

## 山形県白鷹火山カルデラの構造と岩屑なだれ堆積物

笹谷 晋吾\*・横田修一郎\*\*

### Structures of the Shirataka volcanic calderas and debris avalanche deposits related to the formation of the calderas, Yamagata, Japan

Shingo Sasatani\* and Shuichiro Yokota\*\*

#### Abstract

Structures of the Quaternary Shirataka volcanic calderas and the occurrences of debris avalanches have been studied on the basis of field mapping data, borehole core, and paleomagnetism measurements. The debris avalanche deposits distributed in and adjacent to the calderas are determined to be 50 to 60 meters in thickness, and it extensively cover rhyolitic pyroclastic flow deposits and thick andesite lava. Although the northern and eastern walls of the calderas are not recognized, borehole data indicate the existence of low calderas wall beneath the debris avalanche deposits in the eastern portion. Therefore, the calderas shape a general horseshoe structure opening to the north.

Thin paleosols layers interbedded in the debris avalanche deposits mean that several deposition events occurred. The deposition age is estimated to be from early to middle Pleistocene. Centralization of paleomagnetism direction of the deposits means that they may have been deposited under high temperature condition influenced by the volcanic activity. Consequently, even through in several episodes, occurrences of sector collapse, formations of calderas and depositions of debris avalanches may have finished at least before several ten thousands years ago.

**Key words:** debris avalanche, sector collapse, calderas, Shirataka Volcano, Yamagata

#### はじめに

火山活動に伴って生ずる現象は多様であり、直接的な噴火活動以外にも様々な現象が自然ハザードとなって災害を引き起こす。山体崩壊やそれに伴う岩屑なだれ (debris avalanche) もそのような間接的現象の 1 つであり、磐梯山 (1888 年) や St. Helens 山 (1980 年) の火山災害は主にこれによるものとして広く知られている。

山体崩壊が発生した場合、“馬蹄型カルデラ” のような特有の地形にその痕跡をとどめることが多いし、岩屑なだれは特徴的な角礫質堆積物となって残る。後者はさらに“流れ山地形” を形成することもある (宇井・荒牧, 1985)。

山形市西方の白鷹火山カルデラ (第 1 図) は、直径数 km の小規模なカルデラ状地形を呈するが、その北側～東側の部分は大きく欠如している。さらに、このカルデラ内外には多数の流れ山状の小丘群が分布し、それらは角礫質堆積物によって構成されている。このため、漠然とながらも過去に山体崩壊が発生し、岩屑なだれが流下・堆積したと推定された (長澤ほか, 1995)。カルデラ内に散在する湖沼群の地形が、

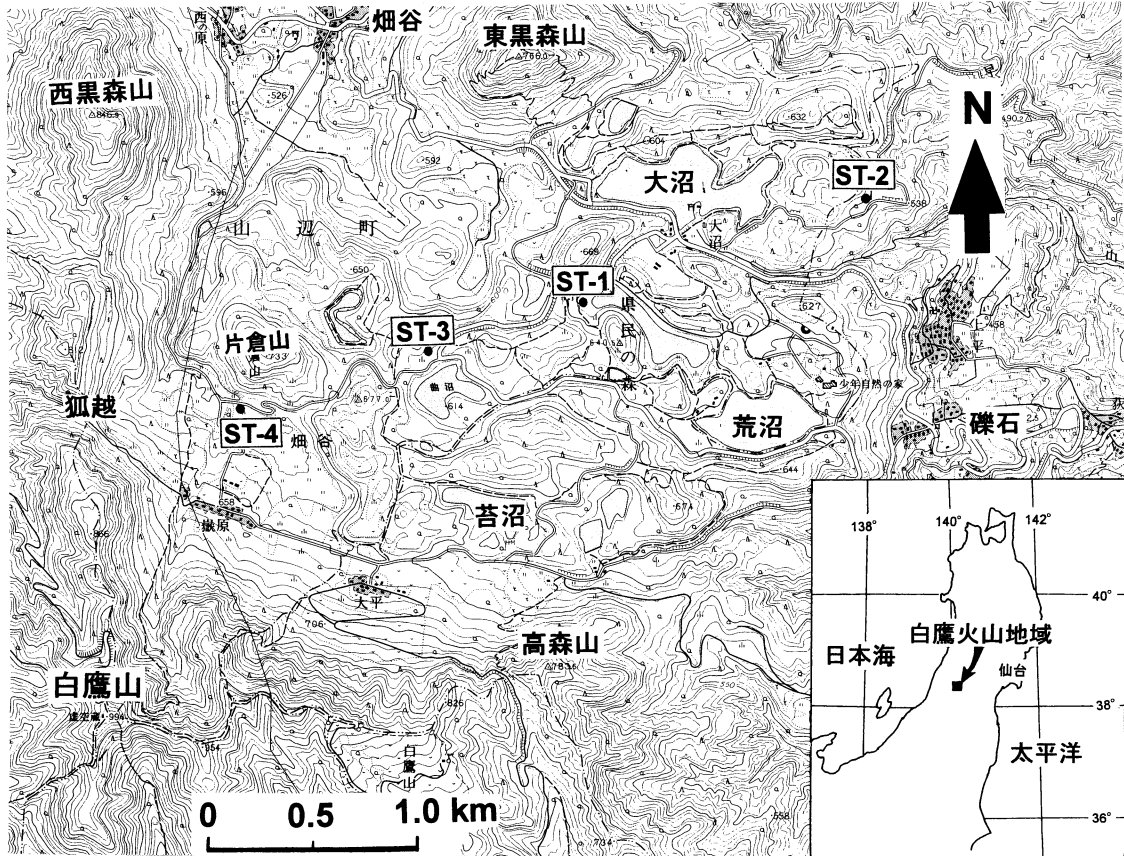
山体崩壊と岩屑なだれによってつくりあげられた磐梯山麓の五色沼に酷似していることも、そうした可能性を示唆している。

しかしながら、本カルデラにおける山体崩壊の発生と岩屑なだれの流下・堆積過程は火山活動との関連も含めて明らかではなく、発生時期も漠然と第四紀と推定されているにすぎない (山形地学会, 1979)。原因としては爆発カルデラ説 (宇井・柴橋, 1985) や地殻変動説 (山野井, 1990) などが指摘されているが、いまだ解明にはいたっていない。さらに、カルデラ壁の開析が概して大きく、カルデラ内外の緩斜面域には多数の地すべり地形が見られることもあって、非火山性の大規模地すべりや斜面崩壊発生の可能性も指摘されてきた (井口ほか, 2000)。このため、こうした実態の解明を目指して、カルデラ内に 4 孔のボーリング調査と 1 測線の電気探査が独立行政法人防災科学技術研究所によって実施された (井口ほか, 2000; 中里ほか, 2003)。

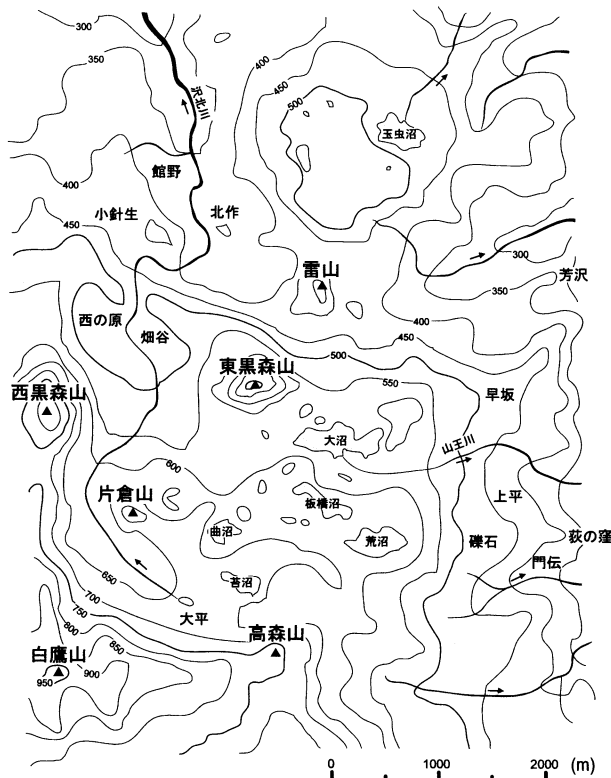
横田ほか (2003) はこれらのボーリング・コアに基づいてカルデラを横断する地質断面図を作成した。また、ボーリング・コアの岩石色彩値とその分布をもとにカルデラ付近の風化環境を議論した。これによれば、カルデラ内では長期間にわたる広域常温風化によって厚い風化帯構造が形成されており、この構造には、その後の非火山性の大規模な山体崩壊や地すべり等によって大きく乱されたところはない (横田ほか, 2003)。ただし、地質断面図は必ずしも地表露頭との十分な対比・検討のもとで作成されたものではなく、層序も含めた

\* 島根大学大学院総合理工学研究科地球資源環境学専攻 (現在: 広島大学技術センター原爆放射線医科学研究所部門)  
Hiroshima University, Kasumi 1-2-3, Minami-ku, Hiroshima City, 734-8553, Japan

\*\* 島根大学総合理工学部地球資源環境学科  
Department of Geoscience, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue City, 690-8504, Japan



第1図 白鷹火山カルデラの位置と地形概要。



第2図 白鷹火山カルデラと周辺の地形概要と水系。幅250mの埋谷接峰面図として作成。

カルデラ構造の把握はまだまだ十分ではない。

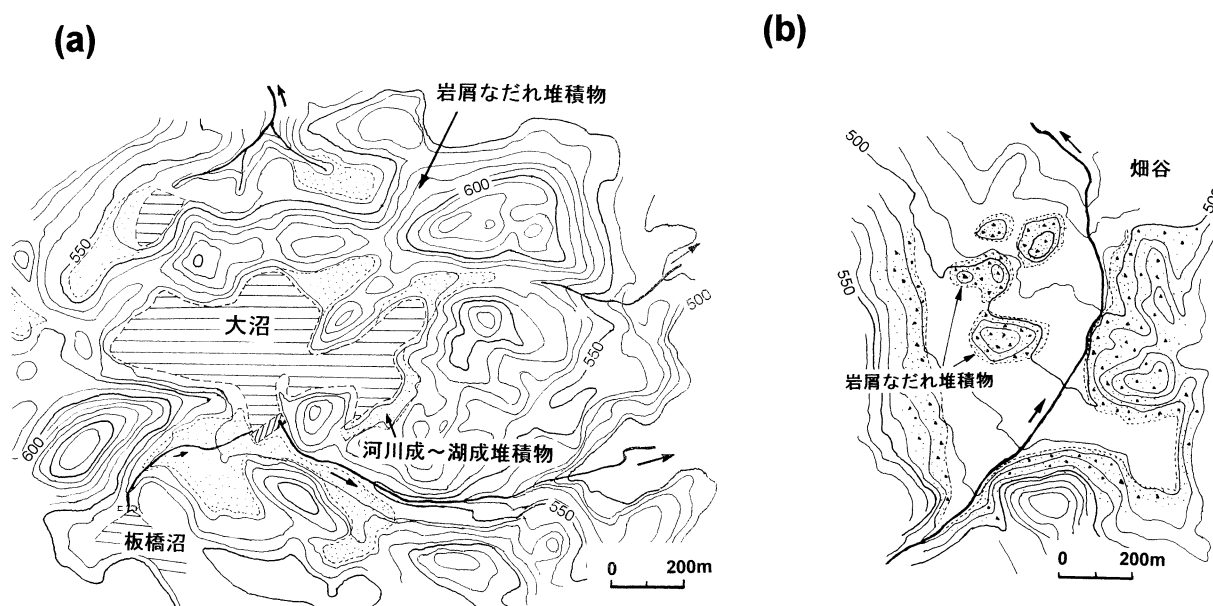
そこで、筆者等は今回カルデラ内の堆積物のマッピングを行うとともに、上記のボーリング・コアを再度詳細に観察し、それらをもとに岩屑なだれ堆積物を含めたカルデラの構造、山体崩壊の発生と岩屑なだれの流下時期、今後の発生可能性、周辺の地すべり発生との関係等の解明を試みた。また地表露頭やボーリング・コアから採取した岩石試料を用いて残留磁気測定を行い、その結果を上記の検討に考慮した。

## 白鷹火山カルデラの地形概要と地質構成

### 1. 地形概要

白鷹火山カルデラは山形盆地西側の白鷹丘陵に位置している。山形盆地とその周辺には山地・丘陵と盆地がほぼN-S方向に配列しており、白鷹丘陵はそのような山地・丘陵の1つである。丘陵のほぼ中央に白鷹山(EL. 994 m)が位置し、これに隣接して東側に白鷹火山カルデラが存在する(第1図)。

周辺も含めた白鷹火山カルデラの地形概要を水系とともに第2図に示す。西黒森山から白鷹山をへて高森山にいたる稜線の北東側には急崖が連続しており、部分的ながらカルデラ状地形を呈している。このカルデラは白鷹火山に隣接していることから、その火山活動に関係したものと考えられてきた(山形地学会, 1979)。しかしながら、急崖や地形的段差は上



第3図 カルデラ内外における“流れ山”状の小丘。  
 (a) カルデラ内の大沼周辺“流れ山”. (b) カルデラ北方の畑谷地域の“流れ山”.

