

地球電磁気の手法を用いた環日本海の環境調査

川崎一雄（富山大学 大学院理工学研究部（理学））

1. はじめに

本申請課題は、環日本海地域における自然環境を地球電磁気の手法を用いて総合的に研究することを目的とし、白山地域を中心とした環日本海地域における自動車起源汚染物質の飛散・流出過程を環境磁気調査法により行った。

環境磁気調査法は、殆どの物質に普遍的に含まれる磁性鉱物の挙動を調べる手法が人為起源汚染物質の空間分布・時間分布調査に有効であることが報告されている (e.g. Evans and Heller 2003). 自動車由来の汚染物質調査は、ヨーロッパ (e.g. Hoffmann et al. 1999) や北アメリカ (e.g. Shi and Cioppa 2006), アジア (e.g. Yang et al. 2010) 等で報告がなされており、道路からの距離に従い減少する帯磁率や、亜鉛や鉛を中心とした重金属濃度と帯磁率には正の相関性があることが報告されている。

人為起源汚染物質の時間・空間分布調査への有効性が報告されている環境磁気調査法であるが、我が国では報告例が殆ど無い。その理由として、(1) 沈み込み帯に位置する我が国は火山大国であり、火山噴火に伴い生じる磁性鉱物を含む大量の火山灰の影響と (2) 人口密度の高さによる磁気的な高ノイズの影響が指摘されており (鳥居 2005), 対象試料中に含まれる磁性鉱物の判別や得られた磁気シグナルの要因の特定が著しく困難となることが挙げられる。平成 25 年度と平成 26 年度の調査では、中部山岳国立公園・立山の美女平駅周辺から弥陀ヶ原の区間についての立山黒部アルペンルート沿いの表層土壌の磁気特性調査を行った。調査区間では一貫してアルペンルートから離れるに従い磁性鉱物量が減少する傾向が認められた。特に 0-2 m の範囲での磁性鉱物量の減少が顕著であるため、磁性鉱物量が自動車由来の汚染物質の量を反映していることを示すと共に、主として 2 m 以内に汚染物質が分布していることを明らかにした。そして、野外帯磁率測定を主とした環境磁気調査手法が我が国においても自動車由来の汚染物質の空間分布調査に有効であることを指摘した (Kawasaki et al. 2015)。

本研究は、これまでの成果をもとに調査対象を立山から白山に移すことで環境磁気調査法の有用性を検証し、白山地域における人為起源汚染物質の空間分布図を作成することを目的とした。我が国では 110 の活火山が知られており、その中でも特に火山の監視・観測体制の充実が必要であると 47 火山が常時観測火山に選定されている。立山 (弥陀ヶ原) は平成 27 年に常時観測火山に指定されたが、過去 4 万年間にマグマを含む噴火は確認されていない。一方、白山で

は過去 1 万年間に火砕物降下を伴う噴火が 10 回程度確認されており、最近では 1659 年に火砕物降下を伴う噴火が知られている。白山において環境磁気調査法の有効性を指摘できれば、従来避けられていた火山帯における環境磁気研究への展開が期待できる。

## 2. 手法と研究試料

### 2-1. 野外調査

野外帯磁率測定は、Bartington 社製 MS2-D 帯磁率計を用いて、白山白川郷ホワイトロード（旧：白山スーパー林道）内とその周辺道路において実施した。測定は、気象条件や自動車通行台数の影響を考慮するため、2015 年 9 月の大型連休前後で 2 回実施し、合計 17 サイトで行った（図 1）。帯磁率測定は、各測定点において観測値の再現性と代表性を検証するため測定を五回繰り返し、その平均値を各測定点における帯磁率とした。測定は、道路に直行する方向に測線を張り、最大 30 m までの範囲を測定した。なお、高帯磁率を示す道路の影響を最小限にするため、道路のアスファルトから 0.2 m 地点を 0 m とした。また、道路近傍での帯磁率の変化を検討するため、道路から 1 m までは 0.25 m 間隔で、1 m から 2 m までは 0.5 m 間隔で、2 m から 5 m までは 1 m 間隔で測定した。

