磐梯火山のボーリングコアを用いた岩屑なだれ堆積物の岩石磁気学的研究

著者	酒井 英男, 渡辺 勝也, 井口 隆
雑誌名	防災科学技術研究所　研究報告
巻	64
ページ	19-31
発行年	2003-03
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00001139

防災科学技術研究所研究報告　第 64 号　2003 年 3 月

磐梯火山のボーリングコアを用いた岩屑なだれ堆積物の岩石磁気学的研究

酒井英男*・渡辺勝也*・井口　隆**

Rockmagnetic Studies on Volcanic Deposits in Boring Cores from Mt. Bandai

Hideo SAKAI *, Katsuya WATANABE *, and Takashi INOKUCHI **

* *Dept. Earth Sciences, Faculty of Science, Toyama University, Japan*
** *Disaster Prevention Research Group,*
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

Abstract

Rockmagnetic studies were conducted on the five boring cores (BD1-BD5) from Mt. Bandai of Fukushima Prefecture.

The debris avalanche of 1888 collapse in the core BD1 (20m length) and in the BD2 (80m length), shows the stable remanent magnetization with the constant inclination, which suggests that the debris avalanche was transported without much deformation and slided as blocks to rest on the present sidling area.

Cores BD4 (3km from crater) and BD5 (1.5km from crater) include the Okinajima debris avalanch. The avalanch in BD5 shows the remanent magnetization with constant inclination indicating the transportation as the block sliding to BD5 site. In the case of BD4, the Okinajima debris shows the region with constant inclination and the region wth disturbed inclination, i.e., the Okinajima debris may have been formed through the several times of process.

This study shows that the rockmagnetic method is useful to investigate the transportation and depositional process of debris avalanches as the huge landslide event.

Key words : Remanent magnetization, Anisotropy of magnetic susceptibility, Gigantic landslide, Debris avalanches, Hummocky hills

1. はじめに

火山地域において大規模な崩壊が生じる際，地すべりブロックの様に内部変形をあまり起こさずに移動する可能性が考えられている（守屋，1978）．崩壊により岩屑が移動する時の変形については，その有無をしらべる証拠を見つけることは容易では無い現状において，我々は岩石磁気の研究が利用できるとの考えで研究を行っている．本稿では，磐梯山の崩壊堆積物を対象として，残留磁化と磁化特性による岩屑の移動と堆積形態の研究を実施した結果を報告する．具体的な試料として，防災科学技術研究所が磐梯山において平成 3 ～ 7 年度に掘削調査したボーリングコアおよび流れ山露頭の試料を扱った．

磐梯山（標高 1,818.6m）は福島県中部に位置し，新第三系を基盤とする新旧の火山（古磐梯，新磐梯）と古い先磐梯火山から構成されている（三村・中村，1995）．先磐梯火山は 1888 年の崩壊カルデラの下部に露出し，古磐梯の主体山は櫛が峰と赤埴山の火山体から成る．また新磐梯は古磐梯のカルデラ内に噴出した大磐梯火山体

* 富山大学理学部地球科学科
** 独立行政法人　防災科学技術研究所　総合防災研究部門

と，1888 年噴火で崩壊した小磐梯山体から構成されている．古磐梯と新磐梯は，山体形成後に数回の大崩壊を起こして岩屑なだれを発生している．本稿では，翁島，頭無及び 1888 年の岩屑なだれ堆積物を研究対象とした．これらの岩屑なだれについては，井口（1988），井口他（1988），三村（1988）などに詳しく記述されている．

1888 年の噴火では，小磐梯の山体崩壊により総体積 1.5km³，分布面積 3.5km² の岩屑流が発生し，北側へ流れて多くの流れ山や湖沼が形成された．さらに崩壊斜面では，アバランシュバレーや直線上の裂谷，長円形の流山，地滑り状の滑落壁などの特異地形が発生している．関谷・菊池（1888）は，崩壊源付近の調査時に岩塊崩壊を目撃し，「崩れ落ちた岩塊が粉砕されて，あたかも水が低い方に流下するのと同じ様に流れ下った」と述べている．

磐梯山において最も規模の大きな翁島岩屑なだれ堆積物は，8 ～ 9 万年前に流出したと考えられている（鈴木，1987）．頭無岩屑なだれ堆積物は翁島岩屑堆積物を覆って，南西麓一帯に分布している（三村・中村，1995）．

1888 年の崩壊に伴い，多数の家屋耕地の埋没，477 人の死者・行方不明者という大被害が生じた．本研究で目的とする，岩屑なだれの移動形態を堆積物の岩石磁気から探る新たな研究方法を開発することは，火山麓の防災対策においても有用な情報源となると考えて，研究を実施した．

2．岩石磁気の研究

2. 1　残留磁化

岩石や堆積物には，一般に鉄の酸化物や硫化物が数％含まれている．これらは，磁性鉱物と呼ばれており，磁界から取り去っても残る残留磁化を有する．磁性鉱物は自然界では，地磁気（偏角，伏角，磁場強度）に対応した残留磁化を獲得でき，その結果，火山噴出物や堆積岩は，形成当時の地磁気の化石を残留磁化として記録する（**図 2.1**）．今回，研究対象とするボーリングコア試料の年代（過去 100 万年より若い）では，地磁気の磁極の位置は現在と大きく変わらず，また東北日本の変形や移動を引き起こす様なテクトニックイベントは起きていない．そのため，磐梯山の崩壊物を対象に，残留磁化から山体崩壊に伴う岩体の移動が議論できる．

岩石の残留磁化には形成時の初生磁化以外に，二次的な磁化が付加していることが多い．二次磁化は不安定であり，消磁法により二次磁化を除去すれば信頼できる初生磁化が求まる．今回は，交流消磁法と熱消磁法を用いて初生磁化を求めた．消磁結果の解析には，磁化ベクトルの方向と強度の変化を示すザイダーベルド図（**図 2.2**；Zijderveld，1967）を利用した．これは，三次元ベクトルを鉛直と水平成分に分解投影し，水平成分を 90 度回転して鉛直平面と重ね合わせた二次元表現の方法である．同図において，磁化の NS-上下面への投影は白抜き丸で，水平成分は黒丸で示されている．

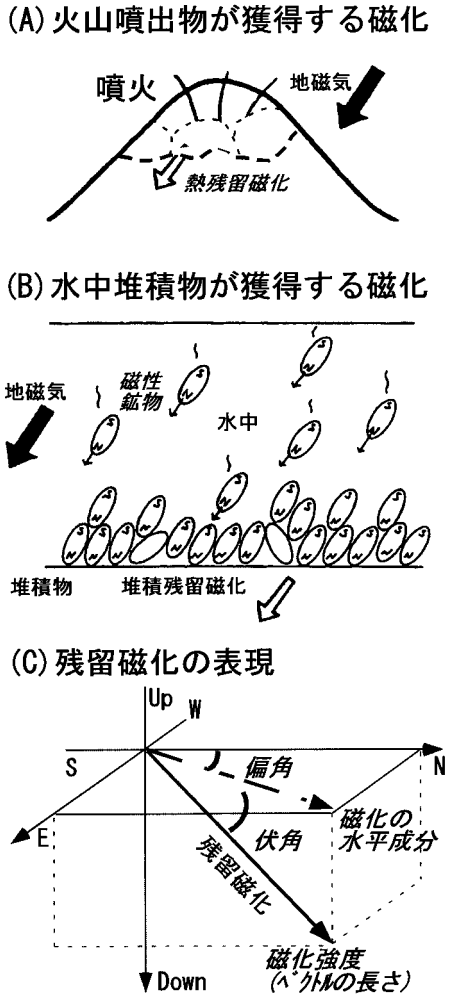


図 2.1　火山噴出物（A），堆積岩（B）の残留磁化．（C）は残留磁化の伏角，偏角と磁化強度を示す．

Fig. 2.1　Shematic sketch of magnetization proces for volcanic rock (A) and sedimentary rock (B). Parameters of remanent magnetization are shown in (C).

