

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月22日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22651066

研究課題名（和文）地球化学的方法による津波痕跡の検出および海水流入量の評価

研究課題名（英文）Detection of tsunami flooding and geochemical estimates of seawater influx

研究代表者

箕浦 幸治（MINOURA KOJI）

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：10133852

研究成果の概要（和文）：海跡湖沼に流入した海水は、湖沼水と反応して炭酸塩を沈澱する。また、海水は比重の違いで湖沼底に集積し易く、津波堆積物に海水成分が沈着する。こうした特性を利用して古津波による湖上流が残した海水成分を下北半島の海跡湖沼群の堆積物中に検出し、津波侵入の可能性を確認することができた。津波の湖上現象を化学量論的に解明する試みはこれまで皆無であり、この試みの先に、浸水域を正確に評価する常套的技術の確立が達成されると期待している。

研究成果の概要（英文）：Lacustrine deposits of the Pacific coast of northeast Japan contain intercalated thin beds of well-sorted medium sand. Examination of the deposits from a coastal site of Sanriku has revealed that sand grains are of marine origin and are fractions of deposits in marshy ponds, transported from the littoral environment by a great flooding of seawater. The mode of sedimentation shown in the thin beds of sand implies that they were deposited by tsunamis, each with a maximum rise of 1 m or more above sea level.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成22年度	2,200,000	0	2,200,000
平成23年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	270,000	3,370,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 ・ 自然災害科学

キーワード：津波、湖上流、海水氾濫、海水陸水混合、化学痕跡

## 1. 研究開始当初の背景

津波堆積物の検出により、世界各地の海岸域において、過去の津波襲来時期やその規模が明らかにされてきた。しかし、津波堆積物の形成は、津波自体の流体力学的特性はもとより、堆積物供給源と運搬経路に依存している。その結果、津波堆積物の分布様式は局所性が非常に強く、その分布範囲から津波の浸

水域を明らかにすることには困難が伴う。また、近年発生した津波の現地観測によれば、津波の浸水範囲は津波堆積物の分布限界よりも内陸に広がる場合があることが報告されている。海水の侵入域が明らかに特定できれば、津波発生モデルの精度が向上し、津波の発生周期の確定により、津波災害の予知・回避に向けて大きく貢献するものと期待

される。海水湖上限界の高精度検出法の確立が真に求められる所以である。

1983年日本海中部地震津波の観測を通して、海水侵入の化学的痕跡が、堆積物分布域の更に陸側にも見いだされる可能性が化学反応論に基づいて予測された (Minoura and Nakaya, 1991)。この予測は、堆積作用を生じなかった浸水域についても地球化学的方法により津波を痕跡として見いだせることを示唆しており、更には、堆積物移動を伴わない小さな規模の津波についてもその痕跡を検出できる可能性を示している。化学反応の痕跡に着目した古津波検出の方法論的な試みは、しかしながら、下北半島の海跡湖沼群で採取された堆積物コアの地球化学的検証 (Minoura et al., 1994) がこれまで唯一である。

申請者は、東北大学災害制御研究センターとの共同研究として、869年貞観地震津波の侵入域を正確に特定し、今後の侵入津波に対する災害回避行動の指針を確立しようと試みている。この場合に問題となるのは、堆積物による津波湖上推定域が古文書記録の記述と必ずしも一致せず、場合によっては数キロメートルもの差を生じていることである。この理由は明らかであり、堆積作用を伴わない海水の湖上が評価できなかつたことによる。地震断層モデルによる推定では貞観津波の侵入域は堆積物分布域を超えて広範囲であり、早急の対応が求められる。これに答える最も可能な試みとして、化学反応に着目した海水侵入域の特定がある。

本研究では、海水-湖沼水急激混合による特殊な化学反応の機能を解明し、その結果に基づき津波痕跡を検出する手法を開発してフィールド適用する。陸水と会合しない場合には、湖上海水は蒸発や浸透の過程で堆積物と相互作用し、特有の物質が残されると予測される。この化学的なメカニズムを明らかにし、津波による真の海水侵入域特定の方法論的考察を行う。津波の湖上現象を化学量論的に解明する試みはこれまで皆無であり、この独創的な試みの先には、浸水域を正確に評価する常套的技術の確立が達成されると期待される。

## 2. 研究の目的

津波の湖上により海岸には特異な痕跡が残される事実が初めて明らかにされて約25年が経過した (箕浦ほか, 1987)。これ以降、津波の発生と襲来を地層中での津波堆積物の検出により解明する努力が世界の各地で試みられ、今日では堆積作用から津波モデルが推定されるようになってきている。津波の正確な評価は津波の侵入域を高精度で明らかにすることにより達成されるが、堆積物による推定では正確な侵入域を特定できない。なぜ

なら、堆積作用を伴わない海水の侵入は痕跡を残さないからである。本研究では、海水と陸水の混合に伴う化学反応に着目し、真の海水侵入域を高精度で化学的に検出する新たな手法の確立を目指す。加えて、この手法により堆積作用を伴わない津波の地層内検出も可能となり、未知の古津波の発見が可能となる。

