

有珠火山2000年噴火の降灰分布と降灰量*

Volcanic ash fall distributions and volume estimation of the Usu 2000 eruption

産業技術総合研究所地質調査総合センター**

東京大学地震研究所***

北海道立地質研究所****

北海道大学大学院理学研究科*****

Geological Survey of Japan, AIST

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Geological Survey of Hokkaido

Graduate school of Science, Hokkaido University

1. はじめに

西南北海道の有珠火山は、前回の1977年～78年噴火から22年ぶりに、2000年3月31日13時7分に噴火を開始した。この噴火では、マグマ水蒸気爆発が西山西麓で始まり、何度も噴煙が立ち上った¹⁾²⁾。噴煙の高度は最大3500mに達した。噴煙は南西の風によって、北東方向に流された(第1図)。この噴火による噴出物には、約50vol%の本質物質が含まれていた³⁾。31日13時7分～16時頃の噴火は、有珠火山2000年噴火の中で最大規模の噴火であった。

翌4月1日には、洞爺湖温泉街南の金比羅山北西部でもマグマ水蒸気爆発や水蒸気爆発による噴煙が上がった。この日には、西山西麓付近の、虻田町と洞爺温泉街を結んでいた国道230号線付近でも多数の火口が形成された⁴⁾。4月上旬には、マグマ水蒸気爆発や水蒸気爆発によって、数多くの新火口が西山西麓や金比羅山北西麓付近で形成された。これらの火口からは高度数100m～約2000mの高さまで噴煙が上がった。4月4日16時～18時ごろには、比較的大きな噴煙が上がり、南風によって北方へ降灰があった(第4図)。4月5日以降の噴火は比較的小規模であった。新火口の形成は4月中旬頃まで続き、西山西麓と金比羅山北西麓を合わせて60以上の新火口が形成された⁵⁾。

2. 3月31日13時7分～の降灰

北海道大学、道立地質研、地質調査所(当時)の関係者が分担して、4月1日に3月31日の降灰分布限界の調査と定面積試料の採取を行った。定面積試料の採取は、降灰量算出のために行った。まだ多くの場所で残雪があったため、折れ尺などで30cm×30cmの面積を測定した上で、雪の上に堆積した降灰を雪ごとプラスチック製のサンプル袋に採取した。

調査の結果得られた3月31日13時7分～の噴火による降灰分布図を第1図に示す。降灰分布は、有珠山付近では狭く幅2.5km程度であるが、火口から離れるにつれて次第に幅が広がっている。火口から約25km離れた大滝村周辺では、幅は約20kmに広がっている。降灰主軸は、有珠山・洞爺湖周辺の火口から約15kmまでの範囲ではN65°Eの方向であるが、次第に北寄りに向きを変え、火口から約45km離れた支笏湖周辺でN30°Eの方向になっている。

3. 4月1日12時～4月2日12時の降灰

4月1日12時～4月2日12時の間の降灰分布と定面積試料の採取は、道立地質研のメンバーが行った。3月31日と同様の方法で、分布限界の調査と試料採取を行った。その結果得られた降灰分布を第2図に示す。降灰の主軸はN145°Eの方向に伸びており、室蘭市の方向に向かっている。火口から20kmの地点で幅約10kmに広がっている。約24

*Received 4 Sep., 2001

宝田晋治**・吉本充宏***・廣瀬 亘****・北川淳一*****・平賀正人*****・有珠山総合観測班地質グループ
Shinji Takarada, Mitsuhiro Yoshimoto, Wataru Hirose, Jun-ichi Kitagawa, Masato Hiraga and Geology
Group of Joint Research Team for the Usu 2000 eruption

時間の間の降灰分布を調べたため、比較的小規模な降灰が多数発生し、有珠火山周辺の降灰分布はかなり広がっている。有珠火山周辺の降灰分布は、地表やヘリコプターからの写真画像をもとに作成した。

4. 4月2日14時～14時10分の降灰

4月2日14時～14時10分の降灰は、比較的小規模な降灰である。1ヶ所のみであるが橋の柵の部分に堆積した降灰の定面積試料を採取した。周辺地域の降灰の有無を確認し、分布限界を調べた上で作成した降灰分布図が第3図である。降灰の主軸はN110°Eの方向である。火口から約6km付近では約4kmの幅に広がっている。さらに遠方では次第に幅が広がっている。分布範囲は比較的狭い。