2. 2　帯磁率と帯磁率異方性

帯磁率（magnetic susceptibility）は岩石試料の磁化のし易さの指標であり，岩石に弱い磁場をかけて誘導される磁化を測定して求める．誘導磁化 J と磁場 H の比例関係から，J ＝ KH（K：帯磁率）と表現される．

また岩石の帯磁率には，岩石構造の異方性を反映して磁化し易い方向と磁化し難い方向が存在し，これを帯磁率異方性と称している．実際には，磁性鉱物の岩石内部での平面・三次元的配列に依存して帯磁率の異方性が生じる．異方性は大きく分けると，**図 2.3** の様に，針状異方性（長軸方向に磁化しやすい）と層状異方性（平面方向に磁化しやすく，厚さ方向に磁化しにくい）がある．

図 2.3 の上の図に示す様に，帯磁率の異方性を楕円体近似し，3 つの主軸方向の大きさである最大軸（Kmax），中間軸（Kint），最小軸（Kmin）を求め，縦軸に（Kmax/

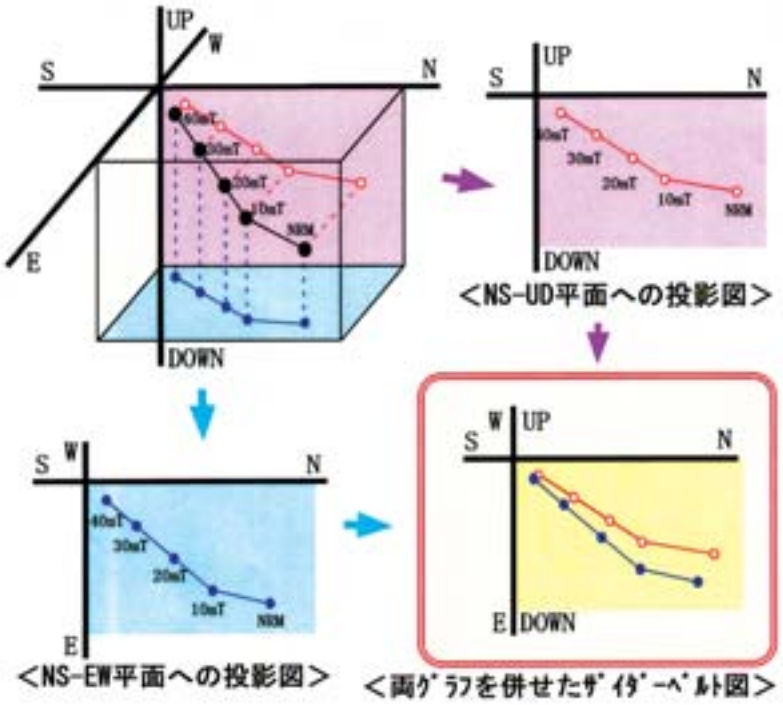


図 2.2　ザイダーベルド図による消磁実験の結果解析．交流消磁実験の例であり，NRM は消磁前，10，20，30，40mT（milli tesla）は消磁の磁場強度を示す．

Fig. 2.2　Zijderveld diagram to analyze the progressive demagnetization results. The example is the alternating magnetic demagnetization, where NRM (natural remanent magnetization) is magneitization before demagnetization ; 10, 20, 30, 40mT (milli tesla) is the intensity of magnetic field.

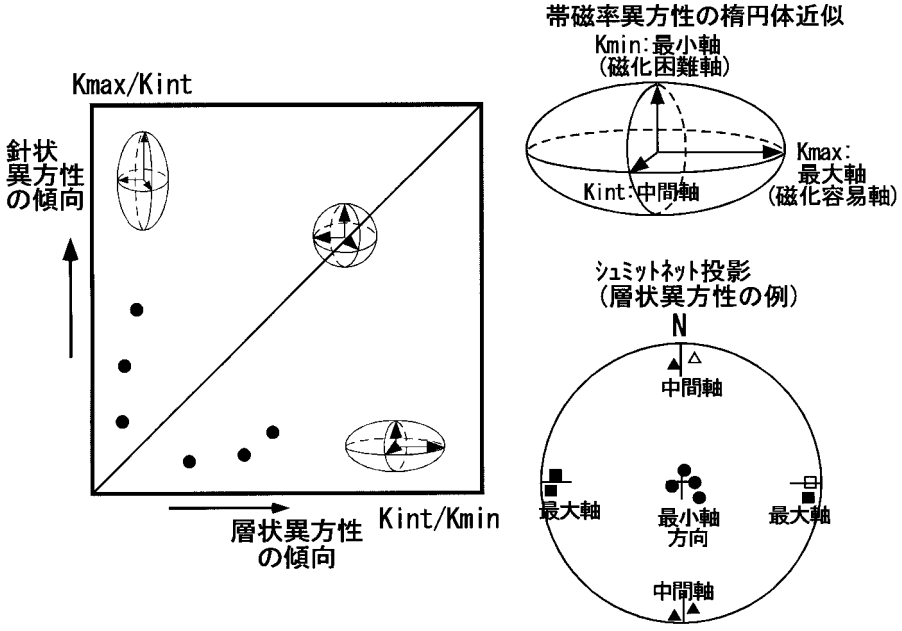


図 2.3　帯磁率異方性の楕円体近似と，その 3 主軸を用いて異方性の形状を調べる Flinn 図法．縦軸には（Kmax/Kint），横軸には（Kint/Kmin）を取っている．

Fig. 2.3　Anisotropic feature of magnetic susceptibility shown by the AMS ellipsoid. Susceptibility data (Kmax, Kint, Kmin) for each sample are shown in the Flinn diagram of (Kmax/Kint vs Kint/Kmin) to examine the fablic of AMS ellipsoid.

