

天明三年 (1783) の浅間山噴火による降下堆積物に関する
古文書記録と数値シミュレーション

日野 貴之・都司 嘉宣

東京大学地震研究所

(1992年7月16日受理)

*Thickness Distribution of Tephra Ejected in the 1783 Tenmei
Eruption of Asama Volcano as Revealed from Old Documents,
and its Comparison with Result of Numerical Simulation*

Takayuki HINO and Yoshinobu TSUJI

Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

(Received July 16, 1992)

Abstract

Asama Volcano started the Tenmei Eruptive Activity on May 9, 1783, and from July 24 began to make underground rumblings. At noon on July 28 it erupted violently, and smoke and ash were ejected eastward. In that moment, at Edo (present Tokyo) buildings vibrated due to the atmospheric shock waves. The activity of the eruption reached a peak from July 25 to August 8. During the peak stage of the eruption, a great deal of tephra fell on the northwestern Kanto plain, mainly ESE of the crater.

In the present study, we collected descriptions of the thickness of the accumulated tephra from old documents mainly written by village headmen and officials of the clans of Takasaki, Yoshii and Isesaki in Gunma Prefecture, and the clan of Kawagoe in Saitama Prefecture.

Each isothickness line of the distribution of tephra has an elliptic shape with the long axis pointing SSE from the crater. Tephra fall over 6 cm was documented at Fukaya City, 75 km SSE from the crater. At Annaka City the thickness of the accumulated tephra was 19 cm. The isothickness lines show a tendency to extended outward along the valley of the Usui River, a tributary of the Tone River.

The tephra thicknesses just after the eruption mentioned in old documents was generally twice of that at present. It is considered that the tephra layer thickness decreased due to decrease of intervals among particles during the next 200 years.

We performed a numerical simulation of the fallen tephra by the method proposed by Suzuki (1985), who assumed that each particle was thrown out of the smoke column by a convective diffusion process. We used the average wind velocities from 1961 to 1980. We found out that, if we simply apply Suzuki's method, then we need to assume the height of the column as 30 km or more to explain such a wide distribution of tephra. So, we introduced the effect of an umbrella cloud (Woods, 1988). Residence time of each particle in the atmosphere is extended due to convection around the umbrella cloud. Our numerical results show good agreement with

the actual distribution of tephra with the column height of the eruption as 17.4 km.

1. はじめに

荒牧 (1968) によると、現在の浅間山の山体は、黒斑火山、仏岩火山等の古い火山の山体の上に、前掛山が成長して形成されたものである。前掛山は、約 11,000 年前の大規模な軽石流の噴出の後、数千年の休止期をおいて成長を開始した。前掛山の降下堆積物層は約 10 枚数えられ、最上部 3 層は、それぞれ A 層 (1783 年)、B 層 (1108 年)、C 層 (4 世紀頃) と命名されている。これらのうち、もっとも新しい A 層が、浅間山の最後の大噴火であった天明三年 (1783) の噴火による降下堆積物である。天明三年の浅間山噴火は、旧暦 4 月 9 日 (新暦 5 月 9 日、以下新暦による月日をカッコ内に示す) から始まり、6 月末からは、毎日のように噴火が繰り返された。7 月 6 日 (8 月 3 日) から噴火は特に烈しくなり、7 月 7 日 (8 月 4 日) には吾妻火砕流が発生した。7 月 8 日 (8 月 5 日) には、鎌原火砕流が噴出して、大きな災害を引き起こし、同日中には鬼押出溶岩流が流出した。その後噴火は終息に向かった。この間、降下軽石及び火山灰の総量は、 0.17 km^3 にのぼった (荒牧, 1968)。浅間山の天明噴火は、堆積層を形成するような大規模な噴火としては、最も年代の新しいものであることから、これらの降下堆積物については、以下のようないくつかの研究がある。

MINAKAMI (1942) は、この噴火に伴う降下堆積物の厚さについて、数多くの地点で野外調査を行い、詳しい結果を報告した。それによると、降灰の分布は、火口から東南東方向を主軸として、楕円状に伸びている。したがって噴火のピークの時期には、風は東南東方向に吹いていたと考えられる。降灰分布の主軸に近い方向における堆積物の厚さは、例えば火口から 45 km 離れた高崎で約 6 cm、60 km 離れた伊勢崎で約 2 cm である。

荒牧 (1968) は、天明噴火に関係する堆積物を論ずる際に、火砕流の描写や降灰量などの古文書記録にも注目した。そして、MINAKAMI (1942) の測定による堆積層の厚さが、古文書の記録の約半分であることを指摘した。また、その原因については、軽石の粒子に風化の痕跡がないことから、粒子間の間隙が長期間の圧縮で減少したためであろうとしている。

今井・三ヶ田 (1982) は、上述の A 層中の各ユニットの粒径や密度を調査するとともに、古文書の記録を整理し、それぞれの噴出日時について考察した。

東方・小林 (1993) は、A 層、B 層の間にみられる二つの小規模な堆積層の年代について考察し、歴史記録との対応についても言及している。

以上のように、天明噴火の降下堆積物の研究において、噴火現象の状況と時間的推移を知るために古文書の記録が利用されてきた。古文書には、降下火山灰軽石層の二次元的な分布に関する情報も多数記されているが、これらの組織的批判的な整理検討はなされていない (荒牧, 1981)。

降下物の量が少なかった地域では、堆積層が形成されないため、地質学的な痕跡が残らない。また、平野部では、耕作のため堆積層が保存されない場所が多い。このような地域における降灰量の分布を知るためには、古文書の利用は有力な手段である。我々は、古文書のなかに、群馬県をはじめとする関東平野の各地での降下堆積物の厚さの記録が点々と残されているのに注目し、これにもとづいて、浅間山の天明噴火によって噴出さ

れた降下堆積物がどのように分布していたのかを解明することを試みた。本研究では、特に降下堆積物の厚さに関する定量的な記述を対象を絞り、これらを系統的に整理検討することにした。また、古文書によって得られた降下堆積物の厚さの分布を、MINAKAMI (1942) の野外調査による堆積層の厚さと比較した。

SUZUKI (1983) は、火山噴火によって噴出されたテフラが、任意の風速場の影響下で、どのように拡散、降下するかについてのモデルを提案した。そのモデルでは、噴出物の粒径分布、密度、噴煙柱の高さ、火口における噴出速度、噴火時の風速場等を変数として与える必要がある。しかし、浅間山の天明噴火のように近代的な観測データの無い噴火の場合、噴煙柱の高さ、噴火時の風速場等の正確なデータを、古文書から得ることは不可能である。そこでわれわれは、風速場については、近年の観測値を用いることにした。また、その他の変数も常識的に想定しうるいくつかの値を与え、古文書の示す状況と矛盾しない結果が得られるよう試行錯誤を繰り返した。その結果、古文書記録から得られた降灰量の二次元的な分布は、単にSUZUKIのモデルを適用するだけでは説明することが出来なかった。そこで、われわれは、WOODS (1988) の提唱した umbrella cloud の形成によって噴出物の滞空時間が延長される効果をモデルに取り入れ、この問題を解決した。

2. 史料について

浅間山の天明噴火の降灰記録は、富士山の宝永噴火のそれと比較すると、年代が新しいため、質量ともに恵まれている。18世紀の終わりの天明年代になると、世情の安定化に伴い紙と文字教育が普及し、文字を知る人の比率が18世紀初頭にあたる宝永年代に比べて著しく増加した。このため、直接的な被害が出なくても珍しい事件は記録しておこうといったゆとりが人々の間に生じ、災害に限らずあらゆる種類のことがらについて、記録文書が数多く残されるようになったのである。したがって浅間山の天明噴火については、各地の降灰量を知るのに十分な文書量があり、それらを相互に比較することによって、かなり詳しくまた正確に、降下堆積層の厚さの分布を知ることが出来る。

群馬県の地元で、長期にわたって浅間山の天明噴火の史料発掘に努力を重ねた萩原は、手元に集まった古文書を、活字本の史料集として刊行した。これが「天明三年浅間山噴火史料集成」(以下「史料集成」と呼ぶ)である。現在までのところ第Ⅲ巻までが刊行されていて、その総ページ数は約1100ページ(第Ⅲ巻まで)にも及んでいる(萩原; 1985, 1986, 1989)。この「史料集成」には、浅間山の天明噴火に関する主要な文献が数多く網羅されている。