記以外の東方延長部や北側には認められず、したがって、カルデラは全体として北側～東側が大きく欠如したかたちになっている。

地形的段差の明瞭な南西部ではカルデラ壁の比高は100～150 mに達している。第2図に示すように、この部分の西黒森山と白鷹山は突出して高いが、これらはカルデラ形成後の溶岩円頂丘と見なされている(三村・鹿野, 2000)。

カルデラ壁は全般に開析が進んでおり、とくに白鷹山頂のすぐ北東側には大きく開析された箇所がある。カルデラ急崖直下の緩斜面(標高700 m以下)には後述するように土石流堆積物が断片的に認められ、流出土砂による複合扇状地と考えられる。

カルデラの内側は標高550～650 mで、平坦面～緩斜面となっているが、その中に東黒森山(EL.766 m)のような円錐形の地形的高まりがある。さらに、それよりも小さい“流れ山”状の細長い小丘が多数存在する。前者の一部は溶岩円頂丘と考えられている(三村・鹿野, 2000)。一方、“流れ山”状小丘群の多くは頂部が比較的平坦で、岩屑なだれに関係した地形と考えられている(三村・鹿野, 2000)。

これら以外の平地には荒沼、大沼、苔沼などの浅い湖沼群が多く存在する。湖沼群の一部は人工的に管理されているが、それらは浅い河谷の一部が閉塞されて生じた自然湖沼を概形としたものと考えられる。

カルデラ内の中央部にN-S方向の分水界が存在し、そこからカルデラ外側に向かう水系が東と西に分かれて形成されている。大沼から東方には山王川が、高森山付近から西方に沢北川の支流が流下している。前者は最上川支流の須川水系に注ぎ、後者はカルデラ壁内側に沿って屈曲しながら北流し、最上川本流に注いでいる。

第2図の範囲のうち、北部の小針生～早坂にはNW-SE方

向に延びる地形的凹部(EL.350～450 m)が認められ、この部分にも雷山(いかづちやま)(EL.518 m)のような地形的高まりがある。この地形的凹部のさらに北側にもEL.470～500 mの平坦面～緩斜面があり、ここにも玉虫沼などの湖沼群が存在する。後述するように、この部分もほぼ岩屑なだれ堆積物によって構成されている。

## 2. カルデラ内部の“流れ山”状小丘

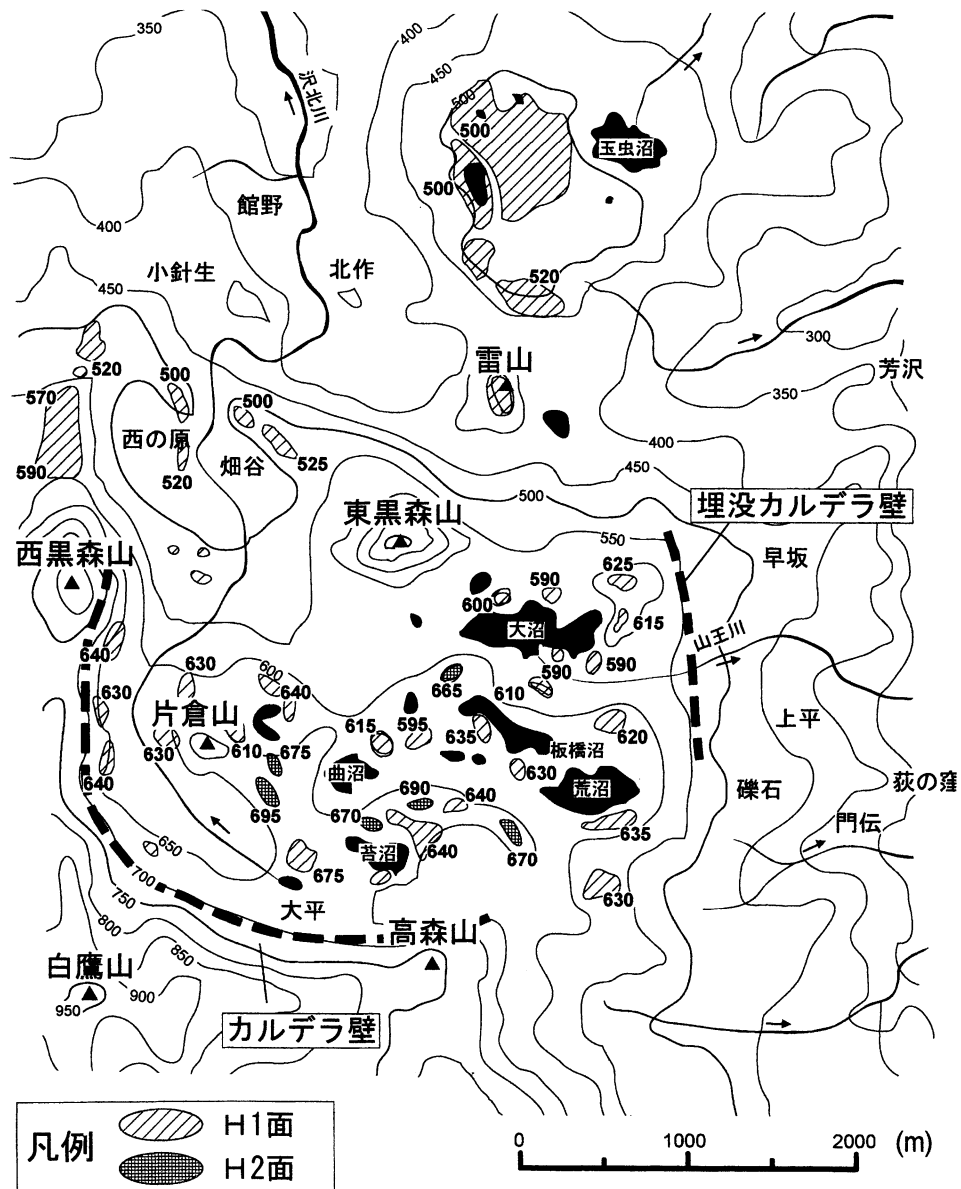
岩屑なだれに関連して形成されたカルデラ内外の“流れ山”状小丘群を第3図に示す。このような“流れ山”は、一般に山体崩壊に伴って発生した岩屑なだれが流下して堆積する際、火山体の破片(巨礫)が大きく破碎されずに堆積物表面に突出した状態で形成された地形である(宇井・荒牧, 1983)。“流れ山”の形状や大きさ、比高は多様であるが、平面的な伸長方向や配列方向は岩屑なだれの流下方向に沿うことが多い(宇井・荒牧, 1983)。

ここでの小丘は最大で長径約500 m、比高約100 mであり、平面的にはNW-SEないしE-Wに伸長している。また、小丘頂部は定高性をもつのが特徴である(第3図(a))。

“流れ山”はカルデラ外側にも断片的に分布しており、カルデラ北方の畑谷地域には径約200 mの小丘が水田中に孤立して分布している(第3図(b), 第12図(b))。

カルデラ内外における小丘面を含めたこれらの平坦面の分布を第4図に示す。小丘面の標高はカルデラ内ではEL.590～650 mのものが圧倒的に多いが、一部にはこれより高いEL.660～690 mのものも存在する。ここでは便宜的に前者をH1面、後者をH2面とよぶことにする。これらの小丘を埋める平地はEL.560～610 mであり、前述した湖沼群の大半はこの一部である。

H2面は分布が局所的かつ断片的であるが、H1面は広い



第4図 白鷹火山カルデラの内外における“流れ山”と平坦面の分布。数字は平坦面部分の標高値。

範囲に分布し、標高は連続的に変化している。片倉山付近で EL.630~640 m、苔沼~荒沼付近で EL.630~650 m、大沼付近では EL.570~620 m と変化し、全体として南西部カルデラ壁の直下から北東方向に向かって低くなっている。カルデラ北東方の玉虫沼周辺の平坦面は EL.500~520 m と低いが、これも上記の延長の可能性がある。また、カルデラ東端の大沼付近でもやや低くなっている。

後述するように、こうした“流れ山”状小丘は岩屑なだれ堆積物によって構成されているが、露頭が少ないこともあって具体的な形成過程は明らかではない。その後の侵食の結果、“流れ山”状を呈するようになったものも含まれているであろう。しかし、上述の標高がその後のテクトニックな隆起・沈降や侵食でない限り、岩屑なだれおよびその2次的な堆積物の流下方向を示していると考えられる。H1、H2面の違

いが何によるものかは明らかではないが、形成時期や過程の違いによるものであろう。

こうした小丘や溶岩円頂丘などの斜面の一部にはその後の斜面崩壊や地すべりによる地形が認められる。雷山南西側などに顕著なものがあるほか、東部の上平付近などは地すべり指定地となっている。

### 3. 地質概要

白鷹山とその周辺にはカルデラや溶岩円頂丘などの特徴的な地形とともに溶岩や火砕流堆積物が広く分布することから、それらは漠然と第四紀の火山と考えられてきた(山形地学会, 1979; 宇井・柴橋, 1985)。最近になって、いくつかの放射年代測定がなされ(長澤ほか, 1995; 石井・斉藤, 1997)、これらによって第四紀の火山であることが示された。

白鷹火山カルデラのカルデラ壁の部分や白鷹山および西黒森山等の山体は主に安山岩溶岩と火砕流堆積物から構成されている。カルデラ内部の東黒森山などの溶岩円頂丘状の地形的高まりも安山岩より構成されている。これらの一連の火山岩類・火砕岩類は白鷹火山噴出物(山形地学会, 1979; 廣谷・伴, 2002 など)とよばれている。カルデラを構成する溶岩や火砕流堆積物と溶岩円頂丘を構成するものとは時代的に異なる可能性も指摘されているが(田山, 1990), 形成の前後関係については現段階では必ずしも統一した見解にはいたっていない(宇井・荒牧, 1985; 三村・鹿野, 2000)。

白鷹火山噴出物の基盤は新第三紀中新世の砂岩・泥岩・凝灰岩などであり, これらは吉野累層(田山, 1990)とよばれている。この地域では層理面はNE-SWの走向でほぼ北西方向に傾斜している。

カルデラ内外の緩斜面は, カルデラ形成以降に堆積した様々な堆積物によって構成されており, とくに“流れ山”状の小丘はほぼ岩屑なだれ堆積物によって構成されている。これは安山岩などの亜角礫とそれを埋める粗粒の砂などよりなり, 数10 m以上の厚さがある。前述の白鷹火山噴出物はこれをも含んでいる。

岩屑なだれ堆積物の分布はカルデラ内だけでなく, カルデラ壁から5~6 km北東方にまで達しているが, 上記カルデラが北~東に開いた馬蹄形をなすことを考慮すれば, これらの堆積物はカルデラの崩壊に大きくかかわって流下したと考えることは可能であろう。

