

1986年伊豆大島溶岩流のシミュレーションの再検討 — 噴火中の地形変化の影響について —

石原 和弘・井口 正人・加茂 幸介

REEXAMINATION OF THE NUMERICAL SIMULATION OF THE 1986 LAVE FLOWS AT IZU-OSHIMA

— EFFECT OF THE TOPOGRAPHIC CHANGE DURING THE ERUPTION —

By *Kazuhiro* ISHIHARA, *Masato* IGUCHI
and *Kosuke* KAMO

Synopsis

The fissure eruption occurred at Izu-Oshima on November 21, 1986. The lavas extruded in the caldera (LB I and LB III) and on the western flank (LC I). These lava flows were simulated by the numerical calculation using the topographic map before the eruption. The calculated lava flow LC I and LB III almost coincided with the actual one, but the lava flow LB I did not. It is inferred that the accumulation of scoria near the vents might divert the lava flow LB I. Considering the topographic change due to the accumulation of scoria, numerical simulation was made again and evaluated the effect of the scoria cones. The discrepancy between the calculated and actual lava flow became small. It was verified that scoria cones diverted the lava flow LB I.

A risk map for lava flows at Izu-Oshima is shown. The map expresses the distribution of assumed craters from which lavas are likely to pass through residential areas.

1. は じ め に

筆者らは、火口の位置、溶岩の噴出量、温度の仮定のもとに、数値計算によって溶岩の巨視的な流動をシミュレートし、災害防止の資料を作成することを意図してきた。これまでに、数値化地形を用い、1983年三宅島溶岩流^{1),2),3)}、桜島大正溶岩流^{3),4)}および1986年伊豆大島溶岩流^{3),5)}を再現し、数値計算の方法の妥当性を検証してきた。

1986年伊豆大島噴火は、11月15日に山頂噴火によって始まった。山頂火口において6日間溶岩噴泉が継続した後、11月21日にカルデラ床北部及び外輪山北西側山腹斜面において割れ目噴火が発生し、溶岩を流出した。

割れ目噴火による溶岩の流出は夕方から夜間にかけての短時間のうちに終わった。そのため、1950-1951年の噴火時にMinakami⁶⁾によって行われたような溶岩の流動状態の観察や温度・粘性の直接的な測定は、ほとんど実施されなかった。そこで、前回の数値計算⁵⁾では、鉱物学的研究成果といくつかの観察記録を参考に噴出条件を設定し、数値計算による溶岩流のシミュレーションを行った。その結果、外輪山北西斜面の溶岩流LC Iとカルデラ内を北へ流れたLB IIIについては、適切な条件を設定することにより、実際の溶岩流をほぼ再現することができた。しかし、カルデラ内を北東へ流れたLB Iについては、その被覆域を

再現できなかった。これは、噴出口周辺の地形変化と地形図の一部の精度が不十分であったためと考えられる。

これまでに提案してきた数値計算は、噴火の経過にともなって変化する地形条件、すなわち、スコリアや軽石の堆積、溶岩流自身の固化などを含んでいない。1983年三宅島噴火では、西風のためスコリアは割れ目火口の東側へ堆積し、溶岩流は西へ流下したため地形変化を考慮する必要がなかった。しかし、今回の伊豆大島の割れ目噴火では、火口の東側にスコリアが厚く堆積したため、火口の北東側へ流下した溶岩流 LB I については、地表面の上昇を考慮する必要があると考えられる。そこで、今回は溶岩流 LB I について、噴火による放出物の堆積による地形変化を考慮して再計算を行い、再現性の向上を試みた。また、伊豆大島の各集落の溶岩流に対する risk map を作成してみた。なお、本稿は研究発表講演会において「1986年伊豆大島溶岩流のシミュレーション」と題して発表されたものである。

2. 1986年伊豆大島噴火の経過

今回の噴火は、まず、11月15日に三原山山頂火口における溶岩噴泉により始まった。噴火の開始から11月18日の朝までの噴出率はほぼ一定の $14 \text{万 m}^3/\text{時}$ であり⁷⁾、同日中に山頂火口内は溶岩によって埋めつくされ、翌11月19日には溶岩は内輪山を越えてカルデラ内に流下した（溶岩流 LA）。その後噴火は、次第に爆発的となり11月21日には散発的となっていた⁸⁾。続いて11月21日の16時15分にカルデラ床北部において溶岩噴泉が始まった。割れ目火口は北西から南東にかけ順次開口し、最終的には約1 km の長さになった⁹⁾（B火口群）。B火口群から放出されたスコリアは、火口周辺、特に東側に厚く堆積した¹⁰⁾。また、2つの溶岩流 LB I、LB III が、それぞれ、16時34分および16時43分に、カルデラ内に流下し始めた¹¹⁾。さらに、17時46

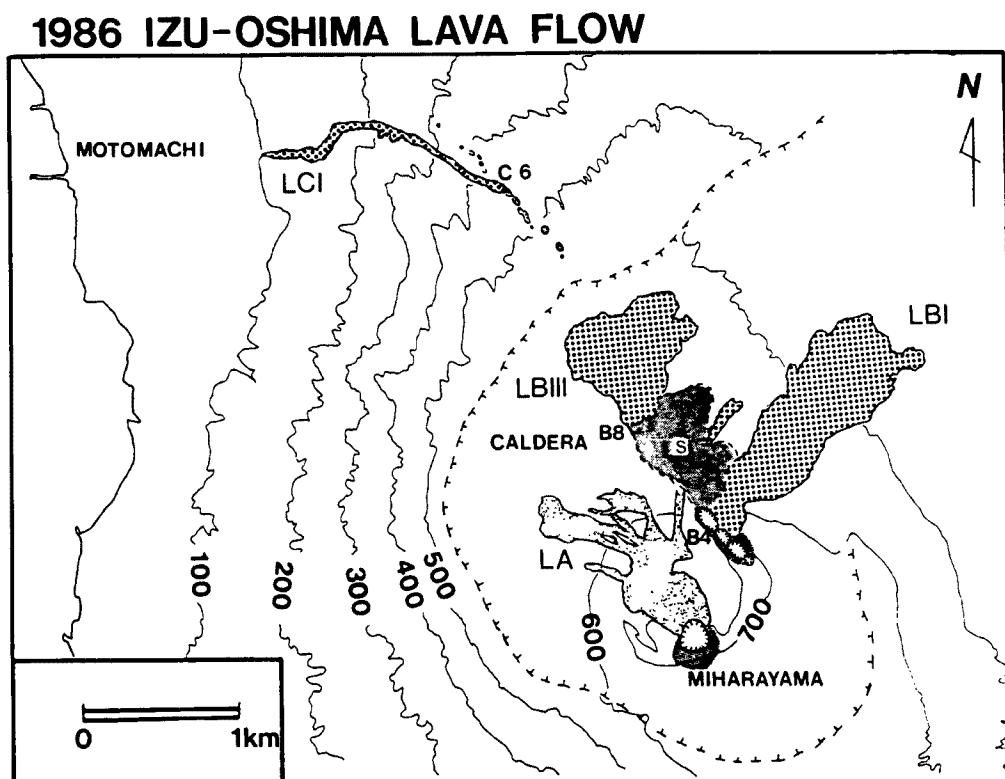


Fig. 1. Distribution of the 1986 Izu-Oshima lava flows, LA, LBI, LBIII, LCI. The lava flows were extruded from the vents "B4", "B8" and "C6". The symbol "S" represents the scoria cones.

