

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 28 日現在

機関番号：10101  
 研究種目：挑戦的萌芽研究  
 研究期間：2012～2012  
 課題番号：24654158  
 研究課題名（和文） 過去数千年間の津波襲来履歴の新復元法—汽水湖年縞堆積物のストロンチウム同位体比で  
 研究課題名（英文） A new reconstructing method of Tsunami attack during the last several thousand years by Sr ratio measurements in a varve of a brackish lake  
 研究代表者  
 豊田 和弘 (TOYODA KAZUHIRO)  
 北海道大学・地球環境科学研究科（研究院）・准教授  
 研究者番号：10207649

研究成果の概要（和文）：青森県東岸に位置する小川原湖の中央部で採取されたコア試料中から、堆積当時の湖水の古塩分濃度の指標であるストロンチウム同位体比を保存した相を抽出して、過去の汽水性の変動を連続的に復元することで、過去 5 千年間の大津波襲来履歴を再現することができるかどうか、検討した結果、小川原湖の場合には流入する河川水中のストロンチウム濃度が低く、汽水性の変動を大きく反映しないという問題点があることが分かった。

研究成果の概要（英文）：This research is to pursue the possibility in reconstructing the history of tsunami attack during the last several thousand years based on Sr isotopic data extracted from an annually laminated sediment core taken in center part of Lake Ogawara in Aomori Prefecture. The Sr isotope could be served as proxy of paleosalinity of environmental waters. As for the Lake Ogawara, the method is problematic because the variations of Sr isotope in the sediment little reflect the past paleosalinity fluctuation in the bottom water. This is due to the low Sr concentration in the river flowing to the lake.

交付決定額

(金額単位：円)

|       | 直接経費    | 間接経費    | 合計        |
|-------|---------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：年縞堆積物、ストロンチウム同位体比、津波、汽水湖、塩分濃度

## 1. 研究開始当初の背景

青森県東岸に位置する小川原湖（面積 63.2 km<sup>2</sup>）は、水深 16-18m に塩分躍層をもつ汽水湖である。この湖の最大水深は 26m で、表層水中の塩分濃度は 1‰だが、躍層下の湖水中のそれは 10‰で高い比重である。2009 年秋、小川原湖中央部の水深 26m の地点にて、長さ約 10m と約 20m の堆積物コア

などが計 5 本掘削された。このコアの深度 0-10m には明瞭な縞状葉理（年縞；1年で平均約 2mm 厚）の存在が確認され、年縞計測、炭素 14 年代及びテフラ層序により、過去 1 万年間の堆積年代が数十年未満の確度で復元された貴重な連続記録媒体といえる。

2010 年冬には、日本原子力機構での中性子放射化即発  $\gamma$  線測定により約二十試料の

バルク試料中のホウ素の定量を行なった結果、内湾的な環境で堆積した下層ではホウ素含有量が約 60 ppm であるのに対して、上層の汽水湖の堆積物ではホウ素含有量の大部分の測定値が 40-50 ppm だが、数点では海成層に近い 60 ppm 近い値を示した。また、2011 年 6 月 3 日に小川原湖漁業組合の協力の元、小川原湖の水質調査をおこない、インターネット上で公表されている公的機関による測定値に比べて、2011 年 3 月 11 日の巨大津波による高瀬川から海水の大規模逆流によると思われる、塩分躍層の上昇と底層の塩分濃度の増加が、わずかだが存在することを確認した。

## 2. 研究の目的

小川原湖の年稿堆積物コア試料中の、例えば AD869 年の貞観地震のような巨大津波の起ったことが判明している年代層周辺の堆積物を数年毎の分解能で連続的に分取して、その試料から堆積当時の湖底直上の湖水中の塩分濃度の指標になりうる化学成分を分別抽出し、過去の湖底直上の湖水中の塩分濃度変化を復元する事に挑戦することが本研究の目的である。もしこれらの測定で過去のスパイク状の塩分濃度の増加が検出できたら、それはすなわちこの地域を襲った大津波による海水の大規模な侵入を地球化学的に検出できたことになる。

これまで、古塩分濃度のプロキシー（指標）として（1）イライト粘土鉱物の結晶格子に捉えられたホウ素の含有量；（2）粘土鉱物中のイオン交換成分中のストロンチウム／カルシウム濃度比；（3）炭酸塩成分中のストロンチウム同位体比、が報告されている。これらがプロキシーになる根拠として、（1）海水中のホウ素濃度が 4.5ppm と高い事；（2）海水中のストロンチウム／カルシウム濃度比が 0.0091 なのに対して、

