磐梯山1888年噴火によるサージ堆積物と被災記録

(Surge Deposits and Disaster Record induced by Mt. Bandai 1888 Eruption)

紺谷　和生 (Kazuo KONTANI) *、谷口　宏充 (Hiromitsu TANIGUCHI) **

キーワード：磐梯山、火砕サージ、噴火推移、被災記録

Abstract

Mt.Bandai (Bandai-san), famous for the large-scale collapse of a volcanic edifice triggered by a phreatic eruption on July 15, 1888, is an active volcano in Fukushima Prefecture. The phreatic eruption produced a pyroclastic surge, and which hit villages on the eastern foot of Mt. Bandai. Precious studies have focused on the surge deposit, and have showed the characteristics of the pyroclastic surge and yielded an eruption model. However, there are many paradoxes between the models arrived at and the disaster records. For example, there are the paradoxes of the timing of the generation, the number of flow units, and the depositional area of the pyroclastic surge. In this study, we compare the surge deposits with disaster records, and discuss the pyroclastic surges of the 1888 eruption.

The 1888 Mt. Bandai eruption has six characteristics: (1) no significant precursor; (2) phreatic explosions produced pyroclastic surges; (3) the collapse of a volcanic edifice was triggered by proceeding explosions; (4) the main activity ceased within a few hours after the first eruption; (5) no amount of essential material in the 1888 deposit.
The surge deposit of the 1888 eruption is made up of massive or cross-laminated beds with reverse or normal grading of pyroclastic materials. The deposit tends to distribute more thickly on the topographically low land. Sometimes accretionary lapilli and pieces of non-carbonizing wood are contained in the deposit. The depositional structure and the pattern of the size distribution of the deposit are in good agreement with those of a typical surge deposit. We found the surge deposit on the debris avalanche deposit, which gave us new evidence for understanding the past. Microscopic and X-ray diffraction investigations indicate that some layers in the deposit have different components, including the fresh fragments of basement granite. Based on this evidence, we concluded that the 1888 surge had plural flow units with different origins. Some of these flows had wet conditions, and the depositional temperature was relatively low.

Since many inhabitants survived the disaster of the surge, many testimonies and records have been accumulated. According to these; (1) after the sound of the eruption, it took several dozen seconds for the surge to reach the foot of the mountain which was about 5km distant; (2) some victims were burnt; (3) some victims were overcome two

* 東北大学大学院理学研究科
** 東北大学東北アジア研究センター

times by the surges.

Based on the character of the surge deposit and the summary of the victims' testimony regarding the timing, it was concluded that a surge was generated at least twice; before and after the collapse of the volcanic edifice.

1. はじめに

磐梯山は福島県中央部に位置する活火山である（Fig.1)。この磐梯山の最新の噴火である1888年7月15日の噴火は、死者477名をだし、明治以降の日本において最大級の火山災害をもたらした。

磐梯型とも言われるこの噴火は、水蒸気噴火をトリガーとした大規模な山体崩壊とそれに伴う岩屑なだれの発生によって特徴づけられる［Nakamura　1978：67-119］が、水蒸気噴火に伴って発生した火砕サージが山腹での倒木や流下地域での家屋の倒壊を引き起こしていることも、火山災害を考えるうえで注目すべき現象である。この南東麓の集落を襲ったサージについて、関谷・菊地［1888］は噴火の様子を大砲を撃った時に例えて、噴火によって生じた爆風であるかもしれないと推定した。さらに Sekiya and Kikuchi［1889：91-171］は倒木の方向から流れのおおまかな流動方向を示した。その後、中村・グリッケン［1988：309-316］はこのサージに対応する堆積物を見出し、セントヘレンズ火山の1980年噴火との比較から山体崩壊直後に発生したブラストであると報告した。一方、Yamamoto *et al.*［1999：191-207］は堆積物やその分布の特徴から、ブラストよりも濃密で低速な流れであり、水蒸気噴火の噴煙柱が崩壊することで生じたと考えた。さらにその発生のタイミングは、噴火開始から山体崩壊がおこるまでの約1分の間であるとしている。

しかしこれらの研究と被災記録や証言を比べてみると、発生のタイミングや発生回数、流下地

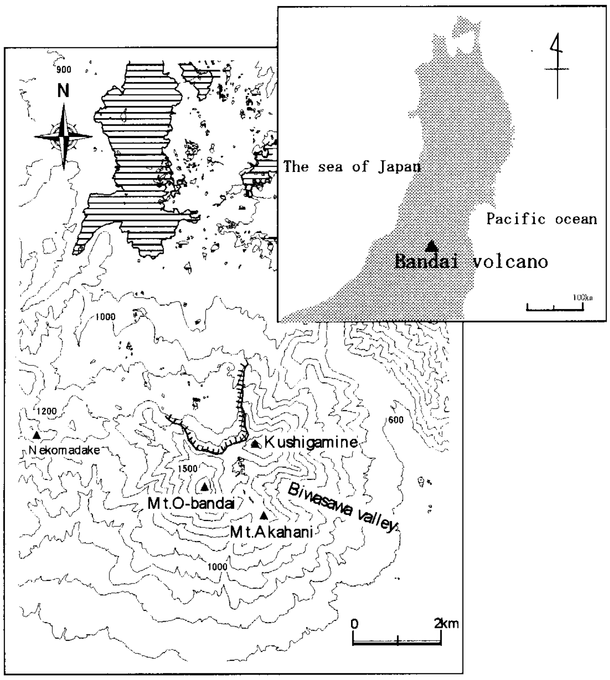

Fig.1. Index map.
Mt.Bandai is made up of 3 peaks (Mt.O-bandai, Mt.Akahani, and Mt.Kushigamine) and the 1888 collapse crater.

域など、証言と一致しない点も認められる。そこで本論では、1888年噴火による堆積物の調査を行い、調査結果と証言記録とを比較検討することにより、この磐梯山南東麓を襲ったサージの詳細を明らかにし、1888年噴火推移における位置づけを行う。

2. 磐梯山の活動史

磐梯山は東北本州弧の南部、福島県中央部猪苗代湖の北方、約7kmに位置する標高1,819mの成層火山である。

そのおおまかな活動史を三村・中村［1995：87-101］や千葉・木村［2001：126-156］にもとづいて整理する。活動は約70万年前の先磐梯火山の形成に始まる。この時期に噴出した溶岩は1888年の崩壊カルデラの下部に分布する。50万年前～10万年前の古磐梯火山の活動期に丸山や川上溶岩円頂丘群の形成、さらにブルカノ式やストロンボリ式の噴火を繰り返して、櫛ヶ峰火山体、赤埴火山体の形成が行われた。約10万年前から新磐梯火山の形成が始まる。古磐梯山は約9万年前の翁島岩屑なだれの発生によって大規模に崩壊している。これは崩壊後、プリニー式の噴火に移行し、崩壊カルデラの中に大磐梯山体の形成がなされた。さらに沼の平の形成を経て、1888年噴火で崩壊した小磐梯山体の形成が行われた。

最後のマグマを伴った活動は約1万年前で、それ以降、本質物質を伴う活動は起きていないが、約1160年の間隔で水蒸気噴火が発生している。そのうち約2400年前の活動では水蒸気噴火に伴って琵琶沢岩屑なだれが発生している。記録に残っている有史の活動としては約1200年前にあたるAD806年（大同元年）にも水蒸気噴火があり、それから約1100年後のAD1888年（明治21年）の水蒸気噴火により小磐梯山が崩壊し、大規模な岩屑なだれが発生した。その後、現在に至るまで噴出物を伴う火山活動は起きていない。