分¹²⁾には外輪山北西側山腹斜面においてあらたな割れ目火口（C火口群）が生じた。18時02分¹¹⁾にはその割れ目火口のうちの1つから溶岩流 LC I が谷筋に沿い元町地区の方向に流下した。この溶岩流は、伊豆大島西部の元町地区の東方約 500 m の地点において停止し、元町地区が溶岩流により被覆されるという事態には至らなかった。カルデラ内における噴火活動は、噴煙柱高度の観察から約 5 時間継続し、特に、17時10分から17時40分までは、噴火の最盛期であり、その噴出率は5時間の平均の2倍以上であったと推定されている¹¹⁾。一方、外輪山北西斜面における噴火活動は21時までに終了し、溶岩の流出は約1時間継続しただけであった¹¹⁾。これらの溶岩流（LA, LC I, LB I および LB III）とスコリア丘の分布を Fig. 1 に示した。溶岩流 LB I, LB III および LC I の体積は、それぞれ、 $4.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ¹³⁾, $4.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ ¹⁵⁾ および $1.6 \times 10^5 \text{ m}^3$ ¹³⁾ と見積られている。

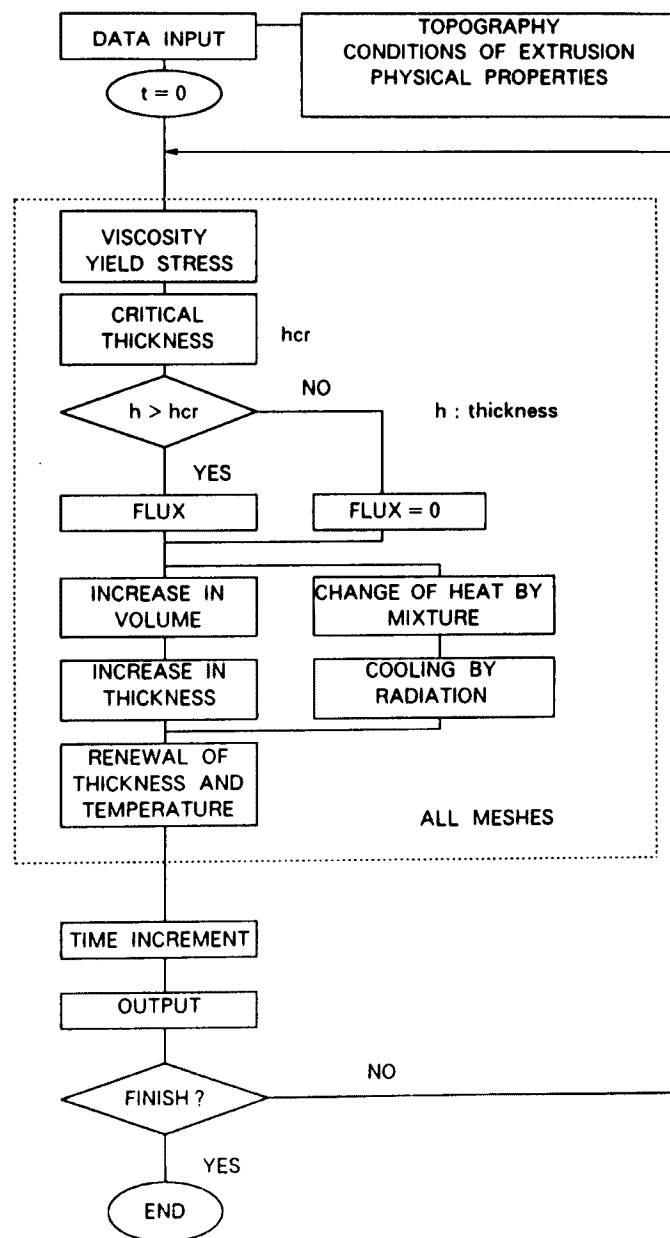


Fig. 2. Flow chart of the numerical calculation.

3. 地形変化を考慮しない場合の数値計算

最初に、地表面の上昇を考慮せず、従来の地形図にもとづく数値化地形からの再現結果を示す。計算方法は、前回⁵⁾と同様であり、溶岩流の冷却及び温度低下による粘性の増加を考慮してある。数値計算のフローチャートを **Fig. 2** に示した。溶岩の噴出率は、溶岩の体積^{5),13)}、噴火の継続時間¹¹⁾ から決めた。溶岩の流下開始時の温度は、鉍物の分析結果^{14),15)}、これまでの計算結果⁵⁾、溶岩の噴出状態の観察¹⁶⁾ を参考に決めた。これらの設定条件は **Table 1** にまとめて示した。また、計算に用いた温度と粘性係数の関係および温度と降伏応力の関係は **Fig. 3** に示した。

Table 1. Conditions for simulation

Lava flow	LC I	LB I	LB III
Topography size of mesh	10 m×10 m	25 m×25 m	
Extrusion rate	44 m ³ /s	212 m ³ /s 0–30 min 478 m ³ /s, 30–60 min 212 m ³ /s 60–300 min	231 m ³ /s 0–40 min 521 m ³ /s, 40–70 min 231 m ³ /s 70–300 min
duration crater	1 hour C-6	5 hours B-4	5 hours B-8
Physical constants			
initial temperature	1100°C	1000°C	
parameter $k^{5)}$		24.61	
density		2.5 g/cm ³	
emissivity		0.9	
specific heat capacity		8.4×10 ⁶ erg/g/K	
acceleration due to gravity		980 cm/s ²	
Stefan-Boltzmann's constant		5.67×10 ⁻⁵ erg/s/cm/K ⁴	
Time interval	0.1 sec	0.4 sec	0.2 sec

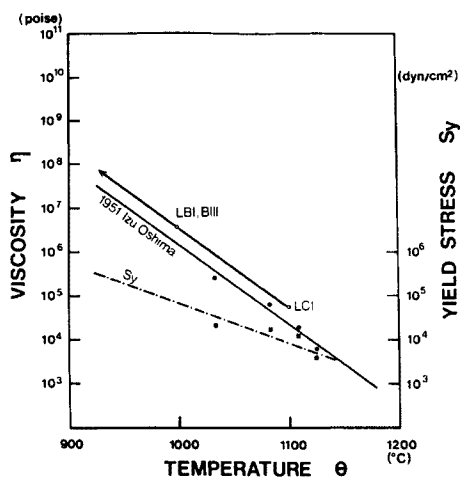


Fig. 3. Relation between the temperature and the viscosity, and yield stress. Solid circles and squares denote viscosity measured by Minakami⁶⁾ and yield stress derived from his results, respectively. Open circles do the initial temperatures assumed in the calculation.

