

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：13201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560135

研究課題名(和文) 遺跡に記録された地震・洪水の痕跡を磁化から探る研究

研究課題名(英文) Traces of the earthquakes and the flood events at archaeological ruins investigated by magnetic study.

研究代表者

酒井 英男 (SAKAI, Hideo)

富山大学・大学院理工学研究部(理学)・教授

研究者番号：30134993

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)：遺跡に残る地震と洪水跡について、各種研究の基本の年代推定を主な目的として、磁気物性(主に残留磁化)を用いる研究を行った。新潟県と富山県の遺跡を対象とした。地震跡では、<sup>14</sup>C年代法が利用できない噴砂で、磁化の年代研究は有効であり、また磁化ベクトルを用いて、遺構の変形の検討も可能とわかった。洪水跡でも地層条件に依るが、磁化推定は成功した。本研究の磁化研究は、遺跡の地震洪水跡において有用であり、古文書の検証とともに、未報告の災害の研究にもつながることが示された。

研究成果の概要(英文)：Magnetic study was conducted on the traces of earthquakes and flood events at the archaeological ruins of Niigata and Toyama Prefectures. The archaeomagnetic dating method was useful to investigate the age of sand boiling which the <sup>14</sup>C dating method could not apply. The magnetic method was also effective to date the traces of flood sediment. Further, using the magnetic properties of the sediments, we successfully cleared the earthquake-induced deformation of the sediment structure. The study of archaeological sites for evidence of paleo-earthquakes and flood events is important in relation to the disaster-prevention science and the further progress is expected in magnetic studies at these sites.

研究分野：考古地磁気

キーワード：磁化 噴砂 洪水 年代

### 1. 研究開始当初の背景

日本では地震、火山、洪水など自然災害は多いので、その過去の履歴を知ることは重要であり、主に古文書による研究が行われている。しかし、十分とは言えず、他の方法からの研究が望まれていた。その一つとして、遺跡に残る自然災害跡からの研究アプローチがある。遺跡では、地震や洪水跡もしばしば見つかっているが、自然科学の研究はあまり行われていない。重要な研究対象として、その情報を読みとるための、自然科学の有用な調査法による研究が必要となっていた。

### 2. 研究の目的

遺跡の地震・洪水跡において、過去の情報を読みとるために、遺構土壌の磁気物性による研究を行う。特に、各種研究の基本となる年代について、磁化と地磁気変化との対比による研究に重点をおき、方法の改良も行いながら取り組むことを計画した。また、磁化のベクトルから、地層の変形が研究できるので、この利点を用いて、遺構で認められた歪みや変形が地震によるものかの判定も行うことにした。本研究により、従来知られていない古地震の情報も、遺跡から得られる可能性も考えられた。

### 3. 研究の方法

研究の基本は、土壌には微量の強磁性鉱物が含まれており、地層が形成された時の地磁気を記録することである。これは堆積土壌だけでなく、地震の際に液状化で生じた噴砂も同様に、噴砂形成時の地磁気を記憶すると考えられる。噴砂では、木材等が含まれても、液状化の上昇過程で周りから取り込まれたものも多いため、汎用される 14C 年代法は利用できない。それに対して、磁化を用いる方法は噴砂の形成時そのものの年代が研究できる。また、磁化はベクトルであり、土壌や噴砂が獲得している磁化と、地磁気方向とのずれを用いて、地層の変形も議論できる。以上の磁化の特徴を用いて研究を行った。

### 4. 研究成果

新潟県と富山県の遺跡を対象に、遺跡に残る地震洪水跡について、年代推定を主な目的として磁化研究を行った。地震跡の噴砂では地磁気年代研究は有効であり、遺跡の洪水跡でも、磁化による年代法は成功した。また磁化ベクトルは遺構変形の検討にも用いることができた。3 年間の成果を通して、遺跡の地震跡や洪水跡について、本研究で開発改良した方法が年代や地層変形の研究に有用であることを明らかにできた。遺跡から、従来知られていない年代の地震洪水災害の跡が見つかる可能性もある。以下では、幾つかの研究結果を示す。