3. 磐梯山周辺の地形

Fig.2に磐梯山周辺の地形分類図を示す。磐梯山は大磐梯、櫛ヶ峰、赤埴山の3つのピークからなり、1888年大崩壊で形成された馬蹄形カルデラを始め、翁島岩屑なだれの発生に対応すると考えられる崩壊地形や、大磐梯西部の沼の平など、いくつかの崩壊地形が見られる。また、古磐梯火山にあたる川上溶岩円頂丘や櫛ヶ峰火山体はかなり開析がすすんでおり、溶岩流地形も不明瞭であるが、新磐梯火山にあたる大磐梯山体や、小磐梯起源と考えられる北西麓に見られる溶岩流地形は明瞭である。磐梯山の山頂付近から南東方向へと伸びる深い沢は琵琶沢と呼ばれている。1888年噴火の際に火砕サージが流下した沢であるが、先に述べたように2400年前の琵琶沢岩屑なだれもこの沢の最上流部にて発生し、山麓へと流下している［Yamamoto *et al.* 1999：192-193］。1888年噴火によって形成された地形的特徴として、山体崩壊によって生じた幅1.5km、比高約800mの北に開いた崩壊カルデラ、その北に見られるavalanche valley［Nakamura　1978：86］と

呼ばれる箱状の谷、そのavalanche valley東側の斜面には、幅数m、深さ10m以上、長さ100m程の北に放射状に伸びる線状の裂谷〔守屋　1985〕が見られる。また、avalanche valleyのさらに北方には、岩屑なだれ堆積物に特徴的な地形である流れ山地形が明瞭に分布している。

1888岩屑なだれには、川上温泉の北から磐惣温泉にかけての地域に側端崖と考えられる崖が認められる以外には、明瞭な自然堤防や末端崖、側端崖はほとんど認められない。これが一般的な岩屑なだれに比べて、1888年岩屑なだれはチキソロトピックな性質が少ないことを意味するのか〔宇井　1995：121〕、噴火前の地形の影響が大きいためであるのかその原因の詳細は不明である。

また1888年噴火で形成された馬蹄形カルデラは、1888年以降にも小〜中規模の崩壊を何度も起こしているため、馬蹄形カルデラは噴火直後とは多少異なっている。また、それらの崩壊に伴う堆積物は1888年馬蹄形カルデラ内を埋めている。

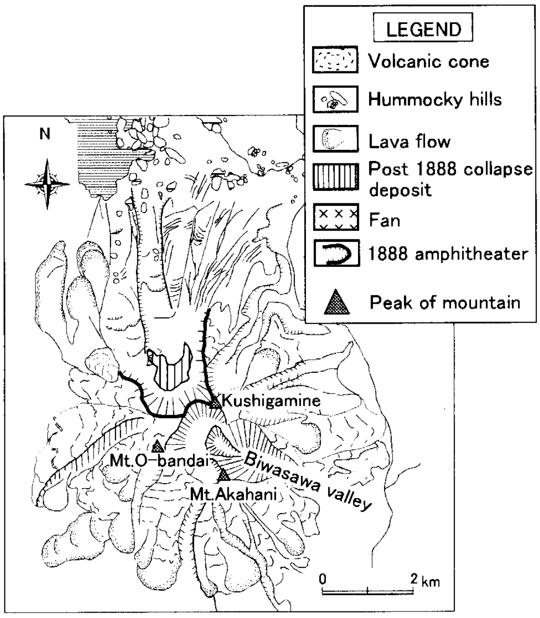

Fig.2. Geomorphological map of Mt.Bandai.

4. 1888年噴火について

4−1. 1888年噴火の概略

1888年噴火の状況を報告した文献の中で、詳細、かつ信頼のおける報告書として関谷・菊池[1888]や、Sekiya and Kikuchi [1889：91-171] がある。これらの報告と、最近の研究報告（中村・グリッケン [1988：309-316] や Yamamoto *et al.* [1999：191-207] など）をもとに1888年噴火の概略をまとめる（Table 1）。

まず噴火に先行して、遠雷のような音とともに地震が増加した。噴火当日の一週間前の7月8日に弱い地震が起こり、9日、10日にも一回ずつ弱い地震があり、さらに、13日午後3時頃にも地震、14日午前八時にも弱い地震があった（関谷・菊池 [1888：62-63]、中村・グリッケン[1988：309-310]）。

Table1. The precursor phenomena, and transition of the 1888 eruption by ［Nakamura 1978：67-119］.

Date	Local time	Weather	Observed activity
8-Jul			weak earthquake
9-Jul			weak earthquake
10-Jul		rain	weak earthquake
11-Jul		rain	
12-Jul		rain	
13-Jul	15:00	hail	moderate earthquake
14-Jul		fine	weak earthquake
15-Jul		fine	
	7:00		weak earthquake
	7:30		strong earthquake
	7:45		very strong earthquake beginning of eruption, and 15-20 explosions occurred within about 1 minute. collapse of Kobandai-volcanic edifice, and generation of debris avalanche.
	8:30		the eruption column transformed into umbrella shaped. hot rain fell and lahar was caused.
	16:00		ash fall ceased

噴火当日の7月15日は快晴、西北西の微風であった。午前7時過ぎに弱い地震、7時半過ぎには強い地震が起こり、20秒程も揺れた。しばらくすると、さらに強い地震が起こり、その揺れがおさまらないうちに激しい音がして、小磐梯山から大磐梯の比高（約1200m）程の噴煙が上がった。その後、わずか一分程の間に立て続けに15～20回音がして、最後の一発は北の方へ抜けた。この「抜けた」時が山体崩壊のタイミングであると考えられるが、この山体崩壊とほぼ同時刻に南東麓へとサージが流下している。

その後も30～40分間は小爆発が続き、雷のような音は2時間程も鳴り響いていた。はじめ柱状に上がった噴煙は傘のように広がり最終的には大磐梯の比高の3～4倍（約5000m）の高さまで上昇し、東南東の方向へ飛散していった。噴火が始まると、噴煙のため磐梯山の周囲は東麓地域を中心に真っ暗になり、しばらくすると山麓地域では灰交じりの温雨が降った。この雨によりサージや降下堆積物が二次的に流動し、ラハールとなり琵琶沢を経て一部は見祢にまで達している〔Yamamoto *et al.* 1999：195〕。

噴火は開始から2、3時間で主な活動を終え、午後4時には遠傍での降灰も完全に止んだ。この噴火による噴出物は、旧山体を構成していた既存の物質であり、堆積物には本質物質はまったく含まれないか、含まれても無視できる程度である〔Nakamura 1978：82〕。また、降灰は120km離れた太平洋沿岸でも確認され、噴火後大磐梯山と同じくらいの標高を持っていた米地［1988：318-323］の推定によると、標高1760m）とされる小磐梯山の山頂が消失し、北に開いた馬蹄形カルデラが形成された。この噴火による被災者の証言や被災記録は磐梯山噴火百周年記念事業協議会によってまとめられた磐梯山噴火百周年記念誌［1988］や、山田［1988］によって

よくまとめられており、これらを参考にして整理した被災状況と集落の位置とをFig.3 とTable2 に示す。

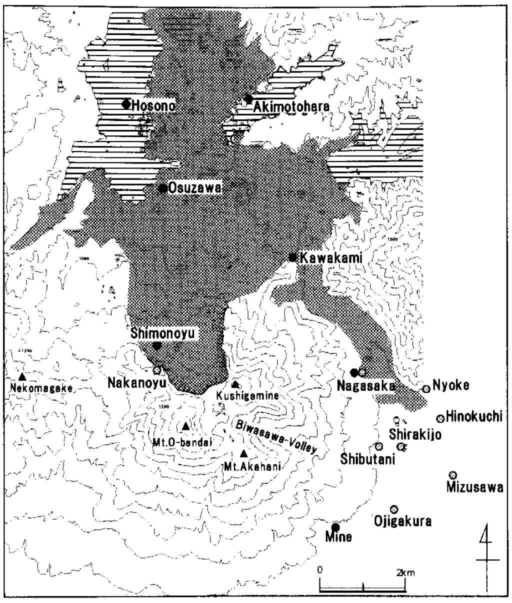

Fig.3. The disaster distribution from the 1888 eruption. The gray area is the distribution of the 1888 debris avalanche deposit. The open circle shows the locality of the colonies hit by a pyroclastic surge, and the closed circle shows the locality of colonies hit by a debris avalanche and lahar.

Table 2. The disaster record, and facts of the disaster for the colonies.