5. 4月4日16時～18時の降灰

4月4日16時～18時の降灰の調査は、4月5日と4月8日に、道立地質研と北海道大学、地質調査所(当時)が行った。4月4日から8日の間に北側に降った比較的大きい降灰は4月4日16時～18時の降灰だけであったことから、他の降灰が混合している可能性はほとんどないと考えられる。

分布限界を調査して得られた降灰分布を第4図に示す。降灰の主軸は火口から約10kmの範囲ではN10°Wであり、それよりも北側では次第に東寄りに向きを変え、火口から20km離れた地点ではN8°Eの方向を向いている。降灰の幅は火口から4km地点では約5kmであるが、次第に扇型に大きく広がり、火口から25kmの地点では幅約35kmとなっている。

6. 3月31日13時7分～の降灰の降灰量

現地調査で得られた定面積試料の乾燥重量を測定し、等重量線図を作成した上で、降灰量を算出した。雪とともに採取した降灰試料は北海道大学の実験室に持ち帰り、処理を行った。

3月31日の降灰では19地点の降灰の処理を行い、乾燥重量を求めた。各地点の乾燥重量をもとに、等重量線を作成した。各地点の乾燥重量を1m²あたりのグラム数に換算し、地図上にプロットした(第1図)。これらの値をもとに、2、4、8、16、32、64、128、…、16384g/m²の等重量線図を引いた(第1図)。フリーソフトウェアのNIH imageや、グラフィックソフトウェアであるDeneba社のCANVAS ver.7を使用して、それぞれの等重量線が占める面積を求めた。

縦軸に各等重量線の重量(kg/m²)をとり、横軸に等重量線の面積(m²)をとって、常用対数グラフ上にプロットした(第5図)。各等重量線の値は、1本の直線ではなく、いくつかの線で近似できた。64g/m²と256g/m²のデータのところで折れ曲がりが見られた。64g/m²よりも外側の8、16、32、64g/m²の4つのデータをもとに最小2乗法で近似直線を引いた。最小2乗法による近似直線は、Microsoft社のExcel 2001を使用して求めた。同様に64、128、256g/m²の3つのデータをもとに近似直線を引いた。さらに、256、512、1024、2048、4096、8192、16384 g/m²の7つのデータをもとに近似直線を引いた。3本目の近似直線を火口近傍の10⁴m²(=100m×100mの領域)まで延長すると、平均密度1500kg/m³とした場合、層厚は25cmとなる。8月下旬の現地調査の結果、3月31日の噴出口であるN-A火口の中心から90m離れた地点での層厚は約1mであった。そこで、16,384g/m²のデータと10⁴m²の地点での層厚1mのデータの2つのデータを直線で結んで、4本目の近似直線とした(第5図)。このような、火口近傍の層厚が遠方から外挿して求めた値よりもかなり大きくなる現象は、1996年や1998年の北海道駒ヶ岳火山の噴火の際にも見られた⁶⁾⁷⁾⁸⁾。火口近傍には、遠方まで到達しない小規模な堆積物が多数累積することや、多くの弾道噴出物が堆積していることが原因であると考えられる⁸⁾。

これらの4本の近似直線を使い、区間ごとに積分を行って総降灰量を算出した。区間ごとの積分は数値計算ソフトウェアのMathematica ver. 2.2を使用した。その結果、64g/m²よりも外側の領域では9,300トン、64～256g/m²の領域では14,000トン、256～16,384g/m²の領域で61,000トン、16,384g/m²～火口近傍(10⁴m²)の領域では40,000トンとなった。これらの値を合計すると総降灰量は124,000トンとなった。