また近世文書の専門家である児玉幸多らは、浅間山北麓の考古学的発掘を目的として、浅間山山麓埋没村落総合調査会を組織し、その活動の一環として、全2巻、本文の総ページ数1200ページにのぼる「天明三年浅間山噴火史料集」(以下「史料集」と呼ぶ)を刊行した(浅間山山麓埋没村落総合調査会; 1989)。「史料集」は、「史料集成」所収の噴火史料のうちいくつかを含み、さらに噴火現象そのものに関する記録のみならず、災害復旧事業や噴火後数十年にわたる後遺症に関する記録など、関連する数多くの史料を収録している。

本研究では、「史料集成」に所収の諸史料を対象に、降灰量に関する定量的な記載に着目して調査した。なお、従来江戸時代以前の噴火記録を調査する際には、武者

(1941)の「増訂大日本地震史料」がよく利用されてきた。浅間山の天明噴火に関する史料も、第二巻の561ページから753ページまでに収録されているが、降灰量に関する良質の記述を含む文献は、ほとんどが「史料集成」にも掲載されているので、今回は武者の史料は参考として見るにとどめた。

3. 調査の対象とした各史料

表1に、今回参照した史料のリストを掲げる。

Aの「川越藩日記」は、川越城内の祐筆の筆記によるもので、公式の報告のみを記録した、信頼度の高い史料である。祐筆とは、貴人の秘書、つまり記録係である。この

表1 降灰量の調査に利用した史料

史料名	著者	成立年代	
A 川越藩日記		天明三年 (1783)	
B 沙降記	伊勢崎藩 家老 関重嶷	天明三年 (1783)	*
C 棚島高堅日記	吉井藩士 棚島高堅	天明三年 (1783)	
D 足利学校庠主千溪日記		天明三年 (1783)	
E 浅間山大変実記	上野国群馬郡渋川宿 蓉藤庵	天明五年晩秋 (1785)	
F 信上両国塚浅間山焼流失砂押聞書	上野国利根郡大原村 金子重右衛門	天明三年冬 (1783)	
G 浅間嶽大焼泥押次第		天明四年五月 (1784)	
H 浅間廼消息	湯浅義保	前半は天明三年 後半は天明四年	
I 浅間山焼覚	上野国群馬郡新堀村 惣代 伝左衛門	天明四年頃? (1784)	
J 浅間山焼記録		天明三年 (1783)	*
K 天明浅嶽砂降記	上野国佐位郡伊勢崎藩 郷方取締役 常見一之	天明四年? (1784)	
L 天明三年七月砂降候以後之記録	上野国新田郡世良田村 毛呂義卿	天明四年頃? (1784)	
M 泥濫鱗	武蔵国榛沢郡深谷宿 向伯輔	天明三年八月 (1783)	
N 砂降泥押浅間山焦之記	武蔵野幡羅郡飯塚村 原口周三	天保年間 (1830-1844)	
O 高崎記録		天明三年? (1783)	
P 癸卯災異記	上野国群馬郡高崎藩儒 川野辺寛	天明三年 (1783)	
Q 砂降り以来三年日記	上野国碓氷郡東上秋間村 石井与左衛門	噴火より一、二 年後	*
R 信州浅間嶽焼荒記	上野国碓氷郡原市 久昌寺住職 満暁	?	
S 浅間山焼大変記(上)砂降場之部	上野国碓氷郡上人見村 彦兵衛	天明四年頃 (1784)	
T 浅間山大焼一件記	上野国甘楽郡菅原村 名主 長左衛門	噴火後間もなく	
U 浅間山焼記	上野国群馬郡大久保村 医師 元龍	?	

右端の欄に*のある史料は、「大日本地震史料 第二巻」にも収録されている。

日記には噴火による災害の状況と藩の対応が、日付けを追って詳しく記録されている。この日記は、「史料集」には、「前橋藩松平家記録 川越」の名称で掲載されている。しかし、この松平家は、明和四年（1767）に前橋から川越に移封されているので、天明年間に書かれたこの日記は「川越藩日記」と呼ぶのが正しいであろう。なお、川越移封後も前橋は松平家の領地として残ったので、前橋には川越藩の陣屋がおかれた。こちらの方でも「川越藩前橋陣屋日記」（「史料集」では「前橋藩松平家記録 前橋」という公式日記が記録されており、川越より被災地に近かったこともあって、浅間山の噴火による災害については、より多くの記録が残されている。しかし、前橋付近の川越藩領では、降灰量はそれほど多くなく、利根川の泥流による被害の方が深刻だった。従って、降灰量に関する記録は比較的少ない。

Bの「沙降記」は、伊勢崎藩の家老、関重嶷の書いた日記であり、公式記録に準ずるものであると考えられる。この文献も、被災地の為政者が、事態の進行をその都度記録したものであり、信憑性は高いといえる。ただし、「川越藩日記」と同様、降灰量に関する記述は少ない。

Cの「棚島高堅日記」は、吉井藩（現在群馬県吉井町）の藩士によって書かれたものである。郡代をはじめとする幕府役人一行の検分による、積もった灰の厚さの測定の結果が、詳細に記録されている。質、量共に充実した好史料であるといえる。

Dの「足利学校庠主日記」は、足利学校の校長格の人物によって書かれたもので、各地の降灰量が記録されている。その多くは伝聞にもとづいた記録なので、やや信頼度は落ちるが、記録地の足利付近についての記述は比較的信頼出来ると思われる。

Eの「浅間山大変実記」の著者は、渋川の識者、吉田芝溪であるとする説がある。しかし、本記録の奥書、「天明五年己巳晩秋記於容藤庵南窓下」の中の「容（蓉カ）藤庵」が、芝溪の書斎名であるという確証はない。降灰については、「古館諸戸大牛八城菅原辺一つぼの砂石三斛壺式升、松井田安中杯（「等」の異体字）ハ三石四五斗」と記されている。この記述の中の降灰量は、特に疑わしいと思われる値ではない。しかし、諸戸・大牛・八城・菅原の4地区それぞれの降灰量の間にはかなりの違いがあることが、「浅間山大焼一件記」の記述からわかる。また、松井田の降灰量が安中の降灰量よりかなり多かったことは、浅間山からの距離の違いを考慮しても、他の多くの史料の記述を参照しても、明らかである。従って「浅間山大変実記」の著者は、記述の態度は客観的ではあるが、降灰量の調査の結果については、詳しい情報を入手していなかったであろうと推測される。

Fの「信上両国堺浅間山焼流失砂押聞書」は、利根郡大原村（現在の群馬県利根郡利根村大原）の富農で、碩学であったといわれる金子重右衛門照泰が、「天明三年冬」に記したものである。「伊勢崎辺壺坪ノ内壺石六斗位有之由」という記述がある。この降灰量は、「沙降記」や「天明浅嶽砂降記」の記述による伊勢崎の降灰量の倍以上の値である。また、「熊谷北道壺石五斗位迄有之候由」というのも、熊谷付近の降灰量としては、かなり大きい値である。このように、他の史料の記述や、全般的な降灰量の分布状況からみて、この文書に記された降灰量は実際より大きい値ではないかと推測される。

Gの「浅間嶽大焼泥押次第」は、著者不明の短編の記録で、成立は天明四年五月である。主に現在の前橋市周辺の地域について書かれており、降灰量についても簡単な記述がある。

Hの「浅間廻(の)消息」の著者は、湯浅義保という人物であるが、詳細は不明である。前半は、代官所が幕府に提出した報告書を中心に記録されている。水戸の降灰量が「三尺」(約90cm)というのは、「三分」(約9mm)の誤りであろう。なお、「廻」は「乃」と同意である。

Iの「浅間山焼覚」は群馬郡新堀村(現在の群馬県前橋市新堀町)の惣代、伝左衛門が、天明四年頃書いたものと思われる。新堀村における降灰量の記述がある。

Jの「浅間山焼記録」は、各代官所や御普請奉行の報告書を収録したものであるが、残念ながら降灰量の記録は少ない。

Kの「天明浅嶽砂降記」は、伊勢崎藩郷方取締役をつとめた常見一之浩斎によって書かれたものである。成立は、おそらく天明四年であろう。噴火や地殻変動に関する筆者の見解などが述べられたユニークな内容であり、降灰量についても良質の記述がある。