(1) 富山県高岡市の出来田南遺跡において、住居社に見られた噴砂(図 1 左)の磁化を研究

した。噴砂は約 200m 離れた 2 つの地区の敷地点から、それぞれ複数試料を採取した。両地区の噴砂の磁化は同じ方向を示し、地磁気変化との対比から 8 世紀後半の地震による形成と示された。出来田南遺跡から数 km の高岡市石塚遺跡で認められた噴砂の磁化研究でも 780 年頃の年代が示されており(酒井他, 2007)、富山県西部地域に、8 世紀後半に大規模な噴砂を生じた地震被害があったと推測された。富山県に影響した最も古い大きな地震として貞観地震(863 年)が知られるが、それ以前は文献記録がない。出来田南遺跡や石塚遺跡で示された 8 世紀後半の地震は、富山県では報告の無い地震の可能性が高い。今後、この時代の地震被害の広がりやの検討も含めて、遺跡地震跡の研究をさらに行う必要がある。

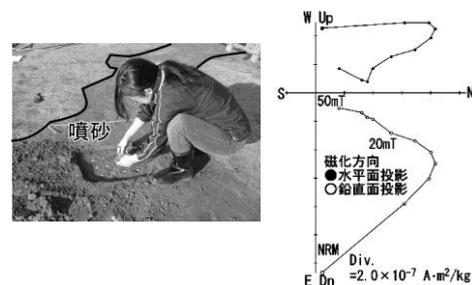


図 1. 噴砂、交流消磁で求めた磁化の 2 成分(ザイゲルト図)

また噴砂の一部は、消磁により二成分の磁化を示し(図 1 右)、低保磁力の磁化が地磁気を記録していた。高保磁力の磁化も北方向にあるが上向きの磁化を示した。磁化には自己反転磁化の可能性は無いので、二成分の存在は、噴砂が液状化状態から地表付近に到達して、ある程度固まって(高保磁力成分が獲得されてから)、その後起きた地震等によって動いたことを示している。磁化の詳細な調査から、噴砂の形成過程を探る新たな研究も可能となるとわかった。

(2) 富山県砺波市に所在の、中世の城館跡である御館山館跡の発掘調査において、城館遺構に噴砂が認められた(図 2 左)。県内での歴史時代の大きな地震として、貞観(863 年)、天正(1586 年)、安政飛越(1858 年)の地震が知られ、古文書では、天正地震の際に、御館山館跡より 3km の木舟城に甚大な被害が出たと記録されている。御館山館跡の発掘では、16 世紀後半の遺物包含層や江戸時代の地層の近傍で噴砂層が認められた。これらの地層と噴砂層との切り合いは曖昧であるものの、木舟城との地理的近さも考慮されて、考古学や地質の調査では、噴砂は、天正地震により発生したものと推測されていた。

本研究の方法で、噴砂の磁化方向を求めて地磁気変化と対比した結果、噴砂の形成は 1850 年頃と得られ、安政飛越地震(1858 年)に近い年代が示された(図 2 右)。砺波市が位置

する富山県西部の別の場所には、安政飛越地震での被害記録も古文書に示されており、磁化研究による結果は信頼できると考えられる。ただ、御館山館跡では天正地震の影響も受けている筈で、それによる液状化が起きた可能性もある。

磁化研究では、御館山館跡の噴砂の(少なくとも試料採取)領域は、安政飛越地震での形成と示されたが、噴砂領域のX線解析で、噴砂は同じ場所で2回起きている可能性も認められた。つまり、一度液状化して噴砂が形成された場所で、再度の液状化による新たな噴砂が形成されたことも考えられた。噴砂地域の近傍は川に近い軟弱層であり、液状化し易い状況にあったことも考慮し、この遺跡では以下のように、2回の液状化の被害があったと考えている。天正地震により御館山館跡では噴砂が形成された。300年後の安政飛越地震の際に再度、液状化が起き、上昇した噴砂によって、元の噴砂層は周囲を残して新たな噴砂と置き換わった。

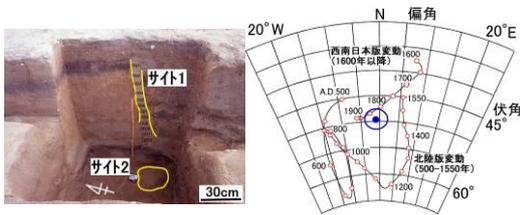


図2 御館山館跡の噴砂と磁化方向

(3) 富山県高岡市の下老子笹川遺跡では、堅穴住居跡の貼床を貫いて広範囲で噴砂が認められた(図3)。その上位には焼土が重なっていた。これは、元は堅穴式住居の屋根に葺かれていた土であったが、磁化研究から、火災の焼成で焼土となっており、その年代は2世紀の年代と推定された。噴砂の年代は、ほぼ同時代か若干古いと求まった(図3左下)。研究で得た住居焼失と噴砂の年代、および考古学調査を併せると、地震によって住居が破損し、液状化も生じた為に居住が困難となったこと、そして建物は廃絶されて、その後しばらくして人為的に火災を起こしたことが考えられた。