7. 4月1日12時～4月2日12時の降灰の降灰量

4月1日12時～4月2日12時の降灰（第2図）についても、3月31日の降灰と同様の方法で降灰量を算出した。7地点で得られた定面積試料の乾燥重量を測定した。1m²あたりのグラム数に換算した値を地図上にプロットした（第2図）。これらの値をもとに、2、4、8、16、32、64g/m²の等重量線図を作成した（第2図）。コンターが閉じている4、8、16、32、64g/m²の等重量線について、それらが囲む面積をCANVASでそれぞれ算出した。縦軸に等重量線の重量をとり、横軸に等重量線の面積をとって、対数グラフ上にプロットした（第6図）。これらの5つの等重量線のデータをもとに、最小2乗法で近似直線を引いた。

この近似直線を火口近傍（10⁴m²）まで延長すると、堆積物の密度を1500kg/m³としたとき、火口近傍での層厚は約35mとなる。この層厚は8月、9月、10月、11月に行った現地調査の結果（5cm～30cm）と大きく異なる。そこで、火口近傍での層厚を、平均をとって約20cm（=300kg/m²）としてプロットした。64g/m²の等重量線のデータと直線で結んでこの領域の近似直線とした。Mathematicaを使った積分の結果、64g/m²の等重量線で囲まれた領域の外側の降灰量は2,200トン、内側の領域は18,300トンとなった。これらの合計から総降灰量は21,000トンとなった。

8. 4月2日14時～14時10分の降灰の降灰量

4月2日14時～14時10分の降灰についても同様の方法で降灰量を算出した。1地点の定面積試料の乾燥重量を測定した。それを1m²あたりの重量に換算した結果、7.4g/m²となった。これを地図上にプロットし、降灰の分布限界をもとに2、4、8、16g/m²の等重量線を作成した（第3図）。閉じたコンターが得られた4、8、16g/m²の3つの等重量線について、各々の等重量線の面積を算出した。縦軸に、各等重量線の重量をとり、横軸に等重量線の面積をとって、対数グラフにプロットした（第7図）。これらの3つのデータをもとに最小2乗法で近似直線をひいた。この近似直線を火口近傍（10⁴m²）まで延長すると、堆積物の密度を1500kg/m³としたとき、火口近傍での層厚は約0.07cmとなる。この値は、現地調査で確認できた火口近傍の1枚の薄層の層厚（0.1cm～数cm）よりも1桁小さい。そこで、火口近傍での層厚を、平均をとって約0.2cm（=3kg/m²）としてプロットした。16g/m²の等重量線のデータと直線で結んで、この領域の近似直線とした。Mathematicaを使った積分の結果、16g/m²の等重量線で囲まれた領域の外側の降灰量は250トン、内側の降灰量は200トンとなった。これらの合計から総降灰量は450トンとなった。定面積試料のデータが1点しかないため、等重量線の自由度が大きい。このため、この降灰量は数分の1～数倍の誤差がある可能性がある。

9. 4月4日16時～18時の降灰の降灰量

4月4日16時～18時の降灰についても同様の方法で降灰量を算出した。24地点の定面積試料の乾燥重量を測定した。1m²あたりの重量に換算した値を地図上にプロットした（第4図）。これらの値をもとに、2、4、8、16、32、64、128、256g/m²の等重量線を作成した（第4図）。コンターが閉じている16、32、128、256g/m²の等重量線について、各々の等重量線の面積を算出した。縦軸に各等重量線の重量をとり、横軸に等重量線の面積をとって対数グラフ上にプロットした（第8図）。各データの並びは、64g/m²付近で折れ曲がりが見られた。このため、16、32、64g/m²の3つのデータをもとに最小2乗法で近似直線を引いた。さらに、64、128、256g/m²の3つのデータをもとに近似直線を引いた。2本目の近似直線を火口近傍まで延長すると、堆積物の密度を1,500kg/m³としたとき、火口近傍（10⁴m²）での層厚は約40cmとなる。この層厚は、火口近傍での現地調査の結果（5cm～50cm）とほぼ一致する。このため、近似直線をそのまま火口近傍まで延長することにした。64g/m²の等重量線で囲まれた領域の外側の範囲を積分すると9,600トン、内側の範囲を火口近傍まで積分すると39,000トンとなった（第8図）。したがって、これらの合計から総降灰量は49,000トンとなった。