カルデラ内には, さらに河川成~湖成の堆積物や扇状地堆積物があり, それらの多くは黒色の古土壌(クロボク)によって覆われている。

なお, カルデラ東方の礫石地区には安山岩のブロックが散在しており, なかには径数mに達するものもある。これの起源は明かではないが, 位置関係からみれば, 岩屑なだれ堆積物中のブロックに由来すると考えられる。

今回作成した地質平面図を第5図に, またカルデラを横断する地質断面図を第6図に示す。地質断面図の作成にあたっては, 前述のボーリングST-1~4の柱状図を活用した。

#### 4. 白鷹火山カルデラ内外の岩石と堆積物

##### (1) 白鷹火山噴出物(白鷹火山と周辺の火山岩・火砕流堆積物等)

白鷹火山噴出物(山形地学会, 1979)とよばれるこの地域の溶岩や火砕流堆積物等の基本層序については, 本研究の対象範囲の西側も含めた広域調査によってほぼ確立されてきた(三村・鹿野, 2000)。これによれば, 白鷹火山噴出物は, (i) 白鷹山火山体を構成する溶岩・火砕流堆積物など, (ii) 溶岩円頂丘を構成する溶岩など, (iii) カルデラ内を埋める岩屑なだれ堆積物, の3つに大きく分けることができる。三村・鹿野(2000)は, それぞれをさらに以下のように細分している。(i)は荻野火砕流堆積物, 沼田火砕流堆積物, 虚空蔵溶岩に, (ii)は白鷹山溶岩円頂丘, 狐越溶岩円頂丘, 西黒森山溶岩円頂丘, 東黒森山溶岩円頂丘などを構成する溶岩に, さらに(iii)は畑谷岩屑なだれ堆積物, 小白府岩屑なだれ堆積物,

針生岩屑なだれ堆積物などに細分している。本稿では白鷹火山カルデラ地域に限定しているが, 基本的に三村・鹿野(2000)にも対比可能なことから, 記述にはそれらの地層名を用いることとした。

以下ではカルデラを構成する安山岩溶岩と流紋岩質凝灰岩, 溶岩円頂丘を構成する安山岩溶岩, さらに岩屑なだれ堆積物とに分けて, それぞれの特徴を述べる。

##### (2) 安山岩溶岩(虚空蔵デイサイト溶岩相当)

カルデラ壁やカルデラ外側の尾根部道路沿いなどに現れるもので, 含角閃石両輝石~両輝石安山岩の溶岩である。三村・鹿野(2000)が虚空蔵デイサイトとしたものに相当する。鏡下では, 斑晶は主に斜長石, 輝石, 角閃石であり, 半自形~自形をなす。基質は短冊状の斜長石からなり, ピロタキシティック組織を示すが, 一部不透明鉱物によって埋められたインターサタル組織が見られる。本溶岩は白鷹山北方で火砕流堆積物によって覆われている。分布からみると, 厚さは50 m以上と推定される。

##### (3) 流紋岩質凝灰岩(荻野火砕流堆積物相当)

カルデラ外側の白鷹山から南東の高森山にいたる道路沿いなどに露出しているほか, 高森山北東方にも道路沿いに断片的に露出している。白色~灰色を呈し, 径10 cm前後の安山岩の角礫~亜角礫を多く含むとともに, わずかに軽石をも含んでいる。岩相からブロックアンドアッシュフローの火砕流堆積物と判断されるが, 岩相変化は著しい。角礫の安山岩は主に両輝石安山岩である。淘汰は良くなく, 成層構造は認められない。層厚は全体として約50 mと推定される。

##### (4) 溶岩円頂丘を構成する溶岩など

カルデラ内には地形的に突出した円錐形に近い小丘が認められるとともに, 同様のものは, カルデラ外側の高標高部にも認められるが, これらは安山岩の溶岩より構成されており, 溶岩円頂丘と考えられている。それぞれの分布域ごとに白鷹山溶岩円頂丘, 狐越溶岩円頂丘, 西黒森山溶岩円頂丘, 東黒森山溶岩円頂丘等とよばれている(三村・鹿野, 2000)。

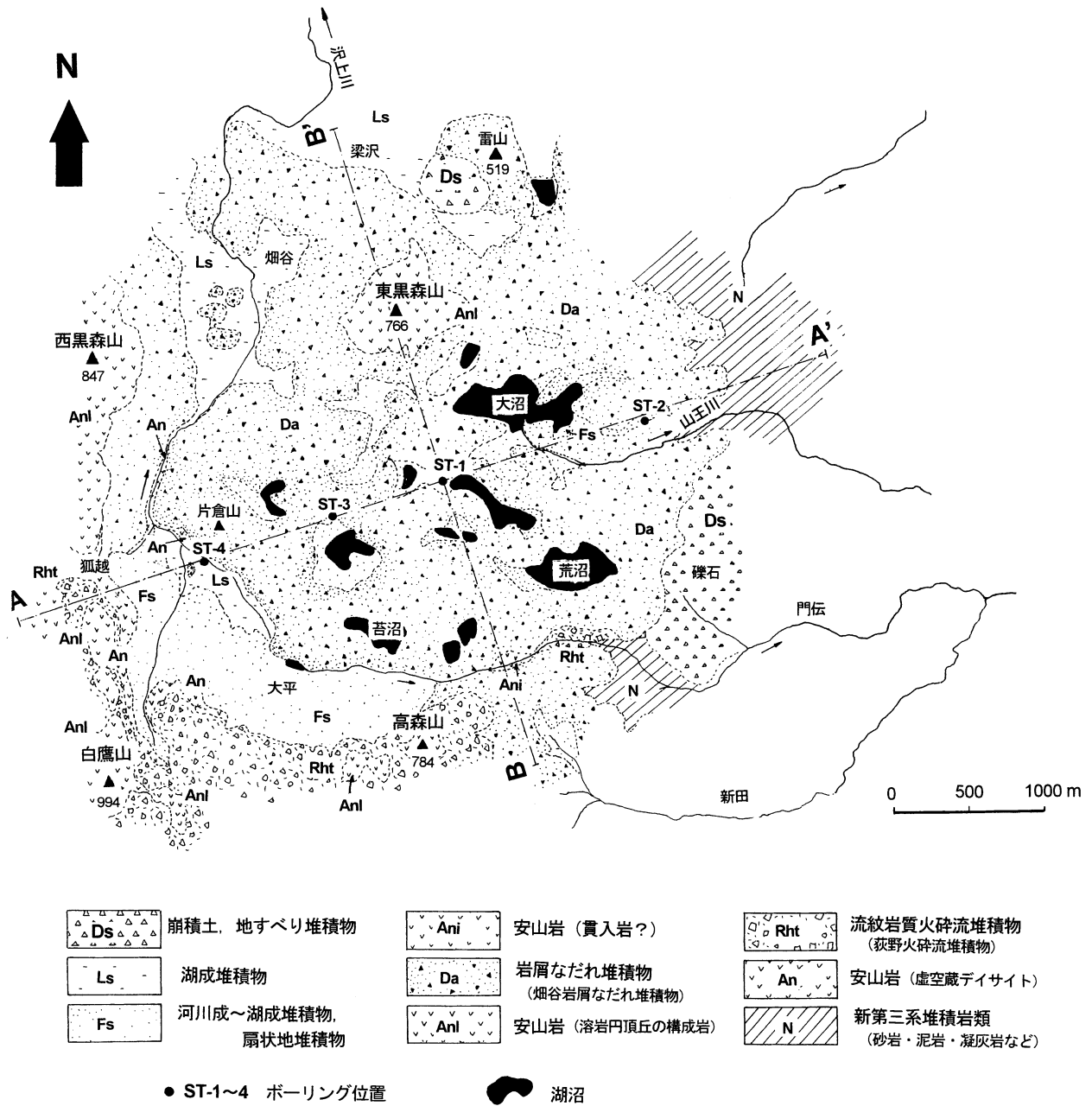
これらのうち, 白鷹山溶岩円頂丘(白鷹山)では山頂直下にて含角閃石両輝石安山岩を確認した。狐越溶岩円頂丘, 西黒森山溶岩円頂丘では確認していないが, 三村・鹿野(2000)によれば, これらも同様の安山岩とされている。

東黒森山溶岩円頂丘では斜面に安山岩溶岩が広く露出しており, ここでは含角閃石両輝石安山岩であった。なお, ここでは安山岩と岩屑なだれ堆積物の分布形態から, 安山岩は後者によって覆われていると判断した。

##### (5) 岩屑なだれ堆積物

カルデラ内外の道路沿いに断片的に認められるものであり, 安山岩の角礫~亜角礫を主体として, マトリックスは粗粒砂状である。後述するような特徴的な岩相から岩屑なだれ堆積物と判断した。露頭に現れた岩屑なだれ堆積物の例を第12図(b), (c)に示す。

礫径は5~20 cmのことが多いが, まれに径1 m以上の安山岩ブロックを含んでいる。前者はマトリックス支持の堆積物, 後者はブロック支持の堆積物である。露頭でみる限り, 前者が圧倒的に多い。



第5図 白鷹火山カルデラ付近の地質平面図。A-A'、B-B'は地質断面図（第6図）の位置。

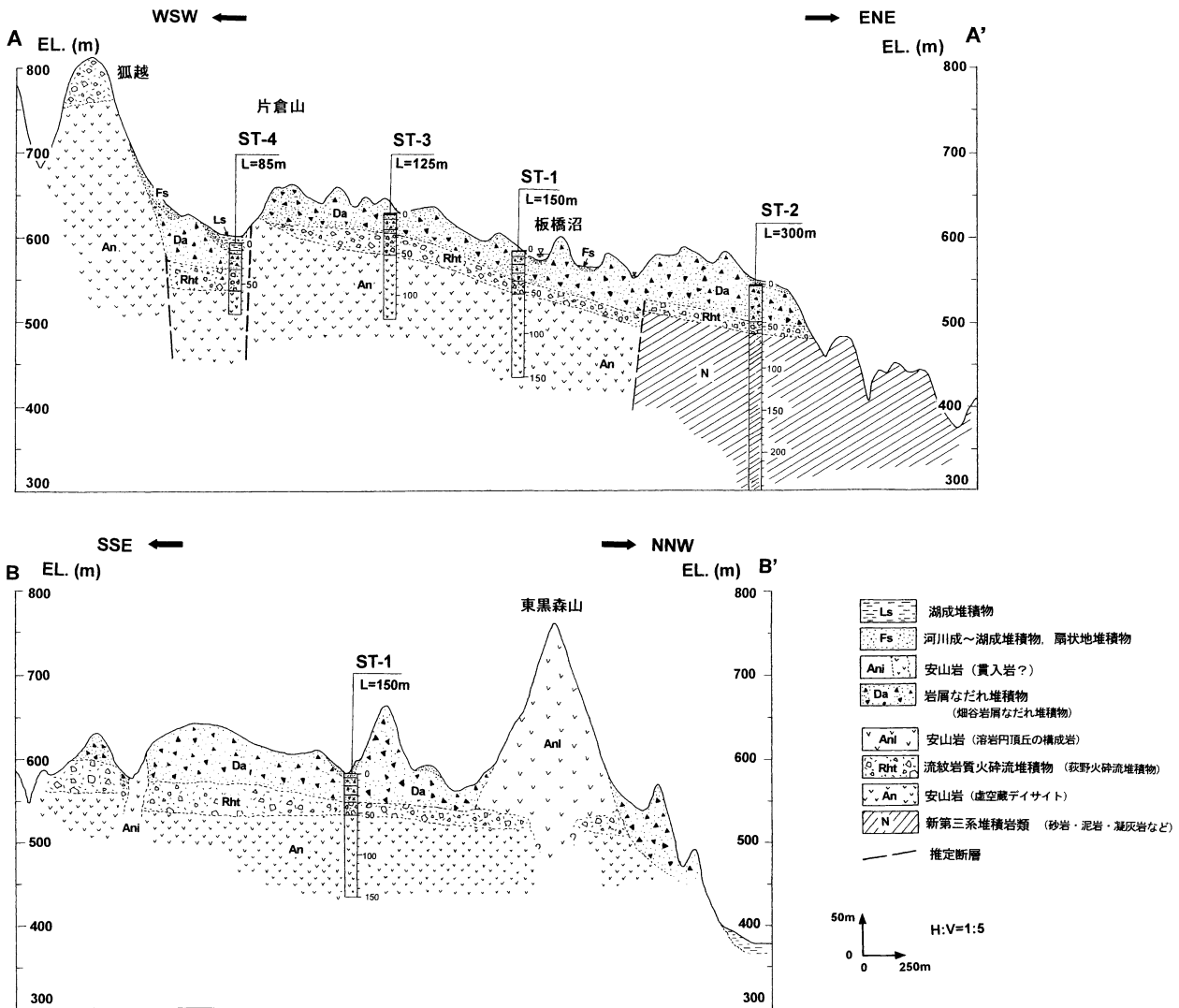
前者の場合、角礫層としての淘汰は全般によくない。含まれる礫の大半は両輝石安山岩であり、カルデラ壁の構成岩石（虚空蔵デイスайト相当）に由来すると考えられる。ただし、荒沼南西の尾根部や東黒森山南西斜面などでは含角閃石両輝石安山岩の礫も確認された。これは溶岩円頂丘に由来する可能性がある。