Kint），横軸に（Kint/Kmin）を取ったグラフ上で，測定結果を検討することにより，試料に含まれる磁性鉱物の配列が層状であるか，針状の形状であるかがわかる．このグラフは Flinn diagram（Flinn，1962）と称されている．

帯磁率異方性の解析により，磁性鉱物の配列を通し試料中の鉱物粒子の配向や堆積環境を探ることができる．静かな環境での堆積過程では，磁性鉱物は水平面内に堆積するため，異方性の最大軸や中間軸は水平面内の方向を向き，最小軸は鉛直方向を向くことになる．この帯磁率異方性の測定解析により，湖の堆積物が堆積した当時の古環境（Sakai *et al.*，2000，2001）や火成岩の流動方向の復元，さらに噴出源の方向を探る研究が可能である．今回は，残留磁化とともに，帯磁率異方性による岩体移動の検討も試みた．

3．実験の概要

3. 1　ボーリングコア

研究対象とするボーリングコアは，平成 3 年度から平成 7 年度にかけて実施された科学技術振興調整費の「火山地域における土砂災害予測手法の開発に関する国際共同研究」のために防災科学技術研究所が掘削したものである．コアは全部で 5 本あり，平成 3 ～ 5 年に福島県耶麻郡北塩原村の標高約 900m，1,100m および 1,140m において BD1，BD2，BD3 の 3 本のコアが掘削され，平成 6 年から 7 年には，猪苗代町の標高約 700m と 1,000m で BD4 と BD5 の 2 本のコアが掘削された．**図 3.1** は，5 本のコアの掘削地点を示している．



図 3.1　ボーリングコア BD1 ～ BD5 の掘削地および翁島岩屑なだれ堆積物を採取した流れ山露頭 Site14 の位置

Fig. 3.1　Boring locations of BD1 to BD5 cores of Mt. Bandai and sampling location site 14 of Okinajima debris avalanche deposit (hummocky hill).

磐梯山の北壁に位置する BD1 ～ BD3 コアの掘削地点は 1888 年の崩壊堆積物の分布地域にあたる．これら 3 本のコアについては，1888 年の崩壊堆積物を対象として研究を行った．研究結果の一部は，酒井ほか（1995）でも報告している．

磐梯山の南壁で掘削された BD4 と BD5 コアには，翁島と頭無の岩屑が含まれており，両コアにおいては，これらの岩屑を中心に研究を行った．

3. 2　岩石磁気の研究試料

実験試料は，防災科学技術研究所に保管されていたコア試料から，上下の間違いが無く長さが 10 ～ 30cm の比較的長い部分を選んで作製した．破砕箇所や採取率が悪い部位は採取しなかった．これらの小コアは主に火山岩類と火山性堆積物からなり，実験室で小コアから直径 1 インチの円柱状試料をドリルでくり抜き，整形して実験試料を作成した（**図 3.2**）．

残留磁化の測定には，夏原技研製の SMM85 型リングコアスピナー磁力計と，米国 2G 社製のパススルー型スクイッド磁力計を利用した．帯磁率の測定には Bartington 社製の MS2 型帯磁率計を用い，帯磁率異方性は，AGICO 社製の KLY-3S Kappabrige 帯磁率計にて測定した．磁化の安定性は消磁実験（主に交流消磁法，一部は熱消磁法）により検討し，安定な磁化が得られた測定結果を議論に用いている．

4．磐梯山北壁の BD1，2，3 コアの研究

BD1 コア（100m 長）は，1888 年の崩壊源より下のアバランシュ・バレー（Nakamura，1978）に位置し，岩屑なだれ堆積物は深度 21.2m より浅部と考えられていた．**図 4.1** の（A）に示す伏角の深さ変化では，コア全体を

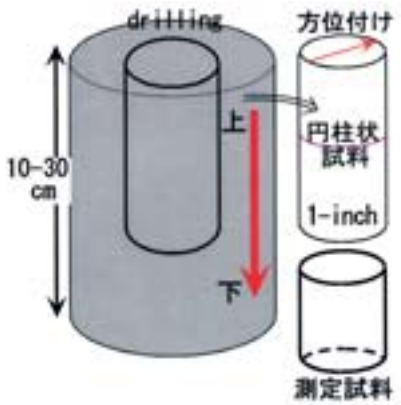


図 3.2　コア試料の整形過程の様子

Fig. 3.2　Preparation of the sample for rockmagnetic study from boring core.

通して伏角は 50 ～ 65 ゜を示し，地山だけでなく，深さ 21.2m までの 1888 年岩屑なだれ堆積物の伏角も揃っていた．また，それらの伏角は，現在の地磁気伏角（57 ゜）とあまりずれていない．さらに磁化特性からみて，岩屑が再磁化した可能性は低いので，磁化伏角が揃っていることは，山体形成時に地磁気方向に磁化を獲得した岩体が，山体崩壊に伴なって岩屑となったが，内部変形をあまり被らずにブロックとして BD1 地域に運ばれたことを示すと考えられる．

BD2 コア（209m 長）の掘削地点は，1888 年の崩壊源末端部にあたる．岩屑なだれと考えられるコアの上部は，伏角（**図 4.1**（B））が 60 ～ 75 ゜に集中しており，BD1 コアと同様に，大きな変形を被らずに現位置に運ばれたと考えられる．また，下位の地山（安山岩溶岩）の伏角に比べて，岩屑の伏角は約 15 ゜深い．これは，岩屑が同地域にブロック移動して，山体斜面より 10 ～ 15 ゜傾いた地形に堆積したか，或いは移動中に水平面内でのかなりの回転を被ったことを示すと考えられる（**図 4.2**）．

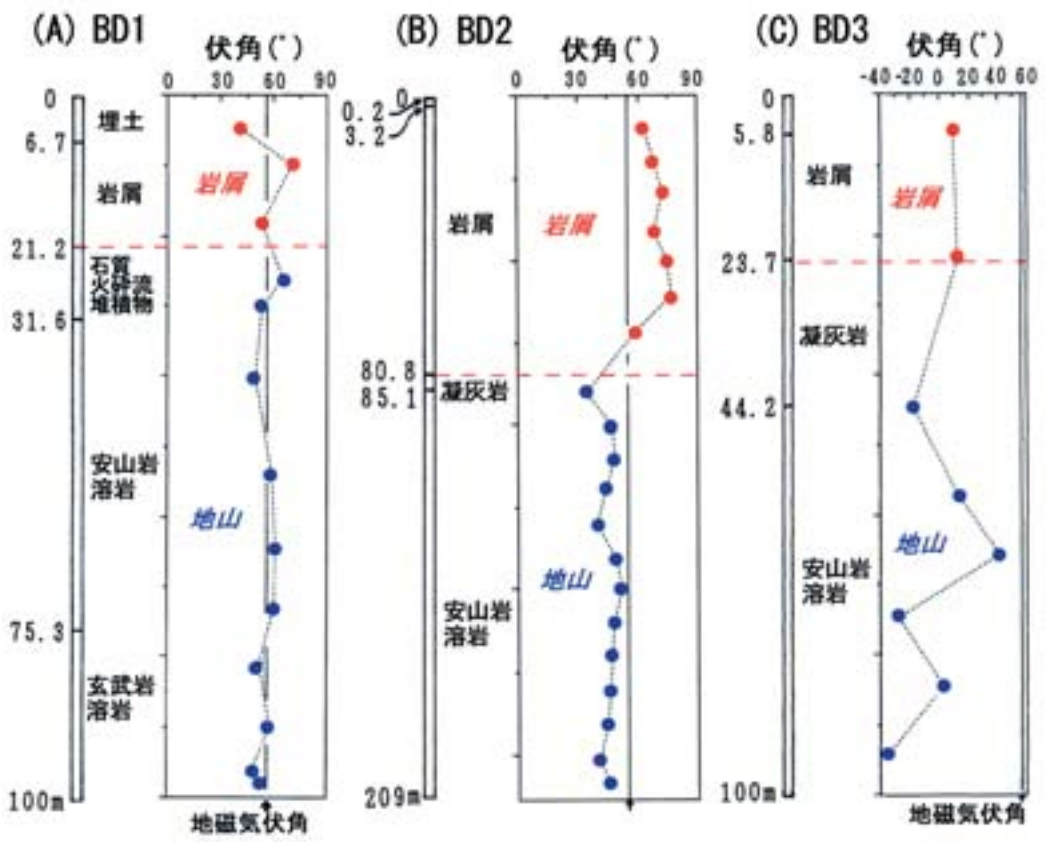


図 4.1　コアの岩相と伏角の深さ変化．（A）：BD1 コア，（B）：BD2 コア，（C）：BD3 コア

Fig. 4.1　Inclination of remanent magnetization and lithofacies for boring cores. (A) : BD1, (B) : BD2, (C) : BD3