10. 降灰量データの検討

降灰量の算出結果から、以下のことが言える。

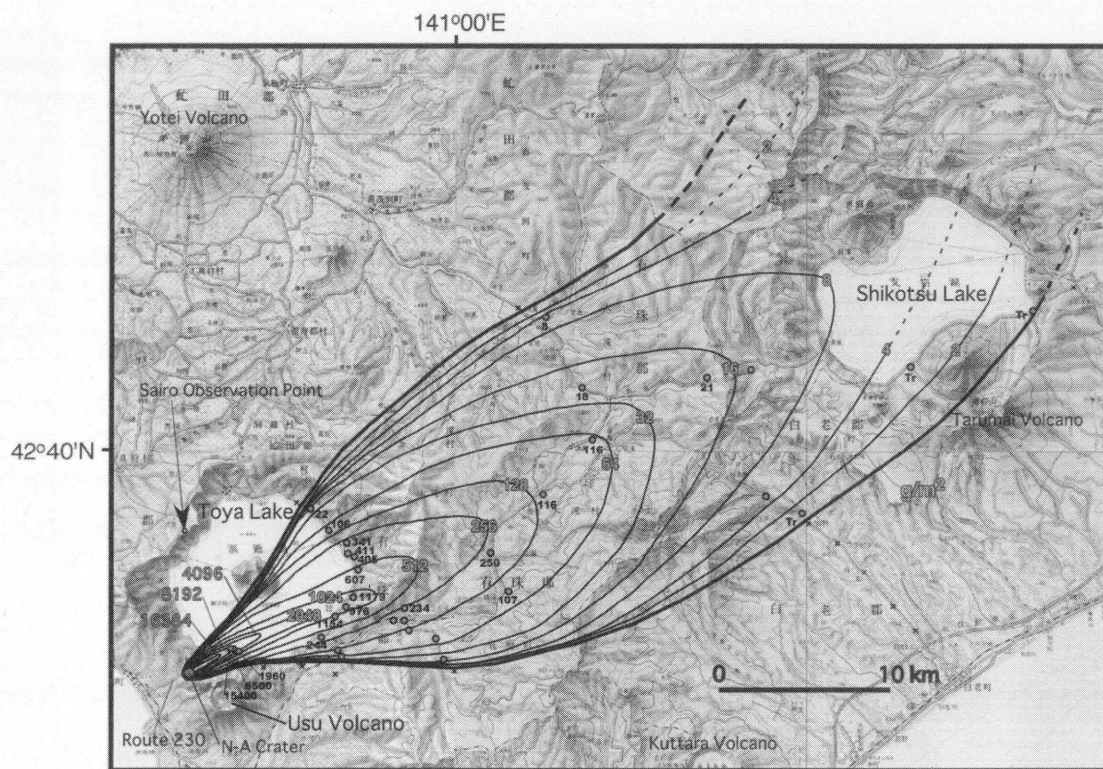
- (1) 降灰分布域のうち、約50%以上の面積を占める64g/m²の等重量線よりも外側の領域の降灰量は、降灰量全体

の約20%以下に過ぎない。

- (2) 64g/m²の等重量線よりも内側の領域の降灰量が、全体降灰量の80%近くを占める。
- (3) 山麓のみの定面積試料のデータから火口近傍まで外挿して算出した総降灰量は、過小・過大評価となる（第5図、第6図、第7図）場合がある。したがって、火口近傍での堆積物の層厚調査が、より正確な総降灰量を算出する上で重要である。

