

安達太良火山, 1900年爆発的噴火の再検討

藤縄明彦*・嶋志田毅**・棚瀬充史**・谷本一樹**・
中村洋一***・紺谷和生****

(2006年1月19日受付, 2006年8月10日受理)

Reconsideration of the 1900 Explosive Eruption at Adataro Volcano, Northeastern Japan

Akihiko FUJINAWA*, Takeshi KAMOSHIDA**, Atsushi TANASE**, Kazuki TANIMOTO**,
Youichi NAKAMURA*** and Kazuo KONTANI****

Of the historic eruptions at Adataro volcano in northeastern Japan, the 1900 eruption caused the worst volcanic hazard taking a toll of over 80 human lives. Although the eruption was thought to be phreatic, details of the volcanic events have had remained uncertain. In order to reveal the course of the 1900 eruption, historic documents, particularly the reports of newspapers published by three local newspaper companies, were reexamined and mutually crosschecked. By correlating the revealed eruption sequence to the facies of the 1900 eruption deposits at outcrops, characteristics of the fatal blasts that accompanied the eruption were examined.

The sequence of the eruption is revealed as follows. (1) The first explosion occurred at 16:00 of 17th July. Because the explosion was very small, all the workers stayed and kept working at the sulfuric mine located in the very bottom of the Numanotaira crater. (2) Immediately after the second explosion occurred at about 18:00, one boy ran away and over 40 workers commenced evacuation toward west. (3) When the workers reached the western rim of the crater, they witnessed the third explosion which violently damaged the sulfur refinery and lodging houses in the crater. A small pyroclastic surge accompanied the third explosion which occurred near the eastern rim of the crater, blowing away the pieces of pottery, wooden sandals and clothes, together with the housing materials. (4) Around 18:30, the largest explosion entirely destroyed the sulfur refinery and lodging houses. The fourth explosion caused strong pyroclastic surge and broadcasted dense ash in the crater area, and was also accompanied with the wet surge which ran down through the Iou river. The strong surge hit the evacuating workers near the western rim of the crater. Among the workers, 22 people were killed and the others were seriously scalded. Probably, most of the fallout ash erupted during the fourth eruption.

Characteristics of the surge are summarized as follows. (1) total volume of the surge was $2.9 \times 10^5 \text{ m}^3$, including 6000 m^3 , 2.4 km long and 4–10 cm thick deposit along the Iou river. (2) The discharged energy to form the new crater was 10^{14} J , roughly 10^{-2} – 10^{-3} of the energy discharged at the Bandai 1888 or St. Helens 1980 eruptions. (3) The velocity of the surge near the old Numajiri spa (1.5 km west of the crater) is estimated to be 80–130 m/s. (4) The temperature of the surge near the crater is estimated to be over 100°C but lower than 400°C . (5) At its margin, the surge swept straight up the side slope of the valley at the corner of the Iou river, and delivered thin surge deposits at the top flat area.

Key words: explosion, blast, surge, phreatic eruption

* 〒310-8512 水戸市文京 2-1-1
茨城大学理学部地球生命環境科学科
Department of Environmental Sciences, Faculty of
Science, Ibaraki University, 2-1-1, Bunkyo, Mito,
310-8512, Japan

** 〒110-0014 東京都台東区北上野 2-18-4 住鉦コンサル
タント(株)
Sumiko Consultants Co. Ltd., 2-18-4, Kita-ueno,
Taito-ku, Tokyo 110-0014, Japan

*** 〒321-8505 宇都宮市峰町 350

宇都宮大学教育学部地学教室
Faculty of Education, Utsunomiya University, 350
Mine-cho, Utsunomiya, 321-8505, Japan

**** 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉
東北大学大学院理学研究科
Graduate School of Science, Tohoku University, Aoba,
Aramaki, Aoba Ward, Sendai 980-8578, Japan

Corresponding author: Akihiko Fujinawa
e-mail: fujinawa@mx.ibaraki.ac.jp

1. はじめに

1-1 研究背景

安達太良火山は東北日本第四紀火山フロント、福島県二本松市の西方約 15 km に位置するランク B の活火山である。気象庁 (2005) など、気象庁資料によれば、有史時代の活動も 1658 (万治元) 年の山崩れ、温泉湧出をはじめ 6 回程度記録されている (Table 1)。中でも 1900 (明治 33) 年 7 月に発生した爆発的噴火では、沼ノ平火口内にあった硫黄精錬所の関係者 80 余名が犠牲となる噴火災害を引き起こした。しかし本噴火は、この 12 年前に起こった磐梯火山の爆発-崩壊とは対照的に、噴火後の調査、記載文献 (井上, 1900; 金原, 1900a, b) とともに乏しく、活動の経緯等、詳細が十分に解明されないままとなっていた。約 100 年前に発生した噴火の推移を、詳細に検討・復元する試みは、噴火災害予測・減災対策が重視される現在、学術上、防災上ともに有意義と考えられる。

今回、1900 年噴火の経過を可能な限り正確に復元し、爆発的噴火の特性を解明することを目的として、以下の作業を行った。1) 噴火直後からの新聞記事を時系列に整理し、内容を比較検討して噴火の経過を解明、復元した。2) 文献資料に記述された被災状況から、噴火特性に関する情報を引き出し、現象を推定した。3) 現地調査により、当該噴出物の分布域と、分布状況を確認した。さらに、4) 採取した 1900 年噴火堆積物の粒度分析、一部クロボク試料の年代測定を行うことで、記述から復元された個々の噴火事象と、噴出物との対比を明らかにした。また、上記 2) と地質学情報を併せ、この噴火活動で確認された疾風現象の移動ないし堆積様式や温度、速度等の

特性を考察した。

1-2 用語の定義

火砕サージ (pyroclastic surge) の語源は 1940-60 年代に行われた核実験の際、高速で射出された噴煙柱の底部から地表、水面上を環状に高速で広がる濃い雲=ベースサージ (base surge) に由来する。ベースサージと類似の現象が火山噴火 (Capelinhos 火山 1957 年, Taar 火山 1965 年の噴火) でも認められ (Fisher and Waters, 1969, 1970; Moore, 1967; Waters and Fisher, 1971), 火山性ベースサージ (volcanic base surge) と呼ばれた。これは、マグマ水蒸気爆発により高速射出された、乱流の卓越する火砕物流と解された。更に、高温の火砕サージとして、火砕流に伴って発生する、グラウンドサージ (ground surge) (Sparks and Walker, 1973) および灰雲サージ (ash-cloud surge) (Fisher, 1979) が加わった (例えば Cas and Wright, 1987)。火砕サージのうち、ガスと火砕物のみのものを dry surge、流走時に 100°C 未満の、凝結した水滴を含むものを wet surge と呼ぶ (Wohletz and Sheridan, 1983)。Valentine and Fisher (2000) によれば、前者は爆発的マグマ噴火、または水の混合比率の低い hydrovolcanic eruption (マグマ水蒸気噴火および水蒸気爆発を指す)、後者は水の混合比率の高い hydrovolcanic eruption によって、それぞれ引き起こされるとしている。高温のサージは dry surge、火山性ベースサージは wet surge が主体をなすと考えられている (Cas and Wright, 1987)。

火砕サージ堆積物に、やや淘汰がよく、細粒物に乏しい (fines depleted) 特性が、共通してみられる事から、火砕サージは、火砕物とガスとの混相流 (火砕物密度流;

Table 1. List of historic eruptions at Adataro volcano.

1658 (万治元) 年	山崩れ, 温泉湧出
1813 (文化9) 年	噴煙多量
1899 (明治32) 年	
8月24日	噴火: 年始め頃から活動活発化し, 噴気孔数, 噴気量増大
8月25日	沼ノ平内の火孔から大音響とともに火炎を噴出
11月11日-12日	火孔縁を破壊し, 灰や硫黄泥を噴出
	同一地点で黒煙や石を噴出
1900 (明治33) 年	
7月17日	噴火: 沼ノ平内に長径300m短径150mの火口を生じ, 熱灰や石を噴出. 噴出物総量 $1.1 \times 10^6 \text{ m}^3$. 火口の硫黄採掘所全壊. 死者72名, 負傷者10名. 山林耕地被害
1950 (昭和25) 年	
2月25日	噴煙: 噴煙高度50m
1996 (平成8) 年	地熱, 噴気活動活発化. 9月に沼ノ平北部で泥噴出
1997 (平成9) 年	
9月15日	火山ガス (硫化水素) により, 沼ノ平で登山者4名死亡
2000 (平成12) 年	噴気活動が一時的に活発になり, 2月19日に300mの高さの噴気を観測
2001 (平成13) 年	噴気活動活発. 9月に沼ノ平で噴気孔確認

(気象庁, 2005 および気象庁観測結果による)

pyroclastic density current) のうち, 火砕物の比率が低く, 微粒子が懸濁した, 乱流状態が卓越するものとされる (Valentine and Fisher, 2000, Wilson and Houghton, 2000) ことが多い。しかし, 火砕サージ堆積物には多様な層相が認められ, 堆積時の運動特性が火砕流ときわめて似通っている部分が火砕サージの中にも存在する。そこで, Wohletz (2001) は, Wohletz and Sheridan (1979) に基づき, 火砕サージを「急激に速度変化が起きる不安定, 不均質な, パルス状かつ, 急速に運動エネルギーを失う密度流」と定義した。噴火記述や, 堆積物の分布, 岩相から爆発的噴火を検討する本稿では, Wohletz (2001) による定義を採用し, また, 細粒物に乏しい特徴を有する火砕物密度流由来堆積物を, 火砕サージ堆積物と見なす。

また, ブラスト (blast) は, 破碎を引き金として, ガス過剰圧の急激解放により発生し, 放射状に広がる高速気

流をいう (Valentine and Fisher, 2000)。セント・ヘレンズ 1980 年噴火時に発生した火砕サージはブラスト由来で, ブラストサージ (blast surge) とも呼ばれる。

一方, 疾風と記載される現象は, ブラストの他, 火砕サージに先行する高速気流, 火砕サージ前面あるいは上面に見られる希薄部, 更には希薄な火砕サージ自身をも含む, 爆発的噴火に伴う高速の流れの総称といえる。

2. 地 形

安達太良火山は, 北から鬼面山, 箕輪山, 鉄山, 矢筈森, 安達太良山および和尚山がほぼ南北に連なる火山列からなる。矢筈森西側には沼ノ平火口 (直径約 1.5 km, 深さ約 250 m) があり, 西側には硫黄川に開析された開口部が存在する (Fig. 1)。

本稿の目的上, 沼ノ平から西方の白糸の滝までの硫黄川沿いの谷地形について詳述する。標高 1,450 m の沼ノ

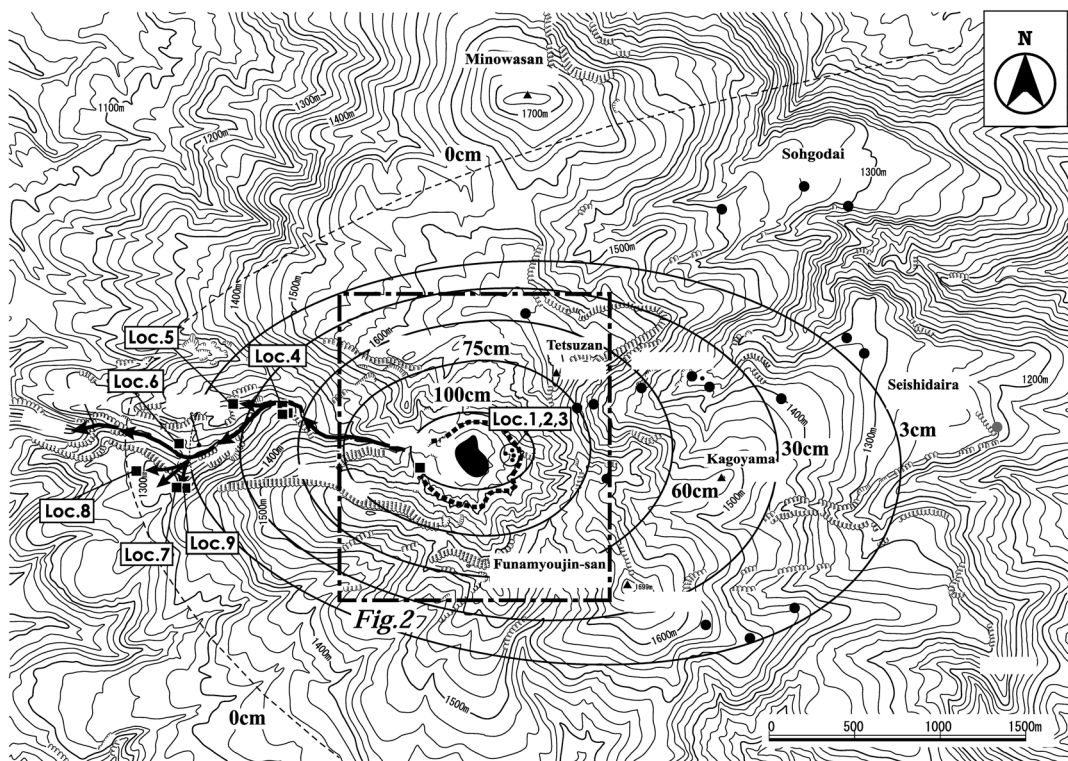


Fig. 1. Map showing the topographic outline for the central part of Adataro volcano. Arrows and solid squares show the flow lines and the existing outcrops of the pyroclastic surge (deposit) which ran down along the Iou river, respectively. Solid circles and oval-shaped curves show the localities of existing outcrops and the roughly inferred isochron contours of the air-fall ash of the 1900 eruption, respectively. The area covered by dot line indicates the inferred deposition area of the pyroclastic surge at the crater area. Solid, roughly oval-shaped area in the central part shows the newly formed crater of the 1900 eruption. Dash-dot line covers the area described in figure 2.

平火口西縁部（銚子口）から標高 1,370 m 付近までは谷幅約 200 m、壁の比高約 50 m の V 字谷である。ここから約 1 km 下流の沼尻温泉（注：噴火当時、硫黄川沿いの標高約 1,230 m にあった湯治場を指し、現在の沼尻温泉とは異なる。以下、本稿では前者を指す）のやや下流までは複合した凹地形を形成し、谷幅が約 700 m の広がりを持つ。この谷の上縁は落差約 50 m の断崖をなし、中央部は比高約 150 m の U 字型断面をなす。硫黄川はこの谷底部を、右岸側に凸の弧を描いて流下する。沼尻温泉の下流約 100 m 付近で谷は箱状となり、幅も約 250 m に急減し、右方に屈曲する。これより下流では、600 m 下流の「白糸の滝」を経て更に 500 m 以上、同様の谷幅で西ないし西北西に流下する。この屈曲点では左岸壁の比高が約 200 m から 50 m 程度へと急減するとともに、低くなった壁の上面は平坦となっている（Fig. 1, Loc. 7, 8, 9 付近）。この地形遷緩線は、障子ヶ岩を構成する噴出物の分布限界と符合する。

3. 火山形成史

安達太良火山体の形成史は、噴出中心および噴出マグマ組成の相違と、休止期の存在から、以下の 3 期に区分できる（藤縄, 1980; Fujinawa, 1988）。先駆的活動である第 1 期には、カルクアルカリマグマの噴出により、北部（約 55 万年前）および東部（約 45 万年前）の小山体が形成された。第 2 期（約 35 万年前）には、ソレライト質マグマによる溶岩流出活動を主体に、前ヶ岳を中心とした東部ないし南部山体の形成が行われた。同時期には、カルクアルカリマグマの活動も認められた。第 3 期には、25 万年前以前に断続したカルクアルカリマグマの活動により、箕輪山から和尚山にかけての火山列主要部が形成された。本期は、テフラ層序から推定される休止期の存在と、卓越した噴火様式、並びにマグマ特性の違いから、2 サブステージに細分される（藤縄・他, 2001）。前期（第 3a 期）は、サブプリニー式噴火と溶岩流出を主体とし、火山列基部をなす台地部分を形成した。ただし、箕輪山と山体中央部とは、同時期に共存した別個の供給系に由来すると考えられる（藤縄・鎌田, 2005）。この時期のマグマ噴出率は、およそ $0.1 \text{ km}^3/\text{ka}$ と見積もられる（山元・阪口, 2000）。後期（第 3b 期）は 12 万年前、本火山最大規模のプリニー式噴火（安達太良一岳軽石; 阪口, 1995）により始まる。この噴火中に、苦鉄（安山岩）質マグマに関し、供給系が置換したことが判明している（藤縄・鎌田, 2005）。以後、約 3 万年前まで、1-2 万年間隔でサブプリニー式ないしブルカノ式噴火が繰り返された。この時期のマグマ噴出率は $10^{-2} \text{ km}^3/\text{ka}$ に達しない。約 2 万年を隔てた 1 万年前からは、マグマ水蒸気ないし

水蒸気爆発が卓越するようになり、最新のマグマ噴出活動は約 2,400 年前であった（山元・阪口, 2000）。最近 1 万年間における個々の噴火規模は小さいが、平均マグマ噴出率では 12 万年前から 7 万年前頃の平均噴出率とほぼ等しく（山元・阪口, 2000）、第 3b 期のマグマ活動が継続中であることを示唆する。ただ、有史時代での活動記録からは、マグマ噴出の証拠はみられない。山元（1998）によれば、紀元前 6 世紀前後に 1 回、紀元 5 世紀から 12 世紀までに 6 回、いずれも沼ノ平火口からラハールが発生し、硫黄川を通して火口西方約 10 km の山麓まで到達している。なお、本稿では山元（1998）に従い、成因を問わず、火山地域に見られる泥流をラハールと呼ぶ。

4. 1900 年噴火活動の経過

1900 年 7 月 17 日に頂点を迎えた一連の噴火活動は、1899 年初頭、沼ノ平火口で認められた噴気活発化に始まる。以下、金原（1899a, b, 1900a, b）、井上（1900）、震災予防調査会（1901）の記載を基に活動経過を整理する（Table 2）。

1899 年 8 月に再び 2, 3 の噴気孔が活発化し、同月 24 日 23 時半頃には沼ノ平中央やや南西よりから大音響とともに爆発した。このとき生じた火口（原文では噴孔）縁には硫黄が付着し、高さ 2 m ほどの小丘（高さ一間余、底径三間余）となり、昇華硫黄が火焰として昇騰した。噴煙も立ちのぼり、降灰は東方約 8 km（二里）まで観測された（金原, 1899a）。翌 25 日に、同火口から硫黄泥を高さ 20-55 m（十間乃至三十間）程度まで繰り返して噴出した後、沈静化した。跡には、東西 35 m 南北 30 m（東西二十間、南北十六間）程の楕円形火口が認められた（金原, 1899a）。同年 11 月 11 日には、8 月と同一場所で噴火し、黒煙を吐出、岩石を飛散させ、約 3 時間で収まった。翌 12 日 19 時半頃、前日より規模の大きい爆発が発生した。沼ノ平内に、重さ約 70-400 kg 弱（二十貫より百貫位）の岩塊が飛散し、層厚 6-60 cm（二三寸より二尺位）の火山灰も堆積した（金原, 1899b）。この時、火口（噴孔）縁の陥落、拡大により、約 $10,000 \text{ m}^2$ （三千坪以上、円形を仮定した時の平均半径は約 55 m）の凹地が形成された。硫黄精錬所の作業員は沼尻温泉へ一時避難した。この後、1900 年 7 月 16 日まで目立った活動の記録はなく、沼ノ平火口内の硫黄精錬所も稼働していたが、鳴動はやまず、金原（1899b）によれば、降灰や火山弾の飛来落下、つまり小規模な爆発が断続していたらしい。

1900 年 7 月 16 日夜半に西麓の沼尻で、17 日には北東方の福島で、それぞれ微震が感じられた（井上, 1900）。17 日の気象状況は曇天、西の微風であった。午前 11 時

Table 2. Sequence of the eruptions on 17 July, 1900 (including precursory activities from early 1899).

年月	日	時刻	事象
1899年	初頭		沼ノ平で噴気活発化
	8月	24日 23時半頃	沼ノ平で再び噴気活発化
		25日	沼ノ平中央やや南西で爆発，昇華硫黄昇沸
	11月	11日	硫黄小丘(高さ約2m)形成，降灰東方約8km迄
		12日 19時半頃	硫黄泥流出，火口(東西35m，南北30m)形成
			8月と同地点で噴火，黒煙吐出，岩石飛散
			噴火．沼ノ平内に(70-400kg位の)岩塊飛散，降灰6-60cm
1900年	7月	16日 夜半	沼尻で微震感じる
		17日 朝?	福島で微震感じる
		11時頃	沼尻温泉の泉温上昇，井戸水減少，湧水枯渇
		16時頃	沼ノ平火口南縁で爆発第1回目，火山灰放出．精錬所は稼業続行，静観．
		18時頃	第2回目の爆発，火山灰放出．精錬所作業員の半数が避難開
		18時20分過ぎ	第3回目の爆発，火山灰放出．避難者は銚子口へ到達．
		18時30分頃	第4回目の爆発．噴石放出，降灰，疾風発生，硫黄川沿いを流下．長径300m，短径155m，深さ30mの火口形成．

頃，沼尻温泉の泉温が上昇し，井戸水が通常の1/3に減少，湧水が枯れる前兆現象が確認された。16時頃に沼ノ平の火口南縁，船明神山下方の位置で，最初の小爆発(第1回目の噴火)が発生した。火山灰を放出したものの，同火口内の硫黄精錬所ではこれを静観していた。引き続いて18時頃から約30分間に3回の爆発的噴火が起こった。第2回目の噴火により，少年1名が避難，他の作業員の約半数も避難を開始した。第3回目の噴火時，避難者は銚子口付近まで到達し，噴火状況を傍観していた(震災予防調査会，1901)。第2回目の噴火で避難を始めた作業員の多くが，事業所から約300-400m離れた銚子口付近でこの噴火を遠望していたことから，第3回目の噴火は第2回目の噴火から20分程度経過後に発生したと推測できる。この後まもなく最大規模(第4回目)の爆発的噴火が発生した。この噴火に際して噴石放出，降灰に加えて疾風が発生し，西方に指向したものは硫黄川沿いを流走した。これらの噴出物により，避難中の作業員が被災，沼ノ平火口中央部の噴火口形成に伴い，精錬所は壊滅消失した(Fig. 2)。その他，作業員の生活居住棟もすべて疾風と降灰とで全壊・埋没した。その後，活動はほとんど終息した。噴火直後の調査によれば，この時，長径300m，短径155m，深さ約30mの火口が形成された(Fig. 2)(井上，1900)。この火口の底には18の噴気孔が形成され，西方より活発な噴気が確認され，中央部の孔では湛水が認められた(Fig. 2)(金原，1900a)。

5. 疾風現象について

噴火直後の調査報告では，噴火のクライマックスにあたる第4回目の噴火で発生した疾風が，以下のように記

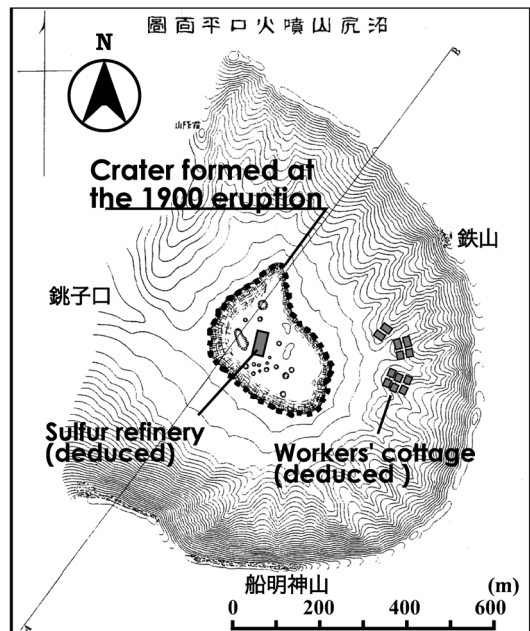


Fig. 2. Locality map of the crater formed at 1900 eruption. (partly added to the figure of Inoue, 1900).

述されている。「大破裂には必ず疾風の伴ふものにして今回の破裂にも亦疾風の沼尻温泉を通過せし形跡あり，即ち沼尻温泉に於ては二三の小屋を西方に吹倒し又家屋の茅屋を破損し下方より西方に向ひ吹上げしか如し，其尤も著しきは温泉の東方に長二尺四寸幅一尺八寸厚四寸五分より最厚一尺の安山岩を以て家根となせる小祠あり，疾風の為め一回轉して舊位置より西方に四尺五寸の

距離に吹飛ばされたり、即ち疾風は噴火口より火口瀬に沿い下底を疾走し其勢力甚だ強大なりしを知るべし、又草木を見るに噴火口附近は大抵褐色を呈し枯死せるもの多けれども沼尻近傍には頂上は却て青色を呈し、下部は枯死し、而して灰を被れるものは尚ほ生存するを以て察すれば其枯死せるは彼の硫気を含める疾風興て力のあるものゝ如く、疾風は上方より下方に向ひ谷底を進行せしことを知るに足れり、(井上, 1900)。「破裂の當時一般の強風無かりしことは前に述べしが山麓に向ひて吹く疾風は起こりたり。大区域に廣かる風は吹かざりし、沼尻に至りて温泉宿の屋上を見るに、火口に向ふ所のみ灰堆積せり、屋内に入れば器具は皆西方に吹き倒されたる見る、澤の両側を見るに中腹より下のみ灰多く上には少し、之りに依りて考ふるに谷の底を傳ふて吹きし如くに見ゆ、之はまた灰の分布よりも知らる」(金原, 1900b)。この中で、疾風の記載として注目すべき点は以下に集約できる。(1) 火口の西方約 1.6km の沼尻温泉にあった家が倒壊ないし破損して、屋内の器具などは西方に吹き倒された。(2) 沼尻温泉付近にあった石造り小祠の屋根が西に吹き飛ばされ、1 回転して転倒した。(3) 疾風由来の火山灰到達高度は植生状況からみて谷深の中程までであった。

更に、同年 7 月の福島新聞と福島民友には疾風の温度推定に有用と思われる記述がある。沼尻温泉の浴客の証言として、「(中略) 戸外に飛び出でしに、すでに降灰の為め一尺前をも辨せざる程なりしが、其時の降灰は冷灰なりし為め別に熱さを感じず、数間走りしと思ふ頃、降灰止みて明るくなりしより、更に必死の勢いを以て十間ばかりも走りしと思ふ頃、今度は火の如き熱灰降り来たり。前の如く暗くなりて進むこと能はざる為め路上に踞り其止むを待って逃げ来たりしが、前に降りし冷灰頭上に二寸ばかりつもりし故、熱灰の為めにも火傷等はせざりしが、尚ほ焼けんばかりの熱さを感じたりと云ふ。」(福島新聞, 7 月 24 日付記事) というものである。また、同じく沼尻温泉に滞在し、熱灰により火傷を負った事務所役員の証言では、18 時頃、「灰霧の如く降り来たり……折々小石などの降りきたる」(福島民友, 7 月 20 日付記事) とある。

6. 被災状況

噴火当時発行中であった、福島新聞、福島民報、福島民友の地元 3 紙に掲載された、噴火直後から 1 ヶ月間にわたる報道を比較検討し、被災状況をまとめると以下のようなになる。この噴火において、沼平火口にあった精錬所作業員のうち、先に避難した少年 1 名を除く、82 名(名簿記載のある者、うち 1 名は沼尻温泉にて被災)と、

訪問者(浄瑠璃語り) 1 名が被災した。内訳は、噴火による即死者 64 名(うち遺体不明 42 名) 負傷者 19 名(うち 1 ヶ月以内の死亡 15 名) である。ただし、前出の訪問者以外にも、日雇い労働者やその家族など、名簿に記載されない滞在者がおり、噴火当日、精錬所には 150 名を超える人数がいた、との記事もある。それは「前號八十餘名と記したりしは誤報にて同地硫黄精錬所事務員大澤某(某は噴裂の当時逸足早く逃げ下りしを持って足と腰に軽き火傷を蒙りたるものなれば一週間位にて全治するならんと)の語る處に依れば同所の工夫は精錬所の直轄するものにあらずして人夫に請負はしめ鑛石の採掘高に依て賃銀を支拂い居れば人夫の数は確知するを得されとも大略百二十名以上なるべし其他役員工夫等の妻子を合すれば百五十名を下らさるべしといふ」(福島民友 7 月 21 日付記事) というものである。なお、負傷者には、本記事に記載されている精錬所事務所役員、大澤某も含まれている。即死者で遺体不明の 42 名は、第 2 回目の噴火直後に避難をせず、精錬事業所付近で被災したものと考えられる。遺体が収容された 22 名と負傷者 18 名(沼尻温泉での負傷者 1 名は除く)が、火口西縁付近における、第 4 回目の噴火での疾風による被災者であろう。

