

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05321

研究課題名(和文) 湖沼・内湾堆積物の磁気特性に基づく完新世の環境変動の研究

研究課題名(英文) Reconstruction of Holocene environmental changes based on magnetic properties of lacustrine and inner-bay sediments

研究代表者

林田 明 (Hayashida, Akira)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：30164974

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：完新世の高精度編年と環境変動の高精度復元の進展を目指し、日本の湖沼・内湾堆積物について残留磁化とその安定性、磁性鉱物含有量と保磁力分布、熱磁気特性の検討を行った。青森県小川原湖や北海道網走湖など、汽水域の堆積物は還元的続成作用の影響により初生磁化や碎屑性磁性粒子の情報が失われていたが、沖縄県羽地内海と塩屋湾では等温残留磁化の高保磁力成分を指標として赤色土壌の流入が確認された。礼文島久種湖、秋田県一ノ目潟、大分県別府湾の堆積物には安定な残留磁化が保存されており、日本列島のほぼ全域での古地磁気永年変化の統合が可能になった。

研究成果の概要(英文)：Intending to contribute high-resolution chronology and environment study, we investigated magnetic properties of the Holocene lacustrine and inner-bay sediments, including remanent magnetization, variation of magnetic concentration, coercivity distribution and thermomagnetic properties. Although the sediments from brackish-water basins, Lake Ogawara and Lake Abashiri, had suffered loss of magnetic minerals possibly due to reductive diagenesis, high-coercivity magnetic minerals, hematite and goethite, were enhanced in the topmost sediment from the Haneji Inner-Bay and the Shioya Bay on Okinawa Island, suggesting significant runoff of red soils from the watershed. On the other hand, sediments from Ichi-no-megata, Beppu Bay and a fresh-water interval of Lake kushu are characterized by stable remanent magnetization. These results are correlative to the standard record from Lake Biwa, representing regional records of Holocene paleomagnetic secular variation of the Japanese Islands.

研究分野：古地磁気学

キーワード：古地磁気永年変化 環境磁気学 磁性鉱物 初期続成作用 土壌流出

### 1. 研究開始当初の背景

一般に海底や湖底の堆積物には微量の磁性鉱物が含まれており、それらが示す磁気特性が多様な研究に利用されている。まず、堆積物の保持する残留磁化が過去の地球磁場の記録として磁気層序やテクトニクスの研究に広く利用され、さらに堆積物の供給源や運搬経路、水域の環境の変化が磁性鉱物の種類や粒径、含有量などに反映されるため、それらの指標が過去の環境変動を復元する手がかりとして用いられる。これまで、国際深海掘削計画などで採取された深海底堆積物や陸上の新生代の地層については地球磁場逆転史にもとづく磁気層序の適用が一般化しており、また氷期-間氷期サイクルやダンスガード-エシュガー・サイクルなどの気候変動が磁気特性の変化として表れる例が報告されている。

地球磁場の逆転より短い時間スケールの変動である地磁気永年変化に着目すれば、同様の研究手法を完新世の堆積物にも適用することができる。近年、日本列島のいくつかの湖沼で年縞堆積物の存在が確認され、また高精度の編年や詳細な環境変動の復元を目的として多数のコア試料が採取されるようになった。そこで本研究において、北海道から沖縄まで、全国の湖沼や内湾で採取されたコア試料を対象に、古地磁気永年変化の記録と環境変動を反映する磁気特性の変化を検出する試みを行うことにした。

日本列島における完新世の古地磁気永年変化の記録として、琵琶湖のコア試料から得られた標準曲線や西南日本の考古地磁気方位が知られている。しかし、それらが適用できる地理的範囲や年代軸の信頼性、さらに東アジアの他の地域との対比について更なる検討が必要である。また、湖沼や内湾の堆積物について磁気特性と環境変化との対応を明らかにすることは、これまで主として岩相や微化石などの解析に依拠していた土地利用や植生変化、津波堆積物の認定などの課題に新しい視点を導入することに繋がる。

### 2. 研究の目的

堆積物から古地磁気永年変化の記録を得るためには、初生磁化を担う磁性鉱物の変質せず保存されていることが必要である。しかし、汽水域の堆積物では、還元的環境下の初期続成作用によりマグネタイトなどの酸化鉄が溶解し硫化鉄等に変化する可能性が高い。そこで、(1)青森県小川原湖を主な対象として、汽水湖の堆積物における還元的続成作用の影響を確認することにした。

一方、フェリ磁性を示すマグネタイトに比べ、ヘマタイトなどの反強磁性鉱物は還元的続成作用の影響を受けにくいとされている。琉球列島では農耕の拡大や土地利用の変化に伴う赤黄色土(国頭マージ)の流出が起っており、そこにはヘマタイトやゲーサイトが含まれている可能性が高い。そこで、(2)