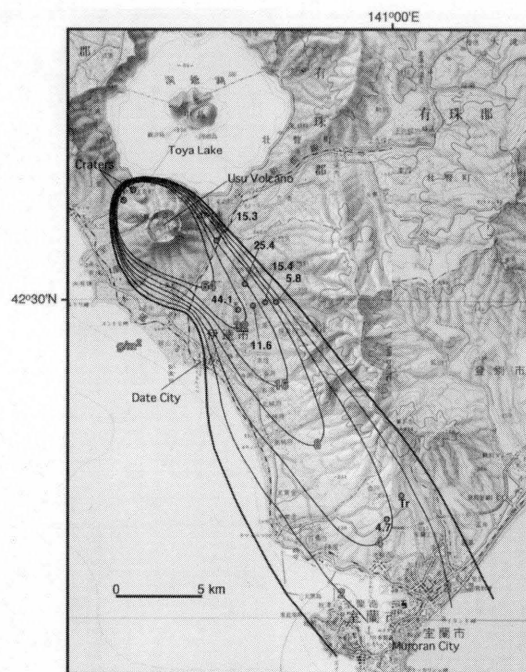
参 考 文 献

- 1) 宝田晋治・吉本充宏・北川淳一・平賀正人・山元孝広・川邊禎久・高田 亮・中野 俊・星住英夫・宮城磯治・西村裕一・三浦大助・廣瀬 亘・石丸 聡・垣原康之・遠藤祐司・八幡正弘・野呂田晋・新井田清信・石塚吉浩・工藤 崇・相沢幸治・本間宏樹・江草匡倫・石井英一・高橋 良（2001）：有珠火山2000年噴火の降灰と火口近傍の状況，地調研報，52，167-179.
- 2) 高田 亮・宝田晋治・山元孝広・松島喜雄・西 祐司・広瀬 亘・垣原康之・田近 淳・遠藤祐司・野呂田晋・北海道大学理学部（2001）：有珠2000年噴火の噴火・噴煙高度変化速報（4月6～13日），地調研報，52，199-206.
- 3) 東宮昭彦・宮城磯治・星住英夫・山元孝広・川邊禎久・佐藤久夫（2001）：有珠火山2000年3月31日噴火とその本質物，地調研報，52，215-230.
- 4) 東宮昭彦（2001）：有珠火山2000年噴火の空撮写真－4月1日に次々と形成された火口群－，地調研報，52，口絵i-ii.
- 5) 稲葉千秋・並川和敬・片岡達彦・向山 栄・曾我智彦・鈴木 拓・総合観測班地質グループ（2000）：日本火山学会秋季大会講演予稿集，181.
- 6) 宇井忠英・吉本充宏・古川竜太・石塚吉浩・吉田真理夫・宮地直道・勝井義雄・紀藤典夫・雁沢好博・野上健治（1997a）：北海道駒ヶ岳1996年3月の噴火，火山，42，141-151.
- 7) 宇井忠英・吉本充宏・佐藤十一・橋本 勲・宮村淳一（1997b）：北海道駒ヶ岳1996年3月噴火の噴出量の再検討，火山，42，429-431.
- 8) 宝田晋治・中川光弘・吉本充宏・北川淳一・吉田真理夫・宇井忠英・岡崎紀俊・広瀬 亘・石丸 聡・佐藤十一・太田良久（1999）：北海道駒ヶ岳1998年10月25日の小噴火，1999年地球惑星科学関連学会合同大会予稿集，Vd-P014.



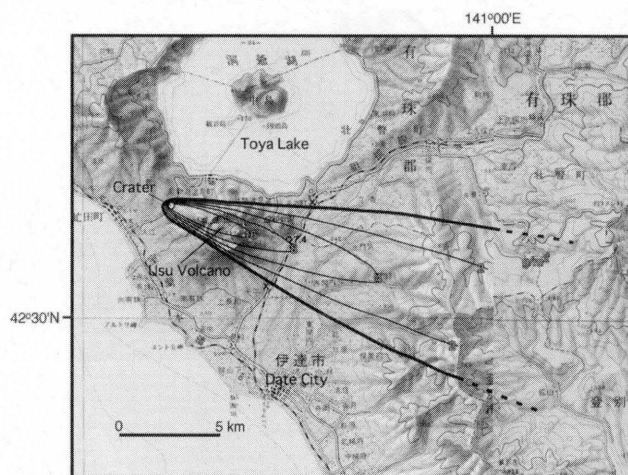
第1図 2000年3月31日13時7分～の噴火による降灰分布図。外側の太い線は、降灰分布限界を示す。分布限界内部のコンターは、等重量線（ 1m^2 あたりのグラム数）を示す。小さい丸は調査地点を示す。調査地点の数字は、定面積試料の乾燥重量から算出した 1m^2 あたりのグラム数を示す。Trは極微量の降灰があった地点を示す。×は降灰が確認できなかった地点を示す。地形図は、国土地理院発行の20万分の1地勢図「室蘭」、「岩内」、「札幌」、「苫小牧」を使用した。

