

## 支笏火山40ka 噴火の規模に関する検討

山 縣 耕太郎

(平成11年10月29日受理)

### 要 旨

支笏カルデラを形成した噴火について、その規模を定量的に検討した。この噴火の堆積物は、主に降下軽石 (Spfa-1) と火砕流堆積物 (Spfl) から構成される。降下軽石の総量については、結晶法によって  $56.17 \times 10^{15}$  g という値が得られた。最大岩片粒径分布から、この降下軽石をもたらした噴煙柱は約50kmの高度まで達し、そこから粒子は30-40 m/sの強い高層風の影響をうけて拡散したと推定される。火砕流堆積物の体積は、分布域の一部の扇状の地域における層厚分布から推定した結果、 $225 \text{ km}^3$  という値を得た。従って、この噴火で噴出した物質の総体積をマグマの体積に換算すると、 $139.5 \text{ km}^3$  になる。この値はカルデラの地形的凹地の体積 ( $115 \text{ km}^3$ ) より若干大きい。しかし、重力異常から求められる地下構造の質量欠損によってこの食い違いは説明できる。

### KEY WORD

Shikotsu volcano	支笏火山	Caldera forming eruption	カルデラ形成噴火
Bigness of eruption	噴火の規模	Crystal concentration method	結晶法

### 1. は じ め に

北海道南西部に位置する支笏火山は、約4万年前に大規模な噴火を行い、現在のカルデラを形成したと考えられている(勝井, 1959)。この噴火では大規模な火砕流と降下軽石が噴出されている。火砕流は、カルデラを中心に南部石狩低地を含む広い地域を覆い、降下軽石の分布は、石狩低地から十勝平野、道東、太平洋まで広がっている。このため、このテフラは北海道における重要な示標テフラになっている。この噴火で噴出した火砕流堆積物および降下軽石堆積物は、日本における後期更新世以降の火砕流堆積物、降下軽石堆積物の中でも最大規模の噴火噴出物である。

このような過去の噴火規模に関する定量的な記載は、火山活動やその影響を考える上で重要な情報を提供する。特に大規模な噴火の場合には、それだけ多くの堆積物が保存されているため、豊富なデータを得ることができる。また、大規模な噴火は発生の頻度は低いが、大量のマグマが噴出するため、個別の火山や地域の火山活動史のなかで重要な意味をもち、地球環境や人間社会に与える影響も甚大である。

噴火の規模を評価するための指標として、Walker (1980) は以下の5つの指標を提案してい

る：1) Magnitude (噴出物の総量), 2) Intensity (噴出率), 3) Dispersive power (噴出物の散布面積), 4) Violence (噴出物の運動量), 5) Destructive potential (噴火被害を受ける面積)。この中でも噴出物の総量と噴出率は特に重要な指標である。しかし、これらの指標の値を求める方法についてはまだ確立されているとは言えず、検討が続けられている。また、実際に個別の事例でこれらの指標の値を算定する場面では、様々な困難が生じる。このため、噴火の規模が定量的に評価されている事例は必ずしも多くない。

そこで本研究では、後期更新世以降、日本および世界で起こった火山噴火の中でも最大規模の噴火である支笏火山40 ka 噴火の規模について、定量的な評価を行うことを試みる。また、その過程において、従来の研究の中で考案されている複数の方法を用いて指標の値を算定し、その結果を比較する。さらには、得られた値をもとに、支笏火山の噴火史やカルデラ地形との関係について検討し、他の大規模火山噴火との比較を行う。

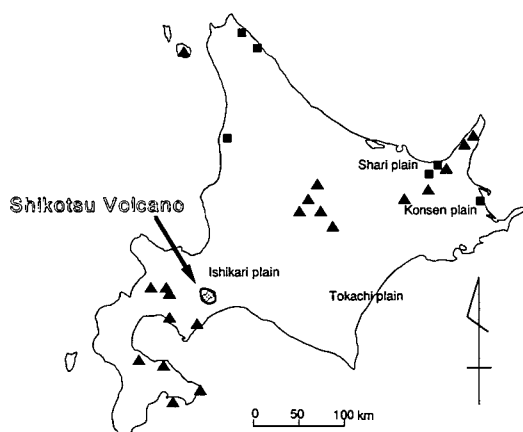


Fig. 1 Locality map. Solid triangles are Quaternary volcanoes (younger than 500ka), solid squares are observation point of the distal Spfa-1.

