

既存柱状図と GIS を用いた前橋泥流堆積物の体積の推定

吉田 英嗣*

Volumetric Analysis of the Maebashi Mud Flow Deposit
Based on Borehole Columns and GIS

Hidetsugu YOSHIDA *

Abstract

The Maebashi mud flow deposit is distributed to the northwestern part of the Kanto Plain, central Japan. This deposit is considered to be a part of the debris avalanche deposit which accompanies with the large-scale destruction of Asama volcanic cone. The event is supposed to have occurred about 24000 years before. Both the surface and the basal contours of the Maebashi mud flow deposit are reconstructed based on borehole columns using GIS software to calculate the volume of the deposit. The volume is estimated $3.98 \times 10^9 \text{ m}^3$ in the study area. This value suggests that the Maebashi mud flow event has given a decisive impact to the geomorphic development of this region.

Key words: *Maebashi mud flow deposit, volume, GIS, borehole columns.*

1. は じ め に

上流部に第四紀火山を有する河川流域では、恒常的な河川プロセスによる土砂供給に加え、ときに火山イベントを起源とする大規模な土砂供給が、地形形成に大きな影響を与える。成層火山体の崩壊に伴う岩屑流堆積物やそれを起源とする泥流堆積物は、大規模な土砂供給の一つといえる。成層火山体の崩壊は、火山体の発達過程において少なくとも一度は起こる現象であるとされ（守屋，1983），その痕跡は各地で認められている（安田，1951；水野，1962；守屋，1980；土井，1991 など）。しかし，Ui（1983）や井口（1988）によれば，このイベントによって供給された土砂量に関しては，全量はおろかその一部分ですらほとんど見積もられていない。堆積物の量を推定するためには，堆積場における土砂堆積前後の地形変化を復元しなければならないが，それが可能なフィールドが少ないためと思われる。よって現段階では，個別の火山イベントを対象とした，移動土砂量に関す

2003 年 5 月 7 日受付，2003 年 7 月 17 日再投稿，2003 年 8 月 25 日再々投稿，2003 年 9 月 16 日受理

* 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻大学院生

* Institute of Natural Environmental Studies, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

る事例研究を蓄積していく必要性が高いと考える。

本稿にて対象とする関東平野北西部には、古くから火山性の泥流堆積物が存在することが指摘されてきた。この堆積物は、新井（1962）によって「岩鼻 Mud flow deposit」と命名されたが、その後、新井（1967）によって「前橋泥流堆積物」と改名され、最終氷期最盛期に先立つ約 2.4 万年前に堆積したことが明らかにされた。さらに新井（1971）は、前橋地域における前橋泥流堆積物の層厚が 10 ～ 10 数 m に及ぶことなどの特徴を論じた。早田（1990）によれば、前橋泥流堆積物は堆積物のマトリクスの重鉱物組成などから、浅間火山で発生した大規模山体崩壊に伴う岩屑流堆積物に起源を求めることが可能で、一部が吾妻川に流入して泥流となり、関東平野北西部まで達したものと考えられている。しかし、前橋泥流堆積物の体積に関しては、これまで全く検討されていない。

吉田（投稿中）は、前橋泥流堆積物によって形成された堆積面は、一部がその後の河川プロセスによって侵食を受けているが、堆積物の大部分は現在も前橋や高崎の地下に残存していることを明らかにし、その 3 次元構造を断面図として示した。また、その過程で約 450 本のボーリング柱状図（地下地質資料）を得た。本稿では、当該地域の地形発達に関する知見（吉田、投稿中）に基づき、これらの地下地質資料と GIS を用いて前橋泥流堆積前後の地形変化を推測し、前橋泥流堆積物の体積を見積もることを試みた。

2. 調査地域概観

調査地域は、関東平野北西部の「利根川扇状地」（早田，2000）と呼ばれる地域にあたり（Fig. 1），その北東縁を赤城火山麓斜面，北西縁を榛名火山麓斜面，南縁を主に第三系からなる岩野谷丘陵および立川面相当の段丘面（杉山ほか，1997）によって限られている。利根川支流の吾妻川流域の最奥部に位置する浅間火山とは、直線距離にして約 50 km 離れている（Fig. 1）。利根川流域には多くの第四紀火山が分布し、浅間火山はそのうち最も新しい火山の一つである。本地域には河成砂礫である「前橋砂礫層」（新井，1971）の上位に前橋泥流堆積物が広く分布し、大部分は段丘となっている（吉田，投稿中）。

3. 前橋泥流堆積物

Fig. 2 には調査地域の地形面区分と、ボーリング柱状図に基づいた現存する前橋泥流堆積物の層厚を示した。なお、ボーリング柱状図の記載において“前橋泥流堆積物”と認定する基準としては、以下のことが挙げられる。すなわち、「火山泥流」，「礫混じり粘土（シルト）」，「礫混じり火山灰」などと多様に記載されているが、亜角礫の乱雑な混入，5 ～ 35（平均的には 10 ～ 20）を示す N 値，軽石の混入，全体としての色調が暗灰色～暗褐色などといった特徴が共通してみられること，などである。これらの事項により，河成の砂礫層とは明瞭に区別できる。