外輪山北西山腹斜面の溶岩流 LC1 について、計算結果と実際の溶岩流を比較して Fig. 4 と Table 2 に示した。なお、被覆域の誤差は、模擬溶岩流には覆われたが実際の溶岩流には覆われなかった面積と実際の溶

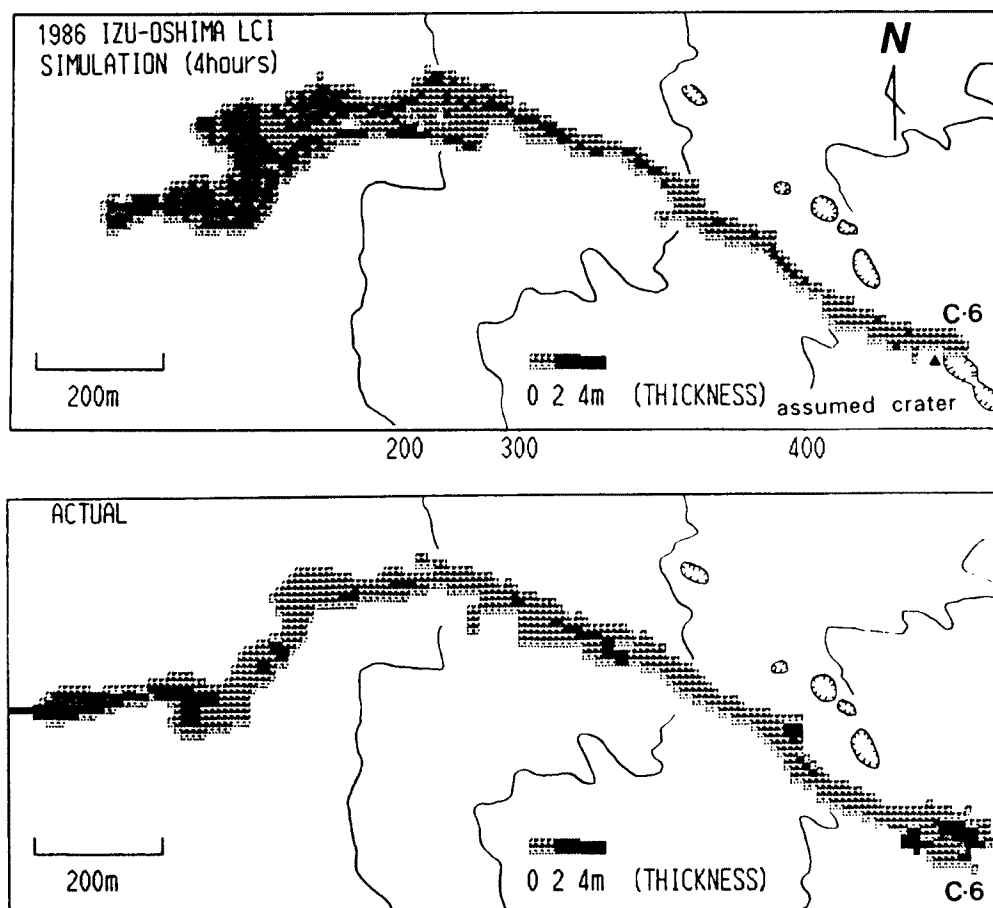


Fig. 4. Comparison of the inundation area and the thickness between calculated lava flow LCI and the actual one. The initial temperature is 1100°C.

Table 2. Summary of calculated results

Lava flow		Area ($\times 10^5 \text{ m}^2$)			Flow length (km)	Thickness of lava front (m)
			error			
LC I	Actual	0.61			1.6	5~6
	Simulation	0.63	+42%	−38%	1.3	3~4
LB I	Actual	6.93			1.6	7~10
	Simulation	5.79	+45%	−61%	1.1	8~12
	Simulation*	5.46	+20%	−42%	1.2	8~12
LB III	Actual	4.19			1.0	16~20
	Simulation	4.56	+29%	−20%	1.0	12~16

* in case that the ground surface near the B-4 crater is assumed to be elevated by 15 m before the extrusion of lavas

岩流の面積の比 (Table 2 に + と示した) および模擬溶岩流には覆われなかったが実際には覆われた面積と実際の溶岩流の面積の比 (Table 2 に - と示した) によって評価した。被覆域の誤差は +42%, -38% と大きい, これは, 溶岩流の幅が狭く, 側面の網目 2~3 個に相当する 20~30 m のくいちがい大きい誤差になったためで, 被覆域の形状, 流路は実際の溶岩流に一致している。また, 溶岩を流出した C-6 火口から下流 500 m 以内は, 模擬溶岩流の厚さが 2 m 以下であり, 実際の溶岩流の厚さに一致している。

また, カルデラ内を北に流れた溶岩流 LB III については, Fig. 5 および Table 2 に示したように, 被覆域の誤差が +29%, -20% であり, 模擬溶岩流の被覆域の形状は, 実際の溶岩流にほぼ一致している。また, 溶岩流先端の厚さは, 12 m~16 m であり, 実際の溶岩の厚さ 16 m~20 m に近い。

