーン変動との関連が議論できるようになった。さらに、提案時進行中の研究課題「高分解能琵琶湖湖環境変遷記録との対比による東アジアモンスーン変動メカニズム解明」では、琵琶湖全域の音波探査記録を再検討するとともに、生物源シリカの高精度分析を23万年以前にまで拡大した結果、琵琶湖における湖水面変動の証拠と思われる現象を4つ確認した。

2. 研究の目的

日本列島における長期的 (数千年～数百年オーダー) 水収支変動を予測するための作業仮説を設定し、それを検証する研究を実施する。具体的には「琵琶湖の水収支を支配している要因が、日本列島における『夏季 (春季～秋季) モンスーン』の強弱に係る中緯度日射量変動」とエルニーニョ・モード、ラニーニャ・モードというやや長期的な (5千年～7千年程度) 『熱帯域の気象モードの変動』 (いわゆる「スーパー-ENSO」よりもさらに長周期の現象) などにある」という仮説であ

る。この仮説について、コア試料のさらに詳細な年代モデルの確立と高分解能の分析結果を取得したうえで検証する。湖水位変動の証拠としては、含砂率・珪藻種組成・生物源シリカ濃度などの変動が考えられ、熱帯域および北半球中緯度地方の日射量変動との同調性を検討することで仮説の検証ができるものと考えている。

3. 研究の方法

「仮説」の検証のためには高島沖ピストンコアおよび愛知川河口沖コア双方の高密度の年代測定が大前提となる。高島沖ピストンコアでは生物源シリカ濃度の高密度測定を、愛知川河口沖コアでは含砂率測定および珪藻化石種組成分析を予定している。高密度の年代測定値の存在によって中国大陸・東南アジア(Warm Pool)・ガラパゴスにおける気候変動データとの対比が可能となり、「熱帯域からの暖海水の北上に伴う東アジアモンスーンの活発化に起因する降水量増加」という仮説の検証が可能となる。生物源シリカ濃度は珪藻の増殖(ブルーム)を引き起こす降雨に伴う栄養塩類の流入の変動を示し、珪藻種組成(付着種/浮遊種比)は湖水面の昇降を示す指標となる。これらは愛知川河口沖コアの含砂率変化からも裏付けられる。

4. 研究成果

湖琵琶湖水位変動史を詳細に検討した結果、氷期の湖水面高度上昇期と北部大西洋で発見された急激な寒冷化事件であるハインリッヒイベント期とが対応している一方、1.5万年以降は寒冷期に湖水面高度が低下していることが明らかになった。そのメカニズムとして、氷期の中でも急激な寒冷期には日本海を渡る冬季季節風が強化し、日本海から大量の水蒸気が運ばれることになる。それによって日本列島日本海側そして琵琶湖流域の降雪量が増加し、その結果琵琶湖の水収支がプラスに転じ、湖水面が上昇したと考えた。逆に、1.5万年前以降は夏季季節風の影響が冬季季節風の影響を上回るようになり、温暖期の夏季季節風によりもたらされた降水量の変動が冬季季節風によってもたらされる降雪量の変動を上回るようになったと考えた。北部大西洋で観察される急激な寒冷化現象であるハインリッヒイベントと琵琶湖の湖水面高度変遷が同調する原因として、偏西風帯の南北シフトによる冬季季節風の影響範囲の南北シフトを考えた。その根拠として琵琶湖中央部で採取された高島沖コアの生物源シリカ濃度および全炭素濃度の変遷があげられる。つまり、琵琶湖高島沖コアには琵琶湖周辺域の古気候変遷が記録されているが、北部大西洋の寒暖変動(ハインリッヒイベントやダンスガード・オシュガーイベント)に対応して偏西風帯の南北シフトがおき、偏西風帯の形状が地球上を移動することで結果的に大西洋の気候変動が伝達(テレコネ

クション)したと考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 10件)

井内 美郎・山田 和芳・里口 保文・芳賀 裕樹・林 竜馬、琵琶湖愛知川ボーリング試料から推定される過去約 4.5 万年間の湖水位変動、第 24 回環境地質学シンポジウム論文集、24 巻、2014、127-128

井内 美郎・大塚 佳祐・里口 保文・芳賀 裕樹・林 竜馬、琵琶湖過去約 4.5 万年間の湖水位変動とその要因、第 25 回環境地質学シンポジウム論文集、25 巻、2015、27-28