District	Colony	Houses	Population	Damaged houses	Death people	Factor
Hibara	Osuzawa	20	120	20	103	DA
	Hosono	7	41	7	41	DA
	Akimotohara	12	79	12	66	DA
	Onogawa	12	67	0	4	DA
	Hibarahonso	51	297	0	7	DA
Iwase	Mine	49	304	27	14	L
	Shibutani	30	235	39	3	S
	Nagasaka	31	168	1	82	S ,DA
	Kawakami	3	12	3	12	DA
Wakamiya	Myoke	25	158		12	S
Kogai	Shirakijo	21	110	18	2	S
	Hinokuchi	13	93		2	S
	Komizusawa	20	165	2	0	S
Sangou	Ojigakura	41	254	6	2	S
Summary		335	2103	135	350	

DA:　Damaged by debris avalanche
S:　Damaged by surge
L:　Damaged by lahar

4−2. 岩屑なだれ

噴火が始まってから立て続けに起こった爆発音の最後の一発は北の方へ抜けた［関谷・菊池　1888］。この「抜けた」ときに小磐梯山が崩壊したとされるが、この崩壊により発生した岩屑なだれは磐梯山北麓地域に向かって流下し、雄子沢、秋元原及び細野の3集落を一瞬にのうちに埋没させた（Fig.3 参照）。さらにこの岩屑なだれは長瀬川に突っ込んで泥流となり、そのまま川を下って川上や長坂といった磐梯山東麓地域にまで被害を及ぼし、樋之口の手前で止まった［関谷・菊地　1888］。さらに噴火後、二次的に流動した岩屑なだれ堆積物は泥流となり北麓地域を広く覆っている［中村　1995：112］。土湯沢に分布する泥流も構成物が岩屑なだれに類似していることから岩屑なだれ堆積物の二次的堆積物ではないかと考えられる。また、岩屑なだれ堆積物が桧原川、小野川、中津川を堰き止めたため、桧原、小野川、秋元の三大湖を始め、多くの湖沼が形成された。桧原湖、小野川湖の形成に伴って、噴火から数ヶ月後には小野川、桧原といった集落は水没し、移転を余儀なくされた。

この岩屑なだれ堆積物の分布面積は$34km^3$、総体積$1.5km^3$、崩落落差は1200m、流走距離はおよそ11kmである［宇井　1995：124］。

4−3. サージ

噴火が始まって間もなく、磐梯山南東麓の集落は火山砕屑物とガスからなる密度流に襲われている（中村・グリッケン［1988：309-316］や Yamamoto *et al.*［1999：191-207］。この流れに対して［関谷・菊池　1888］は「爆発の際には猛烈なる疾風を起して処によっては樹木を抜き家を倒せり」という記述をおこなっている。これが本論でいうところの火砕サージである。

小磐梯山山頂付近での水蒸気噴火に伴って発生したサージは、山頂付近から南東麓へと伸びる琵琶沢に沿って流れ下った。その破壊力は、赤埴山腹では直径1mを超えるような木々が列をなして吹き倒され、山麓の住民は衣服を剥ぎ取られたり、吹き倒されたりした［Sekiya and Kikuchi　1889：114-118］。また、サージは南東方向だけでなく、集落のない西〜北方向にも流下しており、磐梯山北西に隣接する丸森山（現在の丸山）ではうっそうと生い茂っていた木々のほとんどが倒され、裸木が電柱のように立っているだけであった［Sekiya and Kikuchi　1889：114-118］。しかし、この方向に流下したサージに対する被災者の証言は残されていない。また、崩壊した小磐梯からみて、大磐梯の裏側にあたる磐梯山南麓地域や、岩屑なだれの流下した北麓地域でのサージの被害報告はない。被災者の証言から、サージによる被災地域は磐梯山南東〜東麓の長坂、渋谷、白木城、小水沢、伯父ヶ倉、樋之口、見祢、といった集落であると考えられる。また、この水蒸気噴火に伴うサージ堆積物や降下堆積物が二次的に流動して琵琶沢を埋没し一部は見祢に達した［Yamamoto *et al.*　1999：195-199］。

5. サージ堆積物

5—1. サージ堆積物の特徴

1888年噴火以降、磐梯山は噴出物を伴う火山活動を行っていないため、1888年サージ堆積物は土壌直下もしくは最上位に堆積し、下部には土壌が見られる。サージ堆積物の分布は中村・グリッケン［1988］や Yamamoto *et al.*［1999］により報告されているが、著者の調査により長坂付近や磐梯山西麓の沢沿い、そして北麓地域においても1888年サージ堆積物が確認された（Fig.4）。1888年サージ堆積物は白色に変質した岩片や粘土質の基質を持ち、所によっては火山豆石状の凝結粒子やレキの周囲に細粒粒子が凝結した粒子も含まれることがある。また岩相変化が著しいため、代表的な岩相を示す6地点での堆積物の特徴を次に記載する。

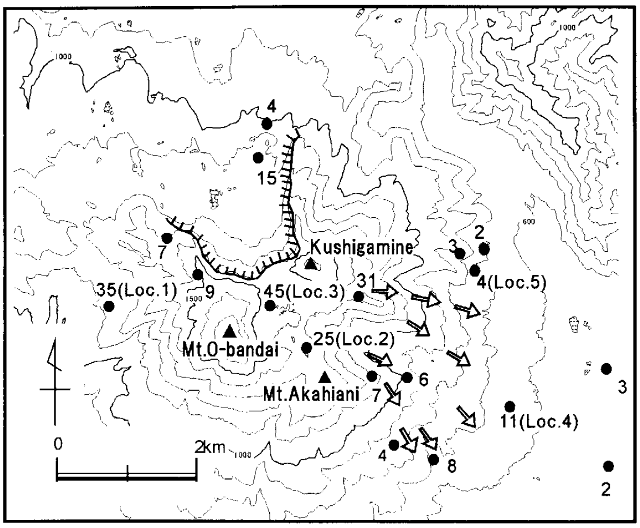

Fig.4. Distribution of the 1888 surge deposit. Numerals show the thickness of the deposit in cm. Arrows show the flow directions of the pyroclastic surge based on ［Sekiya and Kikuchi 1890：91-171］. For Loc.1～6, all the explanations are in Figs.5～10 and text.

磐梯山西側のLoc.1では2～3cmの土壌の下に無層理のサージ堆積物が観察できる（Fig.5-a）。褐色～白色の粘土質の細粒基質を持つ一方で10cm程の変質した岩片がまれに含まれる。淘汰はあまり良くなく、堆積物中に土壌や白色の粘土が濃集している部分が見られる。このような岩相の堆積物は磐梯山の西側に広く分布している。

赤埴山山頂部に位置するLoc.2では、無層理でレキ支持のユニットとその上部に堆積している斜交層理の見られる極細粒ユニットの二つのフローユニットが確認できる（Fig.5-b）。下部の無層理ユニットの層厚は15cm程度で、クロボク土壌への削り込み構造のため下部の境界は乱れている。レキの周囲に細粒粒子が層状の構造をもって凝結した粒子や、白色粘土質粒子の濃集部が見られるが、ユニット全体では細粒粒子に枯渇している。最大粒径は10cm程度でそのほとんどが変質を受けている。この無層理ユニットの上部には斜交層理が見られ、極細粒粒子からなるユニットが波打った境界を持って堆積している。このユニット内における最大粒径は1cm以下で

最上部においてやや粒度が粗くなっている。このLoc.2に見られるようなレキ支持ユニットと上部の細粒ユニットの組み合わせは崩壊カルデラ近辺でも観察することができるが、山腹や山麓では見ることはできない。[Yamamoto *et al.* 1999] はこのような堆積構造が異なる二つのユニットをそれぞれfaciesA、faciesBと呼んでいる。