被災者の負傷・損傷状況には、噴出物の物理的特性を知る手がかりとなるものがある。銚子口から沼尻温泉の山道沿いで発見され、回収された遺体の頭部は粉碎され、身元判別不能であった。更に、手足等に泥土が付着し、火傷を負っていた。「負傷者の面部は何れも壁を塗り付けたるが如く一体に深さ一分の灰粉附着して剥き取らんとすれば皮膚まで剥き取らざる可らされは非常に困難し居る由なり」(福島民友 7 月 21 日付記事) という記載もある。また、負傷者もすべて火傷を負い、沼尻温泉での負傷者 1 名(軽傷)を除き、下記のような重度の火傷であった。「表皮は蛇の脱殻の如くなりて」(金原, 1900b)、「頭髮は熱灰の為め焼けて抜け上り」(福島民友 7 月 22 日付記事) や、「全身に熱灰を蒙り、手足胸背等の表皮は黒コゲとなりて剥落し、一見恰もワカメをブラ下げし如き惨状」「甚だしきは全身の表皮剥落して赤裸となれるものあり」「双手の爪焼けて純白色となり將に落ちなんとしつつある者あり」(いずれも福島新聞 7 月 22 日付記事) などである。これらの記述から、疾風は、雰囲気あるいは灰自身に湿り気を含み、火傷を負わせるに十分な温度を保持した熱灰を主体とし、少なくとも銚子口付近までは人頭を粉碎させるほどの岩塊を混在させていたことが推測できる。つまり、硫黄川に流下した疾風は、噴火記述から推定する限り、火砕サージの中の wet surge であった可能性が高い。

物的被害についての報道には、内容的に一部、金原

(1900a, b), 井上(1900)の記載と重複するが, 以下のようなのがある。「沼尻温泉の火口よりにある)湯花工場に於ける約十貫目余の鉄釜及高さ四尺余の石宮が数十間の下方に跳ね飛ばされ、(福島新聞7月24日付記事), 「沼尻には六戸あり。各戸一面泥砂を被り其他噴火の疾風起こり一、二の小屋を吹倒しまたは屋根を破損する等多少の被害ありたるも(中略)列記の被害の外格別損害なし。」(福島民友7月28日付記事), 「沼尻温泉に及んでは家屋の破壊され器物の放棄去られたるもの石飛び木倒れ壁落ちて」(福島民報7月24日付記事)などである。

7. 噴出物分布に関する文献記載

噴出物は運搬機構から, 弾道軌道をもって放出された岩塊など, プラストもしくは噴煙柱あるいは灰雲由来の火山灰, および西麓の硫黄川を下った疾風(火砕サージ; 9参照)堆積物に大別される。

火口からの粗粒の放出物は岩塊のほか, 礫, および硫黄昇華物などから構成されている。これらはほとんどすべて沼ノ平火口内に落下した。西南や北西地域で厚く, 岩塊の径は15–18 cm (5–6寸), 大きなもので約1 m (3尺2寸)であった(井上, 1900)。

火山灰の分布状況は以下の通りである。火口付近(沼ノ平火口内?)での層厚は500–600 cm (17–18尺), 火口東方800 m (7–8町)では厚さ30–60 cm (1–2尺)ほどの堆積が確認された。更に東方, 15–20 kmの松川や二本松付近でも少量の降灰が観測されている(井上, 1900)。一方, 西部では, 火口西方約1.6 kmの沼尻温泉で降灰が確認されたものの, 火砕サージ堆積物以外の堆積物は少なく, 谷の中部以上, 尾根にかけて繁茂していた草木の葉を枯死あるいは破砕・埋積するものではなかった(井上, 1900)。

硫黄川沿いの火砕サージ堆積物に関しては, 「沼尻温泉付近では乾燥せる灰五寸以上も降り積もり(中略)白糸瀧邊(白糸の滝辺り)までは五寸位降灰あり」(福島民友7月20日付記事), 「沼尻温泉に及んでは(中略)床上尺余の灰を被りつつある(中略)沼尻温泉場の上よりは泥土道を埋めて毎歩膝以上の深さに入り歩行の困難」(福島民報7月24日付記事)とあり, 顕著な疾風現象が認められた地点では15 cm以上の層厚をもっていることが分かる。また, 沼尻温泉の下流域でも白糸の滝付近(火口の西方約2.4 km)までは火砕サージ堆積物がみられたことになる(Fig. 1)。

8. 降下火山灰の踏査観察

本稿では, 沼ノ平火口外に堆積した火山灰を, この範疇に入れて記載することとする。沼ノ平火口内に堆積し

た火山灰については, 記述から, 爆発的噴火に伴って発生したと推定できる上, 噴出口の周縁にエプロン状に堆積, 分布するため, 火砕サージ堆積物と見なし, 次章で記載する。

この降下火山灰は, 現在も20地点あまりで灰白色の火山灰層として確認できる(Fig. 1)が, 最大層厚は10 cmと, 堆積直後より薄い。火口縁から700 m以内での本層の層厚は7 cmを超え, くろがね小屋付近や安達太良山南東約500 m付近での層厚は5 cm強である。安達太良山の南東約750 m–1,000 m付近および勢至平^{せいしだいらい}西方での層厚は5 cm弱, 火口縁東ないし北東方1.5–2.5 kmの勢至平や僧悟台では3 cm未満となる。金原(1900a), 井上(1900)の記載をもとに分布の概要を推定すると, 本層は, 沼ノ平火口で最大層厚を示し, 東西, とりわけ東方への伸長性が高い卵形の等層厚線図を描く。そして3 cm等層厚線で囲まれる領域は概ね, 東西4 km, 南北2 km程度となる(Fig. 1)。

金原(1900b)は, 1900年噴火による噴出物総量を, 生じた火口の容積から, 3×10^6 トン(DRE換算で約 $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3$, 40容量%と仮定した堆積物中の空隙を除いた実容量では $1.05 \times 10^6 \text{ m}^3$)と見積もった。この金原による体積見積もりを採用すると, 火口外に堆積した火山灰(実容)量は, 全体実容量から沼ノ平火口内域および硫黄川沿いに堆積した火砕サージ堆積物を除いた, 約 $7.6 \times 10^5 \text{ m}^3$ と推定される。

9. 火砕サージ堆積物の分布状況

沼ノ平火口底(以下では火口内域)の北ないし東部および, 沼ノ平火口から沼尻温泉までの硫黄川沿い(以下, 本流域)の, 最表層部において, 細粒部のやや欠落した, ほぼ無層理の砂質ないし変質火山礫質堆積物を確認した。更に, 沼尻温泉南西方の, 硫黄川左岸上面をなす平坦地(末端域)においても表層部に, 火砕サージ堆積物と類似の岩相を持つ, 層厚約10–15 cmの堆積物を確認した。硫黄川の谷底幅を50–70 m(平均60 m), 流域延長を2,400 mとし, 文献記述に基づき, 堆積直後の平均層厚を7 cmとすると, 硫黄川沿いの堆積物総量は $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 程度(実容量では約 $6,000 \text{ m}^3$)と算出される。

9-1. 火口内域

噴出口周縁にエプロン状に分布する火砕サージ堆積物(Fig. 1)は, 沼ノ平火口底北東縁に位置する旧精錬所居住生活棟跡で観察した(Figs. 2, 3a)。火口内域では, 1900年7月噴火直前の地表面(Figs. 3b, c, d中の太破線)を, 5 mを超える層厚で被覆する。この旧地表面は, 変質した火山灰・火山礫からなる崖錐を, 粘土質変質火山灰からなる湖成堆積物が被覆して形成されたものと考えられ

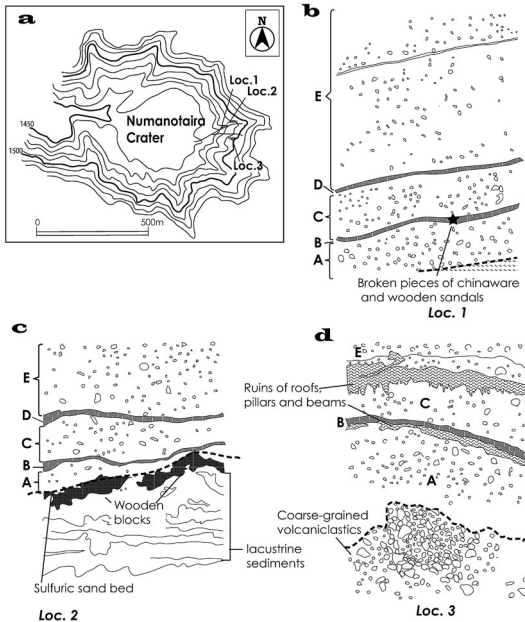


Fig. 3. Blast deposit at the crater area. a: map showing the localities of the observed outcrops. b, c, d: sketches of the localities 1, 2, and 3, respectively. Thick broken lines indicate the ground surface just before the 1900 eruption.