地殻中のそれが 0.0056 と異なる事；（3）現代の大洋の海水中のストロンチウム濃度は 8ppm と高く、その同位体比が 0.7091 前後なのに対して、日本の陸水中のストロンチウム濃度は 1 ppm 以下で同位体比も 0.703-0.706 の範囲と異なる事が挙げられる。

本研究では、（1）海成層試料から海水成分を保存しているストロンチウム同位体比の成分を分別抽出することが可能かどうかを検討する；（2）（1）の抽出方法が可能であることが判明した場合には、AD869 年の貞観地震などの巨大歴史津波の堆積年代に相当するいくつかの層の前後数十 cm について連続的に Sr 同位体比を測定する、の 2 点を主な目的とした。

## 3. 研究の方法

同位体比分析法について。テシエの抽出法 (Tessier et al., 1979) を用いて堆積物コア試料から、間隙水、粘土鉱物中の交換イオン成分、炭酸塩成分、鉄マンガン水酸化物成分、有機物成分を抽出した。珪酸塩成分が残渣として残る。抽出液は、全てウルトラピュア級の試薬を希釈して調整したもので、北大院地球環境に既設のクリーンルーム内で、ミリ Q 水、1 M 酢酸アンモニウム、1 M 酢酸アンモニウム・0.5M 酢酸アンモニウム (pH = 5.0)、0.04M 塩酸ヒドロキシルアミン・25% 酢酸、および 30% 過酸化水素水・0.01M 硝酸 (pH = 2.0) を用いた。これらの抽出液から、研究室のクリーンルーム内で、Dowex AG50W-X8 陽イオン交換樹脂と Eichrom 社製 Sr 樹脂とを併用して、硝酸系溶離液でストロンチウムを単離し、北海道大学理学部の X 線分析室などで管理運営している表面電離型質量分析計 MAT262 での測定に供した。標準物質 SRM987 のストロンチウム 87/86 比は

0.71022±0.00007 の測定値が得られた（保証値は 0.71034±0.00026）。

分析試料は OGAR09-2 コアの深度 2.7、4.5、5.3、11.5、13、15.1 m の深度から生のまま分取した試料 2 g を上記の分別抽出操作に供した。このコアの深度 0-10m には明瞭な縞状葉理がありコア深度 2.7 m、4.5 m、および 5.3 m の試料の堆積環境は汽水性なのをたいして、コア深度 10m 以深は海成層であり、深度 11.5 m、13 m、および 15.1 m の堆積環境は湾岸域となる。抽出液中の化学組成は ICP 発光分析で測定を行なった。

#### 4. 研究成果

まず、海成層の 3 試料（コア深度 10m 以深）について、同位体比分析を行なった。間隙水中のストロンチウム 87/86 比は 0.7090-0.7095 の範囲で、粘土交換イオン成分中のそれは 0.7091 前後と、海水の同位体比の値とほぼ同じだった。現代の大洋の海水中のストロンチウム 87/86 比は 0.70906±0.00033 (Faure, 1986) と報告されている。また抽出されたストロンチウムの量が少なく、再測定するため、値は記載しないが、炭酸塩成分、鉄マンガン水酸化物成分、有機物成分についても同様な値が得られている。海成層でも 5 千年以上前に堆積しているので、間隙水中の海水成分はかなり抜けて、ストロンチウム 87/86 比は海水の値から変化しているだろうと仮定して、変化のない成分を抽出することで、堆積当時の値を保存している成分を探索しようと考えていたが、その仮定がこのコア試料には当てはまらなかった。

そこで次に、汽水層の 3 試料（コア深度 0-10m）について、同位体比分析を行なった。汽水層試料中の間隙水中のストロンチウム 87/86 比は 0.7088-0.7090 の範囲で、海成層よりも少し河川水側によっているが、海

水中の同位体比と余り変わらない。粘土交換イオン成分、炭酸塩成分、鉄マンガン水酸化物成分、有機物成分の測定値についてもまだ誤差が大きく、再測定してみないと結論できないが、大まかには似たような値が得られている。ただし、炭酸塩成分、鉄マンガン水酸化物成分、有機物成分の測定値については少し離れた測定値もあるが、炭酸塩成分については陸起源の炭酸塩の混入の影響が、有機物成分については珪酸塩成分からの混入、マンガン酸化物成分については初期化学的続成作用による酸化還元反応に伴う移動が想定されるため、鉄水酸化物成分の同位体比の値が堆積時の湖底水中のストロンチウム同位体比の保存担体としてもっとも有望だと考えている。