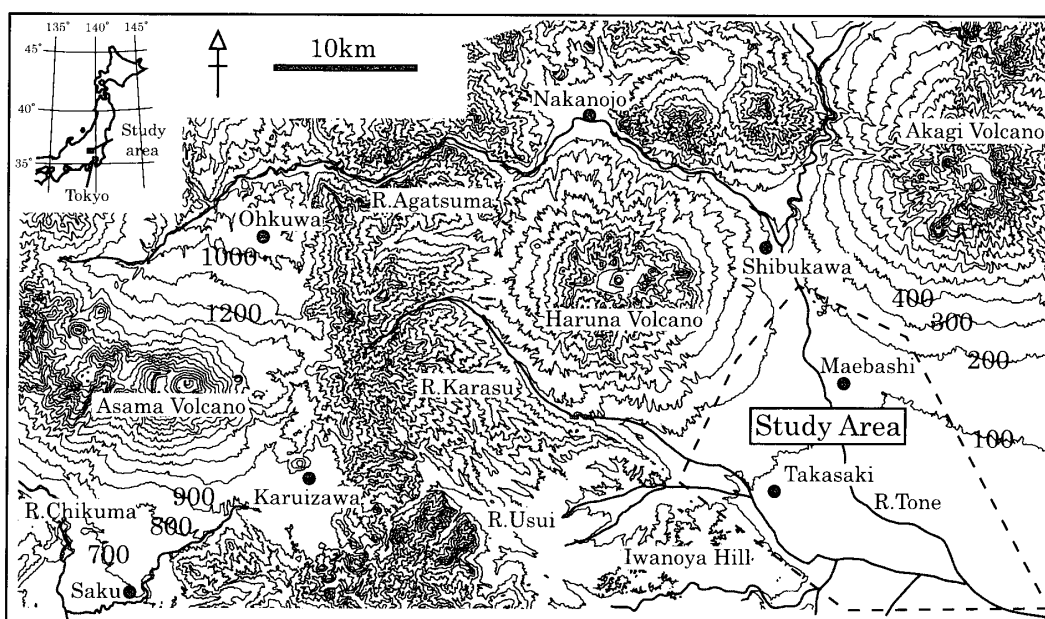


Fig. 1. Index map of the study area
Contour interval is 100 m.

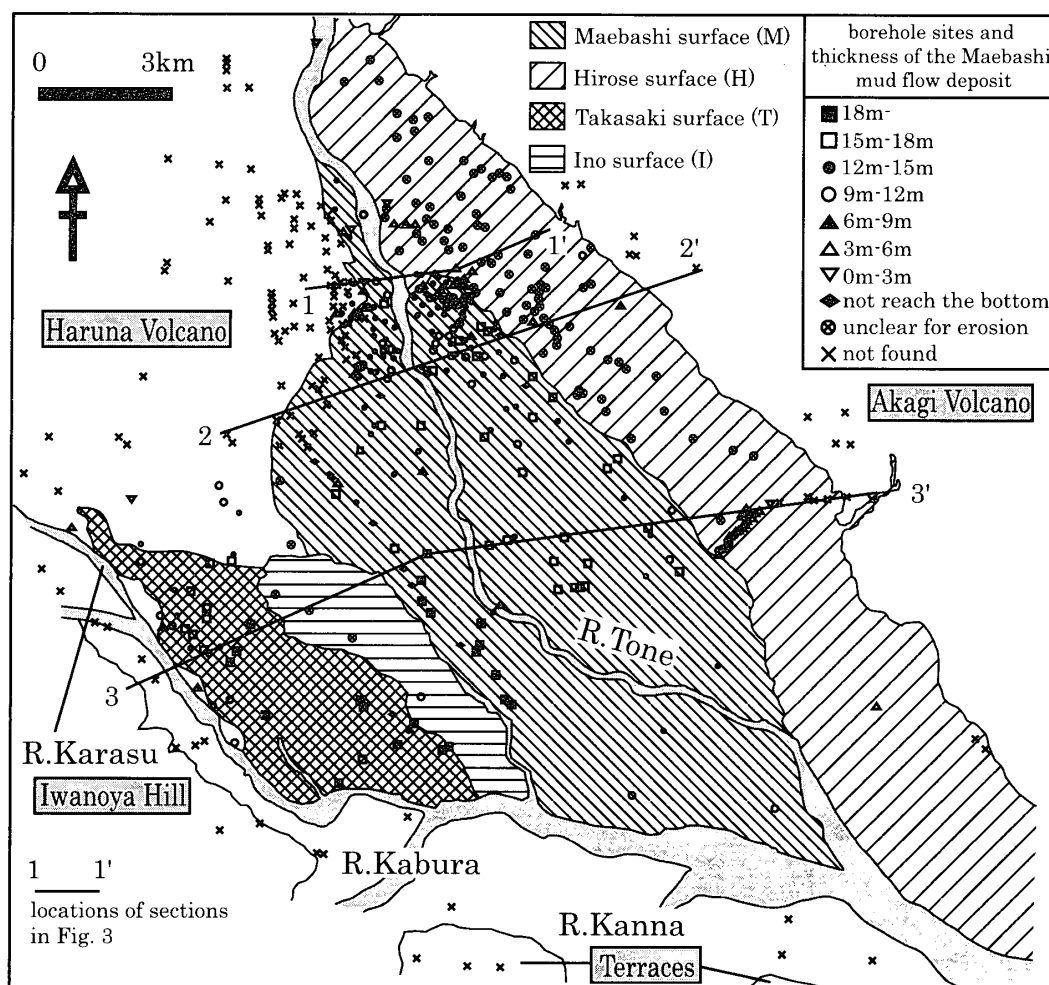


Fig. 2. Geomorphic surfaces and the localities of borehole sites in the study area