Fig. 1 Volcanic ash fall distribution by the 13:07-March 31, 2000 eruption. A broad outer line indicates distribution limit of the ash fall deposit. Contours within the broad line indicate isopleth lines (g/m^2). Small circles in the map show ground survey points. Numbers beside the circles indicate ash sample weight per unit area (g/m^2) in dry condition. "Tr" indicates survey point with a small amount of ash fall deposit ($<1\text{g}/\text{m}^2$). "X" indicates survey point without ash fall deposit. 1:200,000-scale topographic maps "Muroran", "Iwanai", "Sapporo", and "Tomakomai" published by the GSI were used.



第2図 2000年4月1日12時～4月2日12時の期間の噴火による降灰分布図。外側に太い線は、降灰分布限界を示す。分布限界内部のコンターは等重量線（ 1m^2 あたりのグラム数）を示す。小さい丸は調査地点を示す。調査地点の数字は、定面積試料の乾燥重量から算出した 1m^2 あたりのグラム数を示す。Trは極微量の降灰があった地点を示す。地形図は、国土地理院発行の20万分の1地勢図「室蘭」、「苫小牧」を使用した。

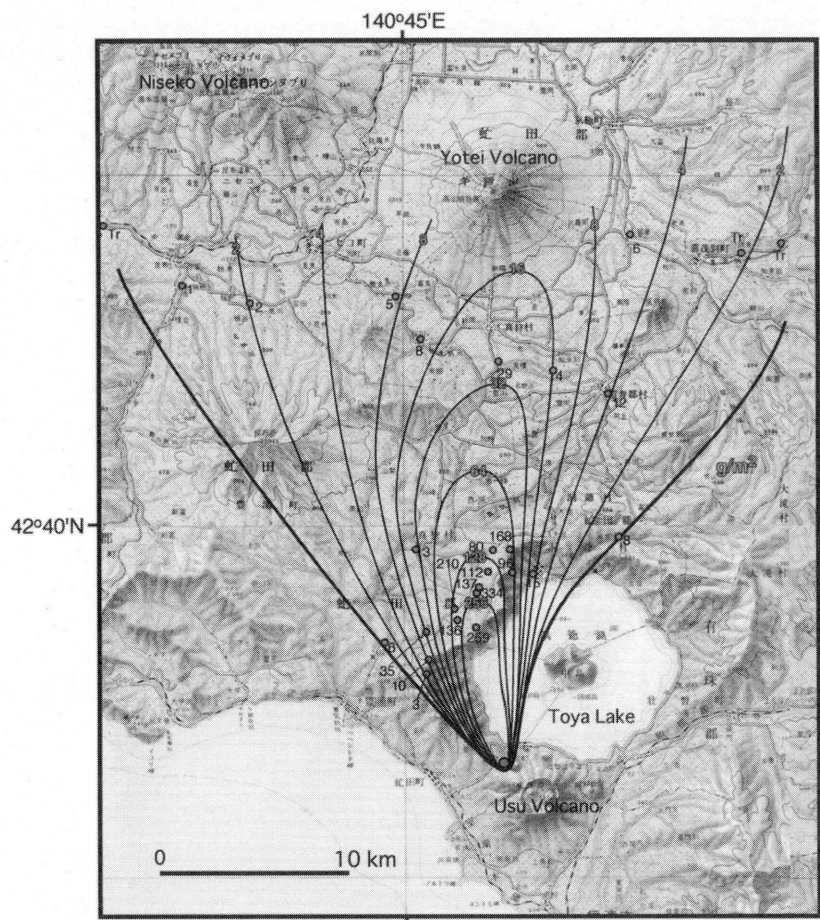
Fig. 2 Volcanic ash fall distribution by eruptions from 12:00 April 1 to 12:00 April 2, 2000. A broad outer line indicates distribution limit of the ash fall deposit. Contours within the broad line indicate isopleth lines (g/m^2). Small circles in the map show ground survey points. Numbers beside the circles indicate ash sample weight per unit area (g/m^2) in dry condition. "Tr" indicates survey point with a small amount of ash fall deposit ($<1\text{g}/\text{m}^2$). 1:200,000-scale topographic maps "Muroran" and "Tomakomai" published by the GSI were used.