カルデラ壁に近い片倉山南西斜面には道路法面に岩屑なだれ堆積物が広い範囲に露出している。ここではマトリックス支持堆積物とブロック支持堆積物の両者を確認することができた。マトリックス支持堆積物では粗粒のマトリックス中に径5～30 cmの垂角礫が多数含まれており、それらの一部にはジグソーパズル状のクラックが認められた（第12図(d)）。

一方、ブロック支持堆積物はマトリックスをほとんど含まず、径約40 cm以上の硬質なブロックが主体である。これらのブロックも両輝石安山岩からなる。ただし、一部は含角閃石両輝石安山岩よりなっている。

カルデラ内東部の大沼北東方にも岩屑なだれ堆積物は広範囲に露出しているが、ここでは礫は少なくかつ小さくなり、粗粒のマトリックスが大部分を占めるようになる。

ボーリング・コアでは岩屑なだれ堆積物中には火山泥流に近い層相の部分や古土壌が挟まれている（横田ほか、2003）。古土壌の一部はその直下が崖錐堆積物状を呈している。これらのことから、岩屑なだれの堆積は複数回あり、その間休止期があったと推定される。しかしながら、地表露頭では露出



第6図 白鷹火山カルデラを横断する地質断面図。NE-SW 方向の A-A'断面と NNW-SSE 方向の B-B'断面。断面線の位置は第5図に示す。

状況が不良なこともあって、このような箇所は発見できず、したがって、カルデラ内外において一連の堆積物の層序は確立できていない。

5. その他の堆積物

カルデラ内では小丘間の平地に円礫を主体としたルーズな堆積物が見られることがある。層相から河川成の堆積物と判断される。これは径2～20 cmの円礫～亜円礫からなり、マトリックスは粗粒の砂からなる。大沼の南側では現湖面より数m高い位置に湖成と推定される灰色のシルト層が確認される。また、大沼から流出する山王川に沿っては地形的に明瞭な河岸段丘が認められる。

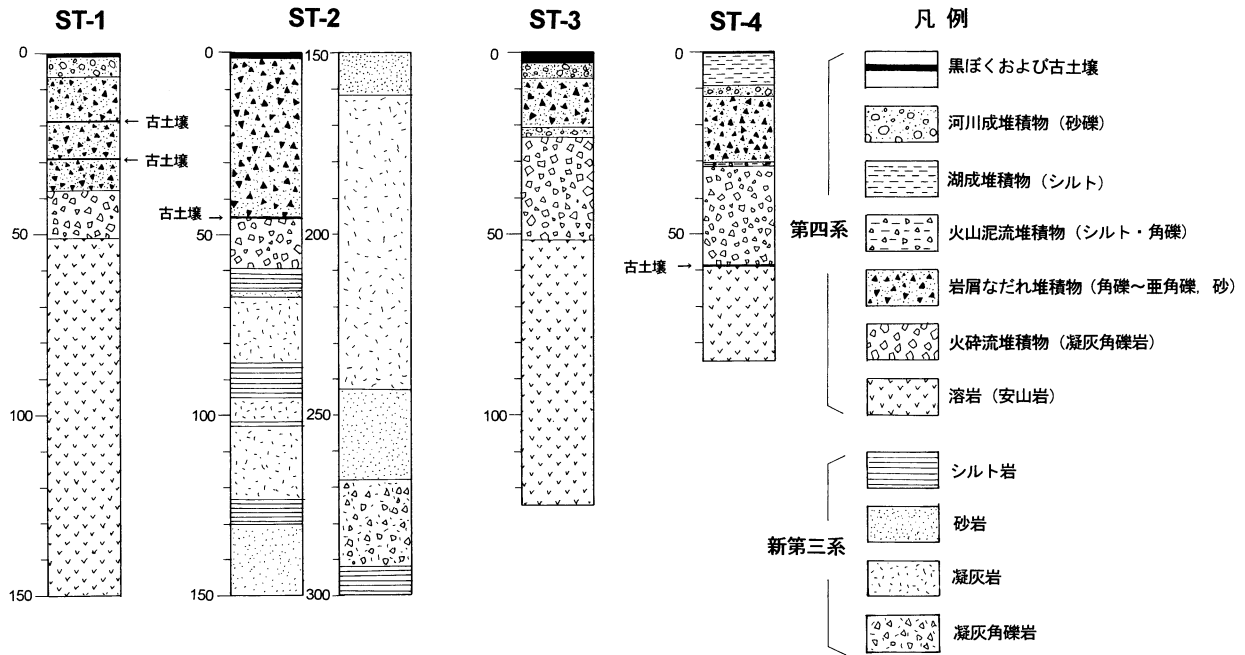
上記のような層相がカルデラ内に点在して見られることから、カルデラ内では河道が頻繁に変化し、かつ湖沼も頻繁に範囲の拡大・縮小を繰り返してきたと推定される。このような河川成～湖成堆積物は部分的に岩屑なだれ堆積物を覆っている。

岩屑なだれ堆積物をはじめ河川成～湖成堆積物の多くは古土壌(クロボク)によって覆われている。琵琶沼湖底で行われたボーリング・コアにて採取されたクロボクの<sup>14</sup>C年代は36,000年以上と報告されている(琵琶沼地質調査研究グループ, 1995; 長澤ほか, 1995)。このボーリングは岩屑なだれ堆積物まで達していないが、八木・井口(2000)の荒沼湖底でのボーリング調査では、岩屑なだれ堆積物が厚さ約5.5 mの泥質堆積物によって覆われていることが確認された。ここではその<sup>14</sup>C年代が40,000年以上と報告されている。

なお、長澤ほか(1995)は琵琶沼のボーリング・コアからの堆積速度をもとにして、琵琶沼の形成は少なくとも17万年前と推定している。

ボーリング・コアの観察

1. 防災科学技術研究所によって実施されたボーリングの位置  
白鷹火山カルデラでは山体崩壊、岩屑なだれ、大規模な地



第7図 ボーリング柱状図 (ST-1~4). ボーリングはいずれも独立行政法人防災科学技術研究所が実施したものである.

すべり等の解明を目的として、1998年度から独立行政法人防災科学技術研究所によって計4孔のボーリング調査が実施された(井口ほか, 2000). ボーリング位置は第1図および第5図に示すように、ほぼNE-SW方向に約3kmの直線上に配置され、西からST-4(延長85m), ST-3(延長125m), ST-1(延長150m), ST-2(延長300m)の順となっている.

ST-4はカルデラ南西部の片倉山南側の平地であり、ボーリング地点付近に露岩はみられない. ST-3は曲沼北側の小丘間の平地である. ST-1は大沼南側のいくつかの小丘に囲まれた緩斜面である. 付近には露岩はみられないが、地形的には谷が河川成堆積物によって埋積された地域と推定される. ST-2は大沼東方の平地であり、カルデラ東縁部に相当する.

個々のボーリング・コアの柱状図を第7図に示す. ボーリング柱状図はすでには横田ほか(2003)によっても報告されているが、今回は地表露頭との対比を重視してコアを再度観察し、新たに柱状図を作成した. これは、ボーリング・コアの状況が良好でなく、コア観察のみからの構成岩石の状態判定は容易でないためである.

4孔のうち、ST-2が基盤の新第三紀堆積岩類まで達しているのをはじめ、他の3孔はいずれも厚い安山岩溶岩(虚空蔵デイサイト相当)の層準まで達している. それぞれの概要を以下に述べる.

## 2. ST-1 (延長 150 m)

延長150mのうち、地表から深度0.90mまではクロボク、0.90~6.80mは河川成堆積物、6.80~18.40mは岩屑なだれ堆積物、18.40~18.60mは古土壌、18.60~28.80mは岩屑なだれ堆積物、28.80~29.50mは古土壌および崖錐堆積物、29.50~37.50mは岩屑なだれ堆積物、37.50~50.50mは火砕流

堆積物、50.50~90.00mは安山岩溶岩である.

詳細にみると、深度0.90mまでのクロボクは降下軽石及び植物根を含んでいる. 0.90~2.50mはコア未採取. 2.50~3.70mは黄褐色の砂礫層で径1~4cmの安山岩の亜円礫~円礫を含む. 3.70~6.20mはコア未採取. また、6.20~6.80mは暗褐色の砂礫層で、安山岩の円礫とともに未炭化木片を含んでいる. これらのことから、河川成堆積物と判断した.

深度6.80~18.40mは全体的に暗灰色を呈し、径1~4cmの角礫~亜角礫の安山岩礫とそれらを埋める凝灰質、砂質、泥質の混在した層相である. 12.50~13.50m、15.30~17.20mはコア未採取. 角礫の径は最大で約15cmに達する. これらのことから、6.20~6.80mは岩屑なだれ堆積物と判断した.

18.40~18.60mには細粒の灰褐色部分があり、古土壌と判断した. 18.60~28.70mは全体に灰褐色を呈し、砂質なマトリックス中に径1~8cmの安山岩の角礫を含む. また26.00~27.20mはコア未採取. 18.60~27.20mは褐色化が著しい. 20.70~28.70mは明灰色の安山岩ブロックを挟み、角礫状を呈す. これらのことから、18.60~27.20mも岩屑なだれ堆積物と判断した.

28.70~28.80mには灰褐色の古土壌がある. その直下の28.80~29.50mは角礫状を呈している. 地表面に露出していた際に形成された崖錐堆積物と判断した. 横田ほか(2003)の岩石色彩値によっても、古土壌直下は褐色化が進み、顕著な常温風化を受けたことが指摘されている. 29.50~37.50mも全体として岩屑なだれ堆積物と判断した. この間に明灰色の安山岩が存在するが、これは岩屑なだれ堆積物中の安山岩ブロックと判断した.