調査地域の地形面は大きく4つに区分され (Fig. 2), そのうち前橋面下および高崎面下では前橋泥流堆積物の層厚は大きく, 前者では12~18 m, 後者では15 m以上が広い地域を占める. 調査地域の南部および北部では層厚は減じ, 利根川と烏川が合流する付近の前橋面下では10 m 前後, 最北部の前橋面下では12 m 強である. 一方, 東西方向での層厚変化は南北方向でのそれに比べて小さく, ほぼ一定の厚さを保つ傾向にある. 前橋面と榛名火山麓斜面との境界付近では, 後者に近づくにつれて前橋泥流堆積物の層厚が急減し, 火山麓斜面においては全くみられない (Fig. 3).

前橋面および高崎面は, 堆積当時の原形をほぼ保っていると考えられるが, 広瀬面および井野面は, 前橋泥流堆積後に本流河川による侵食作用を受けたため (早田, 1990; 吉田, 投稿中), 前橋泥流堆積物の層厚は一般的に10 m に満たない. 広瀬面と井野面では, 前橋泥流堆積物の一部は侵食され, 新規の砂礫層である広瀬川砂礫層, 井野川砂礫層がそれぞれ堆積している (Fig. 3).

調査地域全域において, 前橋泥流堆積物や先述の砂礫層の上位には, 砂, シルト, 粘土などの細粒物質が堆積している. また, 高崎面と井野面には, 軽石流の特徴を示す「井野川泥流堆積物」が堆積していることが明らかとなっている (吉田, 投稿中) が, 本稿では

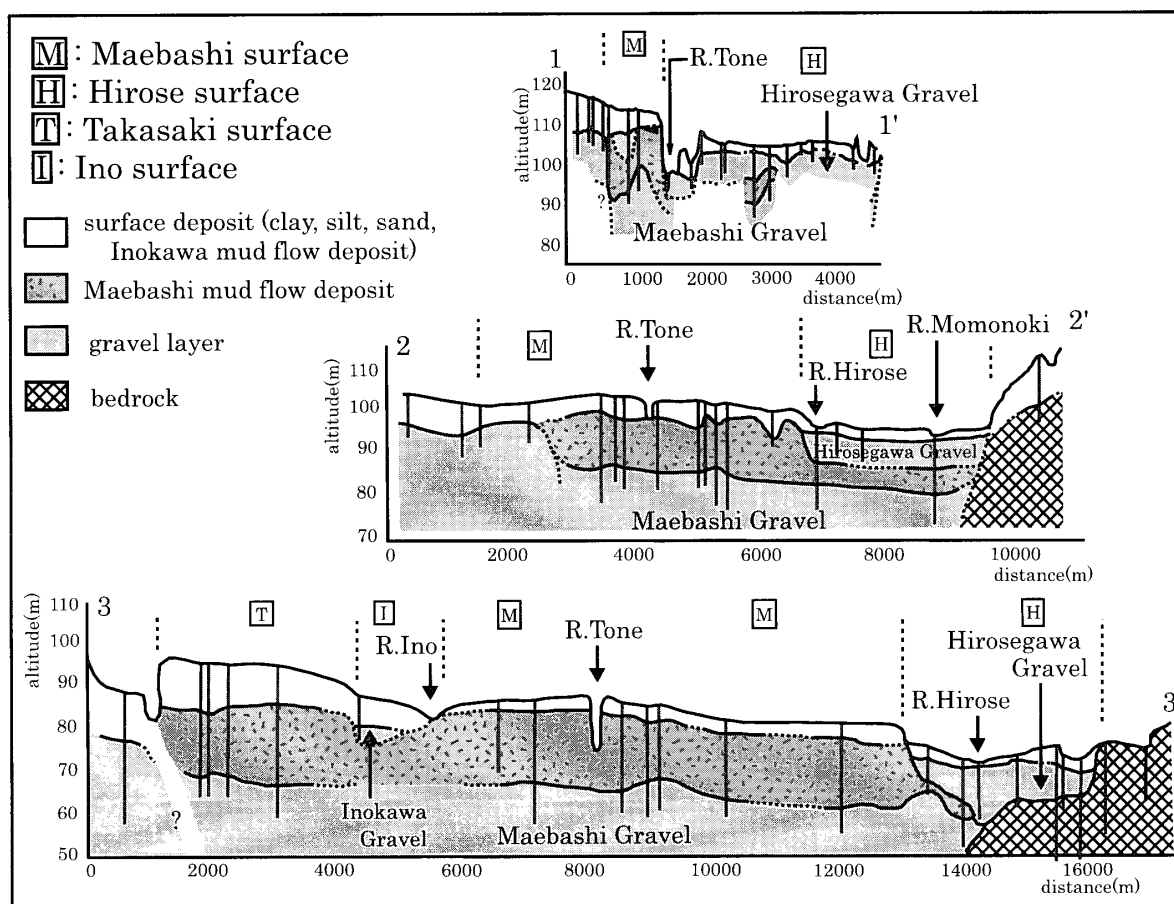


Fig. 3. Geological sections
Locations of sections are shown in Fig. 2.