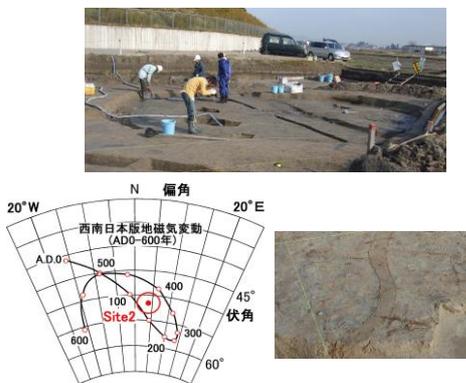


図3 遺跡の噴砂と磁化研究

全国的に多数の焼失堅穴住居が見つかっており、その多くは、失火では無く人為的な火災が原因と考えられている。ただ、火災の理由と過程については、住居の焼失実験も含めて多くの研究が行われているものの、不明の点が多い。

以前に発掘された富山市の堅穴式焼失住居の焼土の磁化も再検討し、本研究の住居と同様に、土屋根は高温で床に落下し地磁気方向に磁化していたことを確認した。これらの結果は、従来説の“焼失後も屋根や屋根土は残っていて冷却後に取り壊された”との可能性は低いことを示す新たな知見となった。

富山市の遺跡の堅穴焼失住居では噴砂は認められていない。ただ、遺跡内の別の地域で噴砂が検出されており、本研究の遺構と同様に、地震の被害と失火との関係の検討が必要になっている。

(4) 砺波市徳万頼成遺跡において、水田の層・焼土層と互層になっている洪水堆積層の磁化を研究した。比較的まとまった試料サイトでは、磁化方向と地磁気変化との対比から、古墳時代と平安時代の年代が得られた。また帯磁率異方性を測定した結果、洪水の堆積状況を示す傾向が得られた(図4左)。また、人工的な流路での洪水層に関する簡易実験(図4右)も行い、磁性粒子の粒径等での洪水堆積層の磁化獲得の違いも検討した。

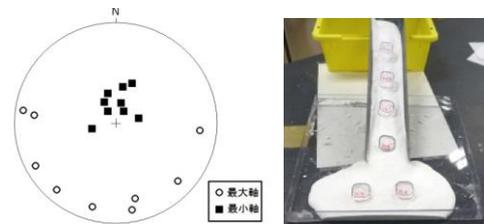


図4 洪水堆積層の帯磁率異方性と人工的な流路での実験

(5) 地震に伴う遺構の変形の磁化研究による検証として、富山市小出城跡と長岡市五千石遺跡の地震跡において、堆積物の磁化から遺構の変形を検証した。

富山市小出城跡では、地震で生じたと考えられる小断層と地層変形を研究した。小断層に認められた再堆積層では、19世紀中頃の地磁気年代が得られ、安政飛越地震(1858年)での形成と示された。この結果は古文書の地震記録と一致した。小断層近傍の堀跡では地層の撓み領域があった(図5a)。その領域と非変形の領域の磁化方向を研究し、比較した(図5b)。上部層の、変形したと考えられた地域のサイト(1, 2)と非変形のサイト4の磁化を比較すると、変形したサイトでは、伏角が浅く偏角はやや東偏した。下部層での変形が考えられるサイト3と非変形のサイト5でも同様に、変形のサイト3は伏角が浅く偏角は東偏していた。

図5cには、地層の折れ曲がりて想定される

磁化方向の変化を表したが、変形領域の伏角が非変形領域より浅いことは説明できる。また、サイト1, 2, 3の偏角が東偏するのは、図5c右図の様に、この領域が水平面内で西へずれた変形があったと解釈できる。以上の様に、変形が考えられた領域の磁化方向の、伏角が浅く偏角の東偏の傾向は、同領域が堆積後に、折れ曲がりと横ズレの変形を被ったことを示している。

この堀跡の変形は地震で生じたと考えられる。これについて、産業総合研究所の寒川氏は、同範囲の地質調査からM6以上の地震で生じた歪みの可能性を指摘している(鹿島, 2005)。対応する地震は、小断層の磁化年代でも示された様に、安政飛越地震と考えられる。