なぜ、汽水層の間隙水のストロンチウム同位体比が海成層のそれとほとんど変わらない理由としては、予想よりも、小川原湖に流入する 4 つの河川の河口付近の試料のストロンチウム濃度が低く、小川原湖に侵入した海水が河川水で数倍薄められても、ストロンチウム同位体比が目立つほど低くないためと考えた。実際、小川原湖に流入する 4 つの河川の河口付近の試料のストロンチウム濃度は 0.06 ppm と低く、ストロンチウム同位体比は 0.7054 付近と海水とは大きく離れていても、計算上大きく影響しないことになる。

また、この六つのコア試料中の間隙水成分のストロンチウム/カルシウム濃度比をみても、汽水層の 3 試料（コア深度 0-10m）は 0.001-0.008 なのをたいして、海成層の 3 試料（コア深度 10m 以深）は 0.009-0.017 というように、値に大きなバラつきはあるにしても、陸水と海水の特徴をそれぞれ反映していることから、海成層中に浸透した海水はこの 5 千年間湖底になっ

ても、ほぼ移動せずに閉じ込められていたと考えられる。現在、汽水層（コア深度0-10m）中の他の層準の試料中の間隙水の化学組成から、もっともストロンチウム87/86同位体比の低そうな試料を二つ選び出し、抽出をおこない、同位体比測定をしようとしている。また、本報告書では値が未記載の成分についても精度を上げて再測定することで、本研究目的（1）を果たしたいと考えている。

とはいえ、本研究により、小川原湖中央部のコアは、本研究目的（2）を遂行するには、あまり適さない試料だと結論付けてもいいと思う。小川原湖に流入する河川水が軟水のため、ストロンチウムの濃度も低く、湖底水中のストロンチウム同位体比の変動が生じるのは、現在よりもかなり淡水の状態に近づいた時代のみであるからである。また、水深16-18mの塩分躍層付近での水深の湖底で採取されたコアであれば、ストロンチウム同位体比の変動は大きいだろうが、コア断面には明瞭な縞状葉理（年稿）は見られず、高精度な堆積年代推定は難しいだろう。逆に言うと、大陸国家のような河川水が硬水の地域における汽水は本手法が有効な系であることが推測できる。

また、少量の海水の流入で系中のストロンチウム同位体比が大きく変動することから、海水準よりも数mから十数m高い湖水準を持つ海岸に近い湖沼のコア試料から、津波襲来履歴を復元する手法として有望だと考えており、次の研究課題として考えている。

#### 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3件）

(1) Tsugeki N. K., Agusa T., Ueda S., Kuwae M., Oda H., Tanabe S., Tani Y., Toyoda K., Wang W.L., Urabe J., Eutrophication of mountain lakes

in Japan due to increasing deposition of anthropogenically produced dust, ECOLOGICAL RESEARCH, 査読者有、27, 2012, 1041-1052、10.1007/s11284-012-0984-y

(2) Toyoda K., Tebo B.M., The effect of Ca<sup>2+</sup> ions and ionic strength on Mn(II) oxidation by spores of the marine Bacillus sp. SG-1., GEOCHIMICA ET COSMOCHIMICA ACTA, 査読者有、101, 2013, 1-11, 10.1016/j.gca.2012.10.008.

(3) Kuwae M., Tsugeki N. K., Agusa T., Toyoda K., Tani Y., Ueda S., Tanabe S., Urabe J., Sedimentary records of metal deposition in Japanese alpine lakes for the last 250 years: Recent enrichment of airborne Sb and In in East Asia, Science of The Total Environment, 査読者有、442, 2013, 189-197, 10.1016/j.scitotenv.2012.10.037

〔学会発表〕（計1件）

豊田和弘, Airborne radioactive contamination in urban areas from the nuclear accident in Fukushima, the Second International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE) 2012(招待講演), 2012年07月21日~2012年07月21日, イスラム大学(インドネシア)

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

取得状況（計0件）

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

豊田 和弘 (TOYODA KAZUHIRO)

北海道大学・地球環境科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号: 10207649

##### (3) 連携研究者

米延 仁志 (YONENOBU HITOSHI)

鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・准教授

研究者番号: 20274277