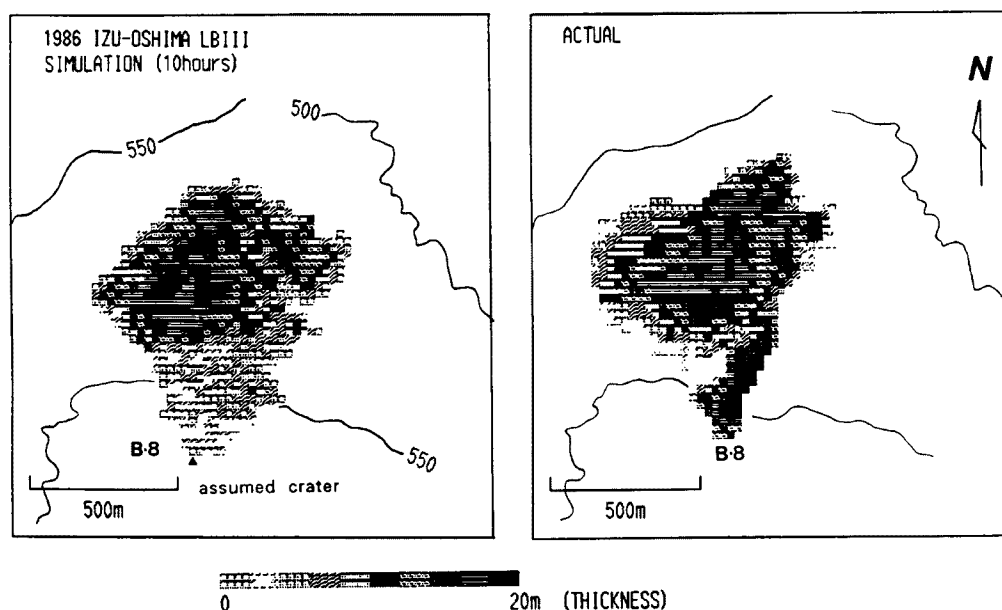


Fig. 5. Comparison of the inundation area and the thickness between calculated lava flow LBIII and the actual one. The initial temperature is 1000°C.

このように, 溶岩流 LC I, LB III については, 模擬溶岩流は実際の溶岩流にほぼ一致した。これは, 地形図から予想される溶岩流の流路を変えるような顕著な地形変化が生じなかったためと考えられる。C 火口群から放出されたスコリアは, 体積が $2.3 \times 10^5 \text{ m}^3$ であり, B 火口群から放出されたものの体積 $1.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ に比べ, 約 1 桁少なかった。また, B 火口群から放出されたスコリアは風により火口の東側に堆積し, LB III が流れた火口の北側にはほとんど堆積しなかった。

次に, 溶岩流 LC I, LB III に比べ再現結果が劣る LB I について, 数値計算の最終結果と実際の溶岩流の分布および厚さを比較して Fig. 6 と Table 2 に示した。模擬溶岩流の被覆域は, 実際の溶岩流の分布とは大きく異なる。その被覆域の誤差は, +45%, -61% であり, LC I, LB III に比べて大きい。模擬溶岩流では, B-4 火口からほぼ真北に向かう支流が現れ, 主流の先端が実際の溶岩流よりも北へ向かって進んでいる。

噴火以前の国土基本図 (昭和56年作成) では三原山北側斜面は急勾配であり, 地形図の精度も高いと考えられることから, B-4 火口から北へ向かう流れが期待される。ところが, 今回の溶岩流 LB I では B-4 火口から北へ向かうような支流はみられなかった。これは, 昭和56年作成の国土基本図と噴火後の昭和62年作成の国土基本図応急版の比較から, B 火口群からの放出物の堆積による地表面の上昇が北へ進む流れを止めたものと推定される。

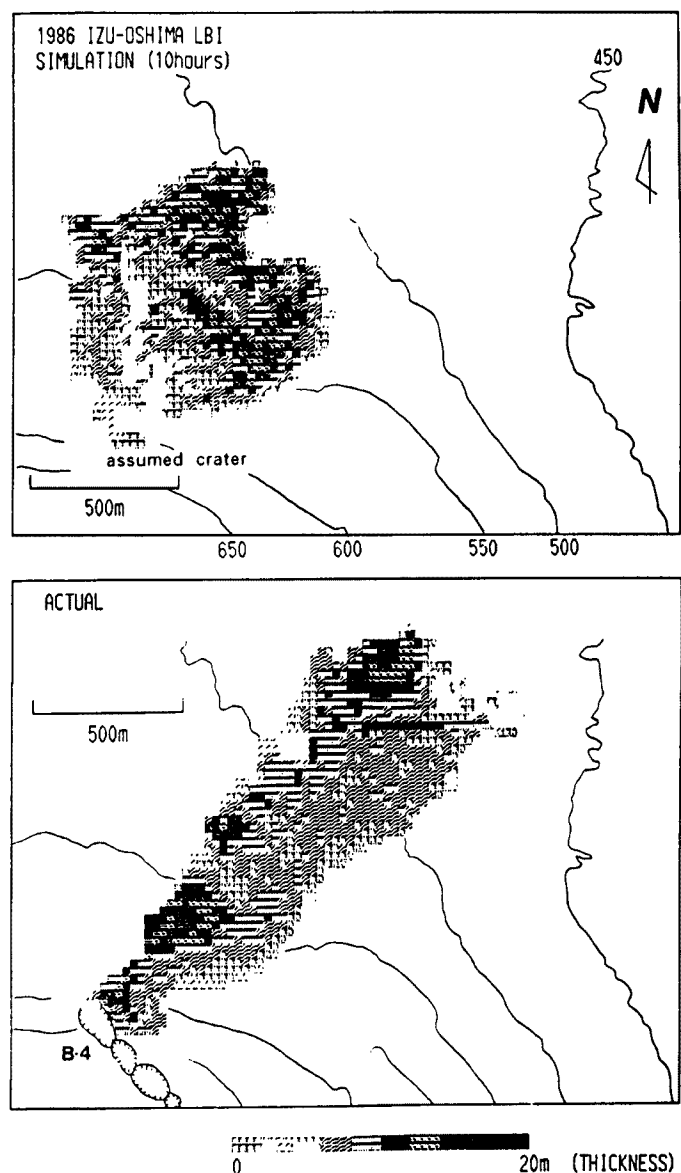


Fig. 6. Comparison of the inundation area and the thickness between calculated lava flow LBI and the actual one. The initial temperature is 1000°C.

