

## 第 14 回 「北陸地域の活性化」に関する研究助成事業 成果報告

### 新潟県・富山県の過去の地震被害の電磁気調査 - 特に河川流域の噴砂を対象として -

富山大学大学院理工学研究部 酒井英男

同理工学教育部 木村克之

#### 1.はじめに

新潟県では、最近の 50 年間で 3 回の大きな地震が起きている。理科年表には、新潟県で発生した有史時代のマグニチュード 6.5 以上の地震は 10 数回示されているが、記録の残る最古の貞観地震（863 年）以降 1500 年まで記録が無く、それ以後の地震も古いほど記録は少ないとの傾向が見られる。また、富山県では有史時代のマグニチュード 6.5 以上の地震は 4 回の記載しかない。最古の地震は新潟県と同じ貞観地震（863 年）であり、それ以降 1586 年の天正地震まで記録は無い。以上のことは、新潟県と富山県では、まだ知られていない地震が多く残っている可能性を示している。

政府の地震調査研究推進本部が作成した地震動予測分布（今後 30 年間での被害確率等）は、各地で想定される地震被害の情報となっている。その作成には、1870 年代に開始の観測より以前の地震データとして古文書が用いられているが、上述の様に古い時代ほど資料は少なく、古い地震の復元は容易では無い。別の古地震の調査法として断層近傍でのトレンチや遺跡発掘があるが、その基本となる年代調査では、汎用の放射性炭素法が適用できない資料も多い等の難点があった。

我々は本事業において、過去の地震の研究として噴砂（液状化の痕跡）に着目し、特に地磁気を利用する年代推定法の開発を進めてきた。本報告では、主に新潟県と富山県の河川流域の遺跡に出現した噴砂を対象に、地震発生の年代と噴砂の分布を研究した結果を報告する。

#### 2.調査範囲と内容

調査と解析は、新潟県長岡市の大河津分水路可動堰工事地区、新潟市南区小坂居付遺跡、阿賀野市境塚遺跡、富山県富山市の打出遺跡、高岡市の下佐野遺跡、下老子笹川遺跡等の遺跡で行った。その内容は以下の通りである。

(1)噴砂の地中分布を探るための非破壊探査：大河津分水路可動堰工事地区、境塚遺跡

(2)磁化測定による噴砂の年代推定と地震による変形の調査：各遺跡

図 1. 本研究の調査地点



#### 3.研究方法

##### 3.1. 電磁気探査

用いた研究方法の一つは、地中の内部構造を、非破壊で探ることができる電磁気探査であり、特に地中レーダ探査を活用して研究した。電磁気探査により地震被害の痕跡である噴砂の地中分布と、噴砂の供給源で液状化層の状況を探った。



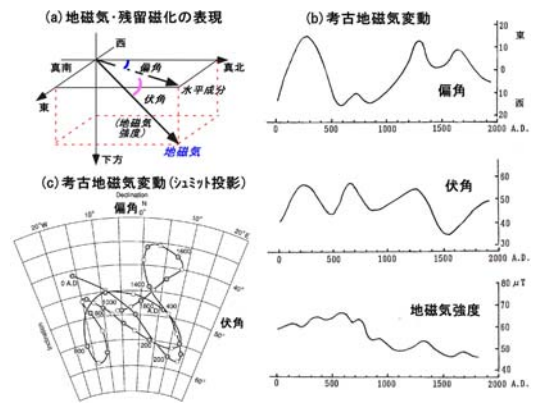
図 2.探査装置と測定原理

### 3.2. 地磁気年代推定

本事業の主目的である過去の地震を探るための研究として、噴砂の地磁気年代推定を行なった。岩石や堆積物などの自然界の物質中に含まれる磁性鉱物には微弱な磁石になる性質があり、そうした物質が形成される時の地磁気を残留磁化として記録する。そして、その記録は、物質が乱されなければ数千年後も保存されている。地磁気の方角と強さは変化しており、日本では図3の様に過去2000年間の変動が求められている。(Hirooka;1971,Sakai & Hirooka;1985)

この地磁気変動曲線を基に、年代不明の試料の残留磁化(地磁気の記録)を求めて、対比することで、試料の形成年代が推定できる。残留磁化は安定に数千年後も残るので、古い時代の試料の研究にも利用できる。本研究では、この研究手法を噴砂に適用した。