予知連会報第77号 降灰
第3図 宝田ほか
横幅 7.5 cm

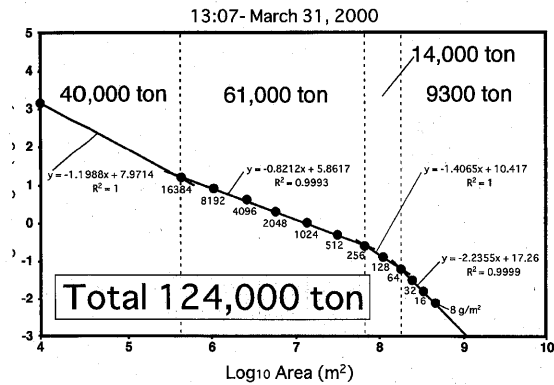
第3図 2000年4月2日14時～14時10分の噴火による降灰分布図。外側の太い線は、降灰分布限界を示す。分布限界内部のコンターは等重量線（ 1m^2 あたりのグラム数）を示す。小さい丸は調査地点を示す。調査地点の数字は、定面積試料の乾燥重量から算出した 1m^2 あたりのグラム数を示す。×は降灰が確認できなかった地点を示す。地形図は、国土地理院発行の20万分の1地勢図「室蘭」、「苫小牧」を使用した。

Fig. 3 Volcanic ash fall distribution by an eruption at 14:00-14:10 April 2, 2000. A broad outer line indicates distribution limit of the ash fall deposit. Contours within the broad line indicate isopleth lines (g/m^2). A small circle in the map show a ground survey point. A number beside the circle indicates ash sample weight per unit area (g/m^2) in dry condition. "X" indicates survey point without ash fall deposit. 1:200,000-scale topographic maps "Muroran" and "Tomakomai" published by the GSI were used.



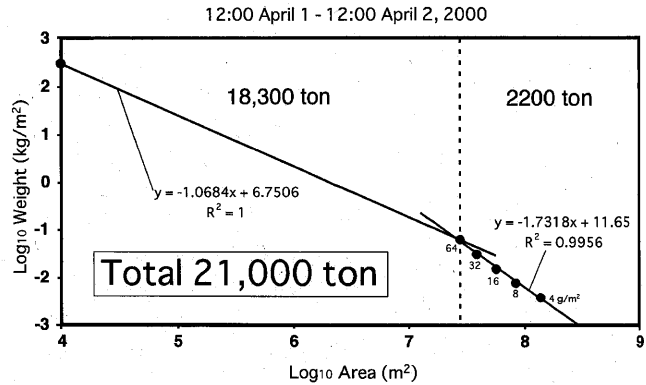
第4図 2000年4月4日16時～18時の噴火による降灰分布図。外側の太い線は、降灰分布限界を示す。分布限界内部のコンターは等重量線（1 m²あたりのグラム数）を示す。小さい丸は調査地点を示す。調査地点の数字は、定面積試料の乾燥重量から算出した1 m²あたりのグラム数を示す。Trは極微量の降灰があった地点を示す。×は降灰が確認できなかった地点を示す。地形図は、国土地理院発行の20万分の1地勢図「室蘭」、「岩内」、「札幌」、「苫小牧」を使用した。

Fig. 4 Volcanic ash fall distribution by the 16:00-18:00 April 4, 2000 eruption. A broad outer line indicates distribution limit of the ash fall deposit. Contours within the broad line indicate isopleth lines (g/m²). Small circles in the map show ground survey points. Numbers beside the circles indicate ash sample weight per unit area (g/m²) in dry condition. "Tr" indicates survey point with a small amount of ash fall deposit (<1g/m²). "X" indicates survey point without ash fall deposit. 1:200,000-scale topographic maps "Muroran", "Iwani", "Sapporo", and "Tomakomai" published by the GSI were used.