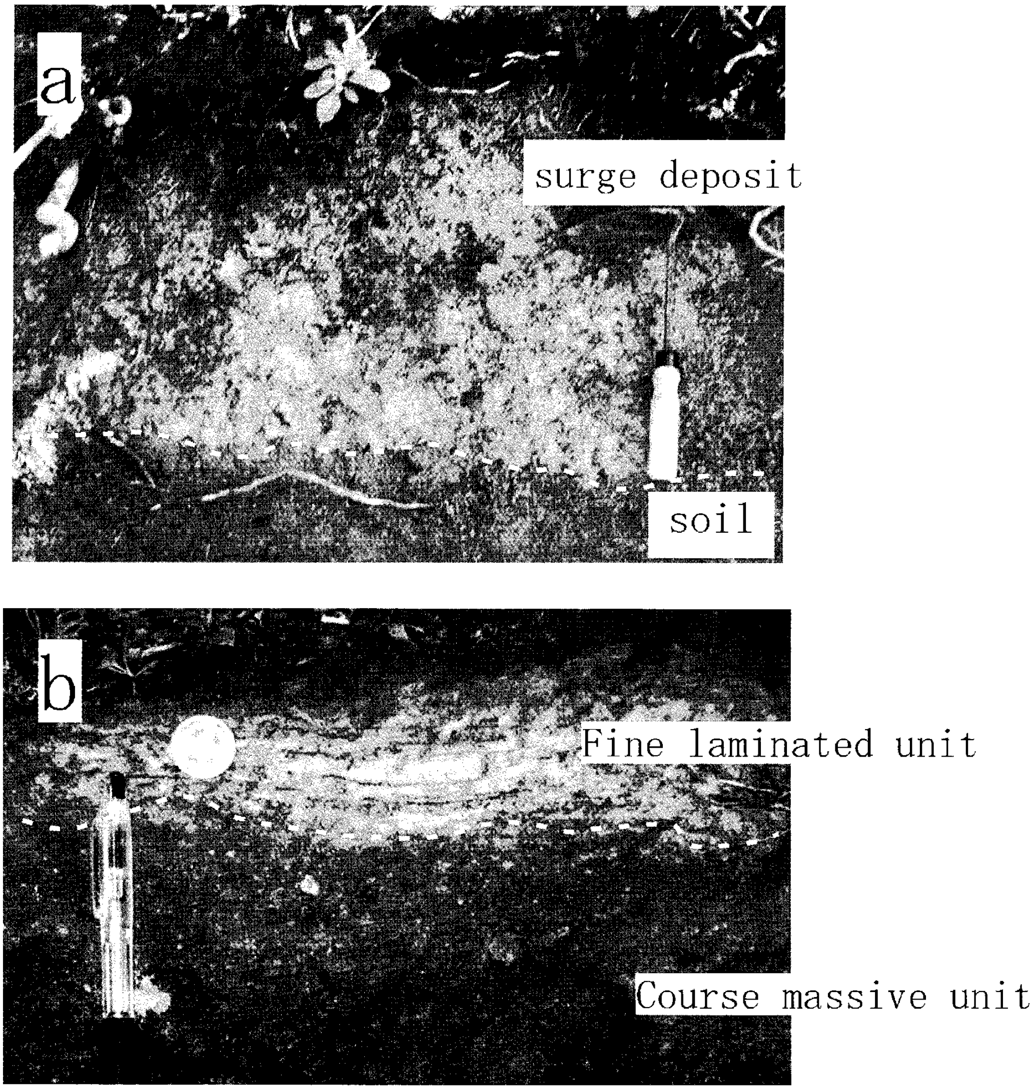

Fig.5. Outcrop photograph of the 1888 surge deposit in Loc.1 and Loc.2.
a) deposit of Loc.1 consists of an unsorted brownish matrix containing clay mineral and block size materials. This type of deposits are widely distributed in the western area of Mt.Bandai. b) can be classified into two units: an underlying massive and coarser unit and an upper fine, well-sorted and laminated unit(Loc.2). This type of deposits is distributed in the summit region.

山頂地域から沼の平へ抜ける登山道沿いのLoc3でも同様に堆積構造や構成粒子の色や粒度が異なる堆積物の重なりが見られる（Fig.6）。最下部から①、②、③、④、⑤層とすると、①層は赤褐色〜灰褐色の淘汰の悪い粗い砕屑物からなるが、粘土も含まれる。レキは新鮮なものが多く、サイズは5 cm程度のものが多い。この①層はLoc.2で見られる下部の無層理ユニットに類似しているが、上部の②層との境界に灰色細粒の薄い（5 mm以下）降下火山灰層が挟まる。②層は、

褐色～灰白色を呈し、無層理。レキのサイズは5mm以下で、新鮮なものは少ない。上部には白色細粒降下火山灰層が薄く（5mm以下）堆積している。つまり、この②層は上下を降下火山灰に挟まれているということになる。③層は、白色に変質し脆くなったレキを多量に含んでいる。基質は灰白色で淘汰が悪く無層理。層厚は7cm。次に、④層は比較的淘汰の良い赤褐色と灰色のユニットからなる斜交層理が見られる。層厚は2～5cmで最大粒径2.5cm。粘土質の基質を持たず、比較的新鮮な岩片が多く含まれる。⑤層は層厚40cm、最大粒径55cmの角礫～亜角礫、基質支持で灰褐色～赤褐色。淘汰は非常に悪く、一部に④層を削り取ったような痕跡が見られる。層厚は比較的厚いが、分布域は狭くこの層に対応する堆積物は他の露頭では見つからない。①～④層は堆積構造や構成物の点からサージ堆積物であると考えられるが、⑤層は、サージ堆積物や降下堆積物が二次的に流動して混ざったものであると考えられる。この地点で見られる各フローユニットについて顕微鏡を用いた構成粒子の観察と、粉末X線分析を行っており、その結果については後で述べる。

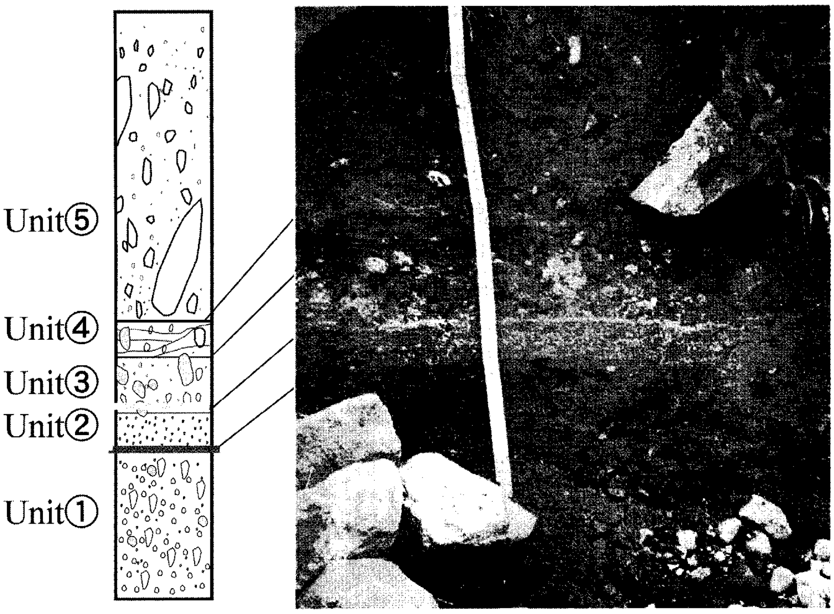

Fig.6. Outcrop of the surge deposits and the 1888 fall deposits in Loc.3 close to Loc.2. There are 4 surge units and two fall units. The upper massive part is the lahar deposit.