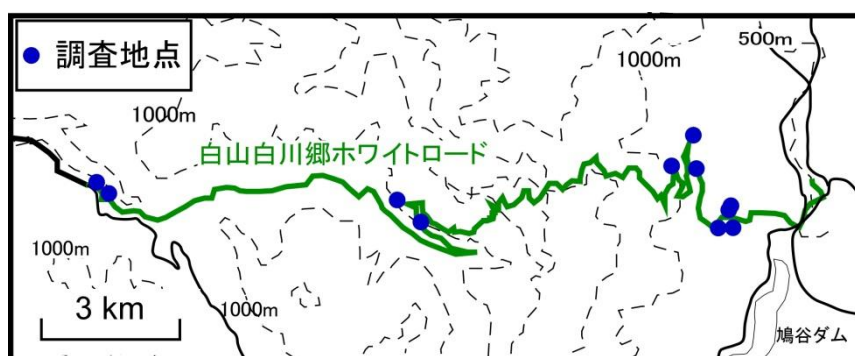


図 1. 白山地域の調査地点図。

### 2-2. 試料採取と室内実験

野外帯磁率は、岩石片や植生、空隙の影響が考えられる。そこで、野外帯磁率測定測線上において、道路から 1 m までを 0.5 m 間隔で、1 m から 5 m までを 1 m 間隔で土壌の表面をスコップで採取した。また、人為起源の磁性鉱物の大地内の挙動を明らかにするため、検土壌で最大深度 0.36 m までの試料を採取した。検土壌で採取した土壌は、0.03 m 間隔で区切り採取した。

採取した土壌試料は、室温で室内乾燥させた。乾燥試料はφ 1 mm のふるい掛けした後、7 cc プラスチックキューブに入れ質量を測定し、各種磁気分析を行

った。

昨年度の立山で実施した研究では、チシマザサ (*Sasa kurilensis*) に着目しチシマザサに付着するダストの採取を試みた。本年度では、白山白川郷ホワイトロード沿いに認められたフキ (*Petasites japonicus*) の葉を採取し、ダスト量の検討を行った。フキは、室内で乾燥後、メノウ乳鉢で粉末にして、7 cc プラスチックキューブに入れ、各種磁気分析を行った。

### 3. 結果と考察

#### 3-1. 野外帯磁率

道路中央部を横断する測線の1サイトを除いた16サイト中12サイトで、道路近傍で帯磁率が高く、道路からの距離に従い減少する傾向が認められた(図2)。特に、2 m 以内で急減する帯磁率は立山で得られた結果と同様であり、自動車由来汚染物質は道路近傍に堆積することを示唆する。一方、一様な帯磁率の減少傾向が認められないサイトもあり、植生や岩石片の影響が考えられる。

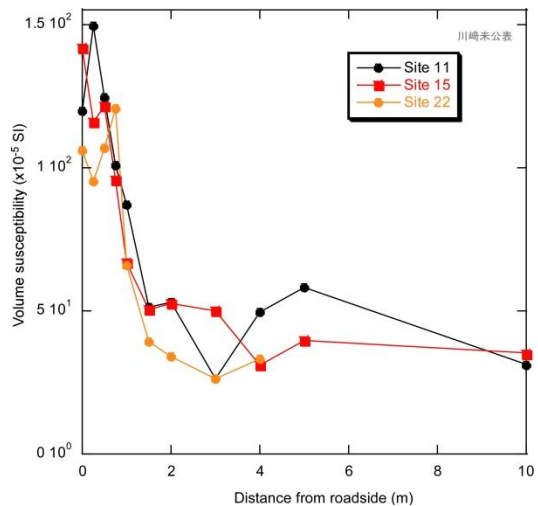


図2. 代表的な野外帯磁率測定の結果。

#### 3-2. 室内岩石磁気測定

##### 3-2-1 質量帯磁率

野外測定における植生や粗粒粒子の影響を検討するため、採取土壌の帯磁率を測定した。測定は、MS2-B 帯磁率を用いて行い、得られた値を質量で規格化し質量帯磁率を求めた。道路近傍で帯磁率が高く、道路から2 m 程度の範囲で減少する傾向が認められるが、道路から離れるといったん減少した