これら全てを一括し、前橋泥流堆積物よりも新しい表層堆積物として扱う。

4. 既存柱状図と GIS を用いた解析

4.1. 体積の推定方法

堆積物の体積を推定するとき、その3次元的な広がり把握することが第一の作業となる。本稿では個々の柱状図を検討し、前橋泥流堆積物を抽出した。

その後、各々の地点に関してXYZ座標系を適用し、XとYには平面上での位置座標値を、Zには標高値を与えるといった作業を、MicroImages 社 GIS ソフト TNTmips version 6.6 上にて行った。体積の推定に関する手順を以下に述べる。

(1) 前橋泥流堆積面とみなしうる地点における柱状図について、記載されている前橋泥流堆積物の上限の標高値を Z 座標値として与えた。堆積面を復元するための地形近似の補間方法として Keckler (1995) に示されるうち、Triangulation 法、Polynomial 法、Minimum Curvature 法を適用したところ、本地域の場合は、2次元の3次スプライン関数を使用して、一連の入力標高値を近似する Minimum Curvature 法が最も適合していると判断された。なぜなら、この方法によって得られた等値線が、Fig. 2 において特に柱状図が密である北部地域の細かな凹凸を最も良く表現しているためである。ただし、3方法により計算された体積値の差は、 $\pm 10\%$ 内外であり、体積計算にはいずれであっても大差はないと思われる。よって、本稿では Minimum Curvature 法により得られた結果のみを述べることにする。

(2) 同様にして、各々の柱状図に記載されている前橋泥流堆積物の下限の標高値を Z 座標値として与え、Minimum Curvature 法によって底面を復元する。

(3) Fig. 4 に示すように、両者間に生じる空間を堆積物の体積とみなし、その量を GIS ソフトによって計算する。

なお、本稿では前橋泥流堆積物の堆積後の圧縮による体積の変化は考慮に入れていない。前橋泥流は地質時代では新しい時代である約 2.4 万年前に堆積したこと、泥流堆積物を覆う表層堆積物の厚さは 10 m 以下であること (Fig. 3) を踏まえると、圧縮による層厚の減少は無視しうると考えられる。

4.2. 境界条件

3 における記載および調査地域を横断する地質断面図 (Fig. 3) によると、広瀬面や井野面では前橋泥流堆積物が侵食されていることが明らかである。よって、前橋泥流堆積当時の体積を推定する場合、これら侵食された部分を見積もる必要がある。

前橋泥流堆積直前における調査地域の地形は、箱状の堆積盆をなしていたと考えられる (Fig. 3)。すなわち、前橋泥流が堆積する以前の本地域は、赤城火山麓斜面や榛名火山麓斜面、岩野谷丘陵などとは急斜面によって境されていた。また、先述したように泥流堆積物の東西方向への層厚変化が小さいと考えられることを踏まえると、広瀬面、井野面では

Fig. 5 に示す処理を行うことで、泥流が堆積した部分の復元が可能と考える。すなわち、前橋泥流分布範囲の境界付近および広瀬面や井野面などの泥流堆積物侵食域では、前橋面と高崎面におけるデータのうち、直近のデータを投影し、線形に補間することによって、「谷埋め」の処理を行う、ということになる。なお、Fig. 3 や前橋砂礫層の上限高度分布から、現地表面の傾斜方向と前橋泥流流下前の地表面の傾斜方向とはほぼ同方向であることが推測されるため、直近のデータは現地表面の傾斜方向に対して直交方向に投影した。

