

平成 25 年度 日本海学研究グループ支援事業 報告書
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、立山地域の環境評価法の確立と環日本海地域を対象とした考古地磁気研究を行った。考古地磁気研究は主に平成 25 年度科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究；研究分担者）により遂行し、その成果は報告書にて一部を公表済みである（酒井，川崎ほか 2013 新潟県新発田市小船渡遺跡）。本報告では、調査成果のうち立山地域の環境磁気調査について記す。

環境磁気調査の手法は、公害や大気中のエアロゾルの研究に対し有効性が高いことが報告されている（e.g. Evans and Heller 2003）。Beckwith et al. (1990) は、イギリスのロンドンにある高速道路を対象に環境磁気調査を行い、試料中の汚染物質が自動車関連由来と報告した。同様な自動車由来に関連する環境磁気調査はヨーロッパを中心に広く行われており、道路からの距離に反比例して減少する帯磁率がこれまで報告されている（e.g. Hoffmann et al. 1999; Shi and Cioppa 2006）。また、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おり（e.g. Heller et al. 1998）、帯磁率を中心とした環境磁気調査手法の有用性が報告されている。

一方、我が国では人為起源汚染物質を対象とした環境磁気調査の報告例は殆ど無い。Torii (2005) はその理由として(1) 我が国の特徴である火山大国に起因す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により、対象試料中に含まれる磁性鉱物の判別が困難になる事を指摘している。しかし、我々が平成 24 年に中部山岳国立公園・立山・美女平周辺にて実施した予備調査では、道路からの距離に反比例して減少する帯磁率と亜鉛を中心とした重金属濃度と帯磁率との関係に正の相関が認められ、立山地域における環境磁気調査の有効性が示唆された。

本研究は、立山の美女平駅周辺からブナ平までの立山黒部アルペンルート沿いの周辺土壌を対象に環境磁気調査を行い、人為汚染物質の空間分布を作成から汚染物質の飛散プロセスを把握し、環境保全に有効な処置方法の提言を目的とする。今年度開かれた“立山のバス利用の適正化等に関する有識者会議”では、立山黒部アルペンルートの立山有料道路を走るバスの排気ガス（排ガス）による周辺環境への負荷軽減のため、平成 27 年度より排ガス規制を実施する案が示されるなど、自動車由来の汚染物質による周辺土壌への影響の調査は重要な課題である。

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、美女平駅周辺からブナ平までのアルペンルート沿い 15 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、高帯磁率を示す側溝/道路の影響を取り除くため、道路脇の側溝から 80 cm 離れた地点を 0 とし、アルペンルートに直行する方向に測線を張り、5 m から 10 m までの範囲を測定した。特に道路近傍での帯磁率の変化を詳細に調べるため、1 m までを 25 cm 間隔で、5 m までを 50 cm 間隔で、10 m までを 1 m 間隔で実施した。

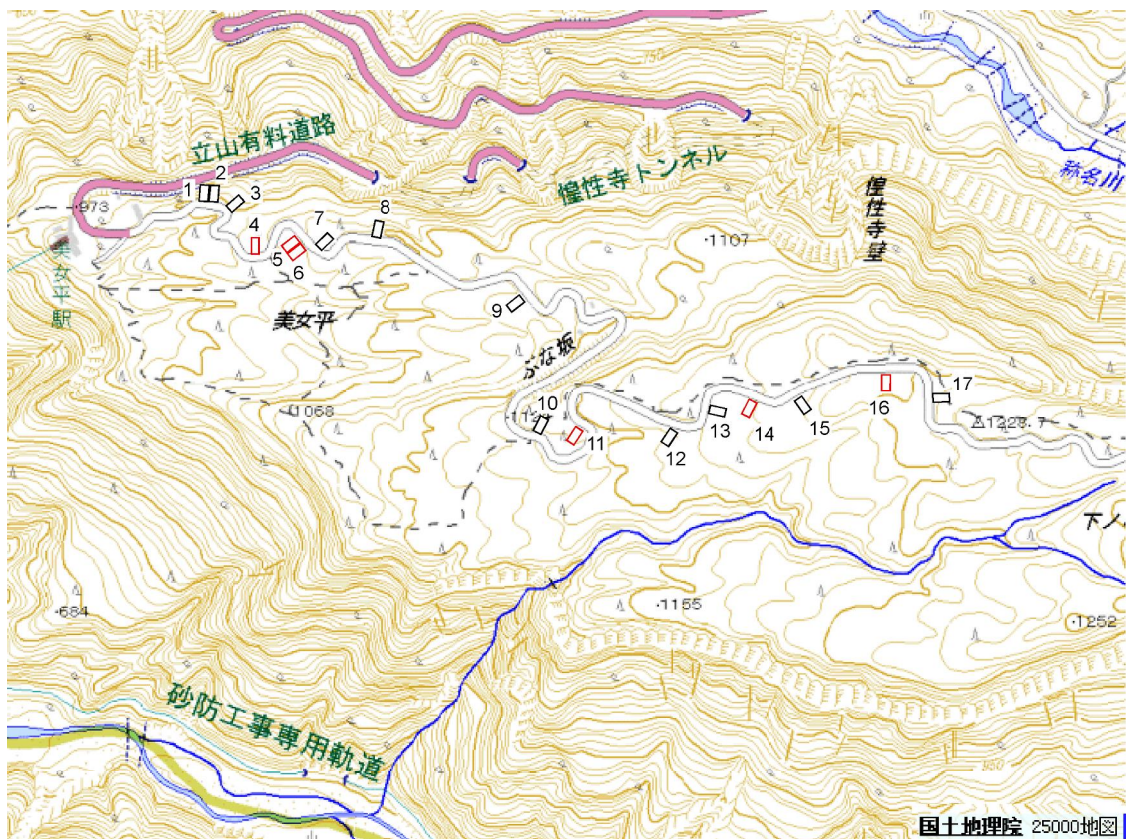


図 1. 調査地域。黒枠は野外測定地点を、赤枠は野外測定と土壌試料採取地点を示す。ただし、サイト 4, 6 では野外測定は行っていない。

2-2. 室内実験

野外調査と同時に、室内実験のため表層土壌の採取を 6 サイトにて行った (図 1)。土壌試料は、各サイト毎に 0 m から最大 10 m までの間隔で採取した。採

取土壌は、実験室内にて自然乾燥後、有機物や粗粒粒子を除去するため、 $\phi 1 \text{ mm}$ の篩を用いて土壌の選別を行った。その後、土壌試料を 7 cc プラスチックキューブケースに詰め、重量を測定後、各種の岩石磁気実験を行った。

3. 結果と考察

3-1. 野外帯磁率

サイト 5 を除く 14 サイトにて、アルペンルートから離れるに従い、帯磁率が減少する傾向が認められた。サイト 5 は現場にて小礫が多く認められた。小礫は、周辺土壌よりも帯磁率が一桁大きな値を示した。従って、表層土壌の帯磁率測定は困難であり、以降の議論はサイト 5 を除いて行う。帯磁率は全てのサイトで、0 m から 0.25 m 地点で最大値が認められ、2 m 以内で急激に帯磁率は減少し、ほぼ基底値となった (図 2A)。

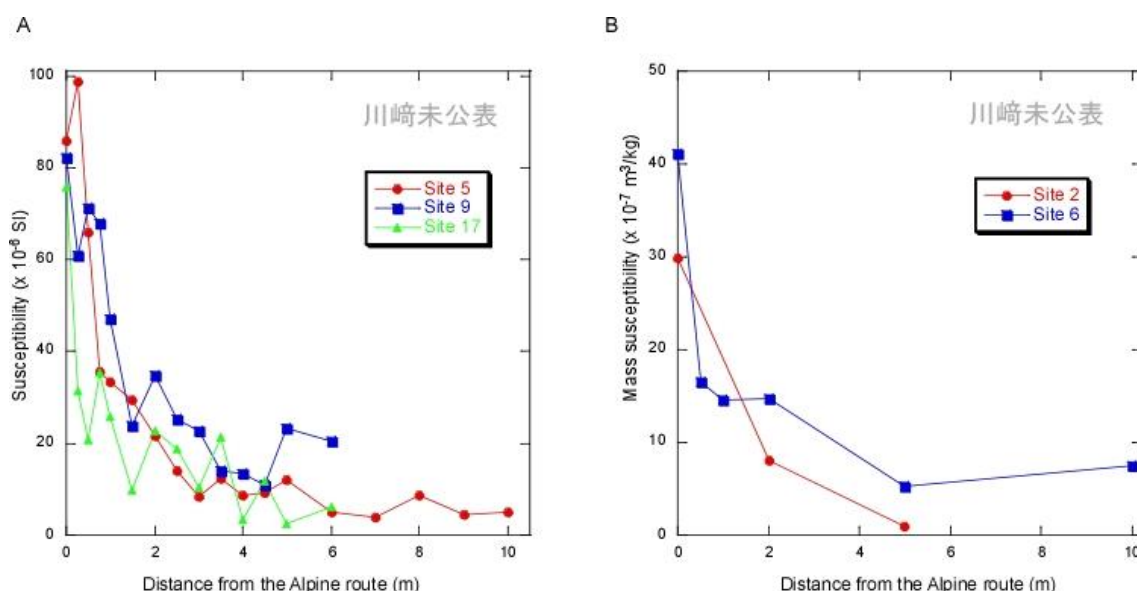


図 2. A) 野外帯磁率の代表的な結果, B) 室内で測定した質量帯磁率の代表的な結果

3-2. 室内岩石磁気測定

3-2-1. 室内帯磁率

野外測定における植生による空隙や土壌中の岩石片等の粗粒粒子の影響を調査するため、採取土壌の室内帯磁率測定を行った。測定は、Bartington 社製 MS-2B 帯磁率計を用いて行った。得られた値は、密度で規格化し質量帯磁率を求めた。また、低周波数と高周波数で測定を行い、帯磁率の周波数依存性を求めた。

採取土壌の質量帯磁率は、アルペンルートから離れるに従い減少する傾向が

認められ (図 2B), 野外測定の結果と類似する傾向が認められた. このことは, 野外帯磁率測定は, 植生や土壌内の粗粒粒子の影響は小さく, 表層土壌の帯磁率分布を反映しており, 野外測定が帯磁率分布の基礎データ収集に有効であることを示唆する. 全てのサイトにおいて, >2 m の距離にて質量帯磁率は, $<20 \times 10^{-7} \text{ (m}^3/\text{kg)}$ を示した. 野外帯磁率測定においても同様に 2 m を境界にして帯磁率の急激な変化が認められた. 従って, 質量帯磁率 $20 \times 10^{-7} \text{ (m}^3/\text{kg)}$ を美女平周辺における人為汚染物質の影響の判定値として提案する. また, 道路近傍で最大値を示し, 距離に反比例して減少していく傾向から, 汚染物質は大部分が自動車由来であること, またアルペンルートより 2 m 以内の道路近傍に落下し, 森林内部に侵入しないことを示唆する.

採取土壌の帯磁率周波数依存性は, 97%の試料が 0~6%の値を示し, 76%が <2%を示した. このことは, 土壌中の磁性鉱物の粒子サイズとして, 超常磁性 (SP) 粒子が乏しく, 多軸 (MD) 或いは疑似単軸 (PSD) 粒子が主であることを示す (Dearing et al. 1996).

3-2-2. ヒステリシス曲線

土壌試料中に含まれる磁性鉱物のヒステリシス曲線は, Princeton Measurements Corporation (現 Lakeshore) 社製 Micro Mag Alternating Gradient Magnetometer (AGM) モデル 2900-04 を用いて測定を行った. 試料は, 平成 24 年度に行った予備調査で採取した土壌試料から 16 個, 本年度の調査より 13 個の合計 29 個の表層土壌試料を用いた. 得られたヒステリシスパラメータの比を用いてマグネタイトの粒子サイズを求めるため, Day plot を用いた (Day et al. 1977;