37.50~38.90mは赤褐色化しており、一部角礫化している. 38.90~41.00mは褐色化しており、全般にやや軟質である. 46.00~50.50mは全体に赤褐色化しており、角礫状であるが



礫種は同一である。また一部褐色のところと暗褐色のところを含む。これらのことから火砕流堆積物と判断した。

50.50～150.00 m は安山岩溶岩であり、ほぼ新鮮である。ただし、クラック沿いに黄鉄鉱が付着しており、熱水変質を受けた可能性がある。

### 3. ST-2 (延長 300 m)

延長 300 m のうち、地表から 1.00 m までは表土とクロボク、1.00～45.00 m は岩屑なだれ堆積物を主体とする。45.00～59.00 m は火砕流堆積物、59.00 m 以深は砂岩または凝灰岩と凝灰質シルト岩の互層を主体とし、白鷹火山噴出岩類の基盤をなす新第三系堆積岩類と推定される。

詳細にみると、1.00 m までは表土と黒色土壌の混在物であるが、これには 1～2 cm の亜円礫を含んでいる。1.00～45.00 m は全般に赤褐色化し、凝灰質なマトリックス中に径 1～5 cm の安山岩角礫を含むことから岩屑なだれ堆積物と判断した。この安山岩角礫中には角閃石が確認できる。

45.00～45.50 m は主に黒色土壌からなり、径 1～2 cm の亜円礫が含まれることから古土壌と推定した。45.50～59.00 m は明灰色で軟質化した凝灰質のマトリックスからなり、火砕流堆積物と判断した。火砕流堆積物中の深度 45.00～45.50 m には 1～2 cm の亜円礫を含む黒色古土壌がある。

新第三系堆積岩類が主体である 59.00 m 以深は、暗灰色のシルト岩や砂岩、白色凝灰岩、凝灰角礫岩などよりなり、白色凝灰岩は変質によって部分的に緑色化している。

### 4. ST-3 (延長 125 m)

延長 125 m のうち、地表から 3.80 m は表土とクロボク、3.80～7.10 m は河川成堆積物、7.10～20.40 m は岩屑なだれ堆積物、20.40～23.10 m 河川成堆積物、20.40～52.00 m 火砕流堆積物、52.00～125.00 m は安山岩溶岩である。

詳細にみると、表層から 3.80 m までのクロボクは降下軽石や植物根を含んでいる。3.80～7.10 m の河川成堆積物は褐色砂礫層で径 1～5 cm の亜円礫を含んでいる。7.10～20.40 m までは一部赤褐色化した凝灰質なマトリックス中に径 1～5 cm の安山岩角礫を含むことから岩屑なだれ堆積物と判断した。この直下の 20.40～23.10 m では径 1～3 cm の亜円礫を含むことから河川成堆積物と判断した。

23.10～52.00 m では径 1～4 cm の礫を赤褐色化したマトリックスが埋めていることから火砕流堆積物と判断した。火砕流堆積物中の安山岩礫は、鏡下観察において主に斜長石、輝石、石英からなり、角閃石を含んでいない。52.00～125.00 m は溶岩であるが、一部は褐色化して自破砕状を呈するところがある。

### 5. ST-4 (延長 85 m)

延長 85 m のうち、地表から 0.70 m までは表土およびクロボク、0.70～9.50 m は湖成堆積物、9.50～12.50 m は河川成堆積物、12.50～30.50 m は岩屑なだれ堆積物、30.70～58.10 m は火砕流堆積物、58.10～85.00 m は安山岩溶岩である。

詳細にみると、0.70 m までの表土にはクロボクとともに

降下軽石及び植物根を含んでいる。0.70～9.50 m は明灰色～黄灰色凝灰質シルト岩からなり、湖成堆積物と判断した。9.50～12.50 m までは黄褐色の径 1～3 cm の亜円礫および砂を含むことから河川成堆積物と判断した。

12.50～30.50 m は主に粗粒～中粒砂よりなるマトリックス中に赤紫色や灰色の安山岩の亜角礫を含む。礫の粒径は 1～15 cm で著しく不淘汰であり、一部はマトリックスの砂がほとんどない礫支持の岩相を示す。また、一部安山岩の巨礫、スコリア、軽石を含む。これらのことから岩屑なだれ堆積物と判断した。また、30.50～30.70 m は径 3～5 cm の亜円礫を含むシルト層であり、さらに 30.70～58.10 m には径 3～15 cm の亜円礫～亜角礫が含まれ、凝灰質なマトリックスも見られる。これらのことから 30.70～58.10 m は火砕流堆積物と判断した。

58.10～59.10 m には暗灰色の砂礫があり 58.40 m には暗灰色シルトをはさんでいることから古土壌と推定した。59.10 m～85.00 m までは全体に硬質で変質がほとんどみられない安山岩(溶岩)である。これには黒色のゼノリスを含んでいる。

## 白鷹火山カルデラの地質構造

### 1. カルデラの地下構造

地表のマッピング結果とボーリング調査結果をもとにして、カルデラとその周辺の地質構造を検討した。第 6 図の地質断面図 A-A' および B-B' はそのようにして作成したものである。それぞれの断面図作成位置を第 5 図(地質平面図)に示すが、A-A' はカルデラを NE-SW に横断する断面で、各ボーリングを連ねた断面である。また B-B' はこれに直交する NNW-SSE 方向の断面で溶岩円頂丘の東黒森山を横断する。

いずれの断面図上でも、カルデラ地下には厚い安山岩溶岩(虚空蔵デイサイト)が存在し、その上を流紋岩質凝灰岩(荻野火砕流堆積物)が覆っている。

A-A' 断面図でみると、カルデラ内では安山岩溶岩、流紋岩質凝灰岩、岩屑なだれ堆積物はいずれも北東方向に緩く傾斜している。ST-1 では標高 550 m 付近から少なくとも標高 430 m までは上記の溶岩であるが、その北東方約 2 km の ST-2 では流紋岩質凝灰岩の直下に溶岩は存在せず、流紋岩質凝灰岩は標高 480 m 前後で直接基盤の新第三系を覆っている。

このような関係に基づけば、両ボーリングの間では基盤表面は南西側に傾斜した不整合をなしているか、あるいは基盤と溶岩等が断層によって境している可能性がある。後者の場合、断層部はその両側が埋没したカルデラ壁に相当すると考えることもできる。もし、そうであれば、地形的には南西部のみしか確認できなかったカルデラの東方延長部がこの付近に存在していた可能性がある。

ST-1、ST-2 の間では、溶岩の基底には少なくとも 100 m 近くの変位が推定されるが、その上位の流紋岩質凝灰岩に関しては、変位はあってもわずかである。さらに、岩屑な

だれ堆積物も変位は不明であり、あってもごくわずかと推定される。したがって、この部分のカルデラ形成時期は流紋岩質凝灰岩の堆積前が主体であった可能性がある。

A-A'断面のうち、南西端の狐越と片倉山の間では、カルデラの北東側が全体として落ち込んでいるだけでなく、狭い部分が両側に断層をもってグラベン状に落ち込んでいる。これらはカルデラ形成に関連した形成された構造であろう。

## 2. 円頂丘を構成する安山岩溶岩と岩屑なだれ堆積物の前後関係

前述したように、カルデラ内の東黒森山は安山岩の溶岩円頂丘と考えられている。これを横断する B-B'断面図でも流紋岩質凝灰岩は厚い溶岩を覆って広く分布し、東黒森山の溶岩の基部にも存在すると推定される。

東黒森山溶岩円頂丘はこれまで岩屑なだれ堆積物を貫いて形成されたという解釈(三村・鹿野, 2000)と、岩屑なだれ堆積物が前者を覆っているという解釈が存在する(宇井・柴橋, 1985; 笹谷・横田, 2003)。今回の調査の結果、筆者らも東黒森山山腹において安山岩溶岩と岩屑堆積物の分布形状から後者が前者を覆っていると推定した。

一方、荒沼南西方約 500 m の地点では、岩屑なだれ堆積物からなる急崖中に比較的新鮮な安山岩が認められた(第 12 図 (f))。これは岩脈状にて岩屑なだれ堆積物に貫入したような形態をなしている。岩石は東黒森山の溶岩に近く、含角閃石両輝石安山岩であった。分布形態と高温酸化による赤色化から、岩屑なだれ堆積物を貫いていると判断した(断面図 B-B'の南端参照)。

## 岩石の古地磁気測定

### 1. 対象とした岩石試料と試料採取

白鷹火山カルデラに関係した岩石の K-Ar 年代はすでに得られているが(長澤ほか, 1995)、火山層序とカルデラ構造が明確になってきた現段階で、形成過程を議論するにはさらに多くの年代値が必要である。そこで、今回、カルデラ内外に分布する溶岩とともに、火砕流堆積物、岩屑なだれ堆積物を対象に岩石の残留磁化方位の測定を試みた。本ボーリング試料を用いた古地磁気測定としては、すでに酒井ほか(2003)があるが、これは他地域との比較のために限定したものであった。

対象とした岩石試料は地表露頭およびボーリング・コア(ST-4)から採取した。試料の採取場所と岩石タイプ、試料番号を以下に記述するが、一覧として第 1 表にまとめた。地表露頭の試料番号は STE-, ボーリング・コアは STB-で示した。試料整形が困難なものが多く、最終的には以下に示す計 13 試料を測定した。

#### (a) 地表露頭から採取した岩石試料と試料番号

・虚空蔵デイサイト相当の溶岩(両輝石安山岩)

STE-3; 標高約 800 m の白鷹山山腹にて採取。

・白鷹溶岩円頂丘を構成する安山岩(含角閃石両輝石安山岩)

STE-4; 標高約 900 m の白鷹山山頂付近にて採取。

・東黒森溶岩円頂丘を構成する安山岩(含角閃石両輝石安山岩)

STE-5, STE-6; 東黒森山南西山腹標高約 650 m にて採取。

・貫入岩状の安山岩(含角閃石両輝石安山岩)

STE-1, STE-2; 荒沼南西方約 500 m 地点の急崖にて採取。

#### (b) ボーリング・コア(ST-4)から採取した岩石試料と試料番号

・岩屑なだれ堆積物中のマトリックス部分

STB-16-1 (深度 17.80 m), STB-16-2 (深度 17.80 m)。

・荻野火砕流堆積物相当の凝灰角礫岩の礫

STB-19 (深度 55.00 m)。

・虚空蔵デイサイト相当の溶岩(含角閃石両輝石安山岩)

STB-22-1 (深度 78.00 m), STB-22-2 (深度 78.00 m), STB-23-1 (深度 82.70 m), STB-23-2 (深度 82.70 m)。

## 2. 測定方法

個々の試料については、採取後、以下の方法にて測定を行った。

①採取した岩石試料をコアドリルとカッターで直径 2.5 cm、高さ 2.5 cm の円柱状に整形し、測定試料とした。試料採取に際しては、地表露頭では水平面内と鉛直面内での位置を確認して定方位にて採取し、ボーリング・コアでは鉛直面内での傾斜角のみを測定した。

②スピナー磁力計(夏原技研製, SMM-85)を用いて測定試料の自然残留磁化(NRM)および残留磁化を測定した。

③熱消磁装置(夏原技研製, TDF-97)を用いて消磁処理を行い、試料の二次的磁化を取り除いた。それぞれ設定温度で最低 25 分間放置した。消磁は 100°C から開始した。500°C までは 50°C ごとに加熱し、その後 680°C までは 30°C ごとに加熱した。各試料の消磁過程のサイダーベルト図を第 8 図 (a), (b) に示す。

④熱消磁処理した試料のそれぞれの温度で残留磁化を測定した。ボーリング・コア試料では伏角のみを測定した。

## 3. 測定結果

測定結果を第 1 表にまとめたが、これには、帯磁方位とともに、磁極を N (正磁極) または R (逆磁極) で示している。帯磁方位は地表露頭試料では偏角と伏角、ボーリング・コア試料では伏角のみを示した。さらに結果のバラツキ評価としてウルフネット上でのフィッシャー検定 95% 小円の大きさ  $\alpha_{95}$  を示した。