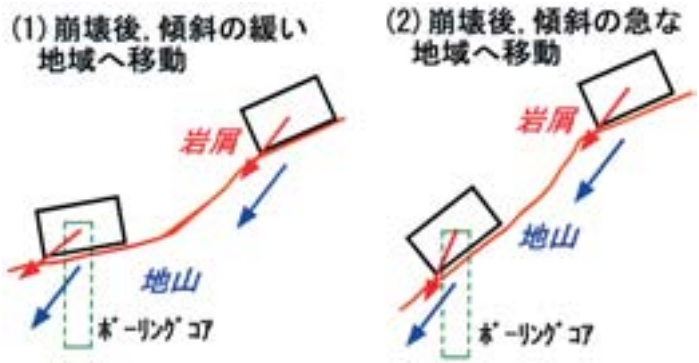


図 4.2　岩屑なだれのブロック移動と推測される残留磁化の方向（北壁の場合）

Fig. 4.2　The possible process of the movement and settlement of debris avalnanche deposit. The case (2) is considerable at location BD2.

BD3 コア（100m 深）の掘削点は山体崩壊の崩壊源内に位置し，深度 23.7m までは変質の著しい岩屑，23.7 ～ 44.2m は凝灰岩，孔底までは破砕の進んだ安山岩溶岩からなる．BD3 コアの伏角は，地磁気伏角と大きく異なる（**図 4.1**（C））．下位の地山も伏角の変化は大きく，岩屑も地山もかなり破砕を受けていると考えられる．

以上の様にコアの磁化から，1888 年噴火に伴った磐梯山北壁の岩屑なだれの移動形態が検討できた．BD1 と BD2 地点は 1888 年の崩壊源から 1 ～ 2km 離れている（井口ほか，1988）．BD1 と BD2 コアの上部 20 ～ 80m にあたる大きな岩屑のブロックが，内部の変形を殆ど受けずに数 km 移動したという，火山崩壊に伴う地すべり的な巨大岩塊の移動・堆積の過程を，岩石磁気の研究により検討できることが示された．

以上の結果を踏まえて，次に，山体南壁の BD4 と BD5 のコアに含まれる数万年前に発生した翁島と頭無の岩屑なだれ堆積物について移動・堆積の過程を探るため，岩石磁気の研究を実施した．

5. 磐梯山南壁の BD4 と BD5 コアの研究

5. 1　BD4 コア

BD4 コア（長さ 400m）の掘削点は，火口から南方へ 3km で大磐梯の新期溶岩流地形に位置する．コアの岩相は，15.7m までは泥流堆積物，15.7 ～ 55m は頭無岩屑なだれ堆積物，55 ～ 254.6m は翁島岩屑なだれ堆積物，その下位は地山の赤埴山火山体と考えられている（**図 5.2**）．

5. 1. 1　残留磁化

図 5.1 に交流消磁実験の結果を示しているが，コアの殆どの試料は二次磁化の付着も少なく安定な磁化を示した．得られた磁化の伏角（**図 5.2**）について検討した．

赤埴山火山体の伏角は地磁気伏角に近く，同火山体は地山として火山体形成時の地磁気を記憶していると考えられる．

頭無岩屑なだれの領域は，30 °付近の浅い伏角を示しているがばらつきも見られる．内部変形はあまり受けずにブロック移動をしたと考えられるが，水平面内での回転も被っている可能性が高い．

翁島岩屑なだれの領域は，**図 5.2** に示す様に，伏角から 3 領域（A，B，C）に分類できた．領域 A（深度 55 ～ 104.5m）の伏角は 30 ～ 60 °を示し，領域 B（深度 104.5 ～ 204.9m）ではばらつき，領域 C（深度 204.9 ～ 254.6m）は 35 ～ 80 °の伏角を示した．領域 A と C は現地の地磁気伏角に近い値であったが，領域 B の伏角は変動が大きい．BD4 コアにおける翁島岩屑は，内部変形の少ないブロック状の岩屑なだれ（C）として移動堆積後，

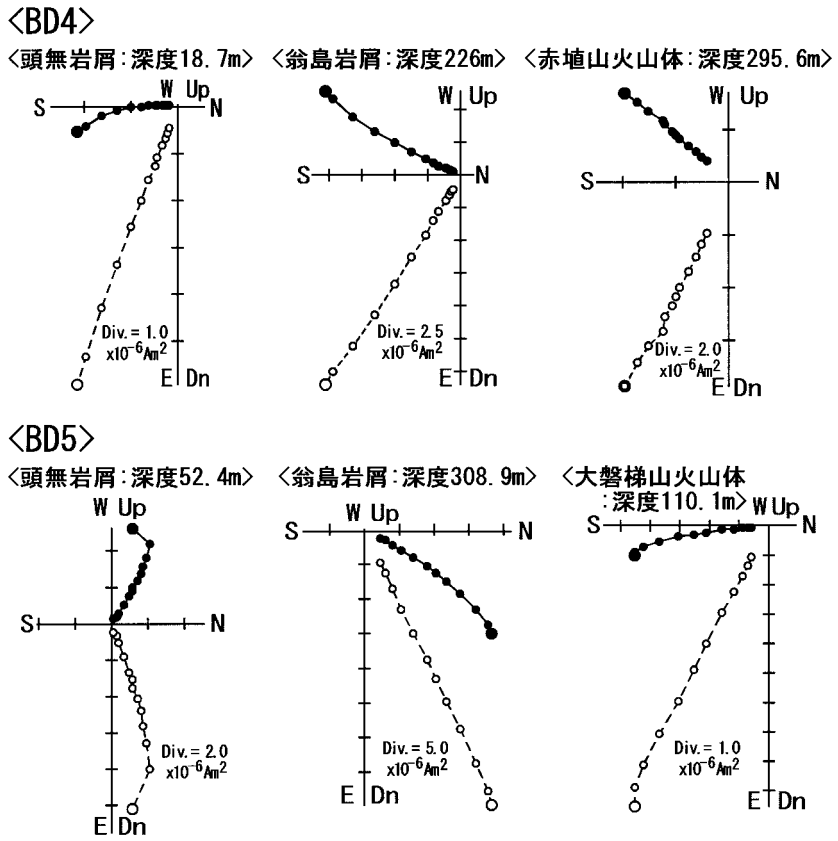


図 5.1　交流消磁の結果の例をザイダーベルド図で示した．上：BD4 コア，下：BD5 コア

Fig. 5.1　Examples of the alternating field demagnetization result shown by the Zijderveld diagram. The upper figures : samples for BD4 core, the lower figures : samples for BD5 core.