図3.(a)地磁気の偏角、伏角と地磁気強度  
(b)地磁気の過去2000年間の変動  
(c)偏角・伏角の変動のシュミットネット投影図



### 4. 長岡市大河津分水路可動堰における中越沖地震で生じた噴砂の研究

中越沖地震の際に発生したと思われる噴砂が確認された大河津分水路可動堰工事地区と町軽井地区堤防沿いの河川敷において、地中レーダ探査を行った。可動堰では、地表から6mほど掘り下げられた平坦面で調査した。露頭では、最大5mまで達する噴砂脈が広範囲に認められ、地表(露頭の頂上)近くまで達した噴砂は、近年の地震(中越沖地震の可能性が高い)に伴う液状化でできたと考えられていた。

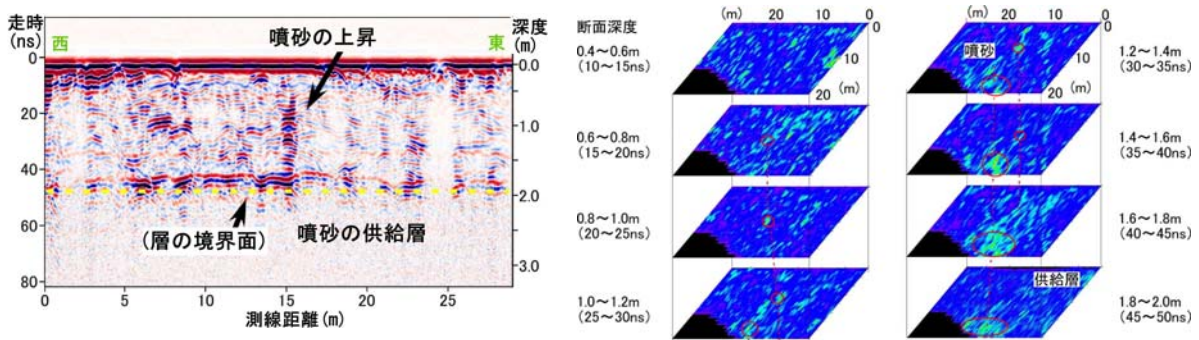


図4.大河津分水路可動堰での探査結果

図4左に示す露頭沿いの探査で得た地下の鉛直断面図には、深度約2mに強い反応を示す層の境界面があり、この付近から噴砂が上昇したと思われる。この境界は地下水面の可能性もあるが、噴砂は同境界より深部に起源があることは確かである。つまり、露頭で高さ5mまで上がっている噴砂は、供給源が平坦面より約2m深部との探査結果と併せると、7mまで吹き上げたことになる。他の測線でも同様な結果が得られ、広範囲で検討すると、図4右の地下構造が示された。この3次元の図(複数の鉛直断面図を並べて水平に切った水平断面図)は、30m×20mの範囲の探査結果を表している。この図からも、深度2m付近から強い反応の噴砂が上方に向かって延びている様子が見られ、これより下に噴砂の供給源があるという事が分かる。

探査前の工事事務所による簡易掘削では、平坦面より数m深部までは表層と同じ砂層が続くとされ、露頭の噴砂の供給層は、調査を行った平坦面と推定されていた。探査結果と照合すると、この違いの要因は、目視では液状化した層と上部層の判別が困難であった為と考えられる。