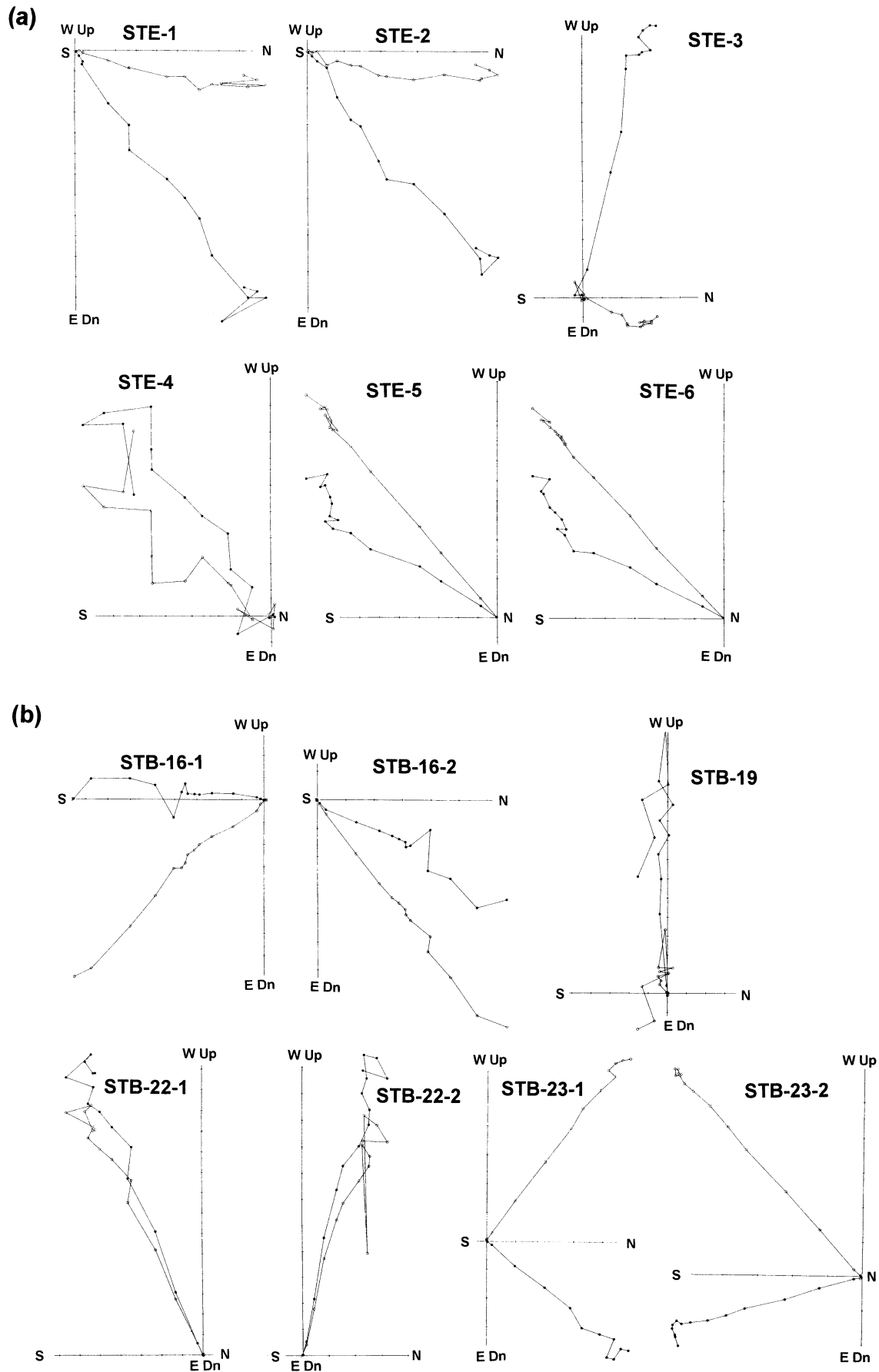
#### (a) 地表露頭試料の測定結果

・STE-3 (虚空蔵デイサイト相当の溶岩; 両輝石安山岩)。

正磁極が得られた。ただし、伏角が 5.5° と小さく、かつ偏角が大きく西に偏っており、信頼性に欠ける。採取試料が 2 次的に移動・回転した可能性も考えられる。

・STE-4 (白鷹溶岩円頂丘を構成する安山岩; 含角閃石両輝石安山岩)。

逆磁極が得られた。ただし、温度ごとの磁化成分は多成分であることから、冷却過程で回転した可能性がある。



第8図 古地磁気測定測定結果ザイダーベルト図. (a) 地表露頭採取試料. (b) ボーリング・コア採取試料.

第1表 古地磁気測定試料の採取位置と測定結果。地表露頭およびボーリング・コアからの採取試料。なお、ボーリングコア ST-4 からの採取試料は伏角のみを示している。

	試料番号	試料		測定結果				
		対象とした試料	試料採取位置	消磁加熱温度の範囲(°C)	Dec. (°)	Inc. (°)	極性	$\alpha_{95}$
地表露頭からの採取試料	STE-1	含角閃石両輝石安山岩 (岩脈状の貫入岩?)	カルデラ内の荒沼南西方約500m, 急崖	0-560	55.5°	7.8°	N	2.0
	STE-2			0-590	51.8	8.9	N	4.2
	STE-3	両輝石安山岩 (虚空蔵デイスaito相当の溶岩)	カルデラ外の白鷹山山腹, 標高約800m	0-560	-77.2	5.5	N	1.3
	STE-4	含角閃石両輝石安山岩 (白鷹溶岩円頂急崖構成する溶岩)	カルデラ外の白鷹山山頂, 標高約900m	0-590	-131.8	-21.5	R	12.9
	STE-5	含角閃石両輝石安山岩 (東黒森溶岩円頂丘を構成する溶岩)	カルデラ内の東黒森山南西山腹, 標高約650m	0-650	-146.5	-44.4	R	1.3
	STE-6			0-650	-148.9	-43.3	R	1.5
ボーリング・コアからの採取試料	STB-16-1	岩屑なだれ堆積物のマトリックス部分 (畑岩岩屑流堆積物)	ボーリングST-4, 深度17.80m	0-560	—	39.2	N	3.1
	STB-16-2		ボーリングST-4, 深度17.80m	0-560	—	49.1	N	1.8
	STB-19	凝灰角礫岩の礫 (荻野火砕流堆積物相当)	ボーリングST-4, 深度55.00 m	0-560	—	-3.6	R	5.1
	STB-22-1	含角閃石両輝石安山岩 (虚空蔵デイスaito相当の溶岩)	ボーリングST-4, 深度78.00m	0-590	—	-38.2	R	0.8
	STB-22-2		ボーリングST-4, 深度78.00 m	0-590	—	-36.7	R	2.7
	STB-23-1	含角閃石両輝石安山岩 (虚空蔵デイスaito相当の溶岩)	ボーリングST-4, 深度82.70 m	0-590	—	-46.0	R	0.8
	STB-23-2		ボーリングST-4, 深度82.70 m	0-590	—	-46.0	R	0.7

・STE-5, STE-6 (東黒森溶岩円頂丘を構成する安山岩; 含角閃石両輝石安山岩)。

2 試料を測定し, いずれも逆磁極を得た。両試料の偏角・伏角は互いに類似しており, また, 磁化方位も低温から高温まで単一成分を示している。

・STE-1, STE-2 (貫入岩状の安山岩; 含角閃石両輝石安山岩)。

2 試料を測定し, いずれも正磁極を得た。両試料とも偏角・伏角は互いに類似しており, また, 磁化方位も低温から高温まで単一成分を示している。ただし, 採取位置が急崖であり, 傾動しやすいくとも考慮する必要がある。

(b) ボーリング・コア (ST-4) 試料の測定結果

・STB-16-1, STB-16-2 (岩屑なだれ堆積物中のマトリックス部分)。

同一深度にて採取した2 試料を測定したが, いずれも正磁極を得た。伏角に関する限り, 両者はほぼ同一である。このことは比較的高温状態にて定置した可能性を示している。

・STB-19 (荻野火砕流堆積物相当の凝灰角礫岩の礫)。

逆磁極を得たが, 伏角が小さいので, 信頼度に欠ける。

・STB-22-1, STB-22-2 (虚空蔵デイスaito相当溶岩; 含角閃石両輝石安山岩)。

深度 78.00 m の同一深度にて採取した試料であり, いずれからも逆磁極を得た。伏角はほぼ同一である。

・STB-23-1, STB-23-2 (虚空蔵デイスaito相当溶岩; 含角閃

石両輝石安山岩)。

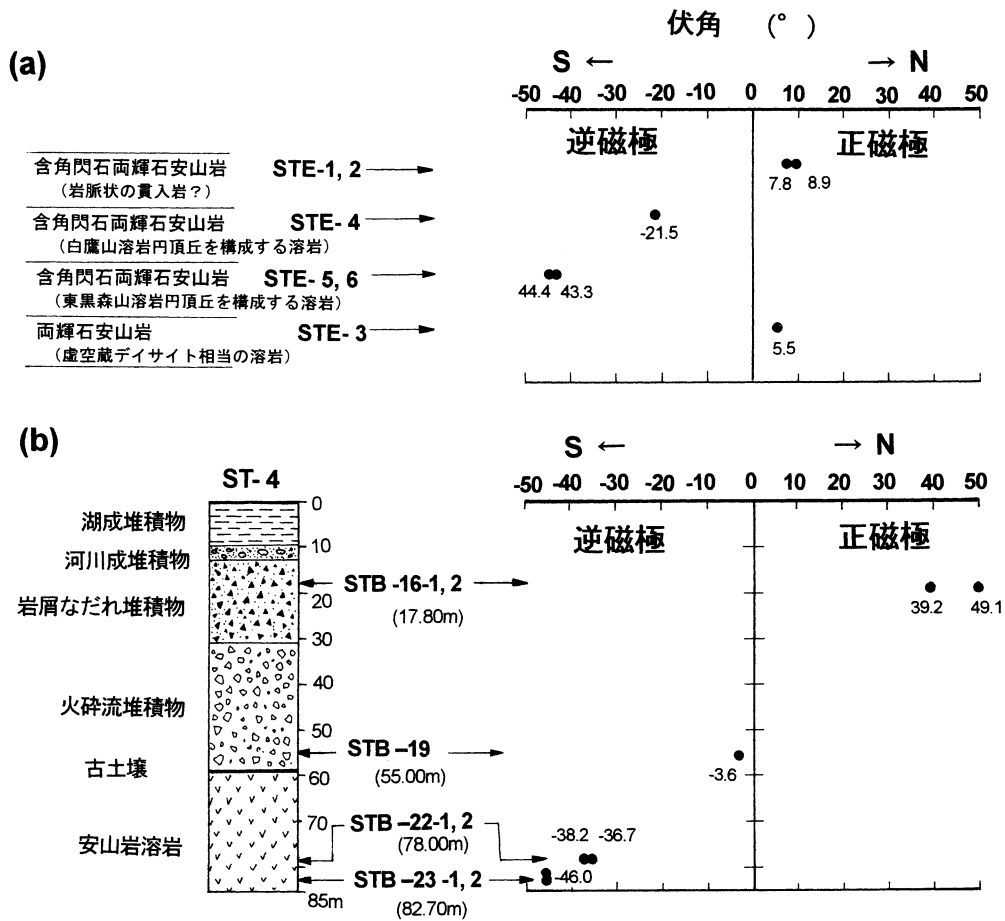
深度 82.70 m の同一深度にて採取した試料であり, いずれからも逆磁極を得た。伏角はほぼ同一である。

#### 4. 測定結果の解釈

個々の値については, 第8図のパターンを参照して十分吟味していく必要がある。地表露頭採取試料とボーリング・コア採取試料のそれぞれの伏角と極性を第9図に示す。地表露頭採取試料は層序を考慮して, 上位から下位に配置して示した。また, ボーリング・コア採取試料は浅部から深部へと示した。

層序的位置を考慮してそれぞれの試料の帯磁方向をみると, カルデラを構成する安山岩溶岩 (虚空蔵デイスaito) ではボーリング・コア4 試料のいずれもが逆磁極であり, しかも伏角が35~46°に集中している。これに対して, 地表露頭試料では10°以下の浅い伏角で正磁極であった。採取位置での2次的な移動・回転などの可能性を考えると, 地表露頭試料は信頼度が欠けることから, ボーリング・コア試料の示す逆磁極と判断した。

溶岩円頂丘の構成岩石に関しては地表露頭試料のみであるが, 前述のように, 東黒森山の2 試料はいずれも逆磁極を示し, また偏角と伏角は互いに類似している。また, 白鷹山から採取した試料も伏角はやや浅いが逆磁極を示した。したがって, 少なくとも溶岩円頂丘を構成する岩石は逆磁極とみてよいであろう。



第9図 磁化測定試料の採取位置と測定結果。伏角と磁極を示す。(a) 地表露頭からの採取試料, (b) ボーリング・コアからの採取試料。

地表露頭から得た貫入岩状の安山岩2試料からはいずれも正磁極が得られた。前述のように、偏角・伏角は互いに類似している。ただし、 $10^\circ$  以内の浅い伏角であることと、急崖から採取したものであり、2次的に回転した可能性が大きく、やや信頼度は低いと判断した。

岩屑なだれ堆積物に関してはボーリング・コアで2試料得ているが、これはマトリックスを構成する小礫部分を整形した試料である。両者は $39\sim 49^\circ$ の伏角で正磁極を示した。信頼性は高いと判断しているが、ボーリング・コア採取時の多少の移動・回転の可能性は一応考慮しておく必要がある。