変形が大きい岩屑なだれ（B）が到達し，再びブロック状の岩屑なだれ（A）が堆積して形成されたことを考えさせる．

各領域の境界は，コアの色調変化としても認められている．色調は，頭無岩屑なだれと領域 A の境界で褐色から暗灰色に変化し，領域 B と C の境界で暗緑・灰色から緑・褐色に変化した（科学技術庁防災科学技術研究所・地熱エンジニアリング株式会社，1994）．

以上 3 つの領域の特徴は，翁島岩屑が BD4 地域に複数回の流下により堆積したことを示唆する．井口（1988）による堆積学的な見地でも，翁島岩屑なだれが複数回（2 回以上）発生した可能性が指摘されている．

5. 1. 2　帯磁率異方性

図 5.3 では，BD4 コアの帯磁率異方性の形状を Kmax/Kint vs Kint/Kmin のグラフにより検討した．コア全体では顕著な層状や針状の異方性は認められなかった．ただ翁島岩屑なだれでは，残留磁化の伏角がまとまっている領域は層状異方性が卓越し，伏角が変動する領域は針状に近い異方性を示す傾向が認められた．この結果は，翁島岩屑の磁化伏角から推測された，数回からなる崩壊と

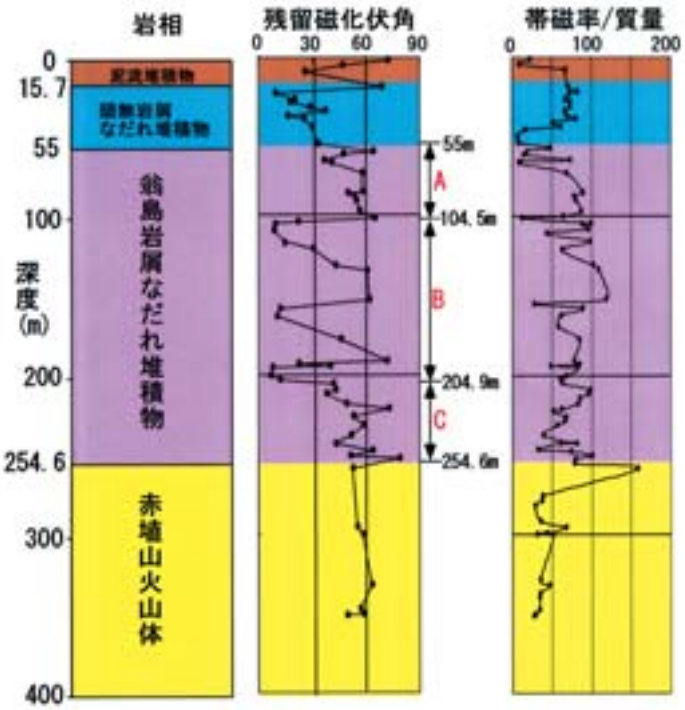


図 5.2　BD4 コアの磁化伏角と帯磁率の深さ変化およびコアの岩相

Fig. 5.2　Rockmagnetic result of BD4 core and its lithofacies. Changes in inclination of remanent magnetization and magnetic susceptibility with depth are shown.

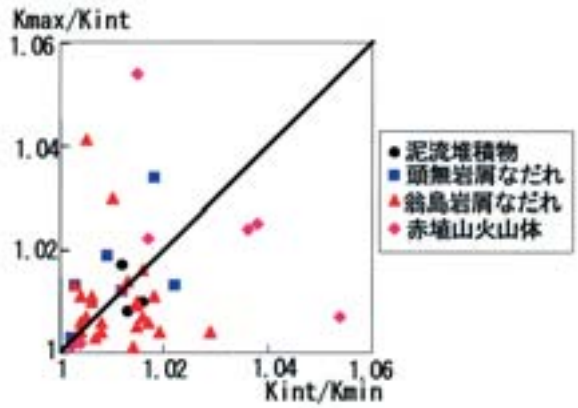


図 5.3　BD4 コアの翁島と頭無の岩屑なだれ堆積物および赤埴山火山体の帯磁率異方性の形状

Fig. 5.3　Results of AMS (anisotropy of magnetic susceptibility) study on BD4. Fablic type of AMS ellipsoid -liniation and/or foliation- is examined in the Flinn diagram (Kmax/Kint vs Kint/Kmin).

流下過程を支持する結果と考えられる．

5. 2　BD5 コア

BD5 コア（長さ 400m）の掘削点は火口から約 1.5km に位置し，大磐梯旧期溶岩流と赤埴山旧期溶岩流地形の境界にあたる．コアの岩相は，25.5 ～ 29.6m の火山灰層を挟み，103m までが頭無岩屑なだれ堆積物，103 ～ 200m は大磐梯山火山体，その下位は翁島岩屑なだれ堆積物と考えられている（**図 5.4**）．

BD5 コアには，頭無と翁島の岩屑なだれ堆積物の間に大磐梯山火山体の地層がある．同地層は BD4 コアには含まれておらず，BD4 地域には翁島岩屑なだれの後に，大磐梯山溶岩流の影響を受けずに頭無岩屑なだれが流下堆積したと考えられている．

5. 2. 1　残留磁化

図 5.1 に示すように，交流消磁実験では同コア試料の磁化は全体として安定であった．

図 5.4 には，伏角と帯磁率の深さ変動を示している．試料が崩れたため，帯磁率のみ測定した試料もある．コア上部約 100m までの頭無岩屑なだれでは，伏角は 30 ～ 60 °の範囲に分布し比較的まとまっており，BD5 地点の頭無岩屑は崩壊源からブロック移動をした可能性が高い．下位の大磐梯山火山体（100 ～ 170m）の伏角は，30 ～ 80 °の範囲で変動している．

コアの深度 200 ～ 400m にあたる翁島岩屑なだれの伏角は，約 60 °の地磁気付近に揃っており，同岩屑は，ブロックとして内部変形をあまり受けずに移動堆積したと考えられる．火口から 3km の BD4 の翁島岩屑なだれでは，ブロック移動の領域と共に，破砕を破った領域もあり，複数回の堆積過程が推定されている．火口から 1.5km の BD5 コアにはブロック移動の領域だけが認められている．BD5 では地山まで掘削されておらず，400m より下位にも続く翁島岩屑に，BD4 コアで認めた数回の流動が残っているかどうかの検討は，今後の研究課題である．

5. 2. 2　帯磁率異方性と移動形態

図 5.5 には帯磁率異方性の測定結果を示している．図（A）の異方性形状の検討では，BD5 コアは全体として層状異方性が卓越していた．特に翁島岩屑は殆どの試料が層状異方性の範囲に分布している．図（B）には，異方性最小軸をシュミット等積投影図に示したが，翁島岩屑の最小軸は鉛直方向にまとまり，堆積当時の面がそのまま水平面となっていると解釈できる．以上の結果は，ブロックとしての移動が滑る様に起きたことを示唆し，磁化伏角から推定された移動過程を支持している．

異方性の最大軸方向は，磁性粒子の水平面での配向を表しており，その地層が最初に堆積したときの磁気環境の化石となっている．堆積物で有れば堆積物の起源物質の流れてきた方向を表し，溶岩においては溶岩流の流下方向の指標になる．

図 5.6 では，各試料について，残留磁化の N 方向からみた帯磁率異方性の最大軸の水平面内での方向を調べた．ボーリングコアでは，掘削時の回転により方位は定まらないが，残留磁化の N 方向を第一近似として北方向と見なし，帯磁率異方性の最大軸について方向の変動を