Lの「天明三年砂降候以後之記録」は、新田郡世良田村(現在の群馬県新田郡尾島町世良田)の郷土史家、毛呂権蔵義卿が、天明四年ごろ書いたものと思われる。「天明浅嶽砂降記」と同様内容はしっかりしており、降灰量についても、やや不正確な点があるものの、詳しい記述がなされている。

Mの「泥濫觴」の著者は、榛沢郡深谷宿(現在の埼玉県深谷市)の向伯輔という人物で、成立は天明三年八月である。深谷の降灰量についての記述がある。

Nの「砂降泥押浅間山焦之記」の著者は、幡羅郡飯塚村(現在の埼玉県大里郡妻沼町飯塚)の原口周蔵という人物で、成立は天保年間(1830-1844)である。降灰量について、簡単な記述がある。

Oの「高崎記録」は、高崎藩関係の史料と思われるが確証はない。噴火関係の記事は、天明三年のうちに書かれたと考えられる。高崎付近の降灰量について簡単な記述がある。

Pの「癸卯災異記」は、高崎藩儒・川野辺寛が、天明三年に藩命により執筆したものである。降灰量の記述が少しある。

Qの「砂降り以来三年日記」は、碓氷郡東上秋間村(現在の群馬県安中市東上秋間)の石井与左衛門が、噴火より1、2年後に書いたものと思われる。降灰の著しかったこの地方における貴重な記録である。

Rの「信州浅間嶽焼荒記」(浅間嶽焼記)は、碓氷郡原市村(現在の群馬県安中市原市)の成風亭春道(久昌寺の住職満暁)が、噴火後しばらくたってから書いたものである。降灰量については、全体として他文献の値よりやや大きい値を記す傾向があるが、豊富な記述がある。

Sの「浅間山焼大變記(上)砂降場之部」は、碓氷郡上人見村(現在の群馬県碓氷郡松井田町人見)の彦兵衛という人物が、天明四年頃書いたものである。藩役人に対する折衝を中心に書かれており、降灰量の記録は多くない。

Tの「浅間山大焼一件記」の著者は、甘楽郡菅原村(現在の群馬県甘楽郡妙義町菅原)の名主、長左衛門である。噴火後、間もなく書かれた記録である。質、量ともに優れた降灰量の記録を含む。

Uの「浅間山焼記」の著者は、群馬郡大久保村(現在の群馬県北群馬郡吉岡村大久保)の医師、元龍である。各種の伝聞が幅広く記録されており、降灰量の記録も少しある。

4. 史料調査における問題点

各文献の客観性、記述内容の正確さは、著者の居住地、社会的身分、個人の性格などによってまちまちである。概して、知識人によって書かれた文書は、自然現象に対する鋭い観察眼が感じられるものもあるが、情報の正確さについては千差万別であり、慎重な評価が必要である。一方、藩の役人や村役人といった行政担当者によって書かれた文書は、公文書的な筆致である。直接降灰量の測定現場に立ち会ったと思われるケースも多く、降灰量の記録を扱う場合には、利用価値の高い史料であると考えられる。

しかし、公文書的な文書であっても、政策的な意図から事実を曲げて記録したものが存在する。例えば、村方から為政者への報告書には、被害を大きめに訴えようとするものがある。「浅間山焼砂石大変地方御用日記」という文書は、下磯部村（現在の群馬県安中市下磯部）の名主須藤源左衛門によって書かれたものであるが、この記録中には、村役人が灰の厚さを1尺2寸～1尺3寸と報告したのに対し、幕府の公式調査によって、実際は7寸程であるという結論が出されるまでのやりとりが、詳しく記されている。江戸時代の記録には、ときおりこのようなケースがある。

以上のような点を考慮して、調査の対象とした各文献について、記述内容が著者の直接体験か伝聞か、また他の文献の記述や地質調査の結果と大きく矛盾しないかなどの点を吟味し、その記述の信憑性を検討した。

幕府や藩は、領内の被害状況を把握し、年貢の減免などの措置を講じるために、各村落でのより正確な降灰量を知ろうとした。そこで、降灰量の比較的少なかった地域などでは、マス（枡）を使って、1坪（約 3.3 m^2 ）あたりに降り積もった灰の体積が調べられることになった。このような記録は、単純に物差しを灰の中に突き立てて測った記録よりも誤差が少なく、その値はより信頼出来ると考えられる。また、公的な立場にいた人物が、現地調査を行った結果をもとにした記録である場合が多いので、意図的に降灰量を多く報告することも少なかったであろうと思われる。

本研究では、文書が公的なものであるか、私的なものであるかを問わず、1坪あたりに降り積もった灰の体積を、枡で計った値が記されている記録のみから降灰量の分布図を作成することにした。単に降り積もった灰の厚さだけが記述された記録は、参考とするにとどめた。

5. 古文書からわかる降灰の状況

表2は、表1に揚げた各文献に記された降灰量の記録を、地区別にまとめたものである。平均の灰の厚さの算出は、一升枡を縦横4寸9分深さ2寸7分（京枡、この枡で計った1升は約1.8039リットル）、一斗枡を縦横1尺5分深さ5寸9分1厘（約18.131リットル）とし、また1石は10斗として行った。なお、1尺は約30.3cmで、1坪は6尺四方であるから約 3.305 m^2 となる。

古文書から得られた降灰の分布をFig. 1に示す。降灰量の等厚線は、浅間山山頂火口の位置を長軸の一端とする楕円状に広がっており、その主軸は東南東方向である。主軸の方向は、薄い等厚線になるほどやや南に偏る傾向がみられるのは、MINAKAMI (1942) のフィールド調査の結果と共通している。またFig. 1の等厚線の形状を、MINAKAMI (1942) のそれと比較すると、安中付近の等厚線が碓氷川の北側で張り出ししているなど、形がよく似ていることがわかる。

表2 古文書の記録による各地の降灰量

現在の行政区域	場 所	文献	1坪あたりの灰の体積	灰の厚さ
栃木県 足利市	足利 迫間	D	1斗7升	3分
		D	2斗7升	5分
群馬県 前橋市 高崎市	新堀 高崎	I	1石5斗7升	2寸8分
		G	1石8斗~2石1斗	3寸3分~3寸8分
		M	1石6斗	2寸9分
		O	2石1斗~3石3斗	3寸8分~6寸
		P	3石余	5寸4分
	中大類 木部	C	2石4升	3寸7分
	C	2石4斗8升	4寸5分	
伊勢崎市	伊勢崎	B	6斗7升~6斗8升	1寸2分
		F	1石6斗	2寸9分
		K	6斗	1寸1分
	柴	B	1石3斗	2寸4分
		K	1石2斗	2寸2分
植木	L	5斗	9分	
太田市	太田	D	5斗5升	1寸
館林市	館林	D	4斗8升	9分
		K	6斗	1寸1分
藤岡市	藤岡	G	1石8斗~2石1斗	3寸3分~3寸8分
		M	1石6斗	2寸9分
	白石 緑野 金井 下日野 上日野字下府	C	2石	3寸6分
		C	2石	3寸6分
		C	1石2斗3升	2寸2分
		C	1石2斗3升	2寸2分
		C	7斗7升	1寸4分
富岡市	富岡	H	2石	3寸6分
		U	2石	3寸6分
	高瀬上 高瀬下	C	1石7斗	3寸1分
		C	1石5斗6升	2寸8分
安中市	安中 磯部字堂の前 西上磯部 板鼻 東上秋間	E	3石4斗~3石5斗	6寸2分~6寸3分
		C	3石6斗5升	6寸6分
		C	3石5斗5升	6寸4分
		R	4石9斗7升	9寸
		Q	7石2斗	1尺3寸
勢多郡富士見村	漆窪	L	2斗	4分
群馬郡榛名町	上室田字大林	C	1石6斗3升	2寸9分
	下室田字中村	C	1石2斗5升	2寸3分
多野郡吉井町	吉井	C	2石5斗	4寸5分
		H	2石	3寸6分
		U	2石	3寸6分
	片山 矢田 中島 多比良越了野 多比良松田	C	2寸5斗5升	4寸6分
		C	2石2斗	4寸
		C	2石2斗	4寸
		C	1石7斗6升	3寸2分
		C	1石5斗8升	2寸9分
甘楽郡妙義町	行沢 諸戸	T	3石	5寸4分
		E	3石1升~3石2升	5寸4分~5寸5分
		T	2石7斗	4寸9分

表2 (続き)