る。この面を土台に、当時数棟（精錬所と併せて6棟程度）の居住生活棟が建っていた（Fig. 2）。

火口内域に堆積した火砕サージはいずれも硫気変質を被った火山灰および火山礫、火山岩塊からなり、本質物質は確認できなかった。噴火直後の記述および地形から、火口内域の火砕サージ堆積物総量は約 $4.7 \times 10^5 \text{ m}^3$ （実容量は約 $2.8 \times 10^5 \text{ m}^3$ ）と見積られる。この堆積物には、3層の灰色ないし黄灰色を呈する粗粒の火山灰層ないし角礫を含む塊状無層理の火山灰層（下位よりA, C, E層）が認められ、これら粗粒層間に、層厚がいずれも2–3 cm程度の、灰色ないし赤灰色細粒火山灰層2層（下位からB, D層）が挟在する。典型的な成層構造が認められた地点1（Fig. 3b）では、A層の層厚が10 cm弱、C層では10–15 cm、E層では層厚5 mを超えている。各層とも、細粒物の含有率は低く（後出のように1/64 mm以下の粒子はほとんど含まれない）、A層以外は分級も悪い。C層は、部分的にレンズ状ないしは上下方向へ枝分かれした不規則形状を示すことがある（Fig. 3d）。一方B, D層は、4 mm以上の粒子が含まれないことで、相対的に細粒と見なされる。

建材の木材・竹材・縄などはD, E層の境界付近に最も濃集している。いずれも単体の断片、もしくは一部結

合したまま境界面に沿って広範囲に引き伸ばされたような産状を呈し、家屋の圧壊時にみられるような建材の累積は確認されなかった。建材の破片はまた、下駄や食器・衣服の断片や煉瓦片、ガラス片などとともに、B層下部ないしB, C層の境界付近にも認められる。更に、不規則形状の層が認められる地点（例えばFig. 3d）では、各層の境界付近に建材の破片が認められる。これら生活遺物に顕著な炭化の跡はみられない。

9-2. 本流域

本流域では、硫黄川沿いの3地点（Fig. 1, Loc. 4, 5, 6）で火砕サージ堆積物を確認することができた。層厚はいずれも4–10 cm程度であり、火口からの距離と層厚とに、相関は認められなかった。噴火直後の文献記載によれば、疾風の到達最遠部は白糸の滝であるが、露頭で確認できた最遠点は、沼尻温泉の西方、火口から約1.8 kmの地点である。標高1,300 m付近の河岸露頭では、表土直下に層厚5 cm程度の砂質火砕物層として産し、ラハール堆積物を被覆する。この下流約250 m右岸上方の標高1,300 m地点では、表土中に、層厚10 cm程度の砂質火砕物層として挟在される。この表土は、1900年噴火以前の水蒸気爆発由来堆積物を含む降下火砕物層を被覆する。

9-3. 末端域

末端域は、硫黄川が右方に屈曲する地点の左岸（外縁）上方にあたり、谷斜面の高さが急減し、上面も平坦となっている地形的特徴がある（Fig. 1, Loc. 7–9）。また、この地域は、硫黄川の谷幅が急減した、そのほぼ正面に当たる。数カ所認められた露頭において、例外なく表土の直下に見られる、層厚10–15 cmの白色ないし灰白色火砕物層として産し、珪化変質火山礫ないし軽石およびその細粒物（火山砂）から成る。堆積物には、多量の火山礫が含まれる特異性が認められる。この火山礫は、本堆積物直下、硫黄川側の斜面に分布する、硫黄鉍山のズリ堆積物に極めて類似している。本層は、レス、クロボクおよび水蒸気爆発堆積物を主体とする降下火山灰層を被覆する。本層の下位10–30 cmに見られるクロボク土の ^{14}C 年代は、150–500 y.B.P.であった（Table 3）。このことから本層が1900年噴火の堆積物と考えて矛盾はなく、12世紀以前に繰返されたラハール（山元, 1998）由来ではないと考えられる。

10. 火砕サージ堆積物の粒度特性

採取した火砕サージ堆積物試料の、16 mmから1/512 mmの粒度範囲（ $\phi = -\log_2$ 粒径 mm）での粒度分析結果を粒径加積曲線で示す（Fig. 4）。粒度組成の差異から、3タイプに大別が可能である。上に凸の曲線を描く粗粒

Table 3. ^{14}C ages for the “Kuroboku” soil samples.

^{14}C age	$\text{d}^{14}\text{C} \text{ ‰}$	$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$	年代(y.B.P.)	地表面下(cm)	採取クロボクの層位
Loc. 7	-67.5 ± 4.0	-28.4 ± 0.2	508 ± 35	15	火砕サージ堆積物直下
Loc. 8	-45.7 ± 3.9	-27.7 ± 0.2	332 ± 33	20	火砕サージ堆積物下, 約10cm厚のレスを挟んで下位
Loc. 9	-24.8 ± 3.9	-28.1 ± 0.2	151 ± 33	35	火砕サージ堆積物下, 約25cm厚のレスを挟んで下位, レス下限の下5cm

測定: ジオスペース・サイエンス株式会社

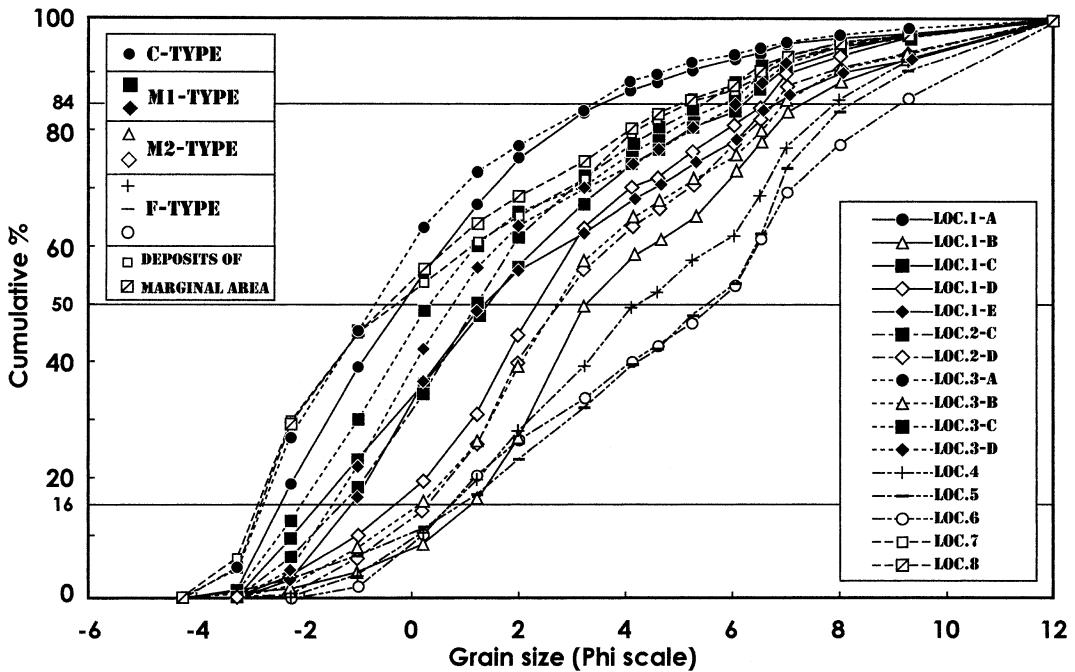


Fig. 4. Grain size cumulative curves for the blast deposit

タイプ (C-type), 下に凸の細粒タイプ (F-type) とその中間タイプ (M-type) である。更に中間タイプでは、平均粒径 ($\text{Md}\phi$) の大きい試料が粗粒タイプに準じる特性を示し、平均粒径の小さい試料では、粒度組成がバイモーダル特性を示すことが多い。そこで、前者を M1-type, 後者を M2-type と細分し、4 分類した。

堆積域や層準と粒度特性との間には、明瞭な相関が認められる。火口内域の A 層が C-type に、同じく C, E 層が M1-type にそれぞれ対応する。火口内の細粒層である B, D 層は M2-type に分類される。本流域 3 露頭の堆積物はいずれも F-type となり、他地域より細粒である。更に、3 露頭を比較すると、層厚は変化しないものの、火口

からの距離に対応して、平均粒径での細粒化傾向が認められる (Fig. 4, Loc. 4-6)。また、 $\text{Md}\phi$ - $\sigma\phi$ 関係図 (Fig. 5) で、磐梯 1888 年噴火、セントヘレンズ 1980 年噴火で確認された火砕サージ堆積物や、降下火砕物、火砕流堆積物の粒度特性 (Hoblitt *et al.*, 1981; 紺谷・谷口, 2003; Wholetz, 2001; Yamamoto *et al.*, 1999) と比較した。本堆積物は、他の火砕サージ堆積物と同様、おおむね降下堆積物と火砕流堆積物との境界領域付近に点示される。なかでも火口内域の堆積物は、火砕サージ堆積物の既存データ領域の中部ないし上限付近、本流域堆積物はそれよりやや高い σ (分散) 値を示す。また、末端域の堆積物は、本流域の試料に比べ、 2ϕ (4 mm) より粗粒の粒子が