## 2. 支笏火山および40 ka 噴火の概要

支笏火山の後期更新世以降の噴火は、約55 ka の Ssfa・Ssfl の噴火に始まり、数千年の間隙を挟んで2回のプリニアン噴火を行った後、約1万年間の噴火休止期において、約40 ka に大規模な噴火を行い、現在のカルデラを形成した(山縣, 1994)。この噴火で噴出した火砕流堆積物および降下軽石は、それぞれ勝井(1959)によって支笏軽石流堆積物(Spfl)、および支笏降下軽石堆積物(Spfa-1)と命名された。この噴火の後、短い休止期をはさんで支笏火山は後カルデラ活動を開始し、カルデラ内に北北西-南南東方向に配列する3つの後カルデラ火山(恵庭, 風不死, 樽前)を形成した。このうち樽前火山は歴史時代においても活発な活動を行っている。

40 ka 噴火で形成された支笏カルデラは、北北西-南南東方向に長軸を持つ楕円形のカルデラで、長軸が16km、短軸が14km、カルデラのしめる面積は164km<sup>2</sup>である(Fig. 2)。急傾斜のカルデラ壁は、陸上部分で平均約350mの比高をもつ。これにカルデラの大部分を占める支笏湖の水深360mをあわせると、40 ka 噴火に伴って生じた凹地の深さは約700mになり、凹地の体積は115km<sup>3</sup>と計算される。

支笏火山40 ka 噴火の噴出物について、Yamagata(1991)はこれを11の部層に区分した(Fig.

3)。このような噴出物の層序から、支笏火山40 ka 噴火は、マグマ水蒸気噴火にはじまり、降下軽石噴火を経て、大規模な火砕流の噴出へと移行し、噴火の末期には小規模なサージ、スコリア流、降下火山灰を噴出して終了したと考えられる。11の部層のうち、unit 4が Spfa-1、unit 5-7が Spfl に相当する。残りの部層は、分布がカルデラ周辺に限られていて、噴出物全体の中でその体積が占める割合は小さい。

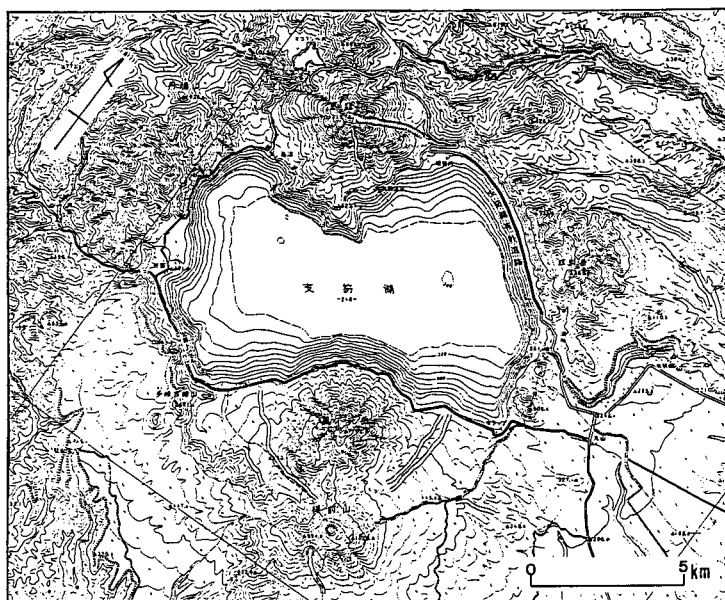


Fig. 2 Topographic map of the Shikotsu caldera. 1 : 100,000 maps of “Shikotsu, Toya and the surrounding area” published by the Geographical survey Institute of Japan are used.

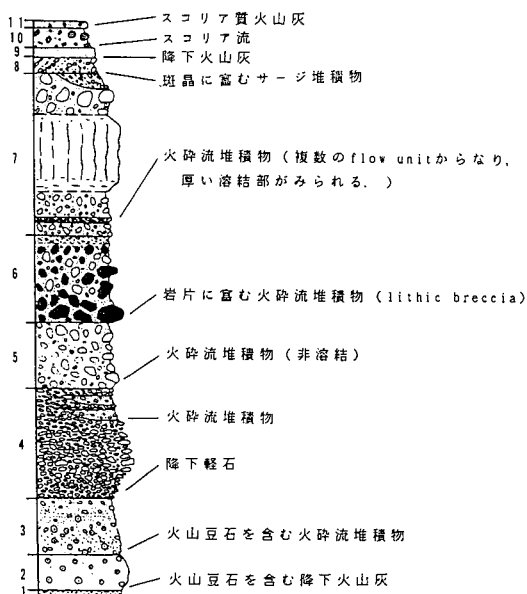


Fig. 3 Idealized columnar section of the Shikotsu 40 ka eruption.