前橋面、高崎面では前橋泥流堆積面がほぼ保存されていると考えられ、ここでは Fig. 3

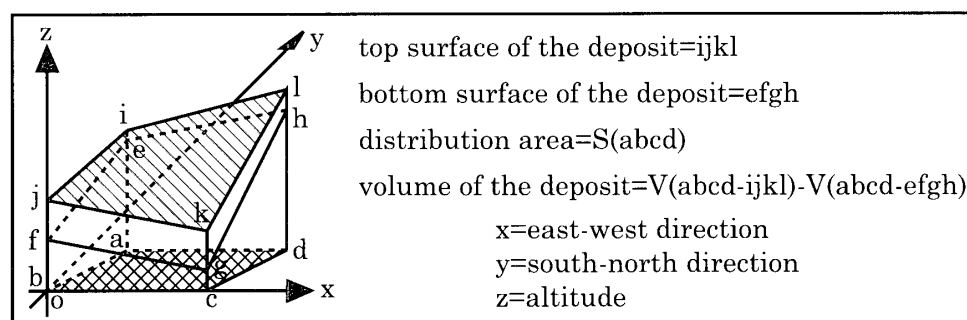


Fig. 4. Methodology for estimation of the volume

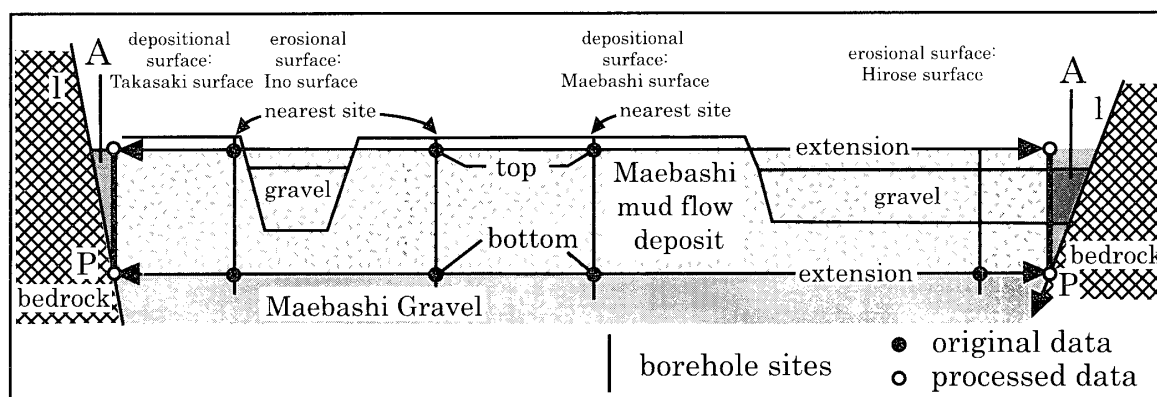


Fig. 5. Methodology for restoring of the Maebashi mud flow deposit

Both the top and the bottom altitudes of the Maebashi mud flow deposit given by borehole columns on the Takasaki and the Maebashi surfaces are used as the original data because these surfaces are regarded to have maintained the original structure of the Maebashi mud flow deposit. Only the bottom altitude of the deposit given by borehole columns on the Hirose and the Ino surfaces are utilized as the original data if they reach the Maebashi Gravel layer. Because it is not clear that the original thickness of the Maebashi mud flow deposit on the main part of erosional surfaces like the Hirose and the Ino surfaces, both the top and the bottom altitudes are supposed and defined taking some geomorphic characteristics of the study area into consideration and defined on the edge of distribution area of the deposit as the processed data. In this paper, the processed data are gained by the linear inter/extrapolation utilized from the nearest borehole data each other. Hatched area is regarded and calculated as the original distribution of the deposit.

に示されるように、前橋泥流堆積物の上限が2 m 前後の緩やかな凹凸を呈す。このことは、前橋泥流堆積面に若干の凹凸が生じていた可能性を示すが、先述の「谷埋め」の方法では平面で近似してしまうので、こうした初生的な凹凸までは復元できない。しかし、これまでに述べているように前橋泥流堆積物の層厚は15 ~ 20 m のことが多く、2 m 前後の凹凸は層厚の10 % 程度に過ぎない。また、たとえ凹凸が存在していたとしても、凹部の占める部分と凸部の占める部分とで概ね相殺されると考えられる。よって、初生的な凹凸を詳細に復元できなくても、計算される体積の誤差は10 % 以下であると判断されることから、先述の「谷埋め」を用いる。

Fig. 5 に示すような処理をして得られたデータを、本稿では「加工データ」と呼ぶ。加工データは前橋泥流堆積面の復元に19 地点 (Fig. 6) を、前橋泥流堆積底面の復元に25 地点 (Fig. 7) をそれぞれ設定した。それらの位置は、泥流堆積物分布範囲を取り巻く、主に急傾斜面を呈す周辺地形 (Fig. 5 の1) をその勾配を維持するように泥流堆積物分布範囲内に延長し、地下において推定される前橋砂礫層と交わる XY 平面上での位置 (Fig. 5 のP) である。全ての加工データが、推定される泥流堆積物分布範囲境界から300 m 以内に