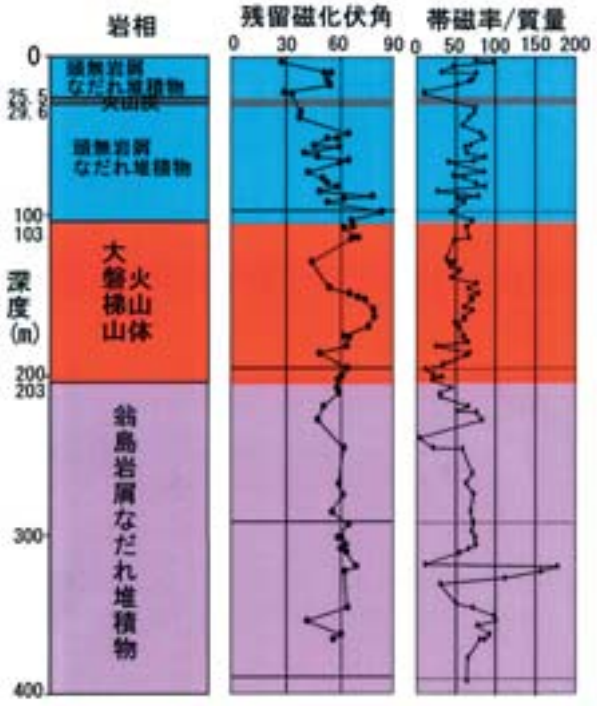


図 5.4　BD5 コアの磁化伏角と帯磁率の深さ変化およびコアの岩相

Fig. 5.4　Rockmagnetic result of BD5 core and its lithofacies. Changes in inclination of remanent magnetization and magnetic susceptibility with depth are shown.

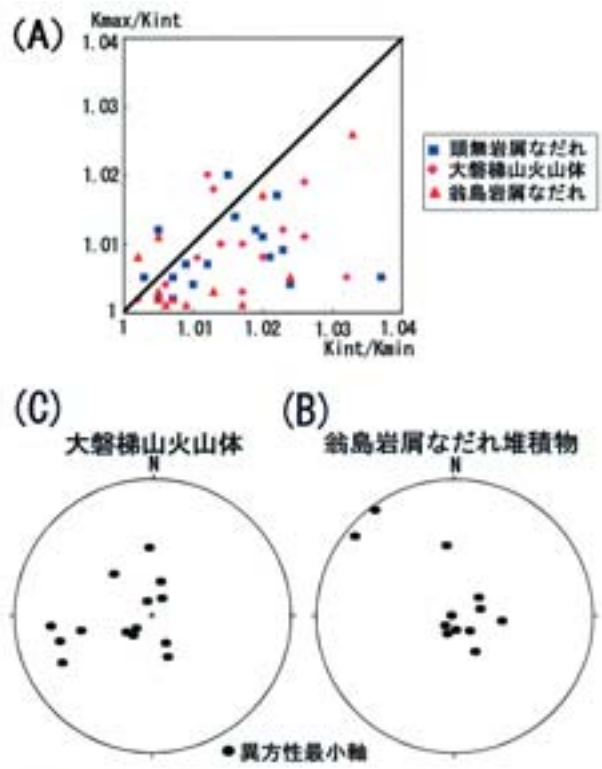


図 5.5　（A）BD5 コアの帯磁率異方性の形状．異方性最小軸のシュミット等積投影図上での分布，（B）翁島岩屑なだれ，（C）大磐梯山火山体

Fig. 5.5　(A) Results of AMS study on BD5. Fablic type of AMS ellipsoid -liniation and/or foliation- is examined in the Flinn diagram. Directional distribution of minimum axis of AMS ellipsoid for Okinajima-debris (B), and that for Obandai lava flow (C).

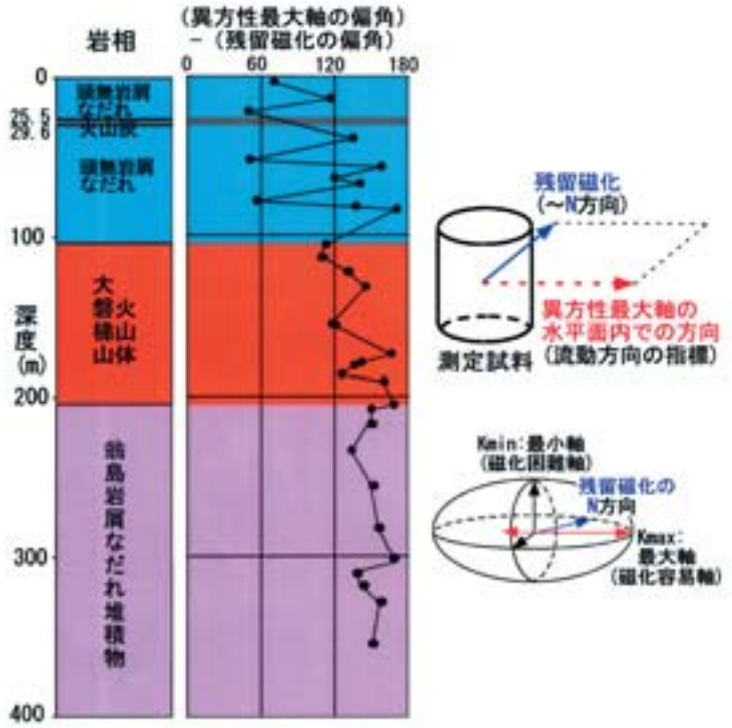


図 5.6　BD5 コアについて帯磁率異方性の最大軸と残留磁化の偏角の差を求め，深度変化として示した．

Fig. 5.6　Directional difference of declination component between the AMS maximum axis and the remanent magnetization for BD5 core.



図 5.7　BD5 コアの翁島岩屑の領域が示す帯磁率異方性最大軸の方向

Fig. 5.7　Direction of AMS maximum axis for Okinajima-debris in BD5 core plotted on the map.

検討した図である．

翁島岩屑の異方性最大軸は，**図 5.6** から求めると，北から西へ 145 °（南から東へ 35 °）付近にある．地図上に示すと，その方向は磐梯山の山頂方向となる（**図 5.7**）．これは，翁島岩屑が数万年前の崩壊前の位置において，岩屑の起源である地層が形成された噴出源の火口の方向を示しているのではと考えられる．こうした帯磁率の異方性の研究は，崩壊源を探るための研究手法となると考えられる．

大磐梯山火山体についても，帯磁率異方性は層状異方性を示し，最小軸は鉛直方向に集まる傾向にある（**図 5.5**（C））．大磐梯山火山体の異方性最大軸は，北から西へ 120 ～ 160 °（南から東へ 20 ～ 60 °）の範囲にある．この方向は，大磐梯山火山体が作られた際の流動方向を示している可能性が考えられる．

5. 3　翁島岩屑なだれ堆積物の磁化

8 ～ 9 万年前に発生した翁島崩れは，磐梯山における最大の山体崩壊であり，岩屑なだれ堆積物は，翁島周辺から会津若松市の北東地域にまで分布している（鈴木，1987，1988；三村，1988）．崩壊源から約 5km 離れた磐梯町布藤地域において翁島岩屑なだれの流れ山露頭を調査した（**図 3.1** の site14）．実験試料は，高さ 20m 幅 80m に及ぶ流れ山の露頭において，水平距離 40m の範囲から 8 個の溶岩岩塊と基質を定方位試料として採取した（**図 5.8**（B））．