以上の結果、カルデラを構成する安山岩、溶岩円頂丘構成溶岩は逆磁極、岩屑なだれ堆積物と貫入岩状安山岩は正磁極を示していることから、白鷹火山は松山逆磁極期からブリュンヌ正磁極期、すなわち前期～中期更新世の境界付近に活動していた可能性が高い。また、長澤ほか(1995)のK-Ar年代測定値もこれと矛盾しない。

岩屑なだれ堆積物はマトリックス部分を対象としたが、2試料とも比較的近い方向であったことから、定置時には比較的高温であった可能性が高い。これは、岩屑なだれ堆積物は火山活動に関連して高温の状態が発生し、流下・堆積した可能性を示している。

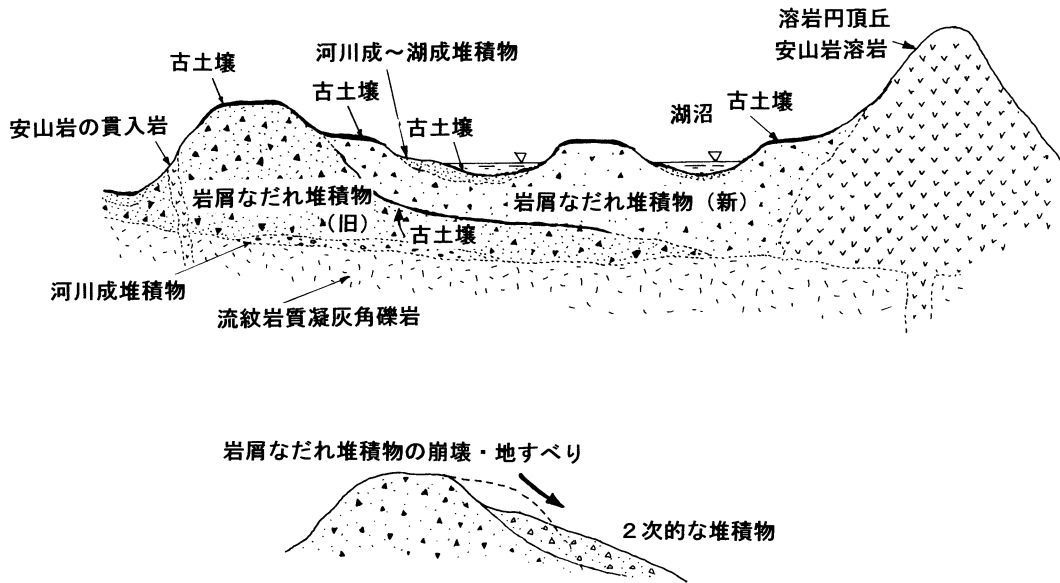
### 岩屑なだれ・山体崩壊・斜面崩壊の今後の発生可能性

#### 1. 山体崩壊と岩屑なだれの発生時期

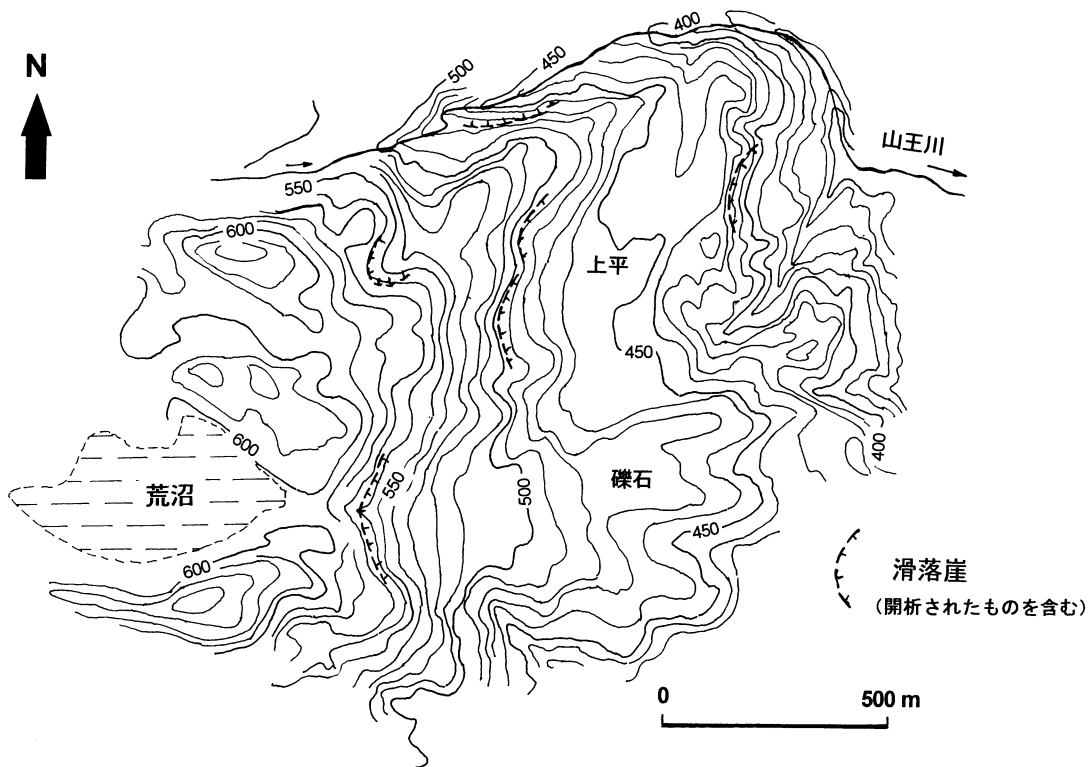
カルデラ内の岩石・岩体の相互関係の概念を第10図に示す。東黒森山では溶岩円頂丘を構成する安山岩溶岩は岩屑なだれ堆積物に覆われている。ただし、荒沼南西方のように、一部では岩屑なだれ堆積物中に安山岩が貫入している。岩屑なだれ堆積物の構成礫は角閃石含有のものも含めて溶岩円頂丘由来と考えられること、ならびに複数の礫が同様の磁化方位を獲得していることから、岩屑なだれ堆積物の一部は少なくとも溶岩円頂丘の形成直後に発生した可能性が高い。

岩屑なだれ堆積物中には一部古土壤の挟まれる箇所があり、複数回にわたって形成された可能性がある。岩屑なだれ堆積物の多くは湖沼堆積物～河川成堆積物とともに厚さ1mに達する黒色古土壤によって覆われているが、この厚い古土壤を覆う堆積物は見られず、したかつて、山体崩壊は複数としても数万年前以前で終了したとみていいであろう。

ボーリング・コア試料の古地磁気測定結果からは安山岩溶岩と岩屑なだれ堆積物の境界付近にブリュンヌ/松山磁極境界があり、岩屑なだれ発生時期もこの付近、すなわち前期～中期更新世の境界付近と推定される。



第 10 図 白鷹火山カルデラにおける岩屑なだれ堆積物と溶岩円頂丘等との関係の概念図。



第 11 図 カルデラ東方の礫石地区<sup>ついでいし</sup>の地形。地すべり状の緩斜面と滑落崖が認められる。

2. カルデラ東側の巨礫の散在と地すべり

カルデラ東側の礫石地区には径数 m の巨礫が散在し、一部は明瞭な地すべり地形となっている(第 11 図)。これは前述の埋没カルデラの外側に相当し、カルデラ壁を越えた岩屑なだれが巨礫の散在をもたらし、かつカルデラ内から供給される伏流水が地すべり移動発生の地形・地質素因を与えてきたと考えられる。なお、これら以外の大規模地すべりを想定

しなくてもカルデラ地質構造の説明は可能と考えられる。

3. 今後の山体崩壊と岩屑なだれ発生可能性

これまでの結果から少なくとも岩屑なだれの一部は火山活動に関連して発生してきた可能性がある。すなわち、火山体の形成・解体過程で山体自体がかなり不安定化し、山体崩壊・岩屑なだれが発生してきた可能性が高い。岩屑なだれの堆積

は、複数回としても最後のものは数万年前以前である。火山活動が終了している現在において、今後岩屑なだれ及び山体崩壊が発生する可能性はほとんどないであろう。

### ま と め

これまで漠然としていた白鷹火山カルデラの構造と岩屑なだれ堆積物の形成過程について、地表露頭のマッピングと既存ボーリング・コア試料の対比をもとに検討を行い、さらにボーリング・コアも含めた古地磁気測定を行った。これらによって、以下の点が明らかになった。

- (1) カルデラ内には厚さ 50~60 m で岩屑なだれ堆積物が分布しており、その下位に厚い溶岩(虚空蔵デイサイトに相当)と、それを覆う火砕流堆積物(荻野火砕流堆積物)の存在を確認した。
- (2) ボーリング・コアに基づけば、東側に岩屑なだれ堆積物によって覆われているカルデラ壁の存在する可能性が明らかになった。したがって、当初は北~北北東に開いたものであった可能性がある。
- (3) 東黒森山を構成する溶岩は岩屑なだれ堆積物によって覆われている。一方、荒沼南西方には岩屑なだれ堆積物中に貫入した形態の安山岩が認められた。
- (4) 岩屑なだれ堆積物には、径 5~15 cm の安山岩の垂角礫を主体として砂~小岩片をマトリックスとした“マトリックス支持”タイプと径数 10 cm 以上の安山岩ブロックが密集した“礫支持”のタイプがある。
- (5) 岩屑なだれ堆積物は比高数 10 m で緩斜面をもって“流れ山”状を呈する小丘をなし、頂部は平坦で全体として定高性がある。少なくとも標高 590~650 m、標高 660~690 m の 2 面が識別され、広範囲に分布する前者は北北東に低くなっている。
- (6) ボーリング・コアに基づけば、岩屑なだれ堆積物中には古土壌とそれに覆われた崖錐堆積物が存在し、岩屑なだれ堆積物は複数回にわたって形成された可能性がある。
- (7) 岩屑なだれ堆積物の構成礫は角閃石含有のものも含めて白鷹火山体構成岩石由来と考えられ、また残留磁化方位も溶岩円頂丘とは異なることから、岩屑なだれ堆積物の一部は少なくとも溶岩円頂丘の形成以降に堆積した可能性が高い。
- (8) ボーリング・コアの残留磁化方位の測定結果によれば、岩屑なだれ堆積物は正常磁であるのに対し、その下位の火砕流堆積物(荻野火砕流堆積物相当)、安山岩溶岩(虚空蔵デイサイト)はいずれも逆帯磁であった。したがって、これらが松山/ブリュヌの逆-正磁極境界を挟んで形成された可能性がある。
- (9) 岩屑なだれ堆積物の分布形態やそれを開析した谷を埋積した湖成堆積物の存在は局所的な崩壊や谷の埋積、河川水のダムアップなどが繰り返し発生してきたことを意味しており、今日の湖沼群はそうした過程の最後のものと推定される。

- (10) 湖沼~河川成堆積物の多くは厚さ 1 m に達する黒色古土壌によって覆われており、これはカルデラ内湖沼底で実施されたボーリング・コア状況とも対応している。したがって、こうした湖沼の出現自体も数万年前にさかのぼるものであり、山体崩壊発生、岩屑なだれ堆積直後から湖沼が出現していた可能性が高い。また、古土壌を覆う岩屑なだれ堆積物は見られないことから、山体崩壊は複数としても数万年前以前で終了していたとみていいであろう。

謝辞：白鷹カルデラにて実施されたボーリング・コアの観察にあたり、独立行政法人防災科学技術研究所の井口 隆博士には様々なご便宜を図っていただいた。また、島根大学地球資源環境学科の澤田順弘教授ならびに酒井哲弥助教授には岩屑なだれ堆積物や残留磁気測定に関して多くの御指導をいただいた。記して謝意を表します。

### 引用文献

琵琶沼地質研究グループ, 1995, 山形県白鷹丘陵の琵琶沼湿原におけるボーリングコアの層序と堆積環境の変遷. 平成 6 年度琵琶沼緊急調査報告書一地理学・動物学, 山形県立博物館, 1-16.