## 3. 研究の方法

津波により海水が海跡低地に侵入すると、化学量論的に以下の現象の発現が予測される。

現象1. 海水-湖沼水混合により微小炭酸塩が晶出する。

現象2. 晶出炭酸塩に海水由来のストロンチウム (Sr) とバリウム (Ba) が固溶体として取り込まれる。

現象3. 海水主成分であるナトリウム (Na) と塩素 (Cl) および硫酸 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) が堆積粒子間に残留する。

現象4. 塩分濃度指標である硫黄 (S) とホウ素 (B) が流入量に比例して間隙水中で高くなる。

現象5. 海水に多い臭素 (Br), ヨウ素 (I), ゲルマニウム (Ge), ウラニウム (U) が堆積粒子に付着する。

これらは、陸水に比べて海水中に特に豊富な成分が検出される可能性に基づいている。

「現象3」については、予察的な観測を行っており、大きな可能性が期待される。「現象2」に対しては炭酸塩中に Sr や Ba が取り込まれ易い鉱物学的事実から示唆され、「現象4」は粒子間隙水として海水が滞留する意味で期待される。「現象5」は、湖上海水が蒸発あるいは地層浸透することにより現れる。問題は、陸源物質由来の成分や降水等によるこうした諸現象の化学情報に関する改変・破壊・交換であり、これらによる効果を雑音として除去するには、適切な補正を行う必要が有る。補正を行う際に、以下の要件に注目しなくてはならない。

- ・ B は塩分濃度よりもむしろ堆積物基質の粘土含有量を反映している。
- ・ Sr は成因的に石灰岩にも多く含まれる。
- ・ Na は泥炭中で溶解度が高い。
- ・ 痕跡を指標する各元素の濃度は堆積物の粒度分布や粒子組成により変動する。

従って、こうした要件を排除するための化学種濃度の補正が必要となる。本研究では、補正に用いる元素として、岩石学で一般的に利用される Cs (セシウム), Rb (ルビジウム), Li (リチウム), Al (アルミニウム), Ti (チタニウム), Fe (鉄) を考えているが、経験的には Al (堆積物の主要成分であり、他の元素との反応性が低い) が最も優れた補正基準種となる。本研究では、これらの可能性につ

て実験的に検証し、最も妥当な分析対象と分析方法を選択することとした。

本研究では、始めに、実験的手法の導入により海水痕跡の検出法を確立する。室内実験により海水痕跡となる物質の特定を行い、それらの残留可能性と検出可能性を検討した。一方で、観測された津波侵入域での堆積物を採取し、痕跡の分析を試みみる。特に注目したいのは後背に湖沼群を抱く海跡低地であり、具体的には、自然条件が残されている青森県の日本海沿岸と太平洋沿岸である。化学成分と安定同位体比は申請者が所属する学科の施設を利用して測定し、炭素同位体年代測定には、国立環境研究所の柴田康行化学領域長の協力を得て、研究所所有の加速器(NIES-TERRA 15SDH-2)を使用した。

確立した手法を仙台平野の貞観津波痕跡に適用して真の浸水域を確定し、数値的な浸水推定と比較を行った。比較結果に基づき、地形効果を勘案して数値条件を補正し、信頼性の高い津波発生断層モデルを構築することができた。

#### 4. 研究成果

津波堆積物の検出は、観測・非観測に関わらず津波の特性を見極める上で、大きな貢献を果たしてきた。これが教訓となって津波堆積物の分布に研究者の注意が及ぶようになり、2004年インド洋地震津波の例を始めとして、近年の被災津波の事後調査でも津波堆積物の分布を観測するのが一般的となっている。こうした現場での行動を通して、堆積物の分布限界を超え、より陸側に大量の海水が到達する事実が確認されるに至った。知識と経験の積み重ねが未知の事実の発見をもたらしたのである。申請者はこの結果に着目した。

日本海中部地震津波の場合には、海水と湖沼水が混合して微小(径数 $\mu\text{m}$ )の炭酸塩鉱物(アラレ石)が晶出し、これは明瞭な痕跡として今日にも湖沼堆積層中に保津波浸水域を地球化学的に解明する試みは非常にユニークであるが、この試みによって新たに独創的な考えが想起される。後背地形が陸側で急峻となる場合には、湖上した海水が戻り流れとなって海方向に逆流を発生させる。これにより海からの湖上が制約されて堆積物はたちまち沈積し、浸水先端より遙か手前で堆積物の分布が終了することになる。2004年インド洋津波が湖上した地域では、僅か2~3mの比高差でも、この現象が発生した事実を確認している。

後背に湖沼群が抱かれる地域では、炭酸塩が晶出・沈殿するので、炭酸塩量から海水流入量の下限を推定することが可能となる。海水量は津波の規模や流速を反映しており、海水量の見積もりは重要な津波プロキシを