4. 地形変化を考慮した場合の数値計算

LB I の場合について、スコリアの堆積による地表面の上昇を考慮した数値計算の結果を示す。

B 火口群周辺のスコリア丘は、最大約 45 m の高さには達している。このことから、遠藤ら¹⁷⁾は、堆積速度を平均 188 mm/分（最盛期を 2 時間半とした場合 267 mm/分）と見積った。割れ目噴火の開始から LB I の流下開始まで約 20 分を要し、噴火の初期の噴出率は平均的な値よりも高かったと考えられるので、流下開始の時点でも 5 m 以上の厚さのスコリアが堆積していたものと推定される。

そこで、Fig. 1 に『S』と示した B 火口群周辺のスコリア丘の部分、溶岩流の流下開始時にはすでに地表面が 15 m 上昇していたものとして再計算を行った。結果を Fig. 7 および Table 2 に示した。模擬溶岩

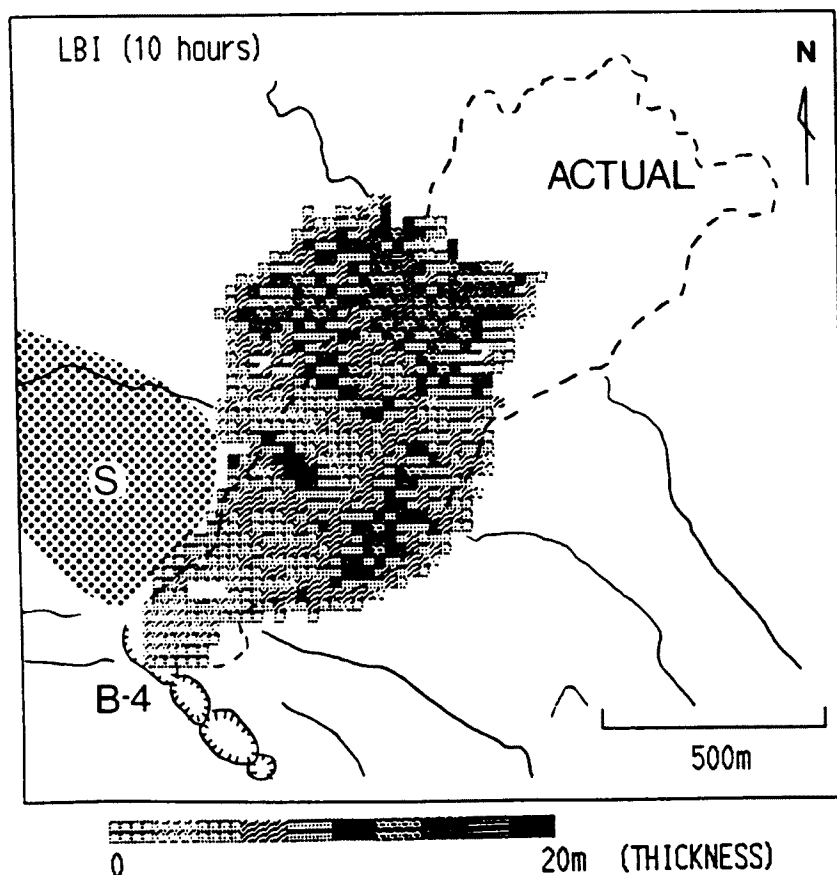


Fig. 7. Distribution of the calculated lava flow LBI. It is assumed that the dotted area "S" was elevated by 15 m due to tephra ejected from the craters.

流の被覆域の実際の溶岩流に対する誤差は、+20%、-42%であり、くいちがいを小さくすることができた。また、B-4 火口からの支流は生じなかった。このことから溶岩流の流下開始の時点では既にB火口群の北側の地表面が上昇しており、このことが、溶岩流の北側への進出を妨げた可能性が大きい。

今回の溶岩流 LB I は、Fig. 8 に示したように1951年の溶岩流¹⁸⁾の南東側を沿うように流れ、その北西側にはほとんどあふれ出していない。しかし、Fig. 6 および Fig. 7 に示した模擬溶岩流 LB I はどちらの場合も、1951年の溶岩流の上を進み途中から北にそれて進んだ。地形図には1951年の溶岩流に相当する部分に等高線が記入されてなく、溶岩流の厚さを表現するのに十分な精度の標高値が読み取れていない。このために、模擬溶岩流は、実際の溶岩流よりも北へそれたと考えられる。溶岩流のシミュレーション、特に粘性の低い玄武岩質溶岩流の場合、高精度の地形図が不可欠であることを示している。

5. 溶岩流の risk map

これまでに、1983年三宅島溶岩流^{1),2),3)}、桜島大正溶岩流^{3),4)} および1986年伊豆大島溶岩流^{3),5)}を再現し、数値計算の方法が溶岩流の巨視的な流動を再現する上では、妥当であることが示された。十分な精度の数値化地形があり、噴出口の位置及び溶岩の噴出物量（噴出率・噴出時間）・温度がわかっているならば、溶岩流の被覆域、厚さ、流速などを予測することができる。このうち噴出物量（噴出率・噴出時間）と温度は過去の溶岩流の調査、研究をもとに経験的に想定することが可能である。伊豆大島火山については Nakamura¹⁹⁾

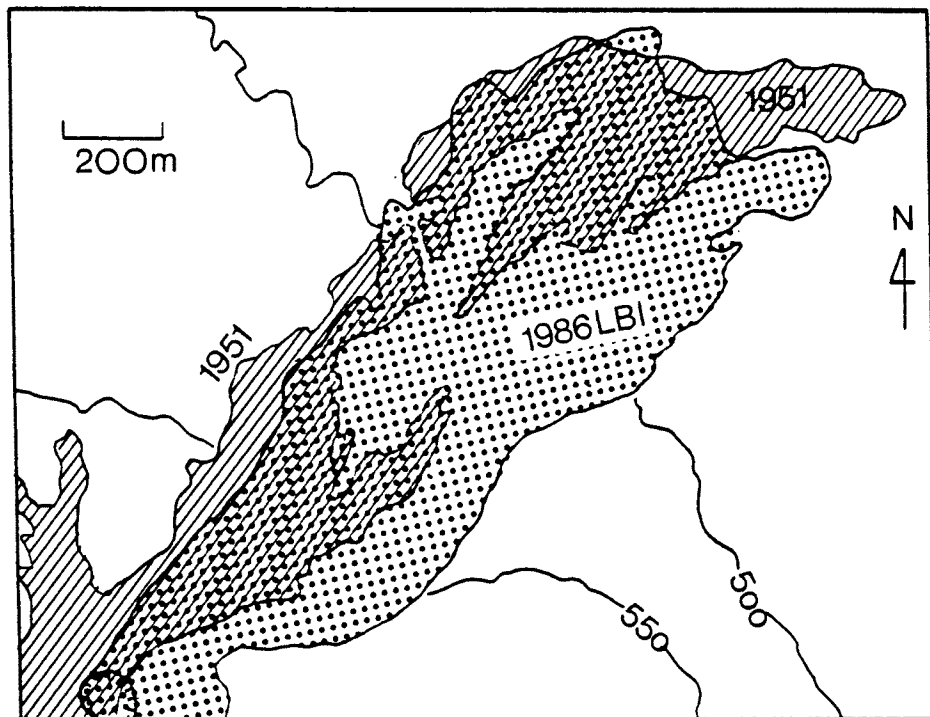


Fig. 8. Distribution of the 1951 lava flow and the lava flow LBI.