以上より、広範囲の噴砂分布の研究にレーダ探査が有効と判明した。詳細な探査によって、噴砂の地中での分布を三次元で捉えることも可能であり、今後の活用が期待できる。

## 5. 遺跡での噴砂の年代研究

以下では、遺跡に出現した、過去の地震で形成された噴砂を対象に、年代を研究した結果を示す。

### 5.1. 新潟市小坂居付遺跡での調査

同遺跡は鎌倉時代後期～室町時代前半(13世紀後半～14世紀前半)の遺跡である。発掘された、焼土1基と、焼土面を貫いている噴砂3箇所、採取した約90試料の研究を行った。焼土の磁化方向を、地磁気変動曲線(図5右)と対比した結果、 $1350 \pm 50$ 年の年代と求められた。この年代は、同遺構面で発掘された土器に記載の元寇3年(1323年)の年代とほぼ一致し、焼土の年代推定に成功した。そして、焼土面を貫く噴砂の磁化方向を地磁気変動と対比した結果、噴砂の形成年代は16世紀前半または19世紀前半と推定された。これに対応する古地震として、理科年表より1502年の直江津から会津付近で発生した地震、1802年の佐渡での地震、1828年の三条地震、1833年の山形県沖での地震などが候補となる。来年度も遺跡の調査が継続される予定であり、当時の新潟市を襲った地震年代の絞込みを更に行なう予定である。

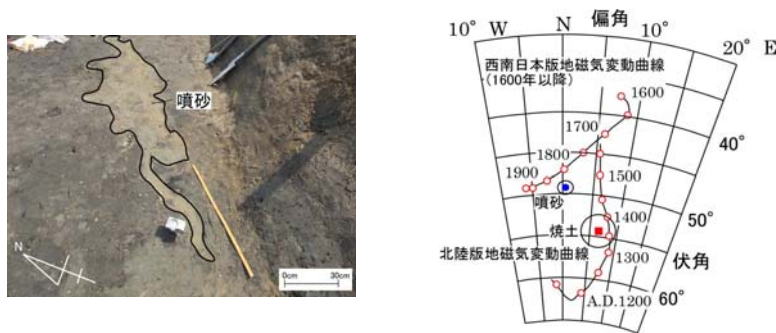


図5.小坂居付遺跡での噴砂(左)と、焼土と噴砂の年代推定の結果(右)

### 5.2. 阿賀野市境塚遺跡での調査

境塚遺跡は、小坂居付遺跡とほぼ同じ鎌倉時代～室町時代の遺跡である。遺構面に現れた噴砂領域の8箇所、計130試料を採取して研究した。噴砂の磁化方向と地磁気変動曲線(図6中央)の対比より、噴砂の形成は11世紀か19世紀の年代と求められた。噴砂は鎌倉時代の地層を貫いていないとの考古学調査を考慮すると11世紀の地震が推測でき、その場合には、古文書等で報告の無い地震となる。しかし、図6右で示す様に、噴砂の磁化方向と地層との切り合い関係では噴砂の新旧を必ずしも判断できないので、我々は19世紀後半の地震の可能性が高いと考えている。この時代に、阿賀野市周辺に被害を及ぼした候補地震として、1847年の頸城地方での地震、1886年の妙高付近での地震、1898年の六日町付近での地震がある。

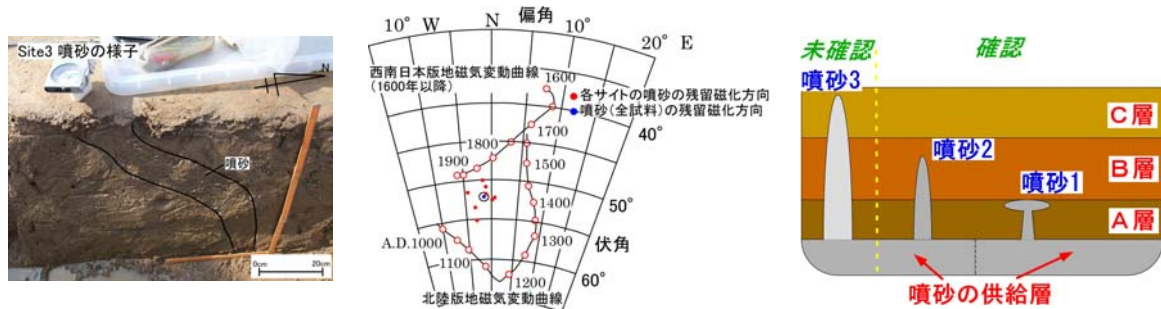


図6. 境塚遺跡での噴砂(左)、年代推定の結果(中央)、地層と噴砂の切りあいの関係(右)

また、遺跡の20m×11mの範囲でレーダ探査を行った。図7左に示す地下の鉛直断面図には、



深度約 1.5m に層の境界が認められ、この付近から噴砂が上昇したと思われる。他の測線でも同様な結果が得られ、広範囲の検討から右図に示す水平断面図の地下構造が求められた。この図からも、深度 1.5m 付近から噴砂が上方へ延びる様子がわかり、これより下に、噴砂の供給源がある事が推測される。