与えることになる。化学的な試みによる可能性には枚挙に暇が無いが、最後に再来周期の推定について言及したい。沈殿した炭酸塩結晶中には大量の放射性炭素が含まれており、その大部分が陸源植物に由来することから、炭素の貯留効果を考慮する必要のない津波襲来の正確な暦年代値が得られることになる。海水の侵入とその年代を同時に確定できる新たな手段としての津波化学の創出に貢献できた。

津波堆積物の検出により、世界各地の海岸域において、過去の津波襲来時期やその規模が明らかにされてきた。しかし、津波堆積物の形成は、津波自体の流体力学的特性はもとより、堆積物供給源と運搬経路に依存している。その結果、津波堆積物の分布様式は局所性が非常に強く、その分布範囲から津波の浸水域を明らかにすることには困難が伴う。また、近年発生した津波の現地観測によれば、津波の浸水範囲は津波堆積物の分布限界よりも内陸に広がる場合があることが報告されている。海水の侵入域が明らかに特定できれば、津波発生モデルの精度が向上し、津波の発生周期の確定により、津波災害の予知・回避に向けて大きく貢献できるものと期待される。海水湖上限界の高精度検出法の確立が真に求められる所以である。本研究では、海水-湖沼水急激混合による特殊な化学反応の機能を解明し、その結果に基づき津波痕跡を検出する手法を開発してフィールド適用を試みた。陸水と会合しない場合には、湖上海水は蒸発や浸透の過程で堆積物と相互作用し、特有の物質が残されると予測される。この化学的なメカニズムを明らかにし、津波による真の海水侵入域特定の方法論的考察を行った。津波の湖上現象を化学量論的に解明する試みはこれまで皆無であり、浸水域を正確に評価する常套的技術の確立が達成されると期待される。これまでの予想的な結果では、海水と陸水の混合により炭酸塩が晶出する機能が判明し、炭酸塩量はおおよそ海水流入量を反映する事実が明らかとなった。

仙台平野での869年貞観津波の湖上復元に向けて、ここで確立した方法論を適用し、真の海水湖上範囲を特定することができた。土壌の酸性化により炭酸塩物質が消失している場合には、海水湖上域の特定にGeやU等を分析対象とするが、これは今後の課題として残された。成果発表旅費を使用して、平成平成22年開催の国際堆積学会(メンドーサ、アルゼンチン)と23年度12月開催のAGU(サンフランシスコ、アメリカ)に参加し、最終結果を報告した。

#### 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5件)

1. Sugawara, D., Imamura, F., Goto, K., Matsumoto, H., and Minoura, K., The 2011 Tohoku-Oki Earthquake Tsunami: Similarities and Differences to the 869 Jogan Tsunami on the Sendai Plain. Pure Appl. Geophys, doi:10.1007/s00024-012-0460-1, 2012. 査読有り,
2. 箕浦幸治, 津波の水理堆積学的考察. 科学 (岩波書店), 第81巻, 第10号, 2011年, 1077-1082. 査読無し,
3. 菅原大助・今村文彦・松本秀昭・後藤和久・箕浦幸治, 査読有り, 地質学的データを用いた西暦869年貞観地震津波の復元について, 自然災害科学, 第29巻, 第4号, 2011年, 501-516. 査読有り
4. Goto K., Shinozaki T., Minoura K., Okada K., Sugarawa D. and Imamura F., 2010, Distribution of boulders at Miyara Bay of Ishigaki Island, Japan: A flow characteristic indicator of the tsunamis and storm waves. Island Arc, vol. 19, p. 412-426. 査読有り
5. 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治, 2010, 地質学的データを用いた西暦869年貞観地震津波の復元について. 津波工学研究報告, 第27巻, 103-132. 査読有り

[学会発表] (計3件)

1. Iijima, Y., Minoura, K., Hirano, S., and Ymamura, T., Great West Japan Earthquake Tsunami. The AGU 2011 Fall Meeting. San Francisco, America, December 15-19, 2011.
2. Minoura, K., 29 September, 2010. Reconstruction of the AD 869 Jogan tsunami in Northeast Japan. ISC (International Sedimentological Congress) 2010, September 26 - October 01, 2010, Mendoza, Argentina.
3. Sugawara, D. and Minoura, K., 10 April, 2010. Sediment distribution and inundation area by the AD 869 Jogan tsunami in Sendai Plain, Northeast Japan. The 3rd International Tsunami Field Symposium, April 10- 11, 2010, Sendai, Japan.

[図書] (計2件)

1. 平朝彦・阿部豊・川上紳一・清川昌一・有馬真・田近英一・箕浦幸治, 岩波書店, 新装版 地球惑星科学13巻 地球進化論, 2011年, 267-445.
2. 箕浦幸治・池田安隆, 共立出版, 地球のテクニクス I - 堆積学・変動地形学, 2011

年, 3-118.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

箕浦 幸治 (MINOURA KOJI)  
東北大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 10133852

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: