

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、立山地域の新規環境磁気調査法の開発と開発手法を利用した環境評価を行った。

環境磁気調査法は、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おり（e.g. Evans and Heller 2003）、ヨーロッパを中心に火力発電所や重工業地域の排水等を対象にした研究が報告されている。自動車由来の汚染物質調査に関しては、イギリスのロンドンの高速道路を対象にした研究（Beckwith et al. 1990）やドイツの高速道路を対象とした研究（Hoffmann et al. 1999）等、初期はヨーロッパを中心に調査が行われていたが、近年では、中国（e.g. Yang et al. 2010）や韓国（e.g. Kim et al. 2007）、ネパール（Gautam et al. 2004）を始めアジア諸国でも報告がなされている。これまでの研究では、道路からの距離に反比例して減少する帯磁率や、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（e.g. Hoffmann et al. 1999）。

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) 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主要な要因として指摘されている（Torii 2005）。昨年度我々は、中部山岳国立公園・立山の美女平駅周辺からブナ平の区間で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、主として美女平周辺では 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。

本研究は、昨年度の成果をもとに調査範囲を弘法から弥陀ヶ原までの立山黒部アルペンルートへと拡大し、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。また、試料採取が極めて困難な地域での有効な環境磁気調査法の確立を目的とし、新規の調査手法の開発を行った。立山におけるバスの排出ガスの規制に関する条例が本年度制定（平成 27 年度 4 月 1 日より施行）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調査法の確立は、豊かな自然環境を有する環日本海地域において重要な課題である。

## 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、弘法周辺から弥陀ヶ原周辺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 30 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、最大 30 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 1 m 間隔で、30 m までを 5 m 間隔で実施した。

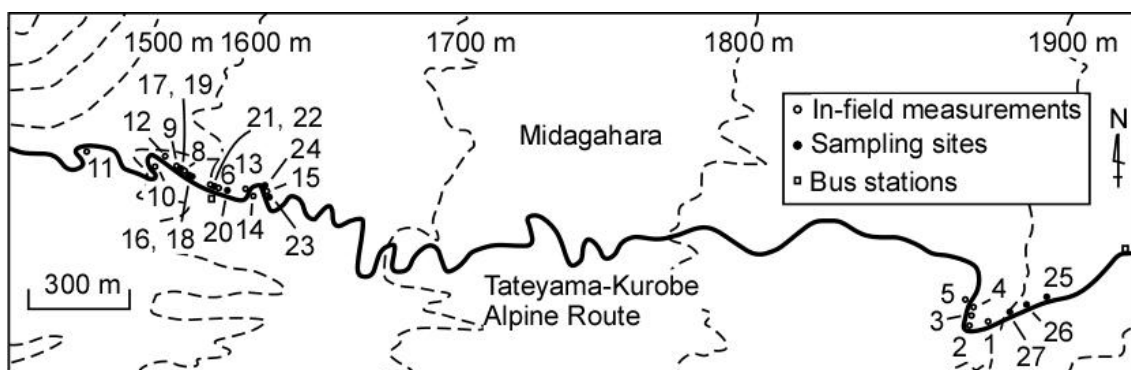


図 1. 調査地域。○は野外帯磁率測定地点，●は試料採取地点を示す。

### 2-2. 室内実験

野外帯磁率は、岩石片や植生、空隙の影響の排除が困難である。調査域は、植生豊かな湿地帯を有しており、その一部がラムサール条約に登録されている。また、国立公園特別保護地区にも指定されており、植生や土壌等の採取は厳しく制限されている。従って、環境に配慮した非破壊の新規調査法が望まれる。

本研究では、新たな試みとして立山をはじめ本州の日本海側山地や北海道、朝鮮半島等に分布するチシマザサ (*Sasa kurilensis*) に着目した。チシマザサはアルペンルート沿いで容易に認められ、高さや葉の大きさによる選別が容易である。長さ 10 cm 程度の葉には大気からの落下物が付着していると考えられ、自動車起源の汚染物質調査に有効と考えた。

本研究では、高さ 40-50 cm のチシマザサから長径が 10 cm 程度の葉を 10 枚選び、市販のアルコールウェットティッシュ (以下、ワイプ) で両面を拭き取

った。野外調査と同様に弘法から弥陀ヶ原の区間で 12 サイトを設定した(図 1)。各サイトでは、側溝脇を 0 とし、道路から直交する方向へ最大 10 m までの範囲(1 m までは 50 cm, 5 m までは 1 m, 10 m までは 5 m 間隔)で調査を行った。ワイプは、7 cc プラスチックキューブケースに詰め、重量を測定後、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(図 2)。サイト 5 は斜面の下方に位置しており、帯磁率の高い礫などが集積した可能性がある。サイト 5 を除く全てのサイトで帯磁率の最大値が 0 m から 0.5 m の範囲で認められ、2 m 以内で急激に帯磁率は減少し、ほぼ基底値となった。このような帯磁率分布は昨年度実施した美女平周辺での野外帯磁率分布と一致する。