現在の行政区域	場所	文献	1坪あたりの灰の体積	灰の厚さ	
	菅原	E	3石1升~3石2升	5寸4分~5寸5分	
		T	1石8升	2寸	
	大牛	E	3石1升~3石2升	5寸4分~5寸5分	
		T	3石5斗	6寸3分	
	下仁田町	古立	E	3石1升~3石2升	5寸4分~5寸5分
		上小坂	T	7斗余	1寸3分
碓氷郡松井田町	松井田	E	3石4斗~3石5斗	6寸2分~6寸3分	
	下人見	C	3石8斗9升	7寸	
	下人見字下原	C	2石9斗5升	5寸3分	
	上人見字塚原	C	3石4斗6升	6寸3分	
	高野谷戸	S	3石6斗~4石2斗	6寸5分~7寸6分	
	増田	T	7石	1尺2寸7分	
	行田	T	3石5斗	6寸3分	
	八城	E	3石1升~3石2升	5寸4分~5寸5分	
		T	4石9斗5升	9寸	
	五料	T	5石8斗	1尺5分	
	五料之内中木	T	9石8斗~9石9斗	1尺7寸7分~1尺7寸9分	
佐波郡境町	境	D	1石3斗	2寸4分	
	伊与久	B	7斗2升~7斗3升	1寸3分	
	平塚	K	2石	3寸6分	
	玉村町	玉村	J	1石5斗3升	2寸8分
		U	1石5斗3升	2寸8分	
茂木		C	1石3斗5升	2寸4分	
新田郡尾島町 新田町	世良田	L	9斗8升~1石	1寸8分	
	赤堀	F	5斗	9分	
埼玉県	川越市	川越	A	3升~4升	1分
	熊谷市	熊谷	F	1石5斗	2寸7分
	本庄市	本庄	M	1石6斗	2寸9分
	羽生市	下村君	L	5斗9升	1寸1分
	深谷市	深谷	M	9斗5升~1石6斗6升	1寸7分~3寸
		一里北	M	1石3斗	2寸4分
		荻原	L	1石5斗	2寸7分
幡羅郡 妻沼町	飯塚	N	7升~1斗	2分	

「場所」の欄、次の欄のアルファベット記号は、その記録を有する史料を示すもので、表1の左端の欄のアルファベット記号に対応している。また「灰の厚さ」は、「一坪あたりの灰の量」から算出（計算の方法については本文を参照）した値である。1寸=3.03cm, 10分=1寸。

史料から得られた各地の降灰量の値は、安中6寸強、富岡3寸9分、藤岡3寸程、前橋2寸8分、深谷1寸7分である。

高崎の降灰量については、Gの「浅間嶽大焼泥押次第」に「降積る砂は高崎藤岡辺都て1坪に1石8、9斗あるいは2石1斗」（3寸3分~3寸8分）、Mの「泥濫觴」に「藤岡、高崎辺1石6斗までに及ぶ」（2寸9分）、Oの「高崎記録」に3寸8分~6寸、Pの「癸卯災異記」に5寸4分とある。火口からの距離からみて、高崎の降灰量は、藤岡より多かったと考えられるので、高崎と藤岡を連記したGやMの記述内容が、藤岡

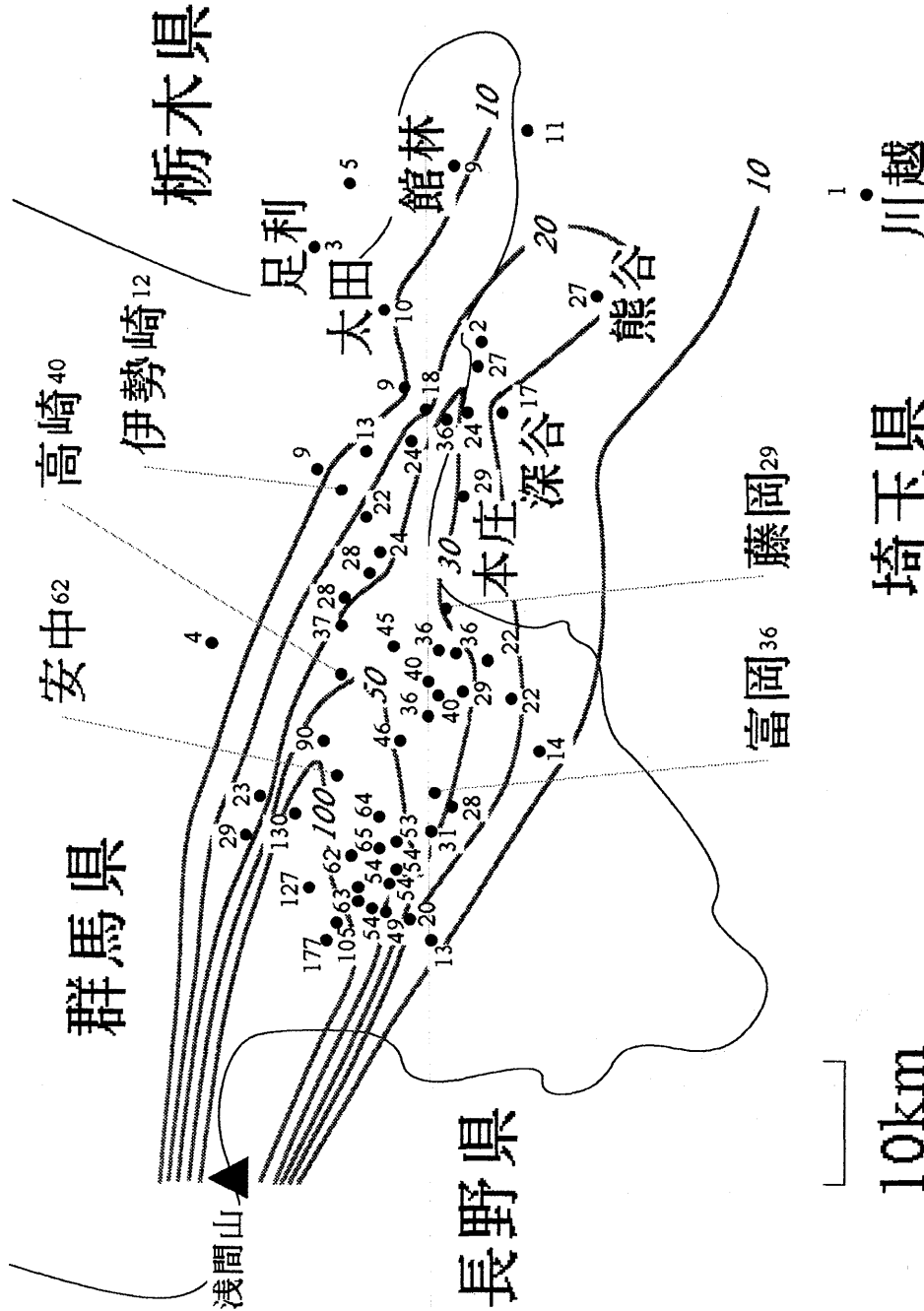


Fig. 1 Isothickness of the accumulated tephra of the 1783 Tenmei Eruption of Asama Volcano. Black circles show the places where the thickness record exists and numerals show thickness (unit 0.1 "sun", 1 "sun" is 3.03 cm). The number attached to each contour line shows thickness (unit 0.1 "sun").