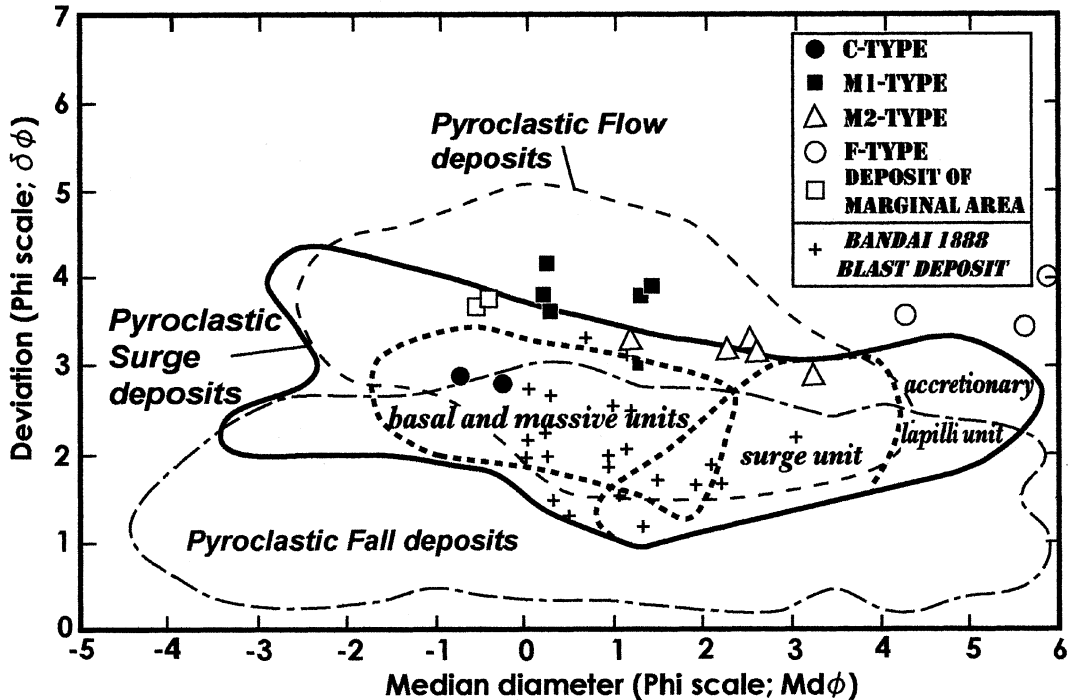


Fig. 5. Sorting (ϕ) vs. median diameter ($Md\phi$) plots for the blast deposit. Small cross-marks represent the data plots of the 1888 blast deposit of Bandai (Yamamoto *et al.*, 1999; Kontani and Taniguchi, 2003). The fields of the pyroclastic flow and pyroclastic fall are taken from Walker (1971). The field of the pyroclastic surge is drawn on the bases of the data plots of the 1980 blast deposit of Mt. St. Helens and 1888 blast deposit of Bandai volcano. Thick dot curves indicate the boundary of distinctive surge units recognized in the 1980 blast deposit of Mt. St. Helens (Hoblitt *et al.*, 1981).

多い事を反映して、バイモーダルな粒度特性を示す (Fig. 6).

火砕サージ堆積物の粒度組成と、堆積構造、火砕サージのタイプとの間には、密接な関連が指摘されている (Hoblitt *et al.*, 1981; Sheridan and Wholetz, 1983; Wholetz and Sheridan, 1979 など). 安達太良火山の火砕サージ堆積物には、Sandwave 構造や, Planar 構造は確認できず、いずれも無層理 (Massive) である。更に、本流域の堆積物と火口内域での細粒薄層 (B, D 層) は, Wholetz (2001) による Hydrovolcanic Fine Ash Beds (水蒸気爆発による細粒火山灰層) の領域に、火口内域の粗粒堆積物は, Massive Bedforms (塊状層) の領域にそれぞれ点示された (Fig. 7).

噴火記述からの推定と調和的に、第 4 回目の噴火で生じた沼ノ平火口内の建物破壊を伴った疾風現象は、爆発性の強い水蒸気爆発による、低温、高湿度の火砕サージであることが、堆積物の粒度特性からも支持される。すなわち、本流域堆積物が、Hydrovolcanic Fine Ash Beds であることは低温、高湿度を、また、分級が悪いのは湿

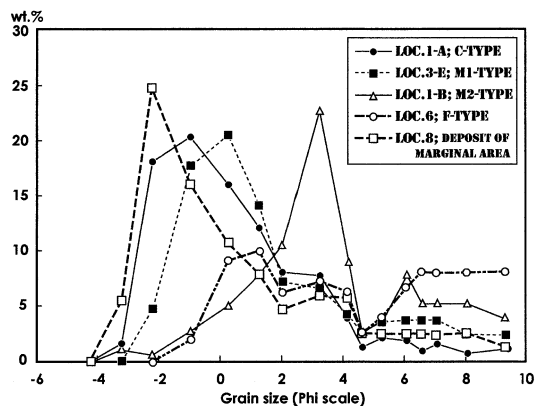


Fig. 6. Grain size distribution of the representative blast deposits.

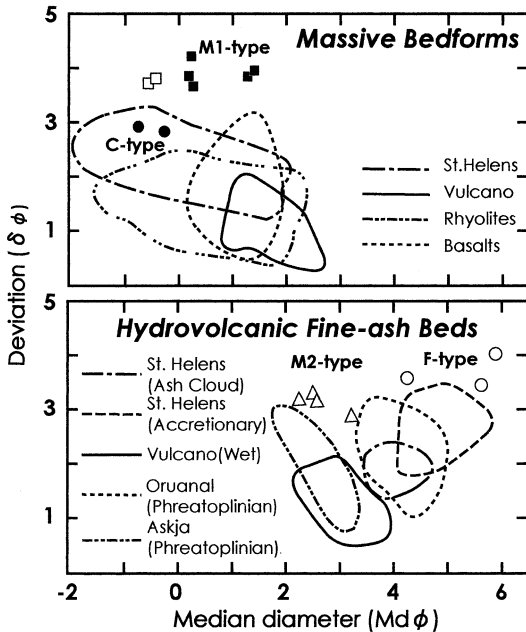


Fig. 7. The $\sigma\phi$ - $Md\phi$ characteristics of the blast deposits in comparison with those of the surge bedform types of Sheridan and Wohletz (1983).

気による膠着の可能性をそれぞれ強く示唆する。火口内域での堆積物にも Hydrovolcanic Fine Ash Beds が認められる事実は、ブラスト、あるいは高速、希薄な火砕サージが低温、高温度であったことを示す。また、一般に、塊状層は、火砕サージ発生近傍部の比較的高密度部 (Waite, 1981) あるいは低温の wet surge において (Wohletz, 2001) 卓越する傾向がある。火口内域の塊状層は、この条件のいずれか、または両方を反映している可能性が高い。

11. 考 察

11-1. 噴火推移と堆積物の対比

安達太良火山は 1900 年 7 月 17 日の 16 時頃に最初の噴火があり、18 時-18 時半の間に 3 回の噴火が引き続いた。最後の噴火が最大規模で、これに伴い疾風が発生し、硫黄川を流下した (Table 2)。

火口内域では堆積物の層厚は 5 m 以上に達し、硫黄精錬所関係施設の埋没遺跡や遺品が多数確認された。この堆積物は、粒度組成の異なる 5 層の成層構造が確認でき、最上部の堆積物が最大層厚を示す (Fig. 4, b-d)。この堆積状況は文献による噴火回数や噴火規模の記載とよく調和する。噴火推移の情報と堆積物の岩相、粒度特性を照合すると、以下の解釈が可能となる。すなわち、3 層の塊状層 (A, C, E 層, Fig. 4) は第 2 ないし 4 回目の噴

火に対応した、噴煙柱崩壊を想起させるような比較的高密度の火砕サージ、2 層の Hydrovolcanic Fine Ash Beds (B, D 層, Fig. 4) は、各々 3 回目および最後の噴火時に発生した、塊状層堆積に先行し、家屋破壊を伴った、よりブラスト由来的な火砕サージ堆積物である。

第 1 回目の噴火時、事業所 (精錬所)、居住生活棟いずれにおいても、皆が静観していたことから、噴出物の堆積はほとんど無かったか、ごく少量と推定される。第 2 回目の噴火後、少年 1 名が先に避難し、成人作業員の半数も避難を開始した事から、身の危険を感じるほどの事象が起こったことが推測される。A 層は C-type の粗粒火砕物からなり、その下位に細粒物や生活遺物は認められない。従って顕著なブラスト由来的な火砕サージの発生や家屋の損壊はなかったと考えられる。避難中の作業員は、第 3 回目の噴火を銚子口付近で傍観していたことから、沼ノ平火口西縁に達する火砕サージは起こらなかったらしい。しかし、火口東縁では C 層下位に細粒の B 層が存在し、B, C 層境界部付近に生活用品や家屋の破片が特徴的に認められることから、おそらく噴火口の形成もしくは拡大とともに、局部的にブラスト由来的な火砕サージが発生し、家屋の損壊を引き起こしたと考えられる。堆積物の層厚から明白のように、第 4 回目の爆発は前 3 回よりも遙かに大規模で、より大きな凹地形が形成されたと推定できる。事業所は破砕飛散したか、凹地形内に埋没したと思われる。E 層最下部に家屋資材の残骸が分解離散していること、直下に細粒の D 層があることから、居住棟は堆積物による圧壊ではなく、ブラスト由来的な火砕サージにより倒壊飛散したものと考えるのが妥当である。一方、避難途中、火口西縁で噴火を傍観していた作業員たちは、強烈な熱灰を受け、先に避難した少年 1 人を除く全員が死傷した。これは沼ノ平火口内で発生後、硫黄川を流下した火砕サージ (wet surge) の直撃による。

末端域にみられる堆積物には、硫黄川側の斜面に分布する硫黄鉱山のズリ堆積物に岩質の酷似した多量の火山礫が含まれる。また、粒度分布では、本流域堆積物にみられる、細粒主体の粒度特性に、粗粒子群からなるサブポピュレーションが加わったようなバイモーダルな特性を示す (Fig. 6)。更に、谷地形および堆積物分布域の地形からは、沢幅急減によって加速した、指向性 (直進性) の強い火砕サージが、末端域直前にある、屈曲河川左岸壁に衝突、一部が壁を乗り越えた可能性がある。以上のことから、末端域堆積物は、谷斜面に安息角で堆積していたズリが、火砕サージに舞いあげられ、細粒の火砕サージ由来粒子とともに壁上面の平坦地に再堆積した可能性が指摘できる。

11-2. 爆発的噴火の特性

a) 噴出物量 (火砕サージ, 降灰)

総噴出量が $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (実容量) とされる 1900 年噴火において, 沼ノ平火口外への降灰が約 $7.6 \times 10^5 \text{ m}^3$, 火砕サージの火口内域堆積分が約 $2.8 \times 10^5 \text{ m}^3$ (いずれも実容量) と見積もられた. さらに, 硫黄川で確認された火砕サージ堆積物の分布範囲は, 最遠部で西方 2.4 km, 層厚 (4-10 cm 程度), 堆積物量は $6,000 \text{ m}^3$ (実容量) だった. 火口内域, 本流域をあわせた火砕サージ堆積物量は約 $2.9 \times 10^5 \text{ m}^3$ となり, これまで確認された火砕サージ堆積物, 例えば, セント・ヘレンズ火山 (分布面積 600 km^2 , 堆積物総量 0.2 km^3) や磐梯火山 (同じく 13 km^2 , 0.01 km^3) (中村・グリッケン, 1988; Siebert *et al.*, 1987) に比較すると総量で 3 桁ないし 2 桁小さい.