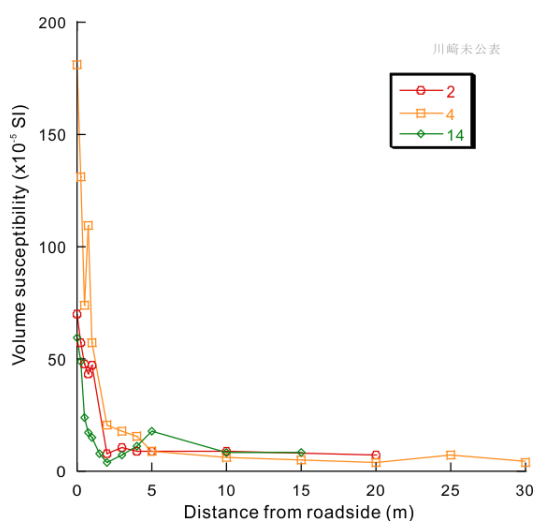


図 2. 代表的な野外帯磁率測定の結果。

#### 3-2. 室内岩石磁気測定

##### 3-2-2 段階 SIRM 獲得実験

代表的な 12 試料と未使用ワイプ 1 試料に対し、飽和等温残留磁化 (SIRM) 獲得実験を行った。実験は MMPM9 パルス磁化器を用いて 10, 30, 60, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 600, 900 (mT) の 11 段階で直流磁場を印加し残留磁化を測定した。未使用ワイプ使用を含む全ての試料で残留磁化の獲得が認められた(図 3)。アルペンルートからの 0 m 地点の平均 SIRM 強度が最も高く距離が離れるに従い SIRM 強度は弱くなる。一方、未使用ワイプ試料の SIRM 強度は、5 m 以上離れた地点の平均磁化強度より、1/10 程度低い磁化強度を示した。このことは、チシマザサの葉には磁性鉱物が付着しており、拭き

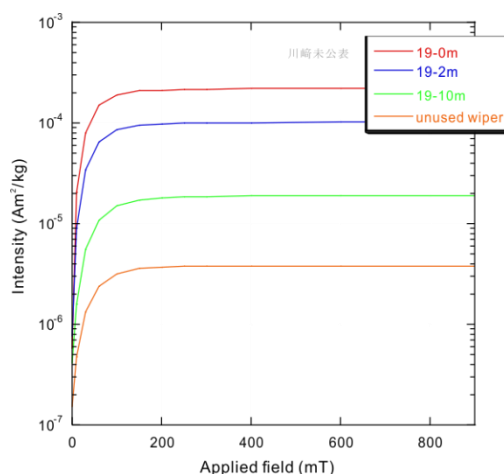


図 3. 代表的なワイプ試料と未使用ワイプの段階飽和等温残留磁化獲得曲線。

取りが有効であることを示す。また、ワイプ試料の磁性鉱物量の指標として SIRM が有効であることが示された。SIRM 獲得曲線から試料は 150 mT までに飽和しており、主要な磁性鉱物は多軸 (MD) マグネタイトと考えられる。

### 3-2-3. 残留磁化

道路からの距離と磁性粒子量を比較するため、試料に対し 900 (mT) の印加磁場を加え、飽和等温残留磁化 (SIRM) を獲得させた。全てのサイトにおいて、アルペンルートから離れるに従い減少する磁気モーメントが認められた (図 5)。この結果は、野外帯磁率測定の結果と同様な結果である。これは、湿地帯においても野外帯磁率調査が人為起源汚染物質の空間分布調査に有効であることを示す。また、全てのサイトで 0.5 m 以内に最大磁気モーメントが認められ、<2 m の

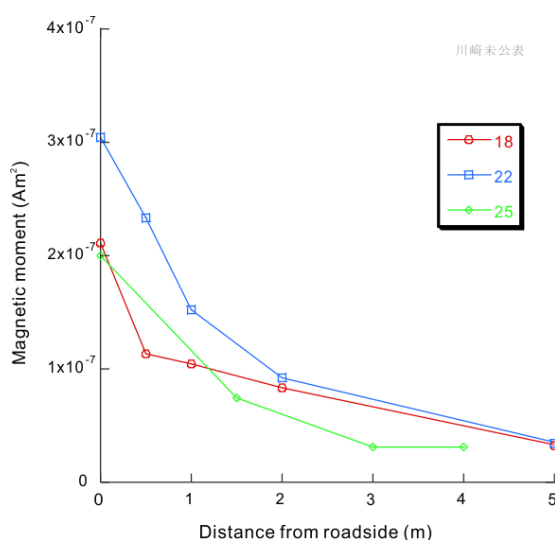


図 4. 代表的な磁気モーメントの結果。

範囲で急激に磁気モーメントの減少が認められた。>2 m でも徐々に減少する磁気モーメントは認められており、帯磁率調査に比べ、より確度の高い磁性鉱物の分布を示していると考えられる。アルペンルート近傍に最大値を取り、距離に反比例する磁気モーメントの減少から、チシマザサに付着した汚染物質の主要な起源として自動車に由来する物質が考えられる。