における情報を主としたものであるとすれば、高崎の降灰量は G や M の記述内容より大きかった可能性がある。「高崎記録」は、藩の公式記録とみられる文献なので、記述に大きな間違いはないであろう。また火口からみて、高崎より遠い地点である高崎市中大類の降灰量は、C の「棚島高堅日記」によると 3 寸 7 分である。したがって、高崎の降灰量は約 4 寸であろうと推定される。

伊勢崎の降灰量については、B の「沙降記」に 1 寸 2 分、F の「信上両国堺浅間山焼流失砂押聞書」に 2 寸 9 分、K の「天明浅嶽砂降記」に 1 寸 1 分とある。「沙降記」は伊勢崎藩の家老、「天明浅嶽砂降記」は伊勢崎藩の郷方取締役が書いた文書であるのに対し、「信上両国堺浅間山焼流失砂押聞書」は、伊勢崎から 30 km 以上離れた利根郡利根村で書かれた文書であることから、伊勢崎における降灰量は 1 寸強であったと考えるのが妥当であろう。

甘楽郡妙義町の諸戸、菅原、大牛については、E の「浅間大変実記」と T の「浅間山大焼一見記」の両方に降灰量の記録があるが、次のような点から、T の「浅間山大焼一見記」の記述がより正確なものであろうと判断出来る。

(1) 「浅間大変実記」は、妙義町から約 30 km 離れた渋川市で書かれた文書であるのに対し、「浅間山大焼一見記」は、妙義町の菅原で書かれた文書であること。

(2) 「浅間大変実記」は噴火後二年以上たってから書かれた文書であるのに対し、「浅間山大焼一見記」は、噴火後すぐに書かれたと思われる文書であること。

(3) 「浅間大変実記」は、単なる有識者が書いた文書であるのに対し、「浅間山大焼一見記」は、村の行政担当者(名主)が書いた文書であり、しかも著者の記述の姿勢に客観性があること。

(4) 「浅間大変実記」には「古館諸戸大牛八城菅原辺一つほの砂石三斛壹式升」という記述であるのに対し、「浅間山大焼一見記」には、各地区について独立の数字があげられていること。

1 寸以上の降灰があった地域は、火口から約 90 km までのびている。火口にもっとも近い記録は、松井田駅から西北西約 5 km の、松井田町五料中木におけるもので、1 尺 7 寸 7 分である。ここより火口に近い場所では、枡を用いて降灰の量を測った記録が見つからなかった。これは、降灰量が非常に多い地域では、枡による測定では手間がかかりすぎるため、もっぱら物差しを灰の中に立てて測定を行ったからであろう。

MINAKAMI (1942) の調査は、浅間山東麓から東、軽井沢、碓氷峠から横川にかけての山岳地域で、密になされている。安中から高崎にかけての平野部では、当時、堆積層の調査が可能な未耕作地として残されていた丘陵地等においてのみ、調査が行われたらしく、調査点の分布にはかなりの偏りがある。さらに高崎以東の調査点の配置は希薄である。農耕地においては、降灰の直後から、直ちに人工の手が加えられたであろうから、1942 年時点までに農耕地として開拓された土地が、MINAKAMI の調査の対象とされなかったのは当然である。

一方、われわれの扱う古文書は、天明噴火直後の田畑の被害状況を調査する目的から作成されたものが大部分である。このため、浅間山から横川にかけての山岳地域の情報は少なく、農耕地の広がっていた安中、高崎、さらに関東平野中央部に至る平野部において、比較的均等に分布する情報が得られる。この意味で、Fig. 1 は、MINAKAMI の調査結果と相補的な意味合いを持っているといえる。

表3 野外調査による灰の厚さと古文書による灰の厚さの比較

場所	Minakami (1942) による 灰の厚さ (単位は cm)	古文書による灰の厚さ (単位は cm)
高崎	7	8.8~18.2
藤岡	5	8.8~11.5
磯部	10~18	19.4~20.0
板鼻	12~14	27.3
上室田	2	8.8
下室田	1~4	7.0
片山	5~6	13.9
矢田	3~4.5	12.1
諸戸	8~10	14.8~16.7
菅原	3	6.1~16.7
人見	5~6	16.1~21.2
増田	24~25	38.5
八城	8~15	16.4~27.3

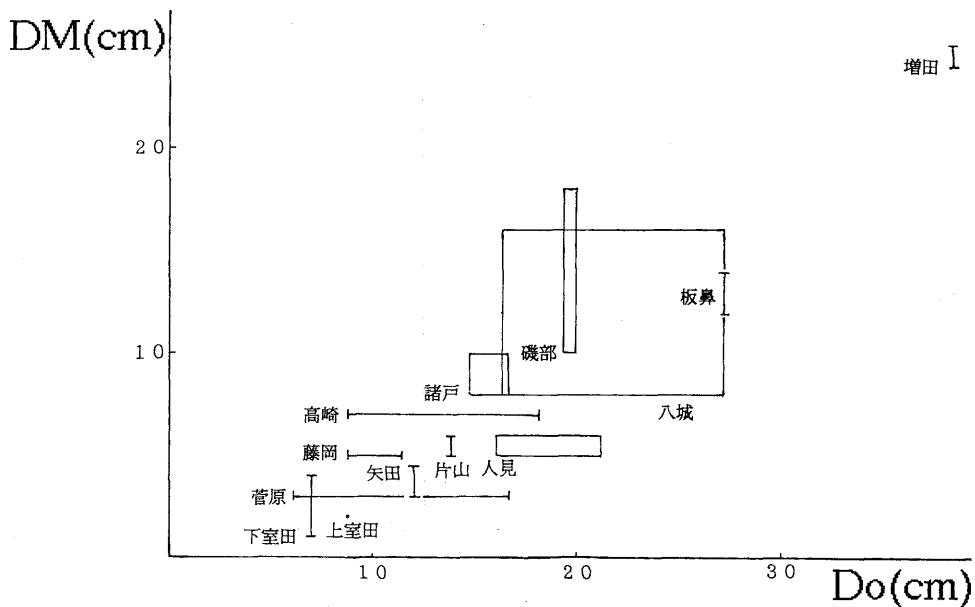


Fig. 2 Comparison of the thicknesses of accumulated tephra recorded in old documents (Do) to that of the result of the field survey conducted by MINAKAMI (1941) (DM). Vertical and horizontal bars show variation ranges of values of Do and DM for each place, respectively. Rectangles show variations of Do and DM.

古文書の記述による降灰量の値を、MINAKAMI (1942) の堆積物調査の結果と比較したのが、表3である。また、両者の関係を図化したのが Fig. 2 である。長方形で示されている地点は、両方の調査結果ともに、その長方形の範囲のばらつきを持っていることを示している。

MINAKAMI のデータ、古文書のデータともに同じ程度のばらつきがみられ、合理的な等厚線の引きにくい分布を示している。MINAKAMI のデータは、地形が複雑に入り組ん

だ山岳部を主とした、特定の地点での測定値である。従って、降灰の分布がばらつく原因として、傾斜などの地形条件、植生、降灰着地時の地上付近のローカルな風の場の条件、いったん着地して層をなした後の風や地表流水による移動などが考えられる。一方古文書のデータは、地形の単調な平野内の農耕地において、一定面積内の平均値を記録したものであるので、上述のような原因によるばらつきは幾分少ないと思われる。また、古文書の記録は、降灰直後の状態で測定された結果を記したものであるから、農耕など人工的な影響は生じていないであろう。ただし、調査時や伝聞過程における誤りがそのまま記録として固定された可能性については、十分吟味しなければならない。

以上のような観点から、近距離にある地点同士の間でも、堆積層の厚さにかかなりのばらつきがあったことは事実であろうと推察される。従って、同一の村落の降灰量について、文献によって異なる値が記述されている場合でも、ある記述が正しく他は間違っていると安易に断定することは危険である。

古文書記録による降灰の層厚は、MINAKAMIの実測の概ね2倍程度の値となっている。例えば、火口から約45 kmの東南東に位置する高崎についてみると、MINAKAMI(1942)の7 cmという結果に対し、古文書では8.8~18.2 cmという値になっている。荒牧(1968)は、天明噴火によって堆積したAスコリア層を構成する軽石の粒子に、風化作用等による変形の痕跡が無いことから、長い年月のうちに粒子相互間の空隙が減少して層厚が薄くなる、圧密の効果によるものであろうと指摘した。これが体積減少の主な原因であろうが、風や水による噴火直後の浸食もまた一つの原因と考えられる。小屋口ら(1992)は、1991年のフィリピンのPinatubo火山の噴火後、堆積した火山灰の最上層だけが、数カ月間に2割程度厚さを減じていることを報告している。

古文書の記述をみると、ごく少量の火山灰は、かなり広い方角に、しかも相当遠距離まで降ったことがわかる。例えば、北の方では、岩手県地方にまで降灰の記録が存在する。これは、噴火の期間が数カ月にわたり、その間に風向きや風の強さに変化があったためであると考えられる。