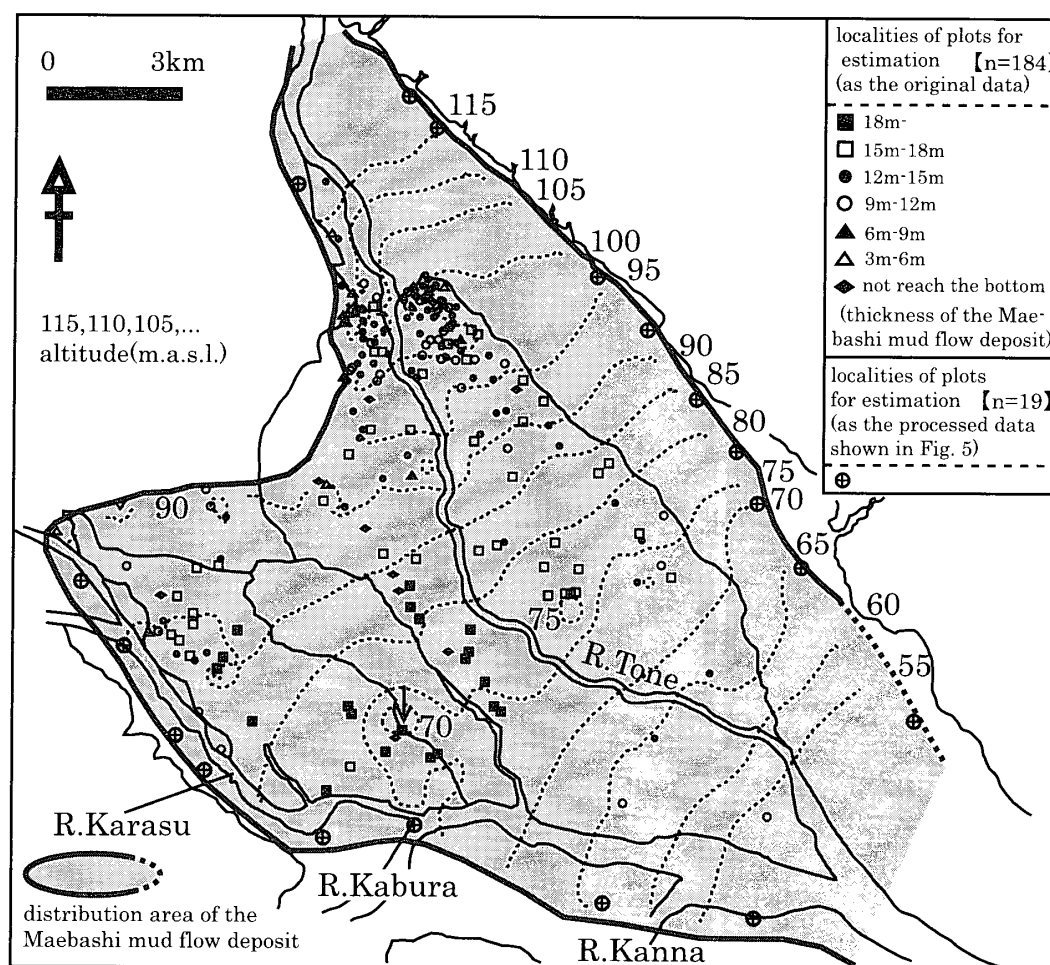


Fig. 6. Reconstructed surface contour of the Maebashi mud flow deposit

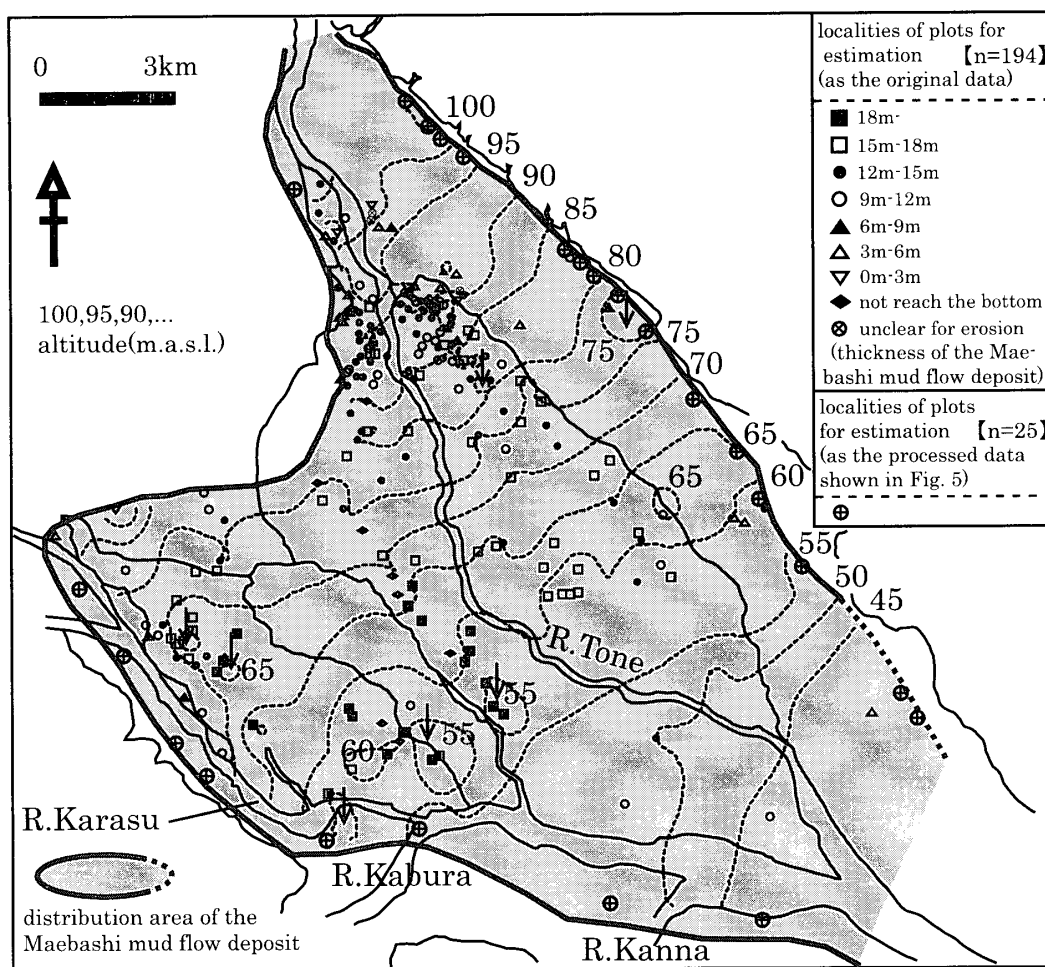


Fig. 7. Reconstructed basal contour of the Maebashi mud flow deposit

おさめられるため、Fig. 5におけるA部の量は、泥流堆積物全体の量と比較して無視する。

Fig. 2に示されるように、データとして用いた柱状図には地域的な偏りがあり、特に南部ではデータ数が少ない。また、広瀬面や井野面では前橋泥流堆積物の堆積当時の層厚が侵食によって不明な地点が多く、こうした地域ではFig. 5における柱状図のデータと加工データとの距離が最大で3 km程度になってしまう。しかし、1および2で述べたように、前橋泥流が堆積する直前の本地域は、前橋砂礫層が堆積する環境にあった（早田，2000）。また、関東平野北縁および周辺の山地域においても、同時期は河床高度が安定して幅広い平坦面が形成されていた（吉永・宮寺，1986；須貝，1992）。これらを踏まえると、前橋泥流流下直前の地表面は比較的平坦であったと推測される。それゆえ、Fig. 5に示す補間方法は体積の計算結果に大きな誤差を生じさせるものではないと考えられる。

4.3. 結果と考察

地形発達を考慮し、以上のような処理をした後、堆積当時における前橋泥流堆積面（Fig. 6）、前橋泥流堆積底面（Fig. 7）の等高線図をMicroImages社GISソフトTNTmips version 6.6

を用いて作成した。用いたデータ数は前者では 203（うち加工データは 19）、後者では 219（うち加工データは 25）である。ただし、広瀬面と井野面では前橋泥流堆積物の層厚を線形補間により求めているため、これらの地域における復元面は大局的な傾向を示すにとどまる点に留意する必要がある。

Fig. 6, Fig. 7 を用いて前橋泥流堆積物の体積を、同じく TNTmips version 6.6 にて計算したところ、 $3.98 \times 10^9 \text{ m}^3$ という値が得られた。前橋泥流堆積物の体積を、単純にその分布面積（約 211 km^2 ）と「平均的な層厚（約 14.5 m ）」との積によって推定すると $3.06 \times 10^9 \text{ m}^3$ となった。この値は、GIS による値の約 77 % であり、やや小さい。