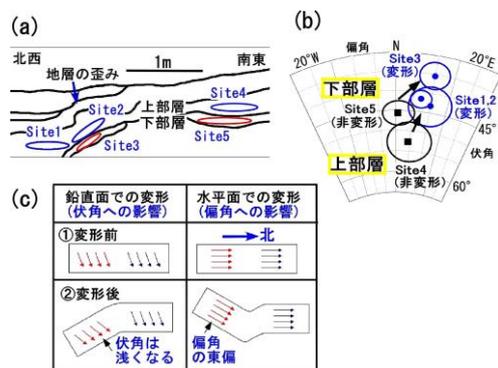


図 5(a)地層の撓み(b)磁化方向, (c)地層の変形と磁化方向のずれ。

長岡市五千石遺跡では、古墳時代の溝遺構が水平に切れて上部が移動した特異な変形が認められ、地震での地盤の側方流動が原因と推測された。磁化年代と考古学の検討から、変形と地震は5世紀前半以降6世紀始めの間に起きたと示され、人々が4世紀中頃～後半に住んだ居住区から移動し、使用していた溝が埋まった後で地震が発生したと考えられた。地震工学で議論されている側方流動が遺跡で見つかり、その研究が行われたことは注目される。



図 6 五千石遺跡で認められた地盤の側方流動

地震の影響を受けた遺跡では、磁化研究は地震の年代や地層変形の検討に有用と判明した。遺跡から探る地震の研究は防災科学でも重要であり、磁化研究も含めた研究を更に進めることが望まれる。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

- ①酒井英男, 泉吉紀, 木村克之, 伊藤孝, 鹿島昌也, 加藤由美子(2015):地震による遺構の変形の磁化研究からの検証, 情報考古学, Vol. 21, 20-27. 査読有
- ②酒井英男, 中山武, 小林剛, 泉吉紀, 服部克己(2016):人工地震時に認められた自然電位と磁場の变化, 電気学会論文誌A, vol. 136, No. 5, 291-296. 査読有
- ③菅頭明日香, 酒井英男, 泉吉紀, 町田尚美(2015):高岡市出来田南遺跡に現れた噴砂の磁化研究と古地震の年代推定, 平成26年度埋蔵文化財年報, 富山県埋蔵文化財団, 70-75. 査読無し
- ④Nakano, T., H. Sakai and M. Kato (2014): Spatial Distribution Characteristic of Archaeological Ruins with Land Liquefaction Vestiges Analyzed by GIS - A Case in Niigata Prefecture, Japan-, Proc. 2014 IIAI 3rd Intern. conf., advanced applied informatics, 771-775. 査読有
- ⑤酒井英男, 泉吉紀 (2014):考古遺物の熱履歴を残留磁化から探る研究, 情報考古学, Vol. 20, 42-48. 査読有
- ⑥加藤学, 酒井英男, 中笠貴元(2014):新潟県における古地震の考古学からの研究アプローチ, 日本情報考古学会講演論文集, Vol. 12, 47-50. 査読無し
- ⑦酒井英男, 菅頭明日香, 小黒智久(2013):堅穴住居上屋土壌の火災による落下状況を残留磁化から探る研究, 情報考古学, Vol. 19, No1・2, 28-35. 査読有
- ⑧酒井英男, 名古屋岳秀, 加藤学(2013):山口野中遺跡で認められた噴砂の磁化の研究, 山口野中遺跡, 新潟県埋蔵文化財調査報告書, 第248集, 52-57. 査読無し
- ⑨酒井英男, 木村克之(2013):高岡市下老子笹川遺跡の噴砂の磁化と年代の研究, 下老子笹川遺跡, 富山県埋蔵文化財調査振興財団, 261-264. 査読無し

[学会発表] (計2件)

- ①酒井英男, 泉吉紀, 川崎一雄, 田上和彦(2015) 史跡高岡城跡・本丸虎口の探査と土壌の磁化研究 日本文化財科学会第32回大会 2015.7/11-12 東京学芸大学(東京)
- ②菅頭明日香, 酒井英男(2015) 西南アジアの遺跡出土遺物を用いた地磁気研究 日本情報考古学会講演論文集, 2015.10/3-4 共立女子大学(東京)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

酒井 英男 (SAKAI Hideo)

富山大学・大学院理工学研究部(理学)・教授

研究者番号: 30134993

(2) 研究分担者

堀川 恵司 (HORIKAWA Keiji)  
富山大学・大学院理工学研究部 (理学)・  
准教授  
研究者番号：40467858

川崎 一雄 (KAWASAKI Kazuo)  
富山大学・大学院理工学研究部 (理学)・  
助教  
研究者番号：60624806