琵琶沢沿いのLoc4や、長坂付近のLoc5では明瞭な層構造を持つ堆積物が分布するが、フローユニットは不明瞭で区別するのが困難である（Fig.7, 7-a)。Loc.4で見られるサージ堆積物は層厚11cm、下部よりも上部の方が粗粒になっており、淘汰はわりと良い。最大粒径は5cm、一部に火山豆石状の凝結粒子や円磨されたレキ、土壌、未炭化木片が含まれ、土壌への削り込みも見られる。最大粒径は上部で2cm、下部では5mm。この堆積物は正級化の見られる白色で細粒の降下堆積物に薄く（3cm以下）覆われている。さらにこの細粒堆積物の上部には、層厚0.5～2.5mで淘汰の悪い堆積物が堆積している。この堆積物は最大粒径70cmで角礫～亜円礫。下部の

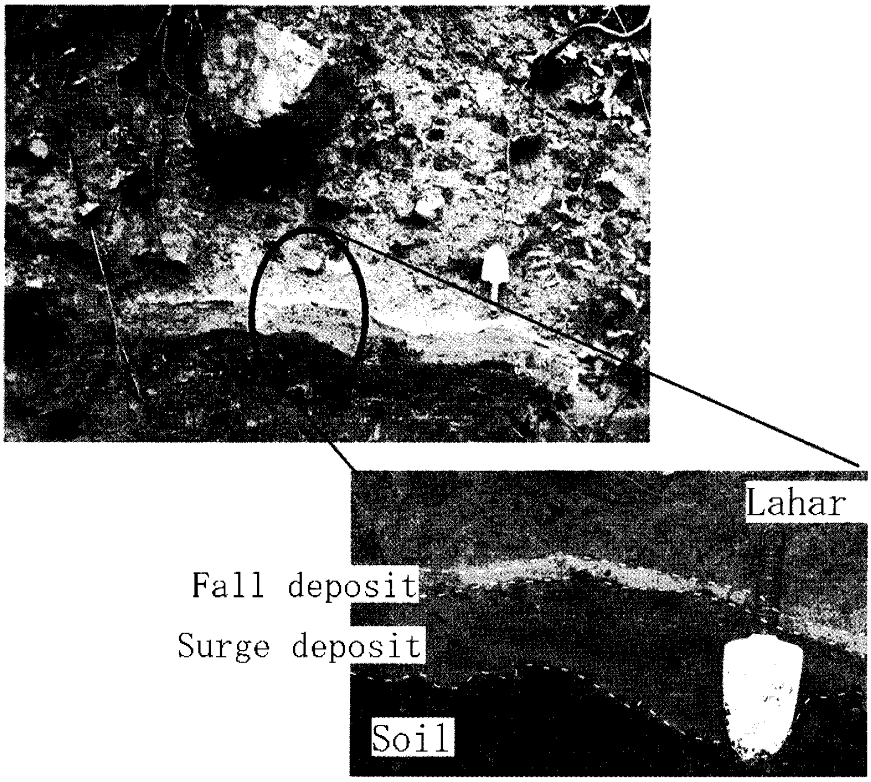

Fig.7. Outcrop photograph of the 1888 deposits in Loc.4 along Biwasawa. The underlying black part is soil; the upper massive part is the 1888 lahar deposit.

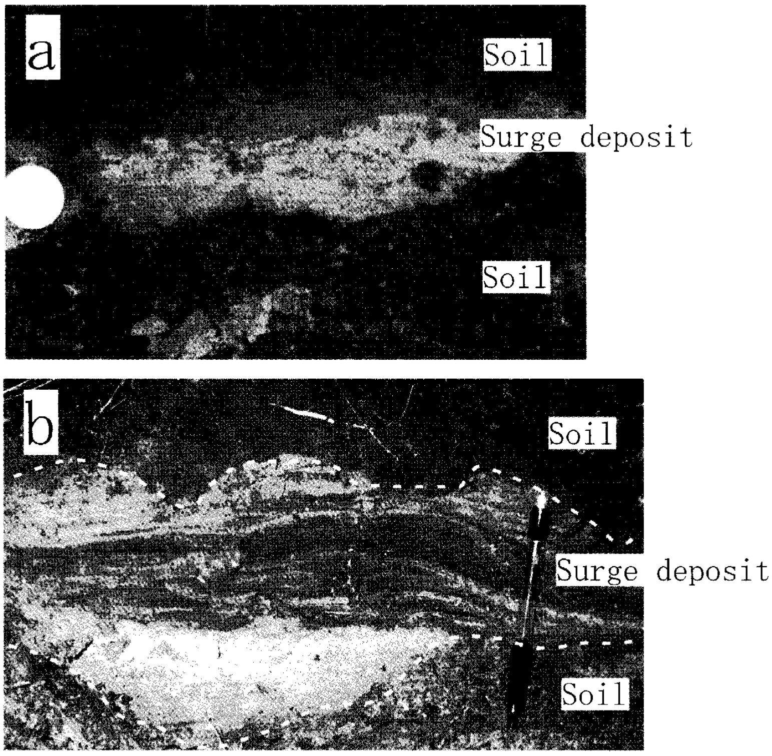

Fig.8. Outcrop photograph of the 1888 surge deposits in Loc5 and Loc.6. a) deposit of Loc.5 is thinner and finer than that of Loc.4, and has no lahar deposit on the top. b) Loc.6 is located in the northern area of the 1888 amphitheater. This surge deposit is overlying the 1888 debris avalanche deposit.

層との境界部分には1 cm以上のレキを含まず、細粒粒子が集まっている。この厚い堆積物は山麓地域にのみ見られ、その分布はYamamoto *et al.* [1999] によって求められた1888年ラハール堆積物の分布域と一致し、その特徴も調和的であることから、この堆積物は1888年噴火の際、琵琶沢を流下したラハール堆積物であると考えられる。

一方、長坂近傍のLoc.5で見られるサージ堆積物には斜交層理が見られるが、最大粒径5 mmで層厚4 cmというようにLoc 4のサージ堆積物に比べるとかなり細粒で層厚も薄く、上部には降下堆積物もラハール堆積物も見られない。

磐梯山北麓のLoc.6では岩屑なだれ堆積物の分布域の土壌直下に斜交層理を持つサージ堆積物が堆積している（Fig.8-b)。層厚は20cm以上で最大粒径は10cm。構成粒子には他の地点で見られるサージ堆積物と同様に変質した岩片を多く含む。これまでの研究で岩屑なだれの堆積している北麓地域においてサージ堆積物は見つかっていない。これは1888年以降のカルデラ壁の崩壊、例えば1938年土石流や1954年岩屑なだれ等の崩壊物によってカルデラ内部が埋没され、1888噴出物の発見が困難であるためと考えられる。

5—2. サージ堆積物の分析

5—2—1. 粒度分析

サージ堆積物の粒度分布を調べるため乾式篩を用いて粒度分析を行った。しかし、サージ堆積物中には粘土が多量に含まれるため、それらの細粒粒子が凝結を起こしてしまい、正確な粒度分布を求めることができなかった。そこで、凝結を起こさないように試料を蒸留水で拡散させながら篩にかけて分析を行った。最もメッシュの細かい篩を透過した細粒交じりの水もすべて回収、乾燥させて粒度分布を求め、Mdϕ－$\sigma\phi$ プロットをおこなった（Fig.9)。その結果、分析法の違

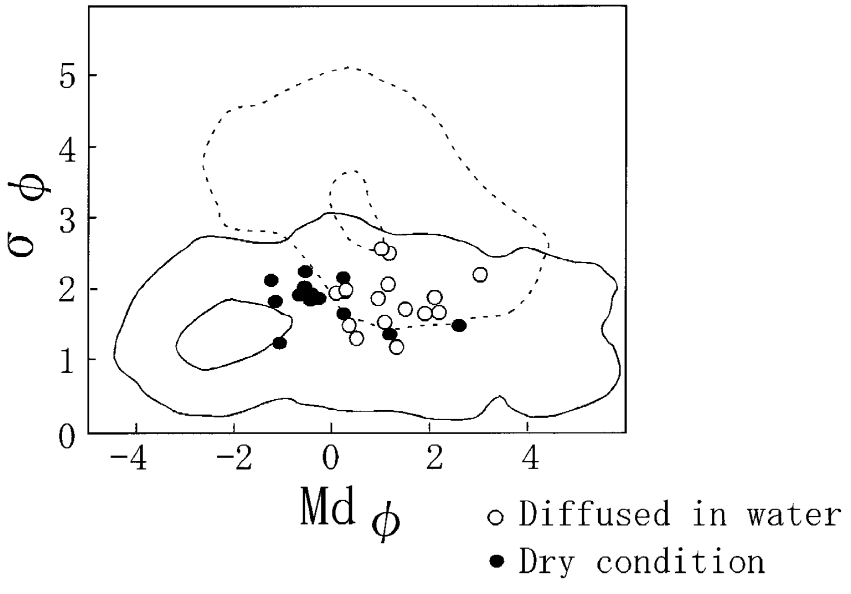

Fig.9. MdΦ－σΦ plot of 1888 surge deposit.