この計算では、「平均的な層厚」としては、堆積面上における各柱状図から得られる層厚を足し合わせ、それを柱状図の数で割った値を用いている。このため、本地域の北部に数多く偏在する層厚 12 m 前後の層厚のやや小さな柱状図の影響を受け、全体の体積が小さめに算出されたと判断される。本稿で扱った前橋泥流堆積物の場合、それが流下する以前の地形が比較的単純であったために、柱状図が偏在している割には、分布面積と「平均的な層厚」との積による値と GIS による値とが大きく異ならなかったと考えられる。

先述の通り、前橋泥流は浅間火山で発生した大規模山体崩壊に伴う岩屑流を起源とするが、岩屑流堆積物の一部は、浅間火山北麓や吾妻川の河谷を流下する途中に堆積した。一方、前橋泥流堆積物として本地域に到達するまでには、河床礫などを取り込んできたとも考えられる。それゆえ、本稿で得た値をそのまま浅間火山の大規模山体崩壊土砂量とみなすことはできないが、火山イベントを契機とする 10^9 m^3 オーダーの土砂供給は示された。このことは、第四紀火山が存在する流域では、大規模山体崩壊が発生した場合、当該火山の近縁ばかりでなく中下流部にも多量の土砂が供給され、流域の地形が大きく変化することを意味している。

ところで、浅間火山起源のイベントとして 1783 年に「天明泥流」が発生し、利根川の下流域にまで大きな災害をもたらしたことが知られているが、その体積は $1.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ と見積もられている（井上, 1995）。前橋泥流堆積物の起源である浅間火山の岩屑流は、現段階では堆積物の全量を把握できていないが、少なくとも天明泥流よりも 1 桁大きな規模であったと考えられる。岩屑流堆積物も含め、成層火山体での大規模山体崩壊を契機として発生した土砂量を推定した例は少ないが、たとえば、1888 年における磐梯火山での事例では、崩壊土砂量が $1.8 \times 10^9 \text{ m}^3$ （大八木, 1987）と、八ヶ岳起源の「韭崎岩屑流堆積物」は、 $8.96 \times 10^9 \text{ m}^3$ （甲府盆地第四紀研究グループ, 1969）と見積もられている。前者は最近のイベントであり、前地形の推定が容易なために推定精度は高いであろう。しかし、後者は岩屑流流下前の地形の推定がより困難な中期更新世におけるイベントであり、それゆえに堆積域を幾つかの地域に便宜的に区分し、それぞれの平均的な層厚と分布面積との積を求め、それらの合計を体積として算出している。本稿では、対象とした前橋泥流堆積物が韭崎岩屑流堆積物ほど古くはないものの、前地形を十分に考慮した結果、高い精度で土砂量を推定できた。