この噴火で認められた降灰現象に直接結びつく噴煙の目撃記録はないが, 顕著な降灰は, 第 4 回目の噴火後に認められている. 火口内域のサージ堆積物が火山灰主体をなす事から, 第 4 回目の噴火時に噴煙柱が形成され, サージ堆積物の相当部分は噴煙柱崩壊によりもたらされた可能性が高い. もしそうだとすれば, 噴煙柱が西風に影響されることで東麓に降灰をもたらすことは十分にあり得る. 一方, 沼ノ平火口の東壁をはい上がった火砕サージが粗粒部を失うことで灰雲を生じ, 東斜面に降灰をもたらした事も考えられる. おそらく, 両者が併せられたのであろう. しかし, 火口内域堆積物の 2 倍強の体積を持つ火山灰が沼ノ平火口外, とりわけ東方に分布することは, 噴煙柱由来の降灰が主体をなすと考えられる.

b) 噴火エネルギー (火口の大きさ)

噴火後の沼ノ平火口内には径 $300 \text{ m} \times 155 \text{ m}$ からなる新火口 (深さ約 30 m) が形成されていた. 浅い爆発で形成されるクレーター直径は爆発エネルギーと相関 (スケーリング則) があり, 火山の爆発でもこれが適用できることが示されている (Goto *et al.*, 2001). 安達太良火山 1900 年噴火の場合にこれが適用できるとすると, 沼ノ平火口内に形成された火口の平均径 250 m に係わった爆発エネルギーは, 10^{14} J と推定される. ちなみに, 1899 年 8 月と 11 月の噴火でも, 平均直径 33 m , 55 m の火口が形成されている. この火口径から噴火エネルギーを見積もると, 各々 $1.5 \times 10^{11} \text{ J}$, $7.5 \times 10^{11} \text{ J}$ となる.

他の爆発性噴火のエネルギーを, スケーリング則を用いた同法で見積もると, セント・ヘレンズ火山 1980 年噴火では $1 \times 10^{17} \text{ J}$, 磐梯火山 1888 年噴火では $2 \times 10^{16} \text{ J}$ となる. 一方, 90% 倒木域の面積と 90% 倒木に要する過剰圧に基づく爆発エネルギー算出結果では, セント・ヘレンズ火山 1980 年噴火では $3.7 \times 10^{16} \text{ J}$, 磐梯火山 1888 年噴火では $1 \times 10^{15} \text{ J}$ と, スケーリング則に基づく

見積もりよりも 1 桁小さい (Taniguchi, 1993). セント・ヘレンズ火山 1980 年噴火のエネルギー計算では, プラストの機械的エネルギー概算 (Decker and Decker, 1981) や日本の気圧波に基づく見積もり (澤田ほか, 1982) が 10^{16} J オーダー, プラストと放熱を併せたエネルギー概算 (Brantley and Myers, 2000) やアメリカ, ヨーロッパでの気圧波に基づく見積もり (Donn and Balachandran, 1981) では 10^{17} J オーダーであり, 後者がスケーリング則に基づくエネルギー見積もりと符合する. 以上のことから, 安達太良 1900 年 7 月の噴火エネルギーは, セント・ヘレンズ火山 1980 年噴火の数百ないし千分の一, 磐梯火山 1888 年噴火の数十ないし百分の一程度と考えられる. このエネルギー比率は, 3 噴火間でのサージ堆積物の総量比率にほぼ符合する.

c) 硫黄川沿いでの火砕サージ風圧と運動様式

沼尻温泉における祠の屋根石が 1.4 m 移動したという記述から, 屋根の高さを 1.2 m と仮定し, これを吹き飛ばした火砕サージの風速を推定した. 記事を元に屋根石の長さ, 幅, 厚さを, 各々 0.73 m , 0.55 m , $0.14-0.3 \text{ m}$ と仮定, また, 安山岩の密度を 2.5 g/cm^3 とし, 重量はおおよそ 200 kg と推定した. 単純な質点系力学で計算すると, 屋根石が西方に移動した初速は約 2.7 m/s で, 運動エネルギーがおおよそ 750 J 程度となる. 風荷重は $P=C \cdot q \cdot A$ (C : 断面形状に依存する風力係数, q : 風圧力, A : 受圧面積) で表される. 今回は風力係数を, 道路標識設置基準による値を参考に, 多角形標識の係数 1.0 を採用した. 結果は, 風圧力がおおよそ $4,200 \text{ N/m}^2$, 風速換算で 80 m/s と見積もられる. また, 屋根石が滑動して移動, 落下したと想定すると, $P_h = \Sigma V \cdot \mu$ (P_h : 横方向からの風荷重, ΣV : 屋根石底面における全鉛直荷重, μ : 静止摩擦係数) で表される. 摩擦係数を, 岩盤とコンクリート間の値 0.7 と仮定して風圧力を計算すると, おおよそ $1 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, 風速換算で約 130 m/s となる. この値は, 雲仙普賢岳 1991 年 6 月 8 日発生熱風の, プラストメータによる圧力測定値 ($2.8 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, 粒子速度が 75 m/s ; Taniguchi and Suzuki-Kamata, 1993) には及ばず, 同じく普賢岳 1992 年 2 月から月に発生した火砕流に伴うサージの最大圧力 ($1.4-4.9 \times 10^4 \text{ N/m}^2$; 谷口・他, 1996) よりもやや低いことになる.

d) 火砕サージの温度・湿度

今回, 火口内域において火砕サージ堆積物中に発見された木製建材, 生活用品には焼けこげなどが認められない. 今回の野外調査結果からは, 本質質片も確認できなかった. 以上から, 火砕サージの温度は火口内域でも木材発火点の約 400°C 以下だったことが確実である. 一方で火口西縁での被災者は全身に熱灰が付着し, 皮膚が剥

落する重度の火傷を負い、頭髮の焼け、爪の白濁も見られる。重度の火傷を負わせることから、銚子口付近で100°Cを上回る温度を持っていた可能性が高い。沼尻温泉で降りかかってきた熱灰は、すでに皮膚に積もった約6 cm厚の冷灰を挟んでもなおやけそうな熱さを感じた(5. 疾風現象についてを参照)、とされている。火砕サージ発生約1年前ではあるが、硫黄が火焰を上げて燃えたのが確認されている。これ以降、活動は継続されていたことを考えると、火砕サージ発生時の温度が硫黄発火点の230°Cに近いものであった可能性もある。

また、「露出した裸体に灰が付着し、払おうとすると皮膚が剥がれる」という記述から、硫黄川を流下したのは湿度の高い火砕サージであったことが推定できる。この推定は、本流域に分布する火砕サージ堆積物に細粒物が多く、粒度特性がセント・ヘレンズ1980年噴火による火砕サージ堆積物の *accretionary lapilli unit* に類似していること、更に、同堆積物の淘汰が悪く、火山灰粒子の膠着の可能性がある事など、堆積物の粒度特性とも調和的である。以上から、次の2点を指摘することができる。(1) 1900年7月17日の4回の噴火は水蒸気爆発であり、第3、4回目には、火口内域では高速の気流による火砕サージに引き続き、比較的高密度の火砕サージが到達するという現象が認められた。(2) 第4回目の爆発で発生し、銚子口付近に到達した火砕サージ中では、水の凝結が起きており、更に硫黄川流下時には *wet surge* の様相を呈していた。

12. まとめ

1. 安達太良火山1900年噴火に関する文献調査、とりわけ新聞記事の洗い出しと文献相互の比較検討から、噴火の推移や、噴出物の移動、堆積状況、人の避難、被災状況が明確にできた。7月17日16時頃に最初の噴火が発生した。当時、火口内には、硫黄精錬所の作業員82名と訪問者1名の滞在が確認されているが、少年も含めた全員が静観していた。18時頃に発生した第2回目の噴火により、唯一の無事生還者である少年を含む40名程度が避難を開始した。第3回目の噴火時、避難中の作業員の多くは火口西縁に達しており、これを遠望していた。その後間もなく18時30分頃、最大規模(第4回目)の噴火が発生し、おそらく噴煙柱が形成されて、多量の降灰を火口付近から火口東方最遠20 km付近までもたらすとともに、硫黄川沿いに火砕サージを起こし、避難中の作業員を襲った。遺体の収容できた即死者22名と負傷者19名(うち1名は沼尻温泉で被災)は、何れも火砕サージによる被災と考えられる。