いにより中央粒径に差が見られたが、どちらの分析法でも Cas and Wright [1987] の定義によるサージ堆積物の領域にプロットされている。

5−2−2. 顕微鏡観察

サージ堆積物の構成粒子を調べるため、Loc.3の堆積物を篩い分けした試料のうち、0.18mm〜0.25mmの粒径の粒子を薄片にして偏光顕微鏡下での観察をおこなった。①層には、斜長石、紫蘇輝石、普通輝石の結晶片と、石英が集まってできている珪化岩、石基組織を持った新鮮な岩片、表面が褐色に変質している岩片などが含まれていた。新鮮な岩片でも、石基に普通輝石と紫蘇輝石を含む岩片、どちらか一方の輝石しか見られない岩片、斜長石しか見られない岩片が見られた。②層の試料の薄片でも①層と同様のものが見られるが、②層には、褐色に変質している粒子はほとんどなく、珪化岩の割合が多い。③層では、構成物質は①と同じであるが、褐色に変質しているものが多い。内部まで褐色に変質している岩片も少なくない。④層には、斜長石、紫蘇輝石、普通輝石の他に、波動消光の見られる石英、淡緑色の角閃石、パーサイト構造の見られるアルカリ長石が含まれていた。表面が褐色に変質している岩片も含まれたが、珪化岩の量が他の層に比べて少ない傾向が見られた。二次的な堆積物と判断した⑤層は、含まれている結晶に関しては①層や③層とほとんど変わらない。ただ褐色変質の度合いは①層より強く、内部まで褐色に変質している岩片が見られた。

次に0.425mm〜0.710mm粒径をもつ粒子を集めて実体顕微鏡下で観察をおこない、サージの構成粒子を結晶、珪化岩、白い岩片、褐色の岩片、赤みを帯びた岩片、その他の6つに分類した(Fig.10)。

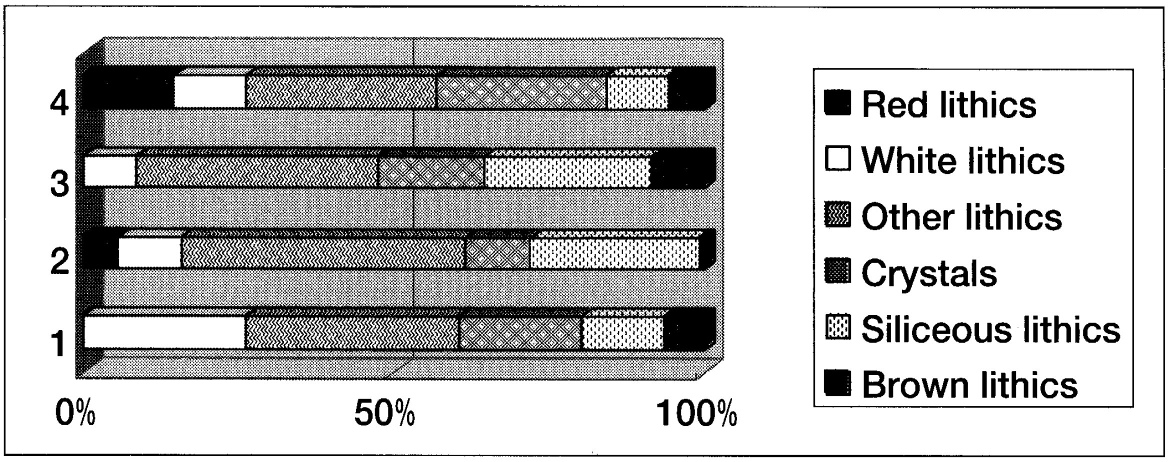

Fig.10. Component of the surge deposits at Loc.3. Numbers ①〜④indicate unit numbers of the surge deposits.

Fig.10に示されるように、層毎に含まれてくる岩片の種類と量にはある程度の違いが見られる。例えば④層では、赤みを帯びた岩片は特徴的に含まれているが、①、③層ではほとんど含まれな

い。また、中間にあたる②、③層には、珪化岩が比較的多く含まれるが、それを挟む①、④層にはそれ程含まれず、その代わり結晶が多くなっている。また二次的な堆積物と判断した⑤層に関しては、構成粒子の量比に偏りは見られなかった。

5—2—3. 粉末X線回折分析

サージ堆積物の細粒部分を構成する粒子を調べるため、Loc.3.の①層、灰色細粒層、②層、白色細粒層、の粒径0.074mm以下の試料について粉末X線回折分析をおこなった。
試料によってピーク強度に若干の違いは認められるものの、石英、斜長石、クリストバライト、紫蘇輝石、磁鉄鉱などが含まれているのは確認できる。

また、低角に粘土鉱物と思われるピークが見られるため、粒径0.074mm以下の試料を水で拡散させ、上澄みをすくったものをスライドガラス上で乾燥させた試料を作成した。この試料をエチレングリコール処理したものと、水簸しただけの試料の２種類について粉末Ｘ線回折分析を行った（Fig.11)。

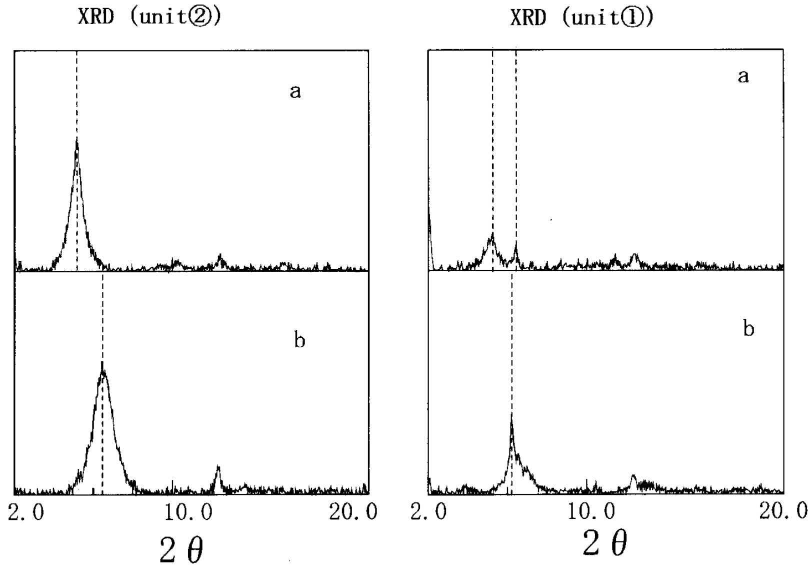

Fig.11. Results of X-ray diffraction. a) without ethylene glycol. a) treatment with ethylene glycol.