によって、過去の噴火による噴出物の層序および噴出物量等が詳しくまとめられている。Fig. 9に噴出物量の見積りに信頼のおける近年の噴火（1876年以後）の噴出物量の積算値を示した。伊豆大島の場合、1年当り $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ の固形火山物質を放出する能力が蓄積されることになる。これは、三宅島の場合¹⁾の約3倍である。今回の噴火の場合、前回の1951年の噴火からの休止期間が35年あったので、約3500万 m^3 の噴出物量が見込まれることになる。長岡ら¹³⁾によれば、今回の噴火によって噴出した溶岩流は2710万 m^3 、スコリアが890万 m^3 （海上降下分を含まない）、合計3600万 m^3 であるが、これは概略予想された値であったといえる。

一方、噴出口の位置については、現時点において特定することは困難である。また、噴出口を特定して、各々の噴出口に対する溶岩の被覆域を予想するよりは、人家の密集した集落、空港、港湾施設は、どの位置から溶岩が噴出した場合に、被覆される可能性があるかを明らかにしておく方が、災害防止の立場からは有効であると考えられる。

そこで、伊豆大島の場合も三宅島の例¹⁾にならい、それぞれの集落に溶岩を流入させる可能性のある噴出口の位置を昭和62年作成の国土基本図応急版にもとづく数値化地形を利用して調べてみた。噴出口からは、溶岩が海岸線付近まで達するに十分な量が供給されるものとしている。対象としたのは泉津・岡田・元町・野増・差木地・クダッチ・波浮港の7つの集落と大島空港である。50 m 間隔の噴出口を設定してそれぞれについて流入する可能性を調べた。従って、流入する可能性のある噴出口の分布範囲の境界は $\pm 50 \text{ m}$ の誤差を持つ。結果を Fig. 10 および Fig. 11 に示した。今回の噴火のC火口群は、元町地区の仮想火口の分布範囲に含まれる。また、波浮港地区は周囲よりも標高が高いので、周囲から溶岩流が流入する可能性は小さい。なお、今回の噴火のように山頂火口から溶岩が溢れ出した場合、溶岩流は北東へ進むものと考えられる。また、カルデラ内において開口した場合も北東へ進むと考えられるが、カルデラ内であっても南西部の場合はそのまま南西側山腹斜面を流下する可能性がある。

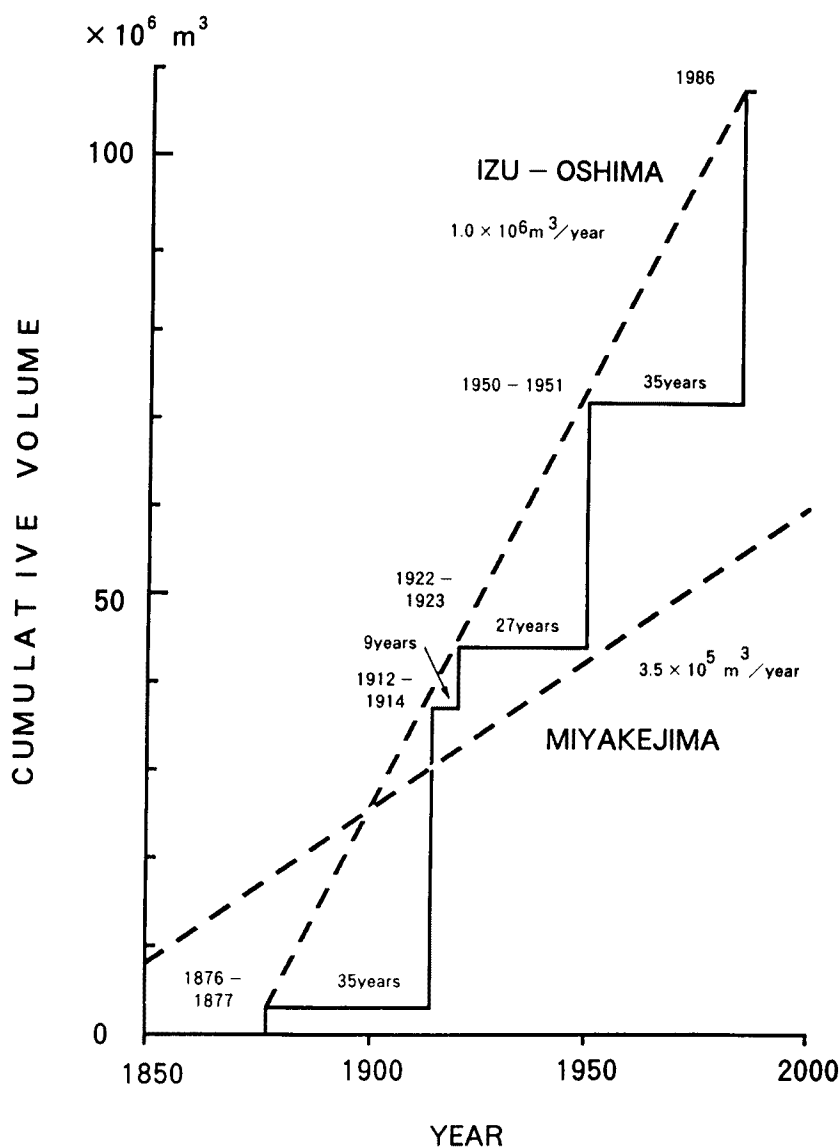


Fig. 9. Cumulative volume of volcanic materials ejected by the recent eruptions at Izu-Oshima Volcano.

なお、この risk map には、噴出物等の堆積による地形変化は考慮されていない。したがって、噴火中に地形変化が生じると、山体斜面における最大傾斜の方向が変わり、risk map の仮想火口の分布範囲に含まれない場所から流出した溶岩が流入する場合も有り得る。地形変化を考慮する必要があるのは、今回の噴火のように火口付近にスコリア丘などが形成された場合や1951年の伊豆大島噴火¹⁸⁾、Hawaii²⁰⁾や Arenal 火山²¹⁾にみられるように溶岩の流出が長期間続き、先に流下した溶岩が固化した場合などである。噴火活動中には地形図を修正することは困難であるかも知れないが、活動が終了または休止した段階では早急に地形測量を実施し、それに基づき risk map を修正する必要がある。