今後、噴砂の年代と供給層の深さの検討を更に進める予定でいる。

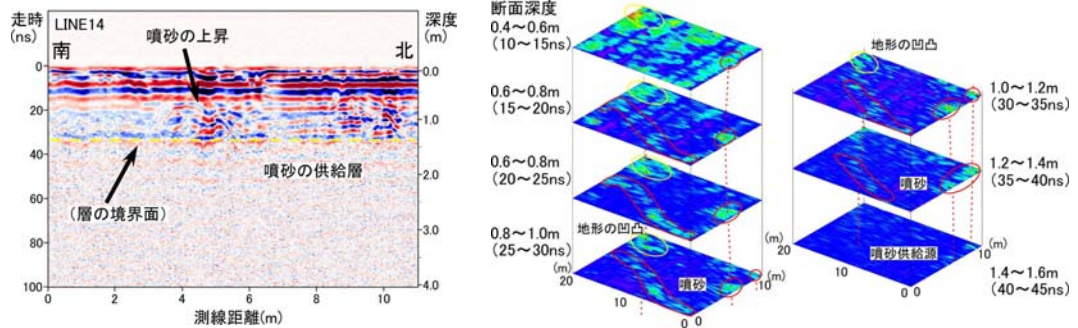


図 7. 境塚遺跡での探査結果

### 5.3. 富山県の遺跡での調査

#### (1) 高岡市の下佐野遺跡と下老子笹川遺跡

下佐野遺跡は、弥生時代後期～古墳時代前期の時代の遺跡である。3箇所採取した噴砂試料の残留磁化の研究から、噴砂の形成時期として5世紀と19世紀の時代が示された。富山県で従来報告の無い5世紀の地震の可能性もあるが、現時点の検討では、19世紀の地震の可能性が高い。その場合には、日本の三大山体崩壊の一つとして知られる富山県立山カルデラ地域での鳶山崩れを引き起こした安政飛越地震(1858年)の際に、発生した噴砂と考えられる。

また、同遺跡の14m×3mの範囲においてレーザ探査を行った。地下の鉛直断面図(図8左)には、深度約1.2mに明確な層の境界面が認められ、これより下を供給源として上へ延びる反応が噴砂を表している。水平断面図(図8右)からも、深度1.2m付近から強い反応である噴砂が上方に向かって延びている様子が見られ、その下に噴砂の供給源の液状化層があったと分かる。なお、深度0.8m～1.2mでは、北側に強い反応、南側に弱い反応があるが、これは堆積土の土質の変化を捉えたものと思われる。

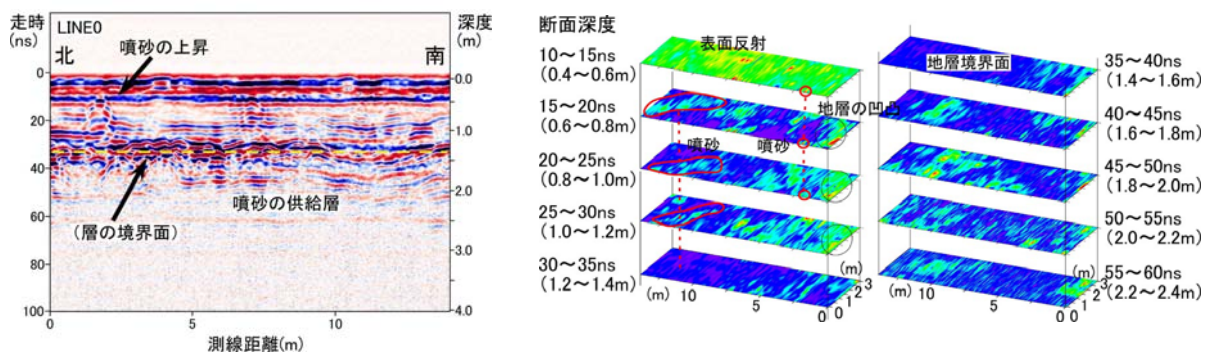


図 8. 下佐野遺跡での探査結果

近傍の下老子笹川遺跡(弥生時代後期～終末期)においても、平成20年度の発掘調査により出現した3箇所の噴砂について磁気と探査の研究を実施した。その結果、噴砂の磁化調査により、2世紀前半または4世紀後半の地震年代が推測された(図9左図)。考古学調査の結果と併せると2世紀前半の地震による噴砂の可能性が高く、富山県では従来報告されていない地震の存在が指摘された。