沖縄県羽地内海と塩屋湾のコア試料を対象に、等温残留磁化(IRM)の保磁力分布や熱磁気特性を指標として磁性鉱物種を特定し、集水域の山地や耕作地の表層土壌との対応を明らかにする。

古地磁気永年変化の復元に関しては、予察的な研究によって、火山湖である秋田県一ノ目湖の堆積物が安定な残留磁化を保持していることが明らかになっている。そこで、その測定を継続するとともに、やはり火山地帯を主な供給源とする大分県別府湾のコア試料について残留磁化の測定を行い、(3)一ノ目湖、琵琶湖、別府湾の結果をもとに日本列島の古地磁気永年変化を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究に用いた堆積物試料は図1に示す6地域で採取されたものである。残留磁化および磁気特性の時代的变化を検討した試料は、湖底からの掘削あるいはピストン・コアリングによって採取されたものであり、約100cmの長さのUチャンネル試料を作成し、超伝導磁力計によるパススルー測定を行った。これに加え、小川原湖の湖底から得たドレッジ試料について、堆積物の供給源や汽水環境下の続成作用の影響を検討するためにIRMの段階的付加と熱消磁実験などを行った。また、羽地内海と塩屋湾のコア最上部、および集水域の山地や耕作地から採取した表層土壌の試料についても、同様の岩石磁気学的検討を行った。

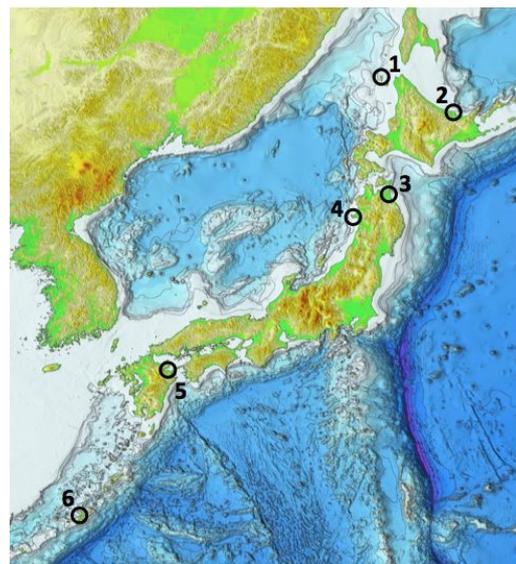


図1. 本研究の対象とした湖沼と内湾。  
1: 礼文島久種湖, 2: 北海道網走湖, 3: 青森県小川原湖, 4: 秋田県一ノ目湖, 5: 大分県別府湾, 6: 沖縄本島羽地内海・塩屋湾

### 4. 研究成果

(1) 小川原湖の湖底表層堆積物の磁気特性  
古地磁気・岩石磁気的手法により汽水域の環境変遷史を検討するためには、現在の水質環境と水底表層の磁性鉱物の特徴について理解を深める必要がある。そこで、青森県小

川原湖全域からドレッジ試料として採取した表層堆積物の磁気特性を明らかにし、地理的な分布および湖水の成層構造との対応を検討した。

まず、初磁化率と非履歴残留磁化 (ARM) の測定によって、沿岸部の砂質堆積物で磁性鉱物含有量が大きいこと、また強磁性鉱物の保磁力を反映する ARM の着磁および消磁曲線が地域ごとに異なるパターンを示すことが明らかになった。この結果は、砕屑物の供給源の判別に保磁力分布の特徴が有効であることを示す。

一方、水温躍層下の水深 10m 以深に分布する黒色の泥質堆積物では、深部に向かって磁性鉱物濃度が減少する傾向が見られた。ただし、塩分濃度が増加する水深 16m 以深の試料では ARM 強度の上昇が認められた。有機物に富む浅海堆積物のコア試料では還元的初期続成作用によって酸化鉄の溶解が進行することが知られているが、小川原湖の無酸素状態の湖底においても同様の変化が起きていると考えられる。さらに、さらに試料採取後に起こる磁気特性の変化として、約 3 年間の冷蔵保存中、特に水深 16m 以深の試料の ARM 強度が大きく減少していることが判明した。このことから、最深部で ARM を担っていた磁性粒子は還元環境下で準安定な硫化鉄であることが示唆されるが、濁度の高い深水層の懸濁粒子が供給源となっている可能性もある。磁性鉱物種と起源の確認のためにはさらに詳細な検討が必要であるが、今回の研究によって、湖底表層堆積物の磁気特性が汽水湖の成層構造に強く依存することが示された。

(2) 羽地内海・塩屋湾における赤色土壌流入  
南西諸島などで見られる土壌流出の歴史の変遷について、岩石磁気・古地磁気の手法による検討を行った。沖縄本島北西部の内湾である羽地内海および塩屋湾の海底から採取された全長約 3m のコア試料を磁気測定の対象とし、さらに内湾周辺の山地や耕作地に露出する土壌についても磁気特性を明らかにした。