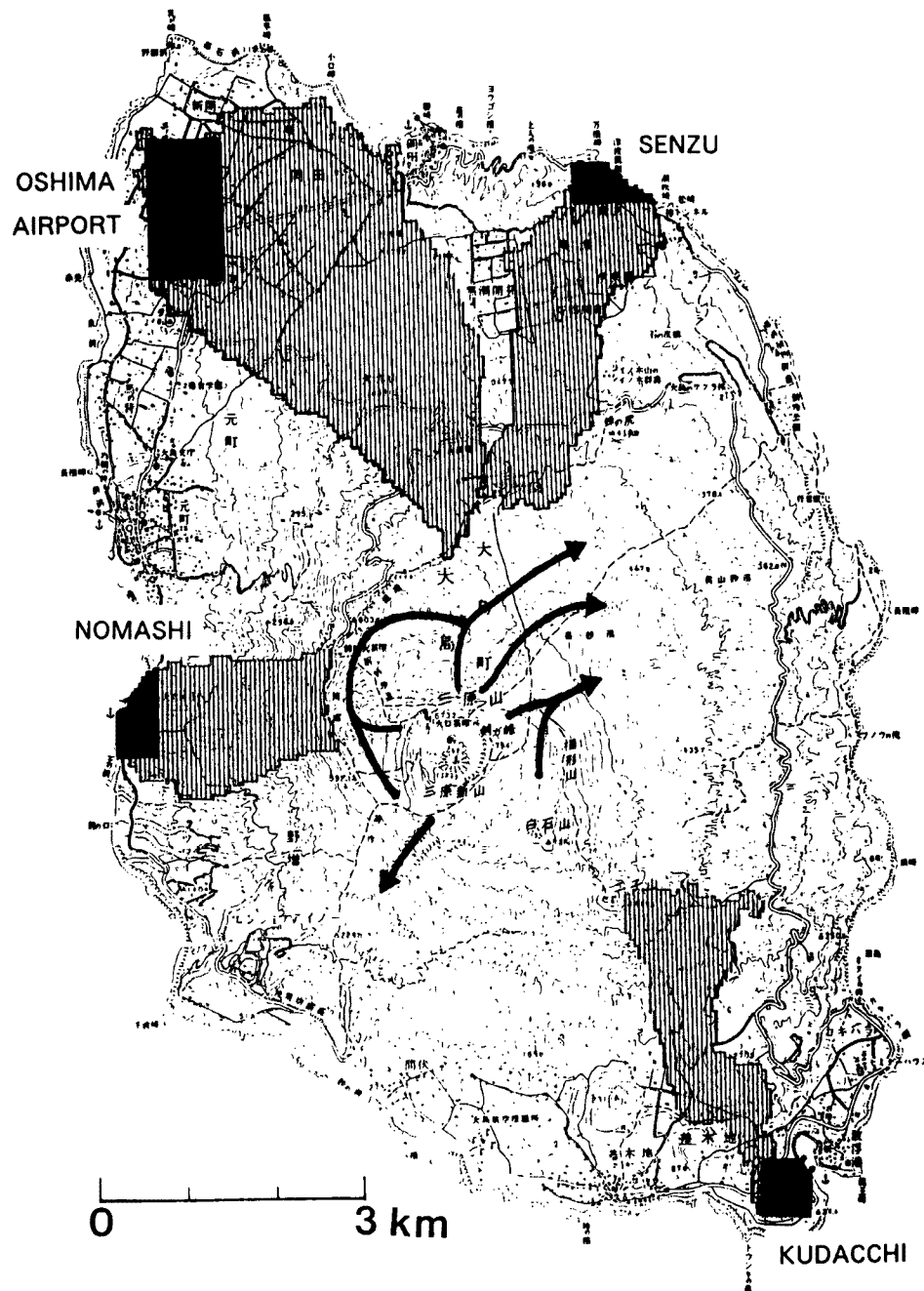


Fig. 10. A risk map of lava flows for Senzu, Nomashi, Kudacchi area and Oshima airport at Izu-Oshima. The lava flows extruded from the vents formed within each hatched area will pass through each village, when the outflow of lava is sufficient to reach the coast line. The arrow shows the direction of flowout when the lava overflows the rim of the summit crater and the lava pours out from vents in the caldera.