2. 復元された噴火推移と火口内域での露頭観察の結

果からは、第2から第4回目の噴火と堆積物の対比ができた。本流域と末端域の露頭観察からも火砕サージ堆積物の同定ができた。火口内域試料の粒度特性および、住居・生活遺物の埋積状況から、第3、4回目の噴火時には住居倒壊を伴う、顕著な火砕サージが発生したと考えられる。第3回目の噴火に伴う火砕サージでは、先行したブラスト由来の火砕サージが沼ノ平火口東縁にあった居住生活棟で、生活用具を吹き飛ばし、建物も一部損壊させた。しかし、銚子口付近にいた避難者に被害を及ぼすものではなかった。第4回目の噴火では、先行する高速のサージが沼ノ平火口東縁の居住生活棟はすべて破壊し、ついで起こった比較的高密度の火砕サージが、それらを完全に埋積した。堆積物の層厚は火口内で5 mを超えるものであった。

3. 火砕サージ堆積物の総量は $2.9 \times 10^5 \text{ m}^3$ 、また、形成された火口の平均径(250 m)から推定される爆発エネルギーは、 10^{14} J である。火砕サージ堆積物量、爆発エネルギーともに、磐梯火山1888年噴火より1ないし2桁、セント・ヘレンズ火山1980年噴火よりは2ないし3桁それぞれ低い。

4. 西方に流下した火砕サージの特性は、以下のように推定される。①堆積物量: 硫黄川沿いを流下、堆積した火砕サージ堆積物の総量は実容量で約6,000 m³である。その分布範囲は最遠部で西方2.4 km、層厚は4-10 cm程度であった。②火砕サージの風速: 沼尻温泉における祠の屋根石移動の記述から、モデル計算により、風圧力が4,200-10,000 N/m²、風速換算で約80-130 m/sと見積もられる。③火砕サージ温度: 木製建材、生活用品に焼けこげなどが認められないため、約400°C以下、銚子口付近での被災者の火傷から、100°C以上の温度範囲が推定される。④運動様式: 湿度の高い疾風は沼尻温泉を通過後、沢の屈曲点においてその一部が直進して左岸にはい上がり、その上面の平坦地に堆積物を残した。上記の特性をみると、安達太良火山1900年噴火は水蒸気爆発であり、発生した火砕サージは低温の *wet surge* であったと解される。

謝 辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究(15038203, 17031004)の補助を受けて行われた研究成果の一部であり、関係諸機関に深く感謝する。また、特定領域研究、火山爆発04班の班長である東北大学・谷口宏充教授はじめ班員諸兄には貴重なご意見を賜った。山形大学・伴雅雄博士には、粗稿を読んでいただき、多くの有益なコメントをいただいた。編集担当の産総研・川邊禎久氏と査読者の産総研・山元孝広博士および匿名査

読者の方には、粗稿の不備と改善策について、適切かつ丁寧にコメントしていただいた。更に、住鉱コンサルタント株式会社の片嶋啓介氏には、風圧見積もりに関して多大なご教示をいただいた。以上の方々に対し、ここに謝意を表します。

引用文献

- Brantley, S. R. and Myers, R. (2000) Mount St. Helens—From the 1980 Eruption to 1996. USGS Fact Sheet 036-00.
- Cas, R. A. F. and Wright, J. V. (1987) Three types of pyroclastic deposits and their eruption: an introduction. In *Volcanic succession* (Cas, R. A. F. and Wright, J. V. eds), 93-126, Allen & Unwin, London, UK.
- Decker, R. and Decker, B. (1981) The eruptions of Mount St. Helens. *Scientific American*, **244**, 52-64.
- Donn, W. L. and Balachandran, N. K. (1981) Mount St. Helens eruption of 18 May 1980: air waves and explosive yield. *Science*, **213**, 539-541.
- Fisher, R. V. (1979) Models for pyroclastic surges and pyroclastic flows. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **6**, 305-318.
- Fisher, R. V. and Waters, A. C. (1969) Bedforms in base-surge bed deposits: lunar implications. *Science*, **165**, 1349-1352.
- Fisher, R. V. and Waters, A. C. (1970) Base-surge bedforms in maar volcanoes. *Am. J. Sci.*, **268**, 157-180.
- 藤縄明彦 (1980) 安達太良火山の地質と岩石. 岩鉱, **75**, 385-395.
- Fujinawa, A. (1988) Tholeiitic and calc-alkaline magma series at Adatara volcano, Northeast Japan: 1. Geochemical constraints on their origin. *Lithos*, **22**, 135-158.
- 藤縄明彦・鎌田光春 (2005) 安達太良火山の最近 25 万年間における山体形成史とマグマ供給系の変遷. 岩石鉱物科学, **34**, 35-58.
- 藤縄明彦・林信太郎・梅田浩司 (2001) 安達太良火山の K-Ar 年代—安達太良火山形成史の再検討. 火山, **46**, 95-106.
- Goto, A., Taniguchi, H., Yoshida, M., Ohba, T., Ohshima, H. (2001) Effects of explosion energy and depth to the formation of blast wave and crater: field explosion experiment for the understanding of volcanic explosion. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 428-431.
- Hoblitt, R. P., Miller, D. C., Vallance, J. E. (1981) Origin and stratigraphy of the deposits produced by the May 18 directed blast. In *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens Washington* (Lipman, P. W., Mullineaux, D. R. eds), *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* **1250**, 401-419.
- 井上禮之助 (1900) 岩代國沼尻山破烈火況. 地学雑誌, **12**, 457-466.
- 気象庁 (2005) 日本活火山総覧 (第 3 版) 33. 安達太良山. p211-217.
- 金原信泰 (1899a) 安達太良山異状. 地質雑, **6**, 335-336.
- 金原信泰 (1899b) 安達太良山 (岳山) 又々異状を呈す. 地質雑, **6**, 472.
- 金原信泰 (1900a) 安達太良山火山の噴火. 地質雑, **7**, 293-295.
- 金原信泰 (1900b) 安達太良山火山の破烈に就て. 地質雑, **7**, 427-433.
- 紺谷和生・谷口宏充 (2003) 磐梯山 1888 年噴火によるサージ堆積物と被災記録. 東北アジア研究, **8**, 71-90.
- Moore, J. G. (1967) Base surge in recent volcanic eruptions. *Bull. Volcanol.*, **30**, 337-363.
- 中村洋一・ハリーグリッケン (1988) 磐梯火山 1888 年噴火のプラストとデブリアバランシェ堆積物. 地学雑誌, **97-4**, 67-74.
- 阪口圭一 (1995) 二本松地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅) 地質調査所. 79 pp.
- 澤田可洋・桶井仙一郎・小宮 学 (1982) Mount St. Helens の 1980 年 5 月 18 日大噴火による気圧波. 火山, **27**, 195-202.
- 震災予防調査会 (1901) 沼尻山噴火. 震災予防調査会報告, **35**, 117-119.
- Sheridan, M. F. and Wholey K. H. (1983) Hydrovolcanism: basic considerations and review. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **17**, 1-29.
- Siebert, L., Glicken, H., and Ui, T. (1987) Volcanic hazards from Bezymianny- and Bandai-type eruptions. *Bull. Volcanol.*, **49**, 435-459.
- Sparks, R. S. J. and Walker, G. P. L. (1973) The ground surge deposit: a third type of pyroclastic rock. *Nature*, **241**, 62-64.
- Taniguchi, H. (1993) Present situation and plan for the explosion energy estimation of phreatomagmatic explosion. 263-269. *Proc. Int. Seminar on The Physics of Vapor Explosions*. 320 pp.
- Taniguchi, H. and Suzuki-Kamata, K. (1993) Direct measurement of over pressure of a volcanic blast on the June 1991 eruption at Unzen volcano, Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **20**, 89-92.
- 谷口宏充・中田節也・鎌田桂子・三軒一義・鎌田浩毅・松島 健 (1996) 普賢岳火砕流の物理計測の試み. 月刊地球, 号外 No 15, 112-116.
- Valentine, G. A. and Fisher, R. V. (2000) Pyroclastic surges and blasts. In *Encyclopedia of volcanoes*. San Diego (Sigurdsson, H. ed), 571-580. Academic Press, USA.
- Waite, R. D. (1981) Devastating pyroclastic density flow and attendant air fall of May 18 — stratigraphy and sedimentology of deposits. In *Lipmann, P. W. and Mullineaux, D. R. (Eds.). The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington*, (Lipmann, P. W. and Mullineaux, D. R. eds), 439-458. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1250.
- Walker, G. P. L. (1971) Grain-size characteristics of pyroclastic deposit. *J. Geol.*, **79**, 696-714.
- Waters, A. C. and Fisher, R. V. (1971) Base surges and their deposits: Capelinhos and Taal Volcanoes. *J. Volcanol. Geophys. Res.*, **76**, 5596-5614.
- Wholey, K. H. (2001) Pyroclastic surges and compressible two-phase flow. In *From magma to tephra*. (Freundt, A. and Rosi, M. eds) 247-312. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

- Wholetz, K. H. and Sheridan, M. F. (1979) A model of pyroclastic surge. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **180**, 177–193.
- Wholetz, K. H. and Sheridan, M. F. (1983) Hydrovolcanic explosions II: Evolution of basaltic tuff rings and tuff cones. *Amer. J. Sci.*, **283**, 385–413.
- Wilson, C. J. N. and Houghton, B. F. (2000) Pyroclast transport and deposition. In *Encyclopedia of volcanoes* (Sigurdsson, H. ed), 545–554. Academic Press, San Diego, USA.
- 山元孝広 (1998) 安達太良火山西山麓の完新世酸川ラハール堆積物. *火山*, **43**, 61–68.
- 山元孝広・阪口圭一 (2000): テフラ層序からみた安達太良火山, 最近 25 万年間の噴火活動. *地質雑*, **106**, 865–882.
- Yamamoto, T, Nakamura, Y. and Glicken, H. (1999) Pyroclastic density current from the 1888 phreatic eruption of Bandai volcano, NE Japan., *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **90**, 191–207.

(編集担当 川邊禎久)