まず、羽地内海と塩屋湾のいずれのコアにおいても、磁性鉱物含有量の指標となる初磁化率、ARM と IRM の強度が表層から下位にむかって減少し、特に ARM 強度はコアの中部で急激に減少することが明らかになった。また、IRM の高保磁力成分 (HIRM) がコアの最上部で増加しており、特に羽地内海のコアでは堆積物の色相の彩度を示す色度 ( $a^*$ 、 $b^*$ ) との顕著な相関が認められた。磁気特性が異なる層準から選んだ代表的な試料について IRM の段階熱消磁実験を行った結果、赤色土壌の混入が示唆される最上部の堆積物には高保磁力の磁性鉱物としてゲーサイトとヘマタイトが含まれることが判明した。また、コア中部での磁性鉱物含有量の急変に関しては、還元的環境で起こる初期続成作用によって細粒のチタノマグネタイトが溶解消失した

可能性が高い。

さらに、羽地内海と塩屋湾の集水域の山地と耕作地から採取した表層土壌について IRM の段階的付加と熱消磁実験を行ったところ、いずれの試料にも高保磁力成分が確認され、ゲーサイトとヘマタイトの存在が示唆された。この結果は、内湾堆積物の表層部における HIRM の増加が赤色土壌の流入によるという推定を支持するものである。羽地内海と塩屋湾のコアから報告された放射性炭素年代を参照すれば、羽地内海では約 550~600 year BP、塩屋湾では約 275~325 year BP から赤色土壌の流入が顕著になったと推定される。

(3) 一ノ目潟および別府湾から得られた古地磁気永年変化の記録

近年、内湾や汽水湖、火口湖などの堆積物の層序や編年についての知見が蓄積されるようになり、堆積物に記録された古地磁気永年変化やそれを利用した高精度磁気層序の研究にも進展を期待できるようになった。本研究では年縞が確認されている小川原湖や網走湖の堆積物について磁気特性を検討したが、還元的続成作用により残留磁化を担う磁性鉱物の溶解や変質が進行していることが確認された。そこで、火山岩由来の磁性鉱物に富むと考えられる爆裂火口湖の一ノ目潟および火山地帯を後背地とする別府湾の最奥部、さらに汽水から淡水環境へと推移した歴史を持つ久種湖の堆積物を用いて完新世古地磁気永年変化の復元を試みた。

一ノ目潟では 2006 年と 2013 年にシンウォール・サンプラーを用いたコアリングによって年縞を伴う泥質堆積物と砂質タービダイトを含むコア試料 IMG06 および IMG13 が得られており、本研究で IMG13 コアの残留磁化の測定とデータ解析を進めた。U チャネル試料とキューブ試料の段階交流消磁の結果、ほとんどの層準で初生的と考えられる安定な残留磁化が確認され、さらに複数のコア間で調和的な変動を見出された。ただし、一部のタービダイト層の残留磁化方位は複数コア間で一致せず、コア採取時に変形を被った可能性が認められた。

別府湾では北西部の堆積物が信頼性の高い古地磁気の記録を保持していることが知られていたが、近年、南西部の別府湾最深部で複数のコアが採取され、高精度対比と編年の研究が進展した。これらのコアのうち、2015 年に採取された BP15-1 の上部 9 m と BP15-2 の上部 18 m、さらに 2008 年に採取された BP09-4 および BP09-5 の U チャネル試料について、残留磁化の測定を行った。これらの試料の段階交流消磁の結果、安定な磁化成分が確認され、その方位の変動は複数のコア間で調和的であった。ただし、一部のセクション境界および泥質堆積物に挟在するイベント層では磁化方位に大きな偏りが見られ、試料採取時に堆積物が擾乱を受けた可能性が示唆された。

一ノ目潟と別府湾から得られた残留磁化方位の変動について、それぞれ放射性炭素年代と火山灰の対比に基づく年代モデルを参照し、琵琶湖のコア試料から報告されている古地磁気永年変化曲線および西南日本の考古地磁気方位のデータと比較したところ、特に過去3,000年間の偏角と伏角の変動についてよく一致することが判明した。また、久種湖のコアでは、汽水域で堆積した下半部に続成作用の影響が見られたが、約5000年前の淡水化後の堆積物からはやはり琵琶湖の記録と調和的な残留磁化方位の変動が認められた。このように北海道から九州までの地域で調和的な古地磁気方位の変動が確認され、日本列島のほぼ全域で古地磁気永年変化の記録を統合する見通しが得られた。

#### 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4件)

L. Chang, A. P. Roberts, D. Heslop, A. Hayashida, J. Li, X. Zhao, W. Tian and Q. Huang, Widespread occurrence of silicate-hosted magnetic mineral inclusions in marine sediments and their contribution to paleomagnetic recording, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, Vol. 121, pp. 8415-8431, 2016, DOI: 10.1002/2016JB013109 [査読有]