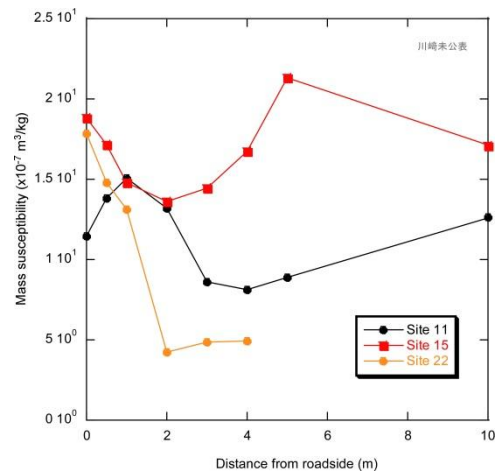


図3. 代表的な質量帯磁率測定結果。

た帯磁率が増加する傾向を示すサイトもある(図3)。質量帯磁率は、粗粒な岩石片や有機物を除去して測定しており、野外帯磁率よりも明瞭な道路からの距離との関係性が示されることを期待しており、結果は予想外となった。この要因として、特に岐阜県側の調査領域は、スギが生育する森林域となっており、地表は、伐採や自然に降下した杉の葉や自生する植物が厚く覆われていたためと考えられる。自動車より排出した人為起源粒子は、地表への降下過程において地

表面の有機物に付着するため、土壌に到達できる人為起源粒子量は減少する。従って、地表面の有機物を除外せずに測定した野外帯磁率では杉の葉等に付着した磁性鉱物も含めた測定となり、帯磁率の減少がより明確に表れたと考える。

### 3-2-2 粒径分布

マグネタイトの粒子分布を求めるため、ヒステリシスパラメータの比を用いて Day plot 解析を行った (Day et al. 1977; Dunlop 2002)。Day plot 図では、ほぼ全ての試料が疑似単磁区 (PSD) 領域を示し、帯状の分布を示した (図 4)。結果は、単磁区 (SD) -多磁区 (MD) 粒子の混合を示す。同一サイト内で比較すると、道路近傍の試料はより粒径の大きな MD の混合率の増加を示しており、道路近傍の磁性鉱物は MD マグネタイトが主であると考えられる。

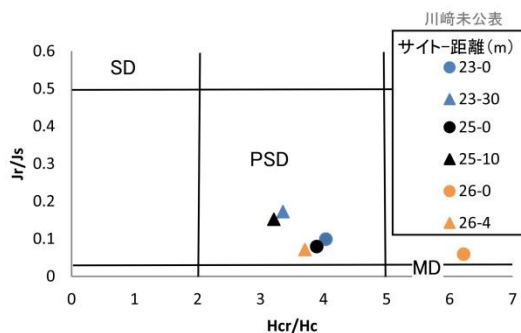


図 4. 代表的な Day plot 図。

### 3-2-3 鉛直試料

検土壌で採取した鉛直試料の質量帯磁率分布は、道路近傍の表層土壌で高帯磁率が認められた (図 5)。0 m 地点では、帯磁率は ~4 cm の深さから徐々に減少し、深さ 15 cm 程度で基底値に達したと考えられる。10 m 地点では、帯磁率が深さに応じて増加していき、深さ 15 cm 程度で 0 m 地点度ほぼ同様に基底に達したと考えられる。10 m 地点で認められた深さに伴う帯磁率の増加は、母岩の影響に加え、土壌形成作用に伴い磁性鉱物が形成されたためと考える。0 m 地点で認められた表層部の高帯磁率は自動車起源の磁性鉱物量の影響と考えられ、磁性鉱物を含む汚染物質の蓄積は最大 10 cm 程度であり地下深部への移動は殆どないことを示唆する。