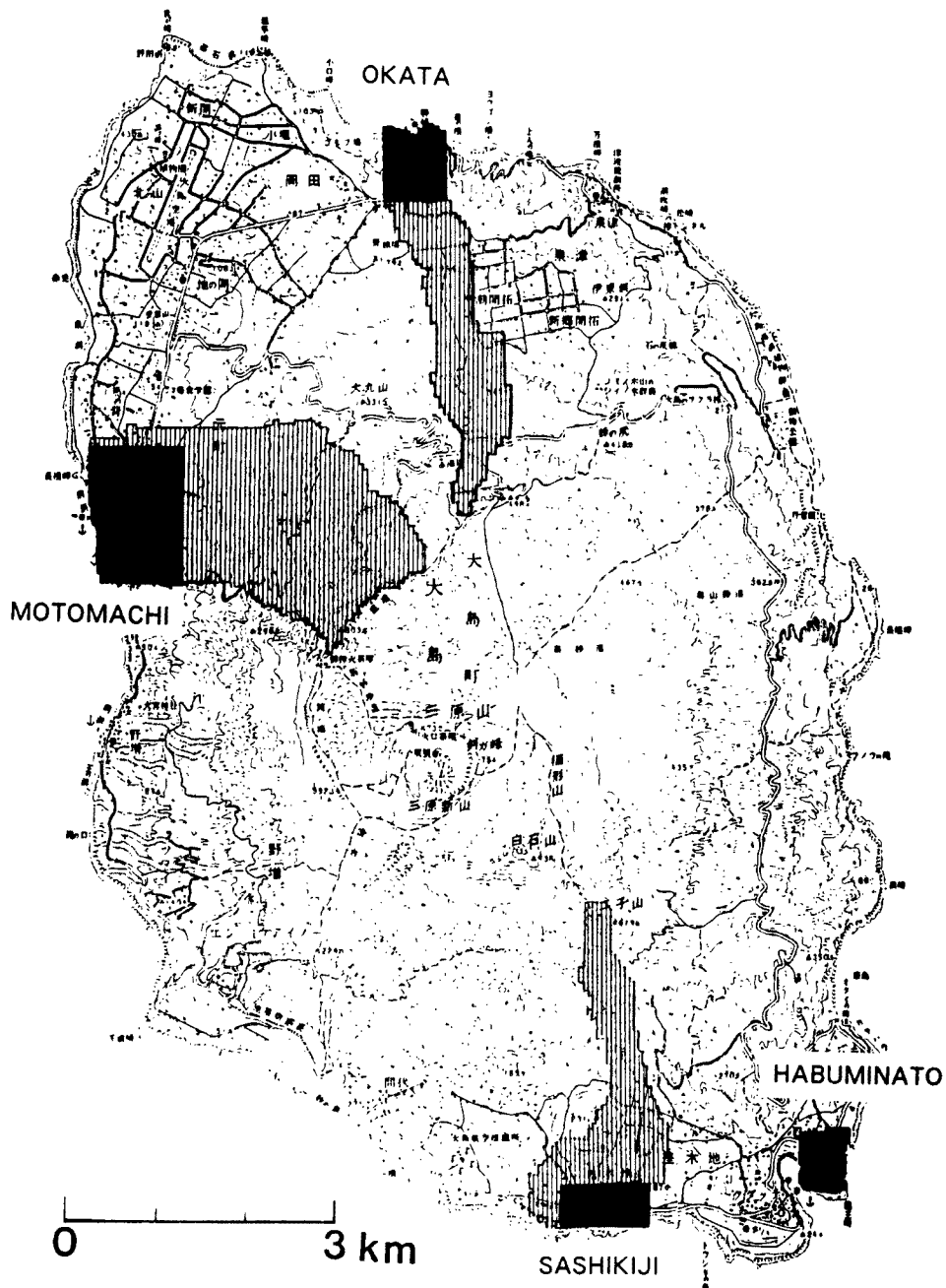


Fig. 11. A risk map of lava flows for Okata, Motomachi, Sashikiji and Habuminato area at Izu-Oshima.

6. お わ り に

1986年伊豆大島溶岩流のうち、割れ目噴火によって流出した溶岩流LB Iについて、スコリアの堆積による地表面の上昇を考慮し、再現性の向上を図った。その結果、実際の溶岩流とのくいちがいを小さくすることができた。しかし、数値化地形の元になる地形図の精度が不十分な部分については、模擬溶岩流は実際の溶岩流とくいちがった。

また、伊豆大島の各集落に溶岩が流入する可能性のある火口の分布範囲を示した。

数値計算には桜島火山観測所のデータ解析処理装置（OKITAC-50/60）を使用した。

参 考 文 献

- 1) 石原和弘・井口正人・加茂幸介：数値計算による1983年三宅島溶岩流の再現，京都大学防災研究所年報，第27号 B-1，1984，pp. 1-14.
- 2) 石原和弘・井口正人・加茂幸介：玄武岩質溶岩流のシミュレーション—1983年三宅島溶岩流への適用—，火山第2集，第29巻，三宅島噴火特集号，1984，pp. S242-S252.
- 3) Ishihara, K., Iguchi, M. and Kamo K.: Numerical Simulation of Lava Flows on Some Volcanoes in Japan: Proceeding IUGG XIX General Assembly 1987 Vancouver, Canada, 1988 (in press).
- 4) 石原和弘・井口正人・加茂幸介：桜島火山の溶岩流（Ⅱ）—大正溶岩流のシミュレーション—，京都大学防災研究所年報，第28号 B-1，1985，pp. 1-11.
- 5) 石原和弘・井口正人・加茂幸介：数値計算による1986年伊豆大島溶岩流の再現，火山第2集，第33巻，伊豆大島噴火特集号，1988，pp. S 64-S 76.
- 6) Minakami, T.: On the Temperature and Viscosity of the Fresh Lava Extruded in the 1951 Oo-sima Eruption, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 29, 1951, pp. 487-491.
- 7) 小山真人・白尾元理・早川由起夫：1986年伊豆大島噴火で生じた三原山火口溶岩湖の等位・形態の時間変化，火山第2集，第32巻，第2号，1987，pp. 165-166.
- 8) 阿部勝征・高橋正義：伊豆大島カルデラ床での割れ目噴火（1986年11月21日）の推移—写真解析による調査—，東京大学地震研究所彙報，Vol. 62，1987，pp. 149-162.
- 9) 下鶴大輔：火山噴火調査報告 1986年伊豆大島火山の噴火，JSEEP NEWS, No. 94, 1987, pp. 25-34.
- 10) 遠藤邦彦・千葉達朗・宮地直道・隅田まり・宇野リベカ・宮原智哉・太刀川茂樹：伊豆大島1986年噴火の経緯と噴出物，月刊地球，Vol. 9, 1987, pp. 452-459.
- 11) 早川由起夫：伊豆大島1986年噴火の噴出物と噴出率，月刊地球，Vol. 9, 1987, pp. 366-371.
- 12) 津久井雅志・早川由起夫・川辺禎久・小山真人・由井将雄・白尾元理：テレビ報道の解析による1986年伊豆大島噴火 Phase2 の記述，火山第2集，第32巻，第3号，1987，pp. 219-235.
- 13) 長岡正利・小川勝正：1986年伊豆大島噴火による地形変化と写真測量等により計測した噴出物量，日本火山学会1987年度春季大会講演予稿集，1987，p. 41.
- 14) 藤井敏嗣・荒牧重雄・金子隆之・小沢一仁・石井輝秋・福岡孝昭：伊豆大島火山1986年噴火噴出物の岩石学的特徴，月刊地球，Vol. 9, 1987，pp. 440-445.
- 15) 藤井敏嗣・荒牧重雄・福岡孝昭・千葉達朗：三宅島1983年噴火噴出物の岩石学的特徴，火山第2集，第29巻，三宅島噴火特集号，1984，pp. S266-S282.
- 16) 千葉達朗：1986年伊豆大島噴火の火砕丘と溶岩流，火山第2集，第32巻，第2号，1987，pp. 338-339.
- 17) 遠藤邦彦・千葉達朗・谷口英嗣・太刀川茂樹・隅田まり・宇野リベカ・宮原智哉・宮地直道：伊豆大島火山1986年噴火，B火口群の噴出物，火山第2集，第32巻，第4号，1987，p. 341.
- 18) Tsuya, H., Morimoto, R. and Ossaka, J.: The 1950-1951 Eruption of Mt. Mihara, Oshima Volcano, Seven Izu Islands, Japan. Part II. The 1951 eruption. Activity of the second period. Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 32, 1954, pp. 289-312.
- 19) Nakamura, K: Volcano-Stratigraphic Study of Oshima Volcano, Izu. Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 42, 1964, pp. 649-729.
- 20) Wolfe, E. W., Garcia, M. O., Jackson, D. B., Koyanagi, R. Y., Neal, C. A. and Okamura, A. T.: The Puu Oo eruption of Kilauea Volcano, episodes 1-20, January 3, 1983, to June 8, 1984. U.S. Geological Survey Professional Paper 1350, 1987, pp. 471-508.
- 21) Wadge, G.: The Magma Budget of Volcan Arenal, Costa Rica from 1968 to 1980. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 19, 1983, pp. 281-302.