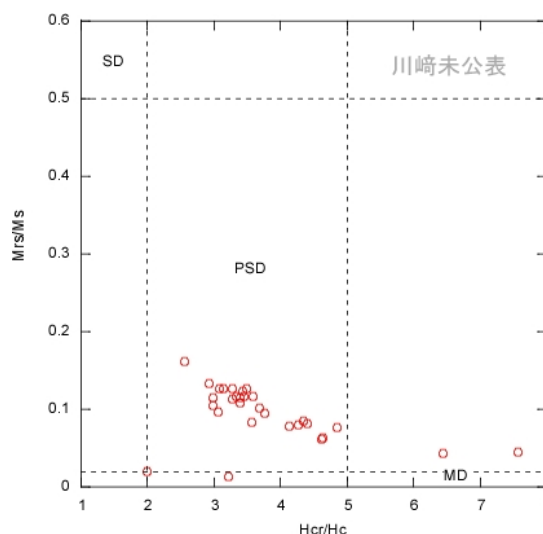


図 3. 代表的な土壌試料の Day plot

Dunlop 2002). その結果, 90%の試料が PSD 領域を示した. PSD 領域を示す要因として PSD 粒子が主であることのほかに, 単軸 (SD) 粒子と MD 粒子の混合が考えられる. しかし, 本研究で用いた試料の保磁力は <12 mT であり, SD マグネタイトの保磁力より弱く (Evans and Heller 2003), SD 粒子より大きな粒径 (PSD, MD) が主であると考えられる. この結果は, 帯磁率の周波数依存性で得られた結果を支持する. Mullins (1977) は, 一般的な土壌の帯磁率周波数依存性は, 土壌形成作用により形成した SP 粒子の影響で, ~10%程度を示すこと

を報告している。また、Shenggao et al. (2005)は、自動車の排気孔から直接採取した試料の岩石磁気調査の結果、磁性鉱物の粒径として、MD 粒子が支配的であると報告している。従って、本研究で得られた結果は、表層土壌中には人為起源の磁性鉱物が支配的であることを示唆する。

3-3-3. 帯磁率の温度依存性

代表的な 12 試料を対象に、Agico 社製 Kappabridge KLY-3/CS-3 システムを用いて帯磁率の温度依存性を調べた。アルゴン雰囲気中で得られた加熱曲線は 580°C 付近ではほぼ帯磁率がゼロとなるため、主要な磁性鉱物はマグネタイトである事を示す (図 4)。また、500°C 付近からの帯磁率の減少は、チタノマグネタイトの存在を示す。チタノマグネタイトは、自然由来のため、母岩から風化などにより土壌中に生じたと考える。一方、マグネタイトは自然由来と自動車排気ガス等の人為起源が考えられる (Evans and Heller 2003 など)。帯磁率と道路からの距離の関係より、土壌中のマグネタイトは自然由来と人為起源の混合ではあるが、道路近傍では人為起源の割合が高くなるのではないかと考える。

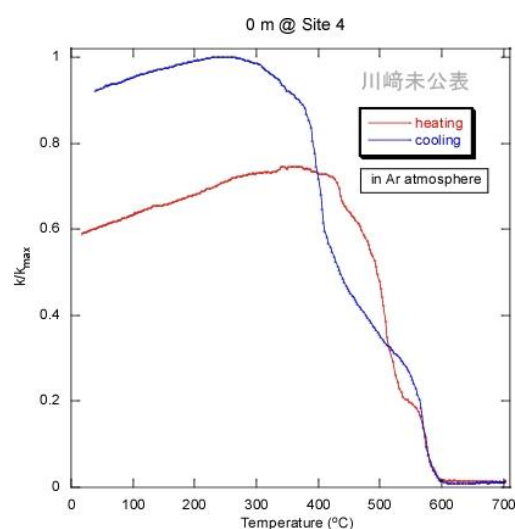


図 4. 代表的な帯磁率温度変化曲線。赤線は加熱曲線を、青線は冷却曲線を示す。

4. まとめ

本申請課題では、美女平駅周辺からブナ平の区間について、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帯磁率が減少する傾向が認められた。特に 0-2 m の範囲での帯磁率の減少が顕著であり、このことは帯磁率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ともに、主として 2 m 以内に汚染物質が分布していることを示す。主要な磁性鉱物は PSD-MD サイズのマグネタイトである。本研究では、野外帯磁率測定を主とした環境磁気調査が自動車由来の汚染物質の空間分布の把握に有効であることを示した。今後は、弥陀ヶ原~室堂エリアまで調査範囲を広げ、アルペンルート沿いでの環境磁気マップを作成するとともに、他の山岳地域への応用を行いその汎用性を確認する予定である。