すべての試料でエチレングリコール処理前の試料は14.0Å付近と7Å付近にピークが見られた。②層の試料以外、つまり、①層と灰色細粒、白色細粒の試料ではエチレングリコール処理によって、14.0Å付近にあったピークが17.0Å付近にシフトし、元の位置（14.0Å付近）のピークが小さくなった。②層の試料でもエチレングリコール処理によってピークのシフトが見られたが、元の位置（14Å付近）にあったピークが確認できなくなった。念のため再度新しい試料を使って分析をしてみたが、同様の結果が得られた。7Å付近のピークに関してはエチレングリコール処理後と処理前との間に変化はほとんど見られない。

14.0Å付近にピークが見られる鉱物は、緑泥石、バーミキュライト、スメクタイトが挙げられる。エチレングリコール処理によってピーク位置がシフトするのはスメクタイトの特徴であるので、これはサージ堆積物にスメクタイトが含まれることを示している。残るピークは緑泥石とバーミキュライトのどちらかである。7Å付近にピークがでるのは、カオリン鉱物と蛇紋岩、そして、緑泥石の002反射である。磐梯山の岩石はほとんど安山岩であるので、蛇紋岩が形成されるのは考えにくく、緑泥石かカオリン鉱物、あるいは両方含むと考えられる。ただし、②層に関しては、14.0Å付近のピークがなくなっていることから、粘土の組み合わせが異なる可能性がある。

6. 議論

6−1. サージ堆積物について

サージ堆積物は山頂付近から沢沿いに分布しており、Sekiya and Kikuchi [1889：91-171] によって記された倒木のあった地域や、被災者の証言のあった地域と概ね一致する (Fig.3)。堆積物中に本質物質を含まないことや、変質岩片が多量に含まれること、火山豆石状の凝結粒子が含まれることなどの特徴は水蒸気噴火による噴出物であることを裏付ける。その分布は山頂付近で40cm、中の湯付近で7cm、赤埴山中腹で6cm、琵琶沢下流で11cm、水沢付近で2.5cmというように山頂付近や沢のような地形的低所にやや厚く堆積する傾向がある。比較的噴出源に近いと考えられる長坂付近 (Loc.5) に堆積しているサージ堆積物が薄く、細粒粒子から構成されているのは、流下経路が原因であると考えられる。つまり、長坂へと流下してきたサージは、琵琶沢を流下してきたサージの本流から希薄な部分だけが分離したものであると考えられる。そのような方向への流れがあったことは Sekiya and Kikuchi [1889：91-171] が推定したサージの流動方向からも裏付けられる (Fig.4)。また、1888年サージ堆積物には未炭化の木片 [Yamamoto *et al.* 1999：197] や火山豆石等の凝結粒子が含まれることから比較的低温でウェットな流れであったと考えられる。さらにLoc.6.には岩屑なだれ堆積物の上部にサージ堆積物が堆積していることから、山体崩壊後にもサージが流下したことが分かる。

Loc.3で見られるフローユニット①〜⑤層の構成物について行った偏光顕微鏡観察では、褐色変質の度合いの違い、含まれる鉱物の違いが認められた。特に④層には波動消光する石英と、褐色や淡緑色の角閃石、パーサイト構造の見られるアルカリ長石が含まれる。これらの結晶片の表面はほとんど変質を受けていない。磐梯山の岩石でパーサイト構造の見られるアルカリ長石の報告はなく、石英は多くて2〜3％、角閃石は0.7％程度しか含まれないことから、④層に含まれる結晶片が磐梯山を形成する岩石を起源とする可能性は低く、基盤である先第三期の花崗岩 [三村　1988：37] に由来する岩石の破片である可能性が高い。また先に述べたように、実体顕微鏡を用いておこなった岩片の分類からも④層には異なった傾向が見られる (Fig.11)。②、③層には珪化岩を多く含まれ、新鮮な結晶は少ない。それに対し④層は珪化岩が少なく、新鮮な結晶が

多く含まれる。このような構成粒子の違いは、堆積物の噴出源の違いを反映させていると考えられる。つまり、Loc.3の②、③層の給源となった地域は変質物質を多く含む、帯水層や変質帯のような地域から供給された岩石である可能性が高い。逆に、④層の給源となった地域はもっと新鮮な岩石を含むような地域であると考えられる。薄片観察から花崗岩由来と考えられる新鮮なカケラを含むので、基盤付近が給源である可能性も考えられるが、そのことを支持する証拠は見つかっていない。

以上のことから1888年サージには給源の異なるフローユニットが複数存在することが考えられる。特にLoc.3ではフローユニット間に降下堆積物を挟んでいるのが観察されることから、連続的な流下ではなく、各フローユニットがある程度の時間間隙をもって流下したと考えられる。山頂部と山麓でのフローユニットの対応が十分にできれば、サージの物性や噴火推移についてより詳細な議論が可能になると考えられる。

6−2. 被災記録や証言との対応

磐梯山南東麓の集落では、非常に多くの住民が火砕サージによって被災した。磐梯山噴火百周年記念誌や山田［1988］にはサージに襲われた磐梯山南東〜東麓地域の住民の証言がまとめられている。これらのうち、重要な情報を含んでいる二つの証言を以下に掲載する。

一の瀬金四郎手記、想出の記より［山田　1988：129-130］

八月二十一日は休みでしたので、屋上より繭を下し、乾燥するため庭に広げて居ました処が午前八時頃大きな地震が起り、屋内のものは皆飛び出した処、間もなく西の方で大音響が聞こえたので見れば磐梯山上黒煙がもうもう立ち上がり、驚いてあれよあれよと叫ぶうちに父が出て来て磐梯山が噴火したと申し免れんとして東に走りました。

兄は馬を厩より出して居た為遅れて別れ、私共は村の東一丁ばかり出た処、黒煙風を起こしワリワリと木を吹き倒して目前に迫るので橋の下にかがみました。然るに灰がザアザアと降って来るので、口と鼻を塞いで二十分位居りました処、一寸明るくなり灰も止みましたので、此処を出て見ると又後より来るので、林の中に屈んでおりました処、僅か五分位で止み雨となりましたが、一寸で止み漸く生きた思いをなし、家に帰りました。

次は磐梯山被災者に対スル聴取書に掲載されている武藤さんの証言である。

15日朝ハ極々晴天デゴザリマシタガ、午前七時三四十分ゴロト思イマスガ北ノホウヨリドウドウト音ガシルト地震ガ揺リダシ順ニ烈シクナリ、凡ソ十分間ホドモ揺ルトドドンドドント音ガスルト、小磐梯山（コノ部落デハ磐梯山ヲ小中磐梯ト通称ス）ヲ見ルニ真黒ノ烟ガ凡ソ十五六間モ柱ノ様ニ上ガリタルニヨリ小磐梯山ガ抜ケタトサワギ出シ、私ハ（喜重）ソノトキハ居宅ヨリ東ヘ六丁程隔チタル田ヘ仕事ニ参リテ居マシタガ、宅ニ年寄子供ヲ残シ置キマシタ故、ソレヲ心配致シ家ニ帰ロウト思イ三丁程走リテ行クト、モウ黒烟ニマカレ嵐ハ強クテ家ノ方ヘ向カイテ行ク

コトガ出来ヌ故、亦黒烟ノ中ヲ漸ク二丁程東ノホウヘ逃ゲマシタガ、草野ヘ吹キ倒サレ、十四五間覚エナシニ吹キコロガサレ、塀ノ中ヘブチ落トサレマシタ故、ソノ侭々塀ノクロノ西ペタニ縮シテ居リマシタガ、ソノ黒烟ガクルト同時ニ、ドンドンワリ音ガ致シ熱イ砂ガバラバラト降リ、単物ノ上ヨリ掛カリシニ体ガ熱クテ堪ヘ兼ネル位デアリマシタガ、凡ソ一時間程経ルト大雷ガ致シ、熱キ雨ガ余程降リマシテ追々アカルクナリマシタ

このような被災者の証言を多数ピックアップし、時系列にしてまとめたものをTable 3に示す。これらの証言には以下のことがらが共通している。

1. 噴火前に地震があったこと
2. 噴火音は数回
3. 噴火音が聞こえてから比較的短時間（数分以内か？）で「暴風」を伴った黒煙に襲われていること
4. 黒煙が流下してから長い間（15分～1時間）真っ暗になったこと
5. 雨が降ってから明るくなったこと
6. 山体崩壊のタイミングを示す証言がないこと

である。

Table 3. Summary of victims' testimonies.