鈴木 勇志、琵琶湖愛知川河口沖湖底表層堆積物中の珪藻遺骸群集の深度変化、第 25 回環境地質学シンポジウム論文集、25 巻、2015、23-26

金井 豊・井内 美郎、過去 100 年間における滋賀県琵琶湖の堆積速度と堆積環境、地質調査研究報告、67 巻、2016、67-80

鈴木 勇志・井内 美郎・大塚 佳祐、愛知川河口沖コアの珪藻遺骸群集に基づく琵琶湖の湖水面変動の復元、第 26 回環境地質学シンポジウム論文集、26 巻、2016、79-80

木下 愛海・宮村 笑子・天野 敦子・井内 美郎、霞ヶ浦約 500 年間の水域環境変遷史、第 26 回環境地質学シンポジウム論文集、26 巻、2016、81-84

井内 美郎、福島県猪苗代湖のイベント堆積物、第 26 回環境地質学シンポジウム論文集、26 巻、2016、85-86

永安 浩一・公文 富士夫・井内 美郎・金井 豊・木越 智彦、琵琶湖北湖の表層堆積物コアに含まれる珪藻化石群集の経年的変化、地形、37 巻、2016、379-397

井内 美郎、茨城県霞ヶ浦の堆積史における近世以降の堆積速度変化についての検討、第 27 回環境地質学シンポジウム論文集、27 巻、2017、105-106
Hayashi R., Takahara H., Inouchi Y., Takemura K., Igarashi Y., Vegetation and endemic tree response to orbital-scale climate change in the Japanese archipelago during the last glacial-interglacial cycle based on pollen records from Lake Biwa, western Japan, Review of Paleobotany and Palynology, vol.241, 2017, 85-97

[学会発表](計 30件)

井内 美郎・山田 和芳・里口 保文・芳賀 裕樹・林 竜馬、琵琶湖

愛知川ボーリング試料から推定される過去約 4.5 万年間の湖水位変動、地質汚染 医療地質社会地質学会、2014.11、日本大学文理学部
井内 美郎・山田 和芳・里口 保文・芳賀 裕樹・林 竜馬、琵琶湖愛知川沖試料から推定される過去約 5 万年間の湖水位変動、第四紀学会、2014.9、東京大学柏キャンパス
井内 美郎・山田 和芳・里口 保文・芳賀 裕樹・林 竜馬、約 5 万年間の琵琶湖湖水位変動史、日本地質学会、2014.9、鹿児島東京大学
井内 美郎・山田 和芳・岡村 眞・松岡 裕美・里口 保文・林 竜馬・公文 富士夫・松久 幸樹・岡田 涼祐・川島 公平、琵琶湖高島沖コアの新規年代モデル、地球惑星科学連合、2014.4、パシフィコ横浜
松久 幸樹・松野下 晃治・岡田 涼祐・川島 公平・山田 和芳・井内 美郎・公文 富士夫・岡村 眞・松岡 裕美・里口 保文・林 竜馬、琵琶湖高島沖ピストンコア (BWK12-2) の粒度、全炭素・全窒素濃度に示される過去約 4.5 万年の気候変動史、地球惑星科学連合、2014.4、パシフィコ横浜
井内 美郎・奥村 由香・行木 勝彦、日本各地における古地震の震度復元、地球惑星科学連合、2014.4、パシフィコ横浜
Inouchi Y., Yamada K., Okamura M., Matsuoka H., Satoguchi y., Wet-Cold winter monsoon along the Japan Sea coast area and a 6-kyr climate cycle in the sediment of Lake Biwa, Japan, during the last 45ka, XIX INQUA 2015.7, Nagoya
井内 美郎・大塚 佳祐・里口 保文・芳賀 裕樹・林 竜馬、琵琶湖過去約 4.5 万年間の湖水位変動とその要因、第 25 回環境地質学シンポジウム、2015.11、日本大学文理学部
鈴木 勇志、琵琶湖愛知川河口沖湖底表層堆積物中の珪藻遺骸群集の深度変化、第 25 回環境地質学シンポジウム、2015.11、日本大学文理学部
井内 美郎・山田 和芳・里口 保文・芳賀 裕樹・林 竜馬・岡村 眞・松岡 裕美、過去約 5 万年間の琵琶湖古気候変遷史、日本地質学会、2015.9、信州大学工学部
井内 美郎・山田 和芳・岡村 眞・松岡 裕美・里口 保文、琵琶湖湖底堆積物に記録されたハインリッヒイベントと冬季モンスーン活動、地球惑星科学連合 2015 年大会、2015.5、幕張メッセ
井内 美郎・鈴木 勇志、猪苗代湖