L. Chang, C. T. Bolton, M. J. Dekkers, A. Hayashida, D. Heslop, W. Krijgsman, K. Kodama, G. A. Paterson, A. P. Roberts, E. J. Rohling, Y. Yamamoto and X. Zhao, Asian monsoon modulation of nonsteady state diagenesis in hemipelagic marine sediments offshore of Japan, *Geochem. Geophys. Geosys.* Vol.17, pp.4383-4398, 2016, DOI: 10.1002/2016gc006344 [査読有]

E. Mbua, S. Kusaka, Y. Kunimatsu, D. Geraads, Y. Sawada, F. H. Brown, T. Sakai, J.-R. Boissarie, M. Saneyoshi, C. Omuombo, S. Muteti, T. Hirata, A. Hayashida, H. Iwano, T. Danhara, R. Bobe, B. Jicha and M. Nakatsukasa, *Kantis: A new Australopithecus site on the shoulders of the Rift Valley near Nairobi, Kenya*, *J. Human Evolution*, Vol.94, pp. 28-44, 2016, DOI: 10.1016/j.jhevol.2016.01.006 [査読有]

A. Hayashida, R. Nakano, A. Nagashima, K. Seto, K. Yamada and H. Yonenobu, Magnetic properties of surficial sediments in Lake Ogawara on the Pacific coast of northeastern Japan: Spatial variability and correlation with brackish water stratification, *Earth, Planets and Space*, Vol.67, 171, 2015,

DOI: 10.1186/s40623-015-0343-7 [査読有]

[学会発表](計17件)

N. Yamaguchi, A. Hayashida and "Comparative Studies on Ancient American Civilizations" Project Members, Paleomagnetic secular variation and environmental magnetic records for the last 600 years from Lake Petexbatun sediments in Maya lowlands, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ (千葉), 2017年5月.

林田 明, 増田富士雄, 聚楽土の磁気特性: 相国寺境内発掘調査地における予察の検討, 第140回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 九州大学 (福岡), 2016年11月 A. Hayashida, K. Anraku, M. Ohno, M. Kuwae and K. Takemura, Sedimentary record of the Holocene paleomagnetic secular variation from Beppu Bay, Southwest Japan, JpGU Meeting 2017, 幕張メッセ (千葉), 2016年5月

林田 明, 環境磁気研究からみた小川原湖の底質環境, 汽水域研究会 2015年(第7回)大会, 東北大学 (仙台), 2015年10月 A. Hayashida, K. Anraku, K. Yamada, K. Gotanda, Y. Shinozuka, T. Haraguchi, H. Yonenobu and I. Kitaba, A Holocene paleomagnetic secular variation record from the Ichi-no-megata mar, northeast Japan, XIX INQUA Congress (Nagoya), 2015年7月

Y. Takanashi, A. Hayashida, K. Yamada, K. Gotanda and H. Yonenobu, Magnetic properties of inner-bay sediments of Okinawa Island: influence of red soil erosion and reductive diagenesis, XIX INQUA Congress (Nagoya), 2015年7月

A. Hayashida, H. Kitagawa and K. Takemura, Chronology of Lake Biwa sediments for the last 50 kyrs: integration of radiocarbon ages, tephrochronology and environmental magnetic records, XIX INQUA Congress (Nagoya), 2015年7月

高梨祐太郎, 林田 明, 山田和芳, 五反田克也, 米延仁志, 沖縄県羽地内海堆積物の残留磁化: 磁性鉱物種と続成作用の検討, 日本地球惑星科学連合 2015年大会(幕張), 2015年5月

安樂和央, 林田 明, 山田和芳, 篠塚良嗣, 米延仁志, 五反田克也, 原口強, 秋田県一ノ目潟のコア堆積物に保存された残留磁化, 日本地球惑星科学連合 2015年大会(幕張), 2015年5月

林田 明, 北川浩之, 竹村恵二, 過去5年間琵琶湖の湖底堆積物の編年: 放射性炭素年代・火山灰層序・環境磁気学的指標の統合, 日本地球惑星科学連合 2016年大会(幕張), 2015年5月

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

林田 明 (HAYASHIDA, Akira)  
同志社大学・理工学部・教授  
研究者番号：30164974

### (2) 連携研究者

福間 浩司 (FUKUMA, Koji)  
同志社大学・理工学部・准教授  
研究者番号：80315291

### (4) 研究協力者

安樂 和央 (ANRAKU, Kazuhiro)  
同志社大学大学院・理工学研究科・大学院  
生  
高梨 祐太郎 (TAKANASHI, Yutaro)  
同志社大学大学院・理工学研究科・大学院  
生