### 3-2-4. 熱磁気分析

チシマザサに付着した磁性鉱物の熱磁気分析を目的とし、エタノールを含ませた石英ガラスウールを用いて葉を拭き取った 6 試料について、Lake Shore 社製 PMC MicroMag 3900 Series 高温炉付試料振動型磁力計 (VSM) にて熱磁気分析を行った (図 5)。ヘリウム雰囲気中で得られた加熱曲線は、580°C 付近で磁気モーメントはほぼゼロとなるため、主要な磁性鉱物はマグネタイトと考えられ、SIRM 獲得実験の結果と一致する。

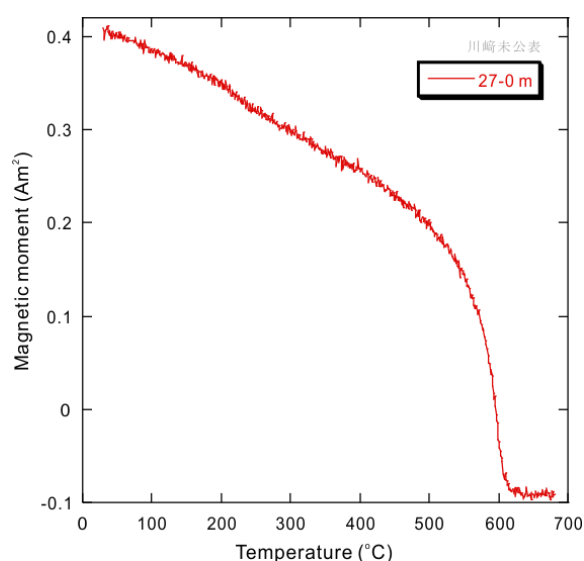


図 6. 代表的な熱磁気分析結果。

### 3-2-5. ヒステリシス曲線

チシマザサの葉に付着したマグネタイトの粒子サイズを求めるため、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). >4 m 地点の試料は含まれるマグネタイトが微量であり、確度の高いヒステリシスパラメータが得られなかったため、Day plot から除外した. 結果は、83%の試料が疑似単軸 (PSD) 領域を示した (図 7). 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 <10 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.

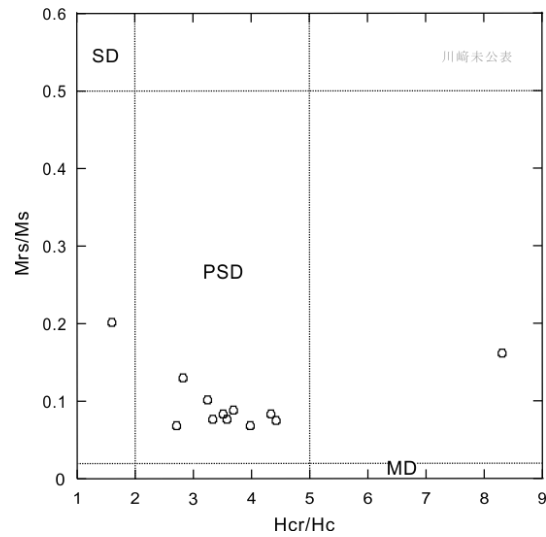


図 7. Day plot

## 4. まとめ

本申請課題では、中部山岳国立公園・立山の弘法から弥陀ヶ原の区間について、立山黒部アルペンルート沿いの磁気特性調査を行った. 特別保護地区を含む研究調査域では、環境に最大限配慮した調査が望まれる. 野外調査では非破壊の帯磁率測定を行い、ほぼ全てのサイトでアルペンルートから離れるに従い帯磁率が減少し、特に 0-2 m の範囲での減少率が顕著であった. 土壌採取に代わる新規測定手法として、チシマザサを利用した. 葉の付着物をウェットティッシュで拭き取り、磁気分析を行った結果、アルペンルートから離れるに従い減少する磁気モーメントが認められた. 帯磁率同様に 2 m 以内での減少が著しい傾向が認められ、人為起源汚染物質の空間分布調査に対し、チシマザサの葉の付着物の残留磁化測定が有効であることを示した. また、付着物の岩石磁気分析より付着物中の主要な磁性鉱物が多軸 (MD) マグネタイトであることが明らかになった. 本研究は、世界的に分布するチシマザサが環境磁気の手法を用いた人為起源汚染物質の空間分布調査に有効であるという新知見を得た. また、道路沿いの植生環境に依存せず、人為起源汚染物質は道路から 2 m 以内に多く沈着する傾向があることを明らかにした. 今後は、得られた成果を基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.