湖底のハイパーピクナル流堆積物、地球惑星科学連合 2016 年大会、2016.5、幕張メッセ
井内 美郎・寺田圭希、琵琶湖北湖東岸域の表層堆積物分布を基にした「含砂率 古水深」変換式、地球惑星科学連合 2016 年大会、2016.5、幕張メッセ
大塚 佳祐・寺田圭希・井内 美郎、含砂率変遷から見た琵琶湖過去 6 万年間の古水位変遷史、地球惑星科学連合 2016 年大会、2016.5、幕張メッセ
鈴木 勇志・井内 美郎・大塚 佳祐・寺田圭希、琵琶湖愛知川河口沖湖底表層堆積物中の珪藻遺骸群集の深度変化、地球惑星科学連合 2016 年大会、2016.5、幕張メッセ
鈴木 勇志・井内 美郎・大塚 佳祐・寺田圭希、琵琶湖愛知川河口沖コアの珪藻遺骸群集と湖水面変動との関係、日本地質学会第 123 年学術大会、2016.9、日本大学文理学部
井内 美郎・鈴木 勇志、猪苗代湖湖底堆積物中のイベント堆積物の起源と堆積機構、日本地質学会第 123 年学術大会、2016.9、日本大学文理学部
大塚 佳祐・井内 美郎、琵琶湖における過去約 6 万年間の古湖水面変遷史、日本地質学会第 123 年学術大会、2016.9、日本大学文理学部
鈴木 勇志・井内 美郎・大塚 佳祐、愛知川河口沖コアの珪藻遺骸群集に基づく琵琶湖の湖水面変動の復元、第 26 回環境地質学シンポジウム、2016、日本大学文理学部
木下 愛海・宮村 笑子・天野 敦子・井内 美郎、霞ヶ浦約 500 年間の水域環境変遷史、第 26 回環境地質学シンポジウム、2016、日本大学文理学部
21 井内 美郎、福島県猪苗代湖のイベント堆積物、第 26 回環境地質学シンポジウム、2016、日本大学文理学部
22 大平 亮・井内 美郎、広島県三原市沖の砂浪移動速度、日本堆積学会 2017 年松本大会、2016、信州大学理学部
23 大平 亮・井内 美郎、備前瀬戸の海域沖積層層序についてー音波探査記録の再検討ー、JpGU-AGU Joint Meeting 2017、2017、幕張メッセ
24 井内 美郎・天野敦子、茨城県霞ヶ浦のコカ約 500 年間の環境変遷、JpGU-AGU Joint Meeting 2017、2017、幕張メッセ
25 鈴木 勇志・井内 美郎・大塚 佳祐、琵琶湖愛知川河口沖コアの珪藻遺骸群集に基づく湖水位変動の予察

- 的な復元、JpGU-AGU Joint Meeting 2017、2017、幕張メッセ
- 26 小田啓邦・山本裕二・井内美郎、Reconstruction of paleosecular variation from Lake Biwasediments pass-through measurements and SQUID microscopy、JpGU-AGU Joint Meeting 2017、2017、幕張メッセ
- 27 井内 美郎・天野 敦子・木下 愛海・宮村 笑子、霞ヶ浦堆積史における近世以降の堆積速度パラドックス、日本地質学会第 124 年学術大会、2017、愛媛大学
- 28 鈴木 勇志・井内 美郎・大塚 佳祐・川上 薫、珪藻化石群集に基づく約 4.0~1.0 万年前の愛知川河口沖コアの珪藻遺骸群集に基づく琵琶湖湖水位変動の予察的な復元、日本地質学会第 124 年学術大会、2017、愛媛大学
- 29 井内 美郎、茨城県霞ヶ浦の堆積史における近世以降の堆積速度変化についての検討、第 27 回環境地質学シンポジウム、2017、日本大学文理学部
- 30 井内 美郎・天野 敦子・木下 愛海・宮村 笑子、霞ヶ浦堆積史における堆積速度の相違解決に向けた試案、日本堆積学会 2018 年学術大会、2018、秋田大学

〔その他〕

ホームページ

<https://lake-sediment.jimdo.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井内 美郎 (INOUCHI Yoshio)

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号： 00294786