時刻	長坂(3.8km)	渋谷(5.0km)	白木城(5.7km)	名家(5.2km)	伯父ヶ倉(5.5km)	見祢(5.0km)	想定される現象
	ドウドウという音	ドウドウという音（鳴動？）	北の方からドウドウという音		北の方から音（鳴動？）	ドウードウーウという音（鳴動？）	
	地震	地震	地震	地震	地震	地震	
		遅揺れ	徐々に強くなる	遅揺れ	遅揺れ		噴火前の前兆活動
	少し間をおいて地	烈しい揺れ 音	十分位揺れる	烈しく	ゴーという音	震動 震動	
	3つ目の地震	一層大きな地震			烈しい地震（五分間で3度）	震動（3回目）	
	ズドンズドンという音	ズドンズドンという音	ドドンドドンという音	地響き（噴煙）	ズドンズドンという音	ドドーンという音	噴火開始
7:45頃	一丁半逃げる	噴煙が上がるのをみてから	三丁走って逃げた			三丁走る	疾風の発生、流下
	櫛ヶ峰を覆う	一丁白木城の方に逃げる		二丁程逃げる	噴煙が上がったのをみてから二丁程逃げる	黒煙に巻かれる	
	暗く	黒煙	黒煙	黒煙	黒煙	一時間程	山体崩壊
	少し明るくなりかけ	一時間くらい暗い		14,5分経過	一時間は真っ暗		疾風の連続的な流下と灰カグラ
	真っ暗（20分くらい）			明るくなる		霰状のものが降り、暗くなってから灰。風は吹かず。	
	明るくなりかけた時に雨	明るくなって大粒の雨	一時間もすると温雨	雷が鳴り雨（5分位）	雨が降って明るくなる		降雨（温雨）
10:00			明るくなる			明るくなる	降灰の終了
12:00	·不明者の捜索		降灰止む		降灰止む		

それぞれの現象について整理すると、噴火前の地震について、噴火直前の大きな地震については多くの証言が一致するが、その前の地震に関しては地域によってかなりの差があり、爆発音を数回しか聞いていないという証言があり、［関谷・菊池1888］［Sekiya and Kikuchi 1889：91−171］などをもとにした過去の研究報告（Table 1）とは異なる証言もある。次にサージについての証

言だけをピックアップしてみると、以下のことが分かる。

1. サージが、数分間の間をおいて2回は襲ってきたという証言がある
2. 噴火開始直後にサージに襲われていること
3. サージの流動は黒煙の流下として観察されていること
4. 地域によってその破壊力は異なること
5. 着物の上からかかるだけでも火傷するくらいの熱い物質を含んでいた

サージが時間間隙を持って複数回流下してきたという証言は注目に値する。それも二回目のサージは噴火開始から約二十分後であったという。このような証言はこれまでの研究報告が噴火開始直後、もしくは山体崩壊直後の一回の流下を想定しているのに比べると決定的に異なる証言である。サージが流下した南東麓の集落では、山体崩壊を目撃した、もしくは山体崩壊の音を聞いたというような証言はまったくない。これは山体崩壊が起こった時にはすでに麓の集落はサージに襲われていたためであると考えられる。噴火開始から麓の集落がサージに襲われるまでの時間がかなり短いことを考えても、最初のサージの発生と流下は山体崩壊の前だったのではないかということが言える。その後、時間間隙を置いて流下してきたサージについての証言は、山体崩壊後にもサージが流下してきたことを示しており、Loc.6において岩屑なだれ堆積物の上部にサージ堆積物が堆積していることと整合的である。

サージに襲われた人々は、吹き倒されたり、吹き転がされたりしたなどというような証言をしている。サージの破壊力の地域差は斜面から平らな山麓にでたことで流速が低下したためと考えられる。例えば、琵琶沢に近い渋谷や白木城に比べると、少し離れた樋之口や水沢でのサージによる被害はかなり小さい。堆積物の分布と被災状況を比較すると、渋谷近傍でのサージ堆積物の層厚は11cm、最大粒径は5cmで建物の倒壊数は39棟（全30戸）、水沢でのサージ堆積物は2.5cm、最大粒径1cmでの倒壊数は2戸（全20戸）というように非常に大まかな議論であるがある程度の相関が見られる。

サージの温度についても手掛かりになるような証言が残っており、それによると、熱い砂がバラバラと降りかかってきて着物の上からでも熱かったことや、灰が皮膚に張り付いて赤黒くなっていたという。被災記録によると火傷による死者や家屋の焼失といった報告がないことや、堆積物に未炭化の有機物が含まれる［Yamamoto *et al.* 1999：197］ことなどからそれほどの高温ではないと考えられる。

7. まとめ

1888年サージ堆積物の分布や堆積構造を明らかにした上で、被災記録と対応させた。被災者の証言記録にはサージの流下は数分間の時間間隙を挟んで2回あったというものがあるが、サージ堆積物は構成物質の違いからいくつかの層に区分される。これらのことから、サージを発生させ

るようなイベントが複数回、しかも、噴火開始から山体崩壊が起こるまでの間と、山体崩壊が起こってからの最低2回はあったのだと考えられる。

8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、東北大学東北アジア研究センターの後藤 章夫博士、宮本　毅先生には多くの貴重な意見と助言を頂きました。特に宮本　毅先生には磐梯山まで来ていただき、調査にご同行いただきました。宇都宮大学の中村洋一先生には調査の際に貴重なご意見をいただきました。茨城大学の藤縄　明彦先生にも建設的な意見をいただきました。火山科学分野の先輩方には日頃より多くのご意見をいただきました。東北大学の中村美千彦先生には粗稿を読んでいただき、有益なご助言をいただきました。東北大学理学研究科地球物質科学科の教官方には、ご意見ご指導をいただきました。鉱物学分野の栗林 貴弘先生にはXRD分析の指導をいただきました。そして、薄片室の皆様には薄片製作において非常にお世話になりました。重ねてお礼申し上げます。

現地における調査においては、本学の地理学教室の地理開発研究所を利用させていただきました。

最後になりますが、本研究を進めるに当たりお世話になりましたすべての方に感謝致します。

9. 引用文献

磐梯山噴火100周年記念事業協会　1988

『磐梯山噴火百周年記念誌』、宮城県、磐梯山噴火100周年記念事業協会。

Cas R.A.F and Wright V.　1987

Volcanic Successions, Tokyo, Chapman and Hall

千葉茂樹　木村純一　2001

「磐梯火山の地質と火山活動史」一火山灰編年法を用いた火山活動の解析—、『岩石鉱物科学』、30、126-156、宮城県、日本岩石鉱物鉱床学会三村弘二・中村洋一　1995

「磐梯山の地質形成史と岩石」、『火山地域における土砂災害発生予測手法の開発に関する国際共同研究分科会研究成果』87-101、茨城県つくば市、防災科学研究所。

守屋　以智雄　1988

「磐梯火山の地形発達史」、『地学雑誌』、磐梯山・猪苗代の地学－磐梯山噴火100周年－97,4、293-30 、東京都、東京地学協会。

Nakamura, Y.,　1978

Geology and Petrology of Bandai and Nekoma volcanoes、Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 3, 14, 67-119、宮城県、東北大学。

中村洋一・ハリーグリッケン　1988

「磐梯山1888年ブラストとデブリ・アバランシェ堆積物」、『地学雑誌』、97-4、309-316、東京都、東京地学協会。

中村洋一　1995

「磐梯山1888年デブリ・アバランシェ堆積物」、『火山地域における土砂災害発生予測手法の開発に関する国際共同研究分科会研究成果』111-120、茨城県つくば市、防災科学研究所。

関谷清景・菊池安　1888

磐梯山大破裂実況取調報告書、明治21年9月27日付官報．文部省

Sekiya, S and Kikuchi, Y.　1989

The eruption of Bandai-san、Tokyo Imp. Univ. Coll. Sci. Jour. 3, 91-171、東京都、東京大学

宇井忠英　1995

「火山活動に伴う岩屑なだれの特徴」、『火山地域における土砂災害発生予測手法の開発に関する国際共同研究分科会研究成果』121-126、茨城県つくば市、防災科学研究所。

山田信夫　1988

『磐梯山の噴火と長瀬川の泥流』．東京都、文化書房博文社．

Yamamoto, T.,　Nakamura, Y.,　H., Glicken 1999

Pyroclastic density current from the 1888 phreatic eruption of Bandai volcano, NE Japan、Journal of Volcanology and Geothermal Research, 90, 191-207, USA, Elsevier Science Ltd.

米地文夫　1988

「噴火以前の磐梯山の地形復元」、『地学雑誌』、97-4、318-323、東京都、東京地学協会。