図 5.8（A）の右の図は，熱消磁に伴う磁化方位の変化例を示している．各試料に付着していた二次磁化は 200 ℃までの熱消磁で殆どを除くことができた．左のシュミット等積投影図は，540℃熱消磁後の磁化方位を表わしている．偏角は，国土地理院発行による 5 万分の 1 地形図「磐梯山」の西偏 6.5 °で補正している．8 個の試料の磁化は南西方位を向き，伏角は 10 °以内であった．また，溶岩岩塊と基質の磁化方位には，系統的な違いはなかった．

以上の様に，数 10m の高さおよび幅を持つ流れ山露頭の磁化方位は比較的まとまっている．これは，山体形成時に地磁気方向を向いていた磁化が，流れ山の形成過程で岩塊のブロックとして移動したことを示している．

同様な研究として，三村ほか（1982）が，八が岳火山列の南麓に分布する韮崎岩屑流堆積物を対象に行った研究がある．彼らは，流れ山に含まれる岩塊と周囲の基質について調査を行い，岩塊毎に異なる磁化方位を認めた．その結果は，火山体が崩壊して生じた巨大な岩塊が，“ 流れに浮かぶコーヒーカップの様に運搬堆積して流れ山を形成 ” したことを示すと考えられている．

磐梯町布藤にある翁島岩屑の流れ山の露頭においても，残留磁化の研究では，崩壊地から 5km 離れた流れ山の巨大岩塊が，内部はあまり崩れずに移動したとの結果が得られた．ただ，磁化方位は磁北から大きくずれており，また伏角が地磁気より非常に浅いことから，岩塊のブロック移動や流れ山の形成過程で大きな回転も被ったと考えられる．

つまり，磐梯町布藤にある翁島岩屑の流れ山露頭は，崩壊源から現在地へ到達する間に，崩れて小さくなったり，水平面内での回転も被ったと考えられるものの，少なくとも数 10m の幅，高さの範囲では内部構造を残した状態で，5km の距離を移動したと結論する．

6. まとめ

磐梯山で掘削された 5 本のボーリングコアを用いて，岩石磁気学の手法により，岩屑なだれについて研究を行った．

（1）山体北壁のコア BD1，BD2，BD3

1888 年の崩壊による岩屑を研究の対象とした．崩壊源下部のアバランシュ・バレー地域の BD1 コア（100m 長）と崩壊源末端部の BD2 コア（209m 長）は，ともに岩屑の磁化伏角は揃い，地磁気伏角との違いは 15 °以内であった．これは，1888 年の水蒸気爆発で崩壊して BD1 と BD2 地域に到達した岩屑なだれは，大きな内部変形を被らず，ブロックとして滑る様に堆積したことを示している．堆積機構としては，緩慢な速度による地滑り的滑動による堆積とともに，流れ山と似た，流れに浮かぶコーヒーカップの様な堆積過程を被った可能性も考えられる．

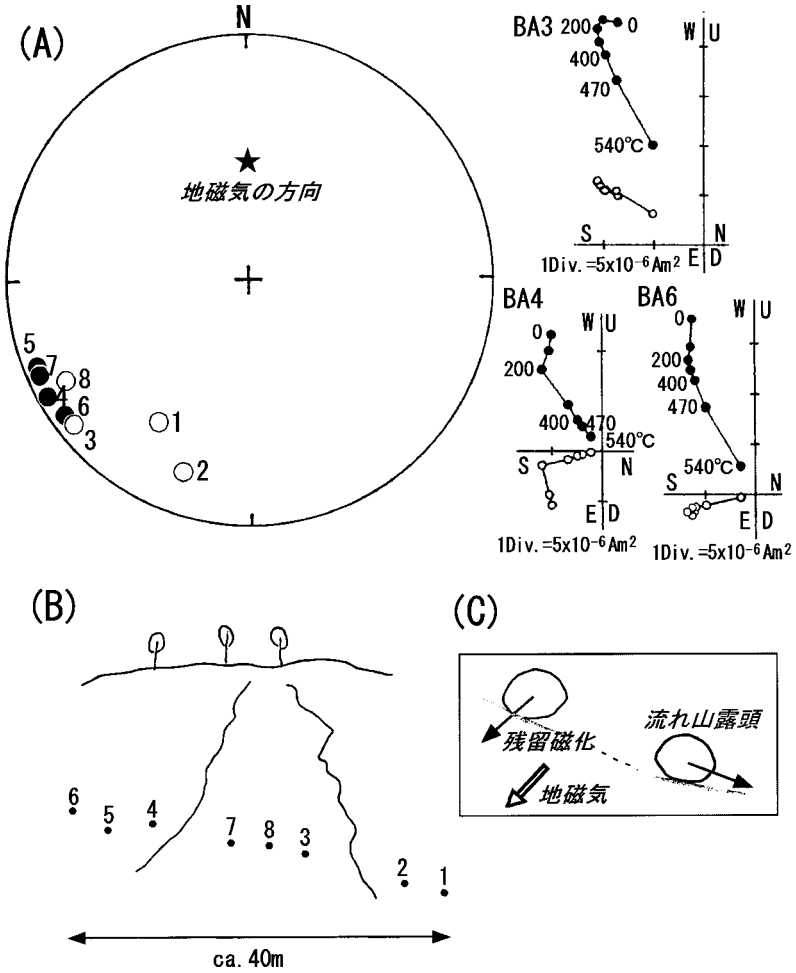


図 5.8 （A）翁島岩屑の流れ山露頭（**図 3.1** の site14）から採取した 8 試料の磁化方位をシュミット投影図に示した．白丸は上向き，黒丸は下向きの磁化を表す．右には，段階熱消磁の例をザイダーベルド図で示している．プロット横の数字は加熱温度を示す．（B）露頭の試料採集地点，（C）磁化から推定される岩塊の移動

Fig. 5.8 (A) Schmit projection diagram of remanent magnetization direction in 8 samples collected from the hummock hill of Okinajima Debris Avalanche Deposits (Site 14 of **Fig. 3.1**). Diagram in the right is Zijderveld diagram showing the example of progressive thermal demagnetization experiment. (B) Sampling location of each specimen at the outcrop of hummock hill. (C) Sliding movement of hummock hill estimated from the remanent magnetization.