廣谷志穂・伴 雅雄, 2002, 東北日本弧, 白鷹火山噴出物の斑晶鉱物化学組成. 日本火山学会講演予稿集, 155.

井口 隆・八木浩司・横田修一郎, 2000, 山形県白鷹火山における大規模斜面崩壊の探査. 第 39 回日本地すべり学会講演集, 565-568.

石井六夢・斎藤和男, 1997, 山形県白鷹火山の K-Ar 年代. 山形大学紀要(自然科学), no.14, 99-108.

三村弘二・鹿野和彦, 2000, 東北日本, 白鷹火山の層序と歴史. 火山, 45, 12-23.

長澤一雄・齋藤和男・大場与志男・石井六夢・本田康夫, 1995, 白鷹火山の初期および主活動期噴出物の K-Ar 年代と火山形成. 平成 6 年度琵琶沼緊急調査報告書一地理学・動物学. 山形県立博物館, 39-56.

中里裕臣・竹内陸雄・王 振洋・野口 徹・井口 隆・田中耕平, 2003, 山形県白鷹火山および崩壊源の比抵抗構造. 日本地すべり学会誌, 40, 32-38.

酒井英男・渡辺勝也・井口 隆, 2003, 磐梯火山ボーリングコアを用いた岩屑なだれ堆積物の岩石磁気的研究. 防災科学技術研究所研究報告, no.64, 19-31.

笹谷晋吾・横田修一郎, 2004, 山形県白鷹カルデラの構造と岩屑流堆積物. 日本応用地質学会中国四国支部平成 16 年度研究発表会論文集, 7-12.

田山良一, 1990, 山形西部地域の地質について一特に新第三系の応用地質的側面一. 山形西部地域自然環境調査報告, 山形市, 171-186.

宇井忠英・荒牧重雄, 1983, 1980 年 St. Helens 火山のドライアパランシェ堆積物: 火山第 2 集, 28, 289-299.

宇井忠英・柴橋敬一, 1985, 山形県の第四紀火山. 皆川信弥教授記念論文集, 33-44.

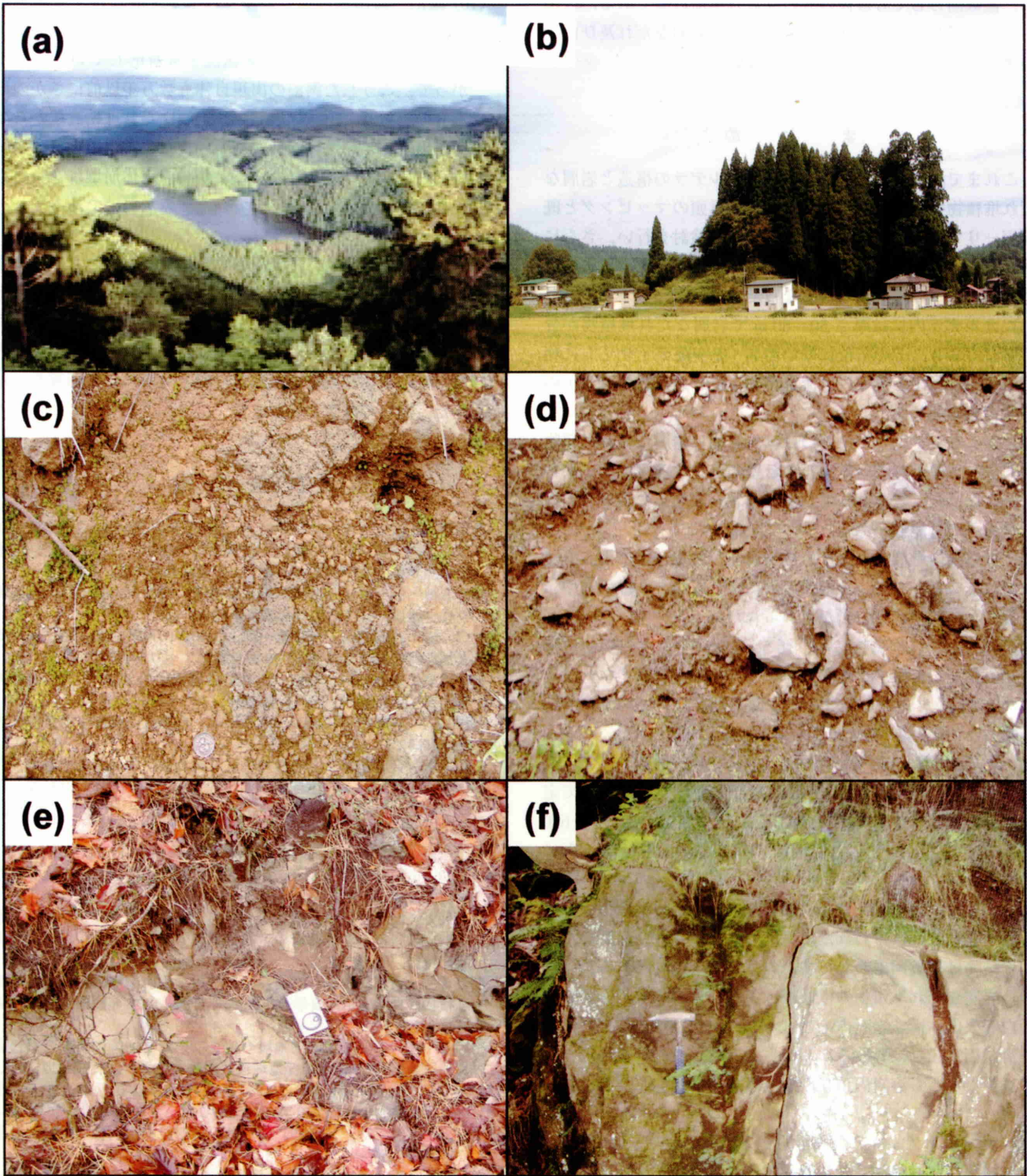
宇井忠英・荒牧重雄, 1985, 火山活動に伴う崩壊一岩屑なだれ一. 地球, no. 73, 374-378.

八木浩司・井口 隆, 2000, 白鷹火山の山体崩壊時期に関する層位的研究. 十津川災害 111 周年記念集會一斜面災害発生場所予測に向けて, 京都大学防災研究所, 94-97.

山形地学会, 1979, 5 万分の 1 地質図幅「荒砥」および同説明書. 山形県.

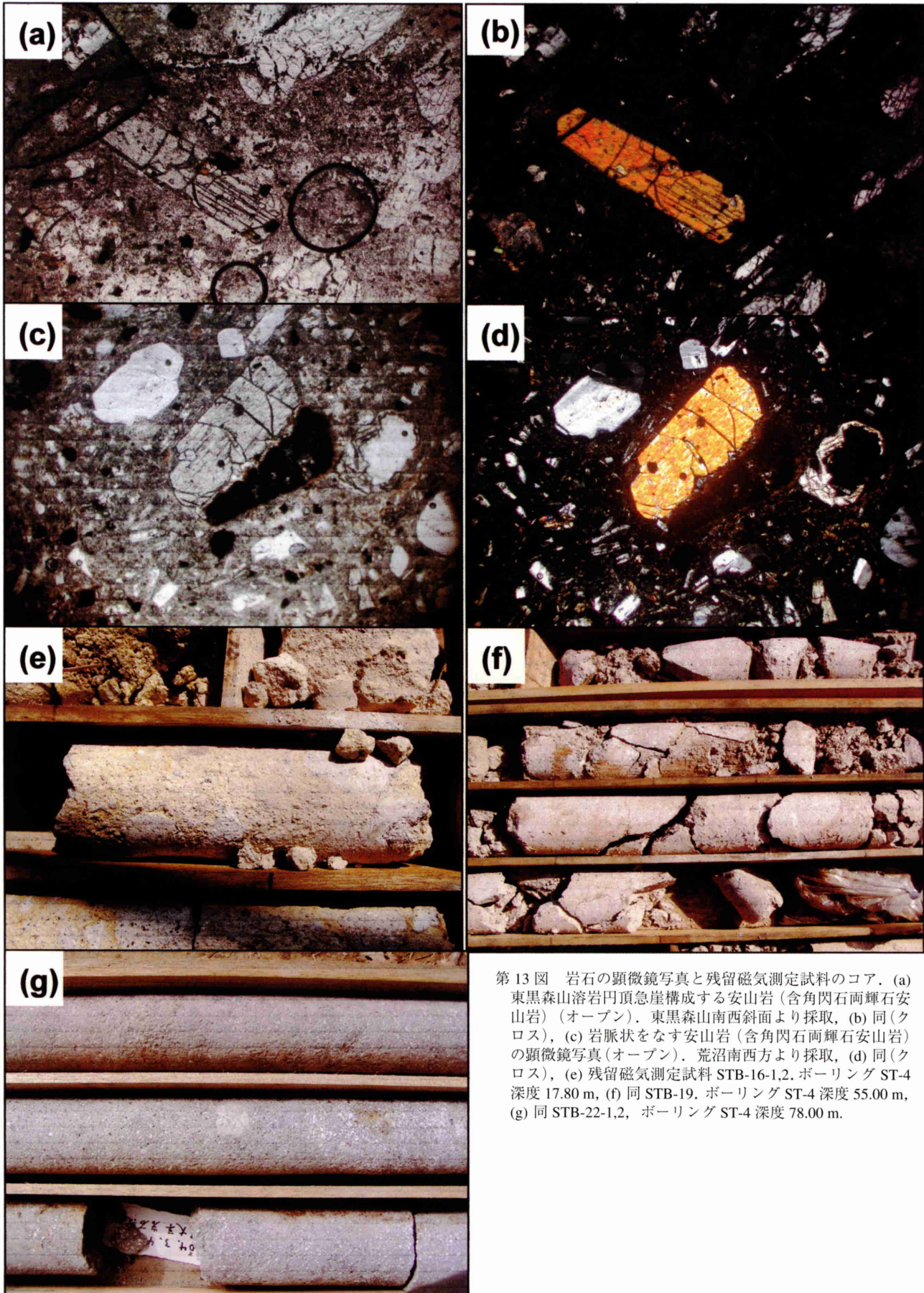
山野井 徹, 1990, 山形西部地域の山地の形成と侵食, 山形西部地域自然環境調査報告, 159-169, 山形市.

横田修一郎・西山賢一・原口 強・井口 隆, 2003, 岩石色彩値の深度変化からみた山形県白鷹火山周辺の風化環境と山体崩壊の可能性. 日本地すべり学会誌, 40, 283-292.



第12図 白鷹火山カルデラの特徴的な地形と露頭写真。(a) カルデラ内の緩斜面と湖沼群。(b) 畑谷地区の流れ山地形。水田に孤立丘として存在する。第3図(b)に対応。(c) 岩屑なだれ堆積物の岩相。東黒森山西方。礫にはジグソーパズル状のクラックが認められる。(d) 岩屑なだれ堆積物の岩相。片倉山南西斜面。粗粒砂の基質中に淘汰の悪い安山岩の角礫～亜角礫を含む。礫にはジグソーパズル状のクラックが認められる。(e) 東黒森山溶岩円頂丘を構成する安山岩(含角閃石両輝石安山岩)。東黒森山南斜面。(f) 岩脈状をなす安山岩(含角閃石両輝石安山岩)。岩屑なだれ堆積物に貫入しているようにみえる。荒沼南西方約500m。





第 13 図 岩石の顕微鏡写真と残留磁気測定試料のコア。(a) 東黒森山溶岩円頂急崖構成する安山岩(含角閃石両輝石安山岩)(オープン)。東黒森山南西斜面より採取。(b) 同(クロス)。(c) 岩脈状をなす安山岩(含角閃石両輝石安山岩)の顕微鏡写真(オープン)。荒沼南西方より採取。(d) 同(クロス)。(e) 残留磁気測定試料 STB-16-1,2。ボーリング ST-4 深度 17.80 m。(f) 同 STB-19。ボーリング ST-4 深度 55.00 m。(g) 同 STB-22-1,2。ボーリング ST-4 深度 78.00 m。