## (2) 富山市打出遺跡

富山湾に近い、神通川下流域に位置する富山市打出遺跡に出現した噴砂(図9中央図)について、磁化研究を行った結果、図9右図に示すように、従来、報告の無い15世紀中頃の地震を示す年代が得られた。この結果については、その後、これを支持する富山市近傍での1450年頃の地震被害を記した古文書が見つかっており、磁化研究によって未報告の地震を探る研究手法の有用性が確認された。

以上のように、新規の研究手法より、今まで知られていない時代の地震や、古文書等での報告がなかった地域での地震被害を調査できることが、多くの遺跡で示されてきている。



図9.高岡市下老子笹川遺跡および富山市打出遺跡での調査結果

## 6. まとめと考察

### (1) 噴砂の年代推定

新潟県と富山県の多くの遺跡で見つかった“古地震の痕跡である噴砂”を対象として、残留磁気と磁気物性の研究を行い、各遺跡の噴砂の形成年代(地震の発生年代)を検討した。その結果、両県では、従来報告されていなかった時代の地震や、古文書等に記載されていない地域での地震による被害が起きていたことが示された。また、本研究の過程で、遺跡等に出現した噴砂の発生年代の推定は、通常、露頭での噴砂と地層との切り合い関係の観察を通して行われているものの、噴砂は必ずしも当時の最上部の地層を貫かないので、この露頭観察による年代推定は絶対的な方法とならないことに留意が必要とわかった。それ故、噴砂そのものの年代研究が必要であり、本事業で有効性を示した、噴砂の磁気物性を用いる新規の年代研究法について、その研究精度を更にとって活用することが期待されている。

### (2) 噴砂・液状化層の非破壊探査

長岡市大河津分水路可動堰地区でレーダ探査を実施し、現在の地表下数 m 深度に、中越沖地震の際に噴砂を生じた供給源(液状化層)が広範囲に分布することが判明した。信濃川中流域で古地震に伴う噴砂供給源を詳細に調べることは、当該地域の液状化被害の検討と今後の被害想定において有用となる。更に、探査結果を基に供給層まで簡易掘削して噴砂(古地震)の年代を研究すれば、堤防等の地震対策の為の貴重な情報を得ることができるので、今後進めることが望まれる。

液状化の被害を受けた遺跡は河川流域に位置する事が多い。それ故、遺跡での噴砂・地震被害の調査は、堤防等の公共建造物の地震対策の情報源ともなるので、遺跡の考古学研究と併せる文理融合の調査研究を行うことが必要である。また堤防など河川近傍の建造物や地域の地震対策に役立てる為、液状化の発生条件を探る目的で、本研究の手法も交えた室内実験の実施も必要と考えて計画している。

遺跡での地震研究の意義の一つに、過去の人々が実際に被害を受けた地震の史実を証明できることがある。災害に伴う環境変化への人々の対応と変遷の研究は、地域歴史の研究としても重要

であり、噴砂が発見された遺跡は貴重な対象である。最近数年間に、富山県・新潟県において、縣市町の教育委員会からの協力で調査を行った“地震被害を受けた遺跡”は10数箇所になる。噴砂が見つかっていても系統的な調査が行われていない遺跡もあることを考慮すると、近年かなりの数の古地震の痕が遺跡で見つкаつていると言える。今後も、本研究で有効性を確認したオリジナルな調査法により、新潟県・富山県の遺跡において過去の地震調査を継続して行い、地域に貢献する研究を進めるつもりである。

#### 謝辞

本調査にあたり、国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所および長岡市教育委員会、新潟県埋蔵文化財調査事業団、阿賀野市教育委員会、富山県埋蔵文化財調査事業団からご協力を頂きました。深く感謝申し上げます。