また、降下物の粒径については、火口から約15 kmの碓氷峠で「四方1尺5、6寸位(45~48 cm)の大石に火付てながら焼飛来り」(信濃浅間山大変日記)、火口から約30 kmの妙義町菅原で「一、石大きさ1寸(3 cm)四方より3寸5、6分(10.5~10.8 cm)四方まで」(浅間山大焼一件記)、火口から約50 kmの藤岡市下日野で「大豆5、6粒あるいは2、3粒合わせたその内にも1寸2寸四方の焼石時々交る、もっとも細かなる砂交る」(明和安永記)とある。しかし、MINAKAMIは、火口から20 kmの地点における、最も大きな軽石5個の平均粒径は4.4 cmであったと報告している。古文書にあらわれたこれらの記述には、「その内にも……時々交る」といった表記もあり、降下物の全てがこのような大きな石塊から成っていたと解するのは誤りであろう。砂状の降下物のなかに、時としてこのような大きな礫が交じっていたものと思われる。従って、後述の降灰の数値シミュレーションにおいて、噴出物の粒径分布を仮定する際に、上記のような、古文書中に「ときどき交じる」などと表現された礫のサイズの大きさを、標準的な降下物の粒径に近いものとみなすことは出来ない。

6. SUZUKI (1983) の渦動拡散モデルについて

古文書の記録から得られた降灰量の分布と比較するため、データの多い数十 km のス

ケールを考えた数値実験を行った。「1. はじめに」で述べたように、近代的な観測データの無い噴火を対象とする場合、風速場、噴煙柱の高さ、噴火口からの噴出速度などの基本的なパラメーターを、古文書の記録から正確に知ることは不可能である。ここで行ったシミュレーション計算では、常識的な範囲内で仮定した大まかな値を幾通りか与えて、古文書に記録された降灰量の二次元的な分布と矛盾しない結果が得られるかどうかを確認することを目的とした。

SUZUKI (1983) は大気中における水平二次元渦動拡散モデルを用いて、拡散源について一定の初期密度分布を仮定し、さらに風速と、降下火砕堆積物の一般的な分布の形とを与えて火山堆積物に対する数値実験を行っている。また、鈴木 (1985) では、具体例として有珠山の 1977 年の降下火砕堆積物に、この手法を適用している。

SUZUKI (1983) の手法の特徴は、拡散源として、点状ではなく、高さ方向に伸びた線状のものを仮定して、実際の火山灰分布を、よりよく説明している点である。火山が噴火しているときには火口の上空には噴出物による噴煙柱が形成される。SUZUKI のモデルでは、火口から噴出した火山灰粒子が、ガス流にのって噴煙柱内を垂直上方に上昇し、ある高さから噴煙柱を離れて重力と風の場に従って拡散と降下を始めると考えるのである。火口から上空に向かって投げ出された噴出物は様々な粒径の石 (粒子) からなっているはずであるが、特にそのうち、粒径が d である粒子だけに注目する。粒径 d の噴出物のなかにも、噴煙柱の中で高い大気層にまで達するものもあれば、火口に近い低い高さのところで、噴煙柱を離れるものもあるであろう。いま仮に、火口から単位時間内に噴煙柱のなかに投げ出される粒径 d の噴出物の全体量を 1 とし、そのうち高さ z まで達してそこから噴煙柱を離れるものの比率を「拡散比率」と呼ぶことにし、 $P(d, z)$ と表記する。鈴木 (1985) は $P(d, z)$ を、次のような関数形として与えた。

$$P(d, z) = \frac{\beta W_0 Y \exp(-Y)}{V_0(d) \cdot H \cdot [1 - (1+Y) \exp(-Y_0)]} \quad (1)$$

H は噴煙柱の高さである。拡散比率 $P(d, z)$ は、 $z = 0$ から $z = H(1 - V_0/W_0)$ まで積分したとき、1 となるように与えられている。つまり、 $H > z > H(1 - V_0/W_0)$ の範囲では、(1) 式の通りに計算すると、 $P(d, z) < 0$ となってしまうので、その範囲の高さでは、 $P(d, z) = 0$ とする。従って、粒径 d の粒子は、噴煙柱の上端 $z = H$ まで上昇することはなく、最高でも $z = H(1 - V_0/W_0)$ までしか行かないことになる。 Y 及び Y_0 は、

$$Y = \frac{\beta |W(z) - V_0(d)|}{V_0(d)} \quad (2)$$

及び

$$Y_0 = \frac{\beta |W_0 - V_0(d)|}{V_0(d)} \quad (3)$$

で与えられる。ここで β は、噴煙柱からの飛び出しにくさを示す係数で、 β が大きいほど噴煙柱の上部から飛び出す火山灰粒子の割合が多くなる。つまり、 β を大きくすると、噴出物はより遠方に達する結果となる。 β は、拡散量が最大となる高さに関係している。

$W(z)$ は高さ z におけるガス流の上昇速度で、 W_0 は火口 ($z=0$ とする) におけるガス流の上昇速度である。

鈴木は、 W_0 及び W の単位を [m/s] とし、 H の単位を [m] としたとき、 W_0 及び W と噴煙柱の高さ H の間の関係を、次の (4)、(5) 式のように仮定した

$$W_0 = (H/0.22)^{0.5} \quad (4)$$

$$W(z) = W_0 (1-z/H) \quad (5)$$

V_0 は、地表の大気中での火山灰粒子の終端速度で、鈴木 (1985) によると、

$$V_0 = \frac{\rho_p g d^2}{9\eta_a F^{-0.32} + \sqrt{81\eta_a^2 F^{-0.64} + 1.5\rho_a \rho_p g d^3 \sqrt{1.07-F}}} \quad (6)$$

で与えられる。 ρ_p は粒子の密度、 g は重力加速度、 F は形状パラメーターで、SUZUKI (1983) によれば粒子が球である場合、 $F=1$ となる。粒子が紙のような空気抵抗の大きい平たい形状をしている場合には、 F の値は小さくなる。 η_a 、 ρ_a は、地表付近における空気の粘性率及び密度である。

鈴木 (1985) によれば、粒子の降下時間 (拡散時間) T と V_0 の間には、

$$T = \frac{z}{V_0 \cdot (1 + \alpha z)} \quad (7)$$

という近似式が成り立つ。本計算では、 $\alpha=0.010$ [1/km] とした。

噴出物の粒度組成については、正規対数分布 (中央粒径 d_m 、標準偏差 σ_d) を仮定する。すなわち、粒径 d の粒子が総量に対してしめる比率を $dq(d)$ とすると、

$$dq(d) = f(\log_{10} d) \cdot d(\log_{10} d) \quad (8)$$

$$f(\log_{10} d) = \frac{\exp[-\{(\log_{10} d - \log_{10} d_m)/2\sigma_d\}^2]}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_d} \quad (9)$$

となる。火山灰粒子が、噴煙中の高さ z 近傍の、幅 dz から大気中へ拡散していく量を $q(d, z)$ とすると、

$$q(d, z) = Q \cdot dq(d) \cdot P(d, z) \cdot dz \quad (10)$$

となる。ここで、 Q は噴出物の総量である。

以上のようにして拡散時間 t と拡散量 q が決まると、水平二次元渦動拡散の方程式を解くことにより、拡散物質の地上降下量の面密度 χ が次式のように求まる。本研究のシミュレーションでは、渦動拡散率 K を一定値 5000 [m²/s] としたが、その場合の χ は次のようになる。

$$\chi = \frac{q}{4\pi KT} \exp[-\{(x-U_x T)^2 + (y-U_y T)^2\}/4KT] \quad (11)$$

U_x 及び U_y は、それぞれ、粒子が降下する際に作用する平均風速場の x 成分と y 成分である。本研究では、理科年表の館野（茨城県つくば市長峰の気象研究所）における7月の午後9時の風速と風向について、1961年から1980年までの20年間の平均値をもとにして、高度別の風速場を計算し、その結果と(7)式によって U_x 及び U_y を計算した。

7. 浅間山の天明噴火へのモデルの適用

浅間山の天明噴火は、規模の異なる複数の噴火を含む長期間の噴火である。古文書によれば、最大規模の噴火は旧暦で天明3年7月6日（現行暦8月3日）の夜から始まり、翌7日の夜に特に甚だしくなり、8日まで継続した。この日以後は、堆積層を形成するほどの噴出物を伴う噴火活動は起こっていない。

今井・三ヶ田（1982）によって行われた、浅間火口から東に4kmの地点（東京大学地震研究所浅間観測所付近）での堆積物のサンプリング調査によれば、全体の厚さ2mに及ぶ降下堆積層のうち、最下部の約45cmの部分が7月2日（現行暦7月30日）以前に噴出したものである（第1期とする）。また7月5日、6日の両日の活動によるものがその上の約10cmの堆積層を形成した（第2期）。それ以外の約130cmの厚さに及ぶ層は、7月7日（現行暦8月4日）から7月8日までの活動によるものであると判定された（第3期）。すなわち、浅間火口近くのこの調査地点においては、天明噴火で形成された火山灰層の3分の2は、噴火の第3期、7月7日から翌7月8日にかけての2日間に形成されたものであったことになる。この降下堆積層全体に占める第3期の噴出物の比率は、火口からより遠方に離れる程高くなると予想される。