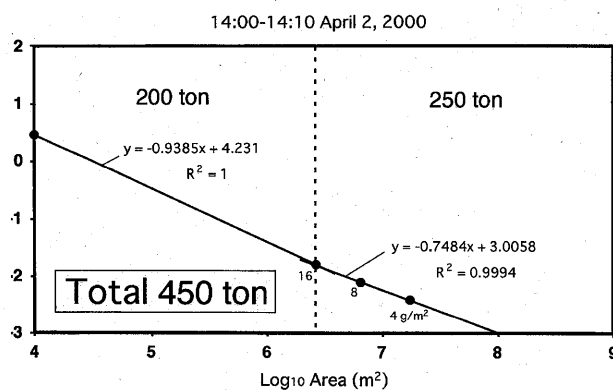
第5図 2000年3月31日13時7分～の降灰の各等重量線の面積 (m²) と重量 (kg/m²) をプロットした対数グラフ。対数グラフ上で直線近似できる区間ごとに、最小2乗法で近似直線を求めた。64g/m²、256g/m²、16384g/m²の等重量線のデータの部分で区間を区切った。区間ごとに積分して降灰量を算出した。火山近傍 (10⁴m²) の層厚を1mとして近似直線を引いている。

Fig. 5 Relation between area (m²) and weight (kg/m²) of each ash fall isopleth for the 13:07-March 31, 2000 eruption. Approximation lines were determined using the method of least squares. The approximation lines were divided at 64, 256, and 16384g/m² values. The total ash fall weight was calculated by integration of the approximation lines in each segment. Ash fall deposit thickness near the source area (10⁴m²) was estimated as 1m.



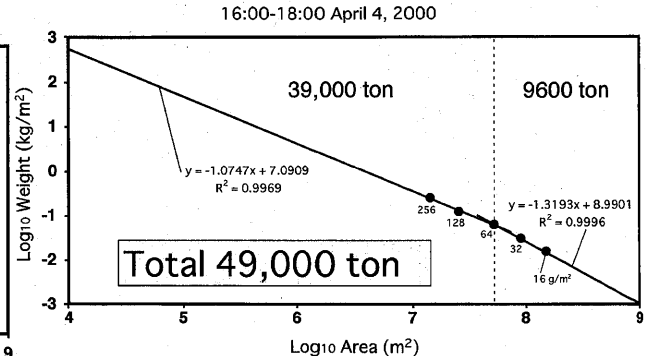
第6図 2000年4月1日12時～4月2日12時の降灰の各等重量線の面積と重量をプロットした対数グラフ。64g/m²のデータよりも外側と内側でそれぞれ近似直線を引いた。火山近傍 (10⁴m²) での層厚を20cmとしている。区間ごとに積分して降灰量を算出した。

Fig. 6 Relation between area (m²) and weight (kg/m²) of each ash fall isopleth by eruptions from 12:00 April 1 to 12:00 April 2, 2000. Approximation lines were determined using the method of least squares. The approximation lines were divided at 64g/m² value. The total ash fall weight was calculated by integration of the approximation lines in each segment. The ash fall deposit thickness near the source area (10⁴m²) was estimated as 20cm.



第7図 2000年4月2日14時～14時10分の降灰の各等重量線の面積と重量をプロットした対数グラフ。4、8、16g/m²のデータから最小2乗法の近似直線を求めた。近似直線の傾きと切片の値から積分を行い、総降灰量を算出した。

Fig. 7 Relation between area (m²) and weight (kg/m²) of each ash fall isopleth for an eruption at 14:00-14:10 April 2, 2000. An approximation line was determined using the method of least squares. The total ash fall weight was calculated by integration of the approximation line.



第8図 2000年4月4日16時～18時の降灰の各等重量線の面積と重量をプロットした対数グラフ。64g/m²の等重量線のデータの外側と内側でそれぞれ近似直線を引いた。それぞれの区間で積分を行い、総降灰量を算出した。

Fig. 8 Relation between area (m²) and weight (kg/m²) of each ash fall isopleth for the 16:00-18:00 April 4, 2000 eruption. Approximation lines were determined using the method of least squares. Approximation lines were divided at 64g/m² value. The total ash fall weight was calculated by integration of the approximation lines in each segment.