質的・量的に十分な柱状図（データ）が得られる場合には、GISによって客観的に前地形を復元し、高精度で堆積物の体積を見積もることができる。また、データの追加や削除が容易であり、データ数が多くなるにつれて膨大となる計算も迅速に処理できる。こうしたGISの持つ特性を生かすために地質柱状図をデータベース化し、即効性が求められる土地利用や地盤条件に対するアセスメント、二次的な災害のリアルタイム予測などに応用していくことが望まれる。

5. まとめと課題

本稿では既存柱状図とGISを用い、関東平野北西部に分布する前橋泥流堆積物の分布と体積を推定した。3次元的な分布は前橋泥流堆積面、前橋泥流堆積底面の各等高線図としてFig. 6およびFig. 7に示され、それらから得られる体積は $3.98 \times 10^9 \text{ m}^3$ であった。

なお、既に述べたとおり、本稿で扱った前橋泥流堆積物は、浅間火山における大規模山体崩壊に伴う岩屑流堆積物の全量ではない。火山体崩壊イベントの規模を評価するためには、前橋泥流堆積物をもたらしたイベントと同一の起源とされる、中之条盆地の中之条泥流堆積物（早田，1990）や、信濃川流域に属する佐久盆地の塚原泥流堆積物（Aramaki, 1963）など、各所における堆積物の全容を捉える必要があり、今後の課題である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、前橋市役所建築課、高崎市役所庶務課および建築課、伊勢崎市役所都市計画課、吉岡町役場下水道課、榛東村役場建築課、玉村町役場建築課、群馬町役場建築課、日本道路公団東京建設局および同高崎工事事務所の各機関に携わる方々には、地下地質資料を閲覧および貸与させて頂いた。東京大学大学院新領域創成科学研究科の須貝俊彦助教授には、終始あたたかい励ましとご指導を承った。同大学院生の山口正秋、渡辺数磨の両氏には、GISの操作について御教示頂いた。以上の方々に深く感謝します。なお、本稿の概要は2002年度日本地理学会春季学術大会において発表した。

引 用 文 献

- 新井房夫（1962）関東盆地北西部地域の第四紀編年：群馬大学紀要自然科学編，**10**，1-79.
- 新井房夫（1967）前橋泥流の噴出年代と岩宿Ⅰ文化期：地球科学，**21**，46-47.
- 新井房夫（1971）前橋市の地形・地質：前橋市史，**1**，8-66.
- Aramaki, S. (1963) Geology of Asama Volcano: Jour. Fac. Sci. Tokyo, Sec. II, **14**, 229-443.
- 土井宣夫（1991）岩手火山山麓の岩屑なだれ堆積物群：火山，**36**，483-484.
- 井口 隆（1988）日本における火山体の山体崩壊と岩屑流—磐梯山，鳥海山，岩手山—：国立防災科学技術センター報告，**41**，163-275.
- 井上公夫（1995）浅間山天明噴火時の鎌原火砕流から泥流に変化した土砂移動の実態：こうえいフォーラム，**No. 4/1995. 12**，25-46.

- Keckler, D. (1995) SURFER for Windows User's Guide: Golden Software Inc, Golden, CO, USA.
- 甲府盆地第四紀研究グループ (1969) ハヶ岳南麓の地質: 地質学雑誌, **75**, 406-416.
- 水野 裕 (1962) 鳥海山麓の火山噴出物とその地形について: 東北地理, **14**, 103-106.
- 守屋以智雄 (1980) “磐梯式噴火” とその地形: 「西村嘉助先生退官記念地理学論文集」, 214-219, 古今書院.
- 守屋以智雄 (1983) 日本の火山地形: 東京大学出版会, 135 p.
- 大八木規夫 (1987) シンポジウム「火山体の解体及びそれに伴う土砂移動」によせて: 地形, **8**, 65-66.
- 早田 勉 (1990) 群馬県の自然と風土: 群馬県史編さん委員会編「群馬県史通史編 1」, 37-129, 群馬県.
- 早田 勉 (2000) 火山活動の影響を受けた利根川扇状地の地形: 貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦編「日本の地形 4 関東・伊豆小笠原」, 191-194, 東京大学出版会.
- 須貝俊彦 (1992) 利根川支流, 碓氷川における中期更新世以降の河成段丘発達史: 地理学評論, **65A**, 339-353.
- 杉山雄一・須貝俊彦・井村隆介・水野清秀・遠藤秀典・下川浩一・山崎晴雄 (1997) 活構造図: 「50 万分の 1 活構造図 8 「東京」 (第 2 版)」, 地質調査所.
- Ui, T. (1983) Volcanic dry avalanche deposits—identification and comparison with nonvolcanic debris stream deposits: Journal of Volcanology and Geothermal Research, **29**, 231-243.
- 安田初雄 (1951) 東北日本の火山泥流地域とその開発: 地理学評論, **24**, 297-302.
- 吉田英嗣 (投稿中) 浅間火山を起源とする泥流堆積物とその関東平野北西部の地形発達に与えた影響: 地理学評論.
- 吉永秀一郎・宮寺正美 (1986) 荒川中流域における下位段丘の形成過程: 第四紀研究, **25**, 187-201.