山体崩壊の崩壊源内で掘削された BD3 コアでは，100m 深度までの岩屑および地山の磁化は，地磁気方向から大きくずれて変化しており，地層がかなり破砕されていることを示している．

（2）山体南壁のコア BD4，BD5

数万年前に生じた翁島岩屑および頭無岩屑を研究対象とした．

BD4 コア：翁島岩屑なだれは，伏角が集中する領域と伏角の変動が大きな領域が交互する 3 領域に分類できた．この結果は，翁島岩屑の領域が移動過程の異なる複数回の流下堆積により形成されたことを示しており，コアの色調変化や帯磁率異方性の研究も，これを支持した．頭無岩屑は，低伏角であるが集中した伏角値を示し，ブロックとして移動したと考えられた．

BD5 コア：頭無岩屑は磁化の伏角分布からブロックとして傾斜地に堆積した可能性が考えられた．BD5 コアは，頭無と翁島の両岩屑の間に大磐梯山火山体を挟んでいる．この火山体の帯磁率異方性の最大軸は，北から西へ 120 ～ 160 °（南から東へ 20 ～ 60 °）の範囲にあり，これは，大磐梯山火山体が作られた時の，火口からの流動方向を示唆していると考えられる．

翁島岩屑は，残留磁化の伏角値が良く揃っており，内部変形をあまり受けずに BD5 地点に運ばれて堆積したと考えられる．帯磁率異方性の最大軸方向は，北から東へ 35 °付近にあり，BD5 地点からみた磐梯山の山頂方向となる．これは，翁島岩屑が数万年前の崩壊前の位置において，岩屑の起源である地層が形成された噴出源（火口）の方向を示しているのではと考えられ，崩壊前の岩

屑は BD5 地点と山頂を結ぶ線上の何処かに位置していたと考えられる．

（3）磐梯町布藤の翁島岩屑の流れ山露頭での研究

磐梯山における過去最大の岩屑なだれである，翁島岩屑なだれによって崩壊源から 5km 離れて形成された流れ山では，岩屑の磁化は地磁気からずれた方位で揃っていた．この結果は流れ山が火山体構成時の構造を保ったまま，5km 離れた地点まで移動堆積したことを示しており，ボーリングコアから求めた翁島岩屑のブロック移動を，露頭の調査からも支持する結果である．

岩石磁気学の研究は，従来，火山地域のボーリングコアでは殆ど行われていなかった．本研究では，同手法が岩屑なだれの流動や移動過程，堆積状況の調査に有用であり，手法の適用により大規模崩壊の復元に重要な情報を得ることができるとわかった．同一地点での垂直方向の磁化測定では，複数回の流下堆積物の認定が可能であることが示された．また残留磁化とともに，帯磁率異方性の調査も堆積物や溶岩の流動の推定に有効であった．今後，測定地点を増やすことによって，帯磁率異方性から流下過程における運動状態の変化を捉えることが出来ないかなど，さらに研究方法を検討することが望まれる．

本稿で示した様に，残留磁化や磁化特性による火山の崩壊状況の研究例が増えると，崩壊に伴う地すべり的移動は希有な現象では無く，多く存在するとの結果が得られるかも知れない．また，岩石磁気の手法は，再発型地すべりの移動ブロック調査やすべり面の認定等にも利用できる可能性があり，今後取り組みたいと考えている．

謝辞

三村弘二博士，関口辰夫博士，故田中耕平博士には，地質や岩石，地形に関する情報と助言を頂きました．感謝致します．

参考文献

1）Flinn, D. (1962) : On folding during three dimensional progressive deformation. Q.J. Geol. Soc. Lond., 118, 385-428.
2）井口　隆（1988）：日本における火山体の山体崩壊と岩屑流，国立防災科学技術センター研究報告，**No. 41**，163-275.
3）井口　隆・大八木規夫・諸星敏一・高橋　博（1988）：磐梯山の山体の特徴，地学雑誌，**97**-4，14-20.
4）防災科学技術研究所・地熱エンジニアリング株式会社（1994）：平成 6 年度磐梯山崩壊構造調査報告書.
5）国土地理院地理調査部地理調査技術開発室（1995）：1：25000 火山地形分類図　磐梯山.
6）三村弘二（1988）：磐梯火山の地質と活動史．地学雑誌，**97**-4，279-284.
7）三村弘二・河内晋平・藤本丑雄・種市瑞穂・日向忠彦・市川重徳・小泉光昭（1982）：自然残留磁気からみた韮崎岩屑流と流れ山．地質雑誌，**88**，653-663.
8）三村弘二・中村洋一（1995）：磐梯山の地質形成史と岩石，磐梯火山，防災科学技術研究所，87-101.
9）守屋以智雄（1978）：空中写真による地形判読．火山 2 集，**No. 23**，199-214.
10）Nakamura, Y. (1978) : Geology and petrology of Bandai and Nekoma volcanoes. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 3, 14, 67-119.
11）酒井英男・里見雅博・平井　徹（1995）：磐梯火山北壁底のボーリング試料及び翁島岩屑なだれ堆積物の岩石磁気調査，磐梯火山，防災科学技術研究所，79-86.
12）Sakai, H., S. Nomura., M. Horii., K. Kashiwaya., A. Tanaka., T. Kawai., V. Kravchinsky., J. Peck, and J. King (2000) : Paleomagnetic and rockmagnetic studies on Lake Baikal sediments-BDP96 borehole at Academician Ridge-, in “Lake Baikal : A mirror in time and space for understanding global change processes”, ed. by K. Minoura, Elsevier Science, Amsterdam, 35-52.
13）Sakai, H., S. Nomura., M. Horii., S. Araki., K. Kashiwaya., Y. Tani., Y.Shibata., T. Kawai., V. Kravchinsky., J. Peck, and J. King (2001) : Magnetic susceptibility studies on surface sediments of Lake Baikal and Lake Biwa, Russian Geology and Geophysics (Geologiya i Geofizika), **42**-1, 339-347.
14）関口辰夫・原口和政・津沢正晴・稲塚保行・岩橋純子・大谷知生（1993）：磐梯山 1888 年噴火の地形形成過程の考察．国土地理院地理調査部報告，**No. 7**，188-192.
15）関谷清景・菊池　安（1888）：磐梯山大破裂実況取調報告書．文部省，明治 21 年 9 月 27 日付官報.
16）鈴木敬治（1987）：猪苗代湖北西部地域の第四系の層位・構造と猪苗代湖盆の形成について . 福島大特定研究報告・猪苗代湖の自然，**No. 4**，65-82.
17）鈴木敬治（1988）：猪苗代湖盆の形成史．地学雑誌，**97**-4，271-278.
18）Zijderveld, J.D.A. (1967) : A.C. demagnetization of rocks : Analysis of results, in “Method in Paleomagnetism”, edited by D.W. Collinson and K.M. Creer, Elsevier, New York, 254-286.

（原稿受理：2002 年 10 月 25 日）

要　旨

防災科学技術研究所が磐梯山において掘削調査を行ったボーリングコアの岩屑なだれ堆積物を対象に，岩石磁気学の研究手法により，山体崩壊に伴う岩屑の移動形態について研究を行った．山体北壁の BD1，2，3 のコアでは，1888 年水蒸気爆発に関連した岩屑なだれが対象となった．崩壊源から 1 〜 2km 離れた BD1 と BD2 地点の岩屑堆積物（コアの深度 20m，80m までの層厚）では，残留磁化の伏角は揃っており，大きな岩屑ブロックが内部変形をあまり受けずに移動したことがわかった．

山体南壁で掘削された BD4 と BD5 コアの研究では，数万年前に発生した磐梯山最大の翁島岩屑流を主な対象とした．さらに崩壊源から 5km 離れた流れ山露頭における調査も併せて，岩石磁気の研究から，翁島岩屑の大きな岩塊が内部構造を保って移動したプロセスや，BD4 地域に到達した翁島岩屑は，複数回の過程を経て形成されていること等が明らかになった．

キーワード：残留磁化，帯磁率の異方性，山体崩壊，岩屑流，流れ山