多くの古文書記録を見ると、遠方の平野部においては、火山灰の降下が特に著しかったのは、7月7日の夜から翌8日の午前までの約十数時間であったことがわかる。しかし、実際には、この第3期の十数時間ほどの間も、何度かの噴火と小康状態を繰り返していたはずであって、その度に高さの異なる噴煙柱が形成され、噴出物の平均粒径も毎回違った値を持っていたであろう。事実、今井・三ヶ田の堆積物の調査では、11層が確認されている。すなわち、火口から遠方の平野部に積もった降下堆積層の大部分が、第3期の正味十数時間程の時間内に噴出されたものであるとしても、この十数時間を単一の噴火と扱ってモデル化することは、慎重を要する。

実際には n 回の小噴火があったとして、それぞれの小噴火について(10)式と同様の式を考えると、 q_n は、噴出物量 Q_n 、粒径分布 q_n 、拡散比率 P_n を用いて

$$q_n(d, z) = Q_n \cdot dq_n(d) \cdot P_n(d, z) \cdot dz \quad (12)$$

となる。全体を通しての q_{total} は、個々の噴火の q_n の重ね合わせとして

$$q_{\text{total}}(d, z) = q_1(d, z) + q_2(d, z) + q_3(d, z) + \dots \quad (13)$$

で与えられることになる。理想的には、 n 回の小噴火が繰り返された場合、個々の小噴火についてそれぞれ異なるパラメーターを与えて独立の計算を行い、(13)式中の q_1 、 q_2 、 q_3 、 \dots を算出し、その結果を重ね合わせて $q_{\text{total}}(d, z)$ を求めてシミュレーションするのが望ましい。しかし、浅間山の天明噴火に関しては、 n 回の小噴火のそれぞれについて、噴煙柱の高さ等の情報を得ることは困難である。

今井・三ヶ田の調査結果などからみて、噴出物の粒径分布は、それぞれの小噴火の間でそれほど極端には違わないと考えられる。問題となるのは、噴煙柱の高さの相違の影響である。一連の噴火全体を単一の噴煙柱のモデルで表現しようとする場合、噴出物の平均粒径がほぼ等しかったと仮定すれば、単一噴煙柱モデルからの噴出物の高度別拡散量は、各小噴火の高度別拡散量の単純な重ね合わせとなっているはずである。

一連の噴火全体の総和を一つの関数 q_{total} で近似表現するのは、 n 個の小噴火それぞれについて、 q_1, q_2, q_3, \dots を n 個の関数で近似表現する場合と比較して精度が落ちるのは当然である。しかし、単純なモデル計算を目的とする場合には、差し支えないと判断した。

8. シミュレーションにおける問題点

このシミュレーションでは、先に述べたように、上空の風速場として館野の20年間の観測平均値を与えた。上述の式において、 F の値は0.5と固定した。また、常識的な値の範囲として、平均粒径は0.8 mmから2 mmまで、標準偏差 σ_d は0.4から1.0まで、 β は0.05から0.5までのケースを計算した。以上のパラメーターの他に噴煙柱の高さ H を与えれば、SUZUKIの各式によって堆積層の厚さの二次元的な分布を計算することが出来る。

各変数を上述の範囲で変化させ、多くのケースの数値計算を行った結果、古記録から得られた降灰分布パターンの広がりの説明するためには、噴煙柱の高さを30 km~50 kmといった非常に大きな値にしなければならないことがわかった。1991年のフィリピンのPinatubo火山の大噴火ですら噴煙柱の高さは30 km弱とされている。浅間山の天明噴火の規模は、1991年のPinatubo噴火のそれには及ばないであろう。またWILSON et al. (1978)によれば、1956年のBezymiannyの噴火は、噴出率が230,000 m³/sで約30分間継続した。この割合だと天明浅間噴火の全噴出量に相当する量の噴出物(0.17 km)は、わずか74秒間で噴出されたことになる。この時の噴煙柱の高さが、36~45 kmであったと報告されている。

以上のような事実から、浅間山の天明噴火の噴煙柱の高さが30~50 kmに達したとは考えにくい。SUZUKI (1983)の手法をそのまま適用しても、火山灰の到達距離を説明することが出来ないのである。従って、噴煙柱の高さが低くても、火山灰が遠方まで運ばれるように、モデルを修正する必要がある。

9. Umbrella Cloudの効果を考慮したモデル

WOODS (1988)によれば、噴煙柱が1万数千 mに達するような大規模な噴火においては、噴煙柱内のガスの密度が周囲の空気の密度とつり合う高度において、噴煙が水平方向に広がり、umbrella cloudが形成される。umbrella cloudは、水平方向に広がる際に周囲の空気を巻き込み、乱流が生じる。火山灰粒子はumbrella cloudの内部にトラップされしばらく落下しない。天明噴火の火山灰が予想されるよりも遠方まで運ばれたのは、火山灰粒子が形成されたumbrella cloud内にしばらく留まり、umbrella cloudごと偏西風によって東方に流されたためと考えられる。

高層上空の風速分布は、偏西風のため総じて東向きであるが、下ほど北向き成分が卓越し、上へいくほど南向き成分が卓越している。降灰分布の主軸の方向はFig. 1に見

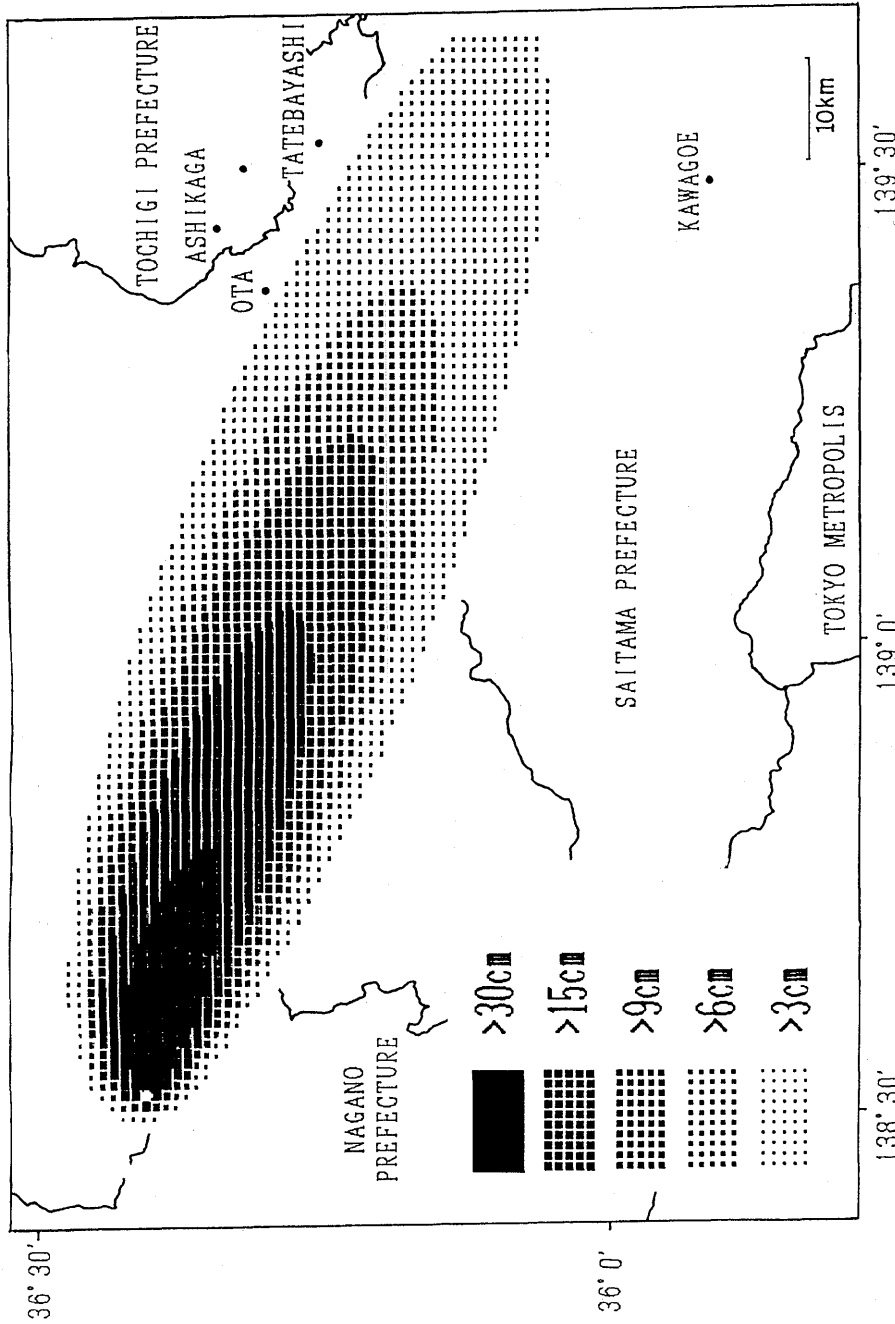


Fig. 3 Numerically calculated tephra thickness by the method of Suzuki (1985). The average diameter of tephra is assumed to be 0.1 cm.