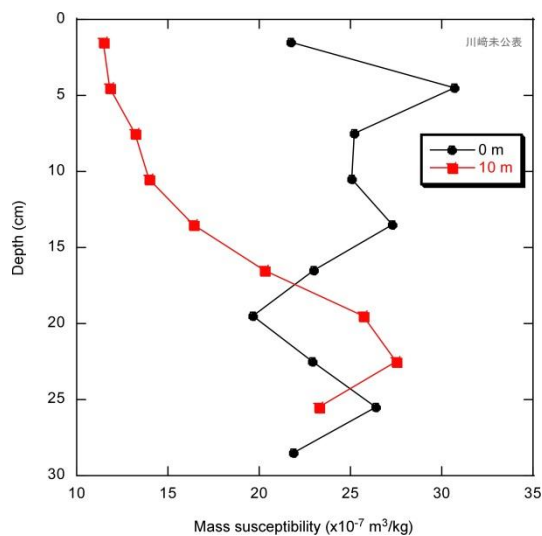


図 5. 代表的な帯磁率の鉛直分布

### 3-2-4. 植物

フキの葉に付着した磁性鉱物量を推定するため、プラスチックキューブに入れた試料を対象に段階等温残留磁化 (IRM) 獲得実験を行った。また、1200 mT の磁場を印加したときの磁化を飽和 IRM (SIRM) とする。SIRM 強度は、道

路近傍 ( $\leq 1$  m) と遠方 ( $> 1$  m) で比較すると、近傍の強度は遠方より 3 倍以上の強度を示した。このことは、道路近傍の葉に磁性鉱物量が多く付着することを示す。また、段階 IRM 獲得曲線は、共に 300 mT までに SIRM 強度の 9 割の強度に達しており、飽和していると考えられるため、マグネタイトのような低保磁力鉱物が主要な磁性鉱物と考えられる。更に、100 mT までの IRM 獲得曲線を調べると、道路近傍の葉は、より低磁場で飽和に達しており、粗粒な PSD-MD 粒子がより多く付着していることを示唆する。植物を対象とした結果は、土壌で得られた粒径分布と同様な結果であり、道路近傍に粗粒な粒子が付加されていることが明らかになった。

#### 4. まとめ

本申請課題では、常時観測火山の一つである白山を対象に、白山白川郷ホワイトロード沿いの環境磁気調査を行った。野外調査では、非破壊の帯磁率測定を行い、道路から離れるに従い帯磁率が減少する傾向が認められた。一方、土壌試料では、一様な傾向は認められなかった。しかしながら、フキの葉に付着したダストの磁気分析からは、道路近傍で顕著な磁性鉱物量の増加が認められた。結果から、自動車起源の汚染物質を対象にした森林域における空間分布調査では、野外帯磁率測定に加え植生を活用した環境磁気調査の有効であることを指摘できた。また、検土壌を用いた大地内の挙動研究では、磁性鉱物は土壌表層に留まり、深部への顕著な移動は殆ど無いことを示した。詳細な岩石磁気分析の結果、道路近傍で粗粒なマグネタイトの増加が明らかとなった。磁性鉱物量の増減が不明瞭な地点においても、粒径分布解析では粗粒マグネタイトの増加が認められており、自動車を対象とした環境磁気調査において、粒径分布解析の有効性を指摘できた。同様な結果が、立山での環境磁気調査でも認められており、粒径分布解析の汎用性は高いと考える。

本研究の結果から、従来適応が著しく困難と指摘されていた活火山地域における自動車関連した環境磁気調査法について、野外帯磁率に併せて土壌・植生の詳細な岩石磁気分析を実施することで適応が十分に可能であるとの新知見を得た。今後の課題として、人為起源の磁性鉱物種の特定と超常磁性粒子を含めた粒径分布の議論が望まれる。