られるように、浅間火口から東南東方向である。このことは、噴出物を巻き込んだ umbrella cloud が、東南東方向に流されたことを示唆している。従って、この降灰分布の主軸方向と一致する向きの風が卓越する高度付近に、umbrella cloud が形成されていたと推定される。これに加えて、umbrella cloud の厚みが通常数 km であることも考慮し、試行錯誤しながら、多くのモデルについて計算を繰り返した。その結果、噴煙柱の高さ $H=17,400$ m、形成される umbrella cloud の下面の高度を $14,000$ m、 $\beta=0.25$ 、平均粒径 $d_m=0.1$ cm、その標準偏差 $\sigma_d=0.8$ 、 $F=0.5$ とした場合の結果が、古記録から得られた降灰量の分布と最もよく一致した。計算に際しては、火山灰粒子が $14,000$ m 以上の高度にある時には umbrella cloud 内に存在していると考え、滞空時間を普通に降下する場合の 6 倍と仮定した。

以上の条件を与えた場合の計算結果を Fig. 3 に示す。この結果を、古文書より得られた降灰分布と比較すると、薄い等厚線ほど主軸が南に偏るという傾向が共通している。また、等厚線の間隔や形状も、ある程度類似していることがわかる。ただし、火口に近い所は実際より火山灰の分布の広がりが大きく、火口から遠い所では実際より広がり小さい。これは、粒径によって umbrella cloud 内に留まる時間がかかなり異なるためであろうと考えられる。従って、一律に通常の 6 倍の滞空時間を与えるのではなく、粒径が小さくなるほど umbrella cloud の効果を大きく見積る必要があると思われる。

平均粒径 d_m の 0.1 cm という値は、鈴木 (1985) の有珠山噴火 (1977) の場合と比較すると、かなり大きめの値であるが、噴火の規模を考えると妥当な値と考えられる。一方粒径の標準偏差 σ_D の 0.8 は、かなり大きい値である。

なお、以上のパラメーターを用い、かつ umbrella cloud の効果を考慮した場合、 $17,000$ m の高さから降下する粒子の降下に要する時間 T は、粒径 1 cm で約 34 分、粒径 1 mm で約 113 分、粒径 0.1 mm で約 34 時間となる。古文書記録にも、噴火の終息した翌日の 7 月 9 日に、細かい火山灰が、関東平野各地に降下したという記述があり、数十時間空中に留まった後、降下してくる粒子の存在を示唆している。

10. 今後の課題

本研究で取り上げた史料以外にも、降灰に関する定量的な記述を含む史料は数多くあり、それらの記述と今回の調査結果を比較検討するのは、今後の課題である。噴火に関する総合的な史料集の編纂は、武者以後あまり行われていないため、新史料の收拾も必要であろう。また、数多くの地点で堆積物の粒度分布を調査し、シミュレーション計算の基礎データとすれば、より精密な計算が可能になるであろう。また、umbrella cloud の効果は、滞空時間を単純に 6 倍に引き延ばすという便宜的な方法で解決している。より説得力のあるモデル化のためには、umbrella cloud の形成を含め、火山噴出物の挙動が、専門家によって熱力学的、流体力学的に研究、解明されることが必要であろう。

本研究では、浅間山の天明噴火の降灰状況について、夏期の平均的な上空の風速場を仮定して計算し、かなりよい一致を得ることができた。一方富士山の宝永噴火は 12 月であったが、火山灰は真西よりも北寄りに流されている。これもまた、冬期の平均的な上空の風向と一致している。以上のような事実を考慮すると、噴火の規模を仮定し、その季節の平均的な上空の風速を用いれば、季節ごとの予想される火山灰降下の状況を計算出来ると思われる。特に偏西風の卓越する高度では、風速と風向の年間の変化はかな

り一定していると思われるので、噴煙柱の高さがこの高度を超えるような噴火については精度の良い予想ができそうである。

例えば、天明噴火と同じ規模の噴火が冬期におこった場合、風向と風速が通常の状態であれば、降灰の主軸はおおむね前橋-桐生-宇都宮という北寄りの方向となるだろう。影響を受ける地域はより人口密度の少ない場所となるが、冬期の上空の西風の速度は夏期の数倍に達するため、火山灰がより遠方に運ばれ影響の範囲は拡大することなどが予測出来る。このようなハザードアセスメントは、簡単な計算で行うことが出来るので、いくつかのケースを想定して降灰被害予測マップを作成し、防災資料として活用することが望まれる。

11. 謝 辞

この研究にあたり、東京大学地震研究所の小屋口剛博助教授、北海道大学の荒牧重雄教授ならびに日比谷紀之助教授には、さまざまな御教示をいただきました。また、査読者の方には、多くの労力と時間をかけて、多岐にわたる問題点を指摘していただきました。ここに厚く謝意を表します。

参考文献

- 浅間山麓埋没村落総合調査会, 1989, 天明三年浅間山噴火史料集, 全2巻, 東京大学出版会, 上巻 pp 656, 下巻 pp 544.
- 荒牧重雄, 1968, 浅間火山の地質, 地学団体研究会専報, 14, pp 45.
- 荒牧重雄, 1981, 自然災害特別研究成果, p. 50-82, 自然災害科学総合研究班.
- 萩原 進, 1985, 浅間山天明噴火史料集成, I, 日記編, 群馬県文化事業振興会, pp 327.
- 萩原 進, 1986, 浅間山天明噴火史料集成, II, 記録編 (一), 群馬県文化事業振興会, pp 348.
- 萩原 進, 1989, 浅間山天明噴火史料集成, III, 記録編 (二), 群馬県文化事業振興会, pp 381.
- 今井 博・三ヶ田均, 1982, 1783年天明三年浅間火山噴火に伴うテフラと古文書の研究, 火山, 2, 27, 27-43.
- 小屋口剛博, 徳野正己, LISTANCO E.L., 1992, フィリピン, ピナツボ火山の噴火: 6月末現在に得られた情報の概要, 文部省科学研究費科学研究費 (No. 03306021) 総合研究 (A) 研究成果 1991年フィリピン, ピナツボ火山噴火災害の調査研究, 17-22.
- MINAKAMI, 1942, On the Distribution of Volcanic Ejecta. (Part II) The Distribution of Mt. Asama Pumice in 1783, 東京大学地震研究所彙報, 20, 431-504.
- 武者金吉, 1941, 「増訂大日本地震史料」(第二巻), 鳴鳳社, pp 754.
- SUZUKI T., 1983, A theoretical model for dispersion of tephra, *Advances in Earth and Planetary Sciences (AEPS)*, p. 95-113, Terra Scientific Pub.
- 鈴木健夫, 1985, 有珠山1977年降下火砕堆積物の渦動拡散モデルによる解析, 火山, 2, 30, 231-251.
- 東方明弘, 小林哲夫, 1993, 浅間火山天明噴火の推移とA'・B'噴火の年代, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, J41-09, 317.
- WILSON L., SPARKS R.S.J., HUANG T.C. and WATKINS N.D., 1978, The control of volcanic column height dynamics by eruption energetics and dynamics, *J. Geophys. Res.*, 83 [b4], 1829-1836.
- WOODS A.W., 1988, The fluid dynamics and thermodynamics of eruption columns, *Bull. Volcanol.*, 50, 169-193.