### 3. 降下軽石の分布と規模

Fig. 4には、Spfa-1の層厚分布を示した。分布軸は給源から東南東方向にのび、等層厚線は細長い楕円形を示す。給源の南西に位置する登別周辺の層厚は厚く、石狩低地以東の層厚分布とはなめらかに続かないことから、南方に分布軸をもつフォールユニットが存在することが予想される。カルデラの周囲は、降下軽石に引き続いて噴出した火砕流堆積物に厚く覆われているため、降下軽石堆積物を観察できる地点が少ない。このため最大層厚が観察されるのは、カルデラ縁から25km離れた地点（千歳市美々）で600cmである。

Fig. 4に示した範囲より遠方にも Spfa-1の分布は追跡される。Fig. 1には、遠方で Spfa-1が観察される地点を示した。道東の斜里平野や根釧原野において Spfa-1は 6 ~ 10cm の層厚を示す。この値は、十勝平野までの層厚分布変化から推定される層厚より厚い。この理由として、この地域では、屈斜路火山起源のテフラ（KP-1）が Spfa-1の直上を覆うため、Spfa-1がよく保存されていることがあげられる。しかし、この地域に分布する Spfa-1は、ガラス質の細粒火山灰で、バブルウォール型のガラスを多く含むことから、Spflに伴う co-ignimbrite ash である可能性も考えられる。最近では、三陸沖の海底コアからも Spfa-1に対比されるテフラの存在が報告されている（青木ほか、1998）。

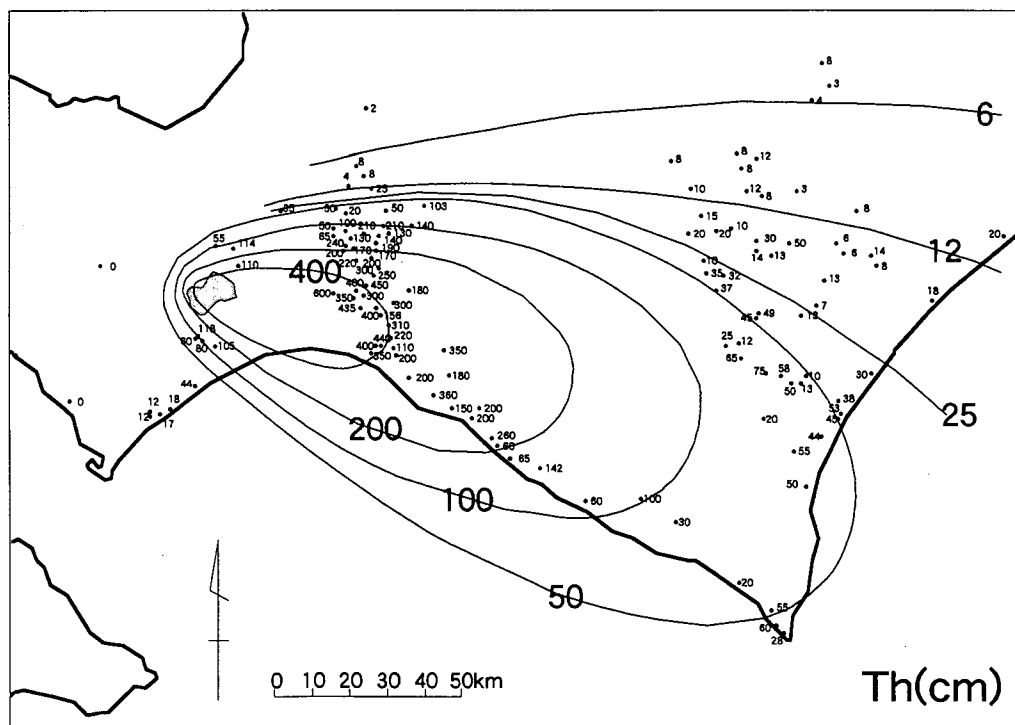


Fig. 4 Isopach map of the Spfa-1.

降下堆積物の体積を推定するためには、従来様々な方法が試みられている。Spfa-1の体積についても、いくつかの推定結果が報告されている。従来提案されてきた体積測定法の多くは、等層厚線図を基礎とする方法である。等層厚線図を用いる方法には、1) 堆積断面を求めて積算する方法（鈴木ほか, 1973）；2) 両対数目盛の層厚－面積関係を2直線で近似する方法（Rose et al, 1973）；3) 層厚－積算体積関係を描いて求める方法（Frogatt, 1982；鈴木, 1981）などがある（町田・新井, 1994）。また、Hayakawa (1985) は、多くの降下テフラの層厚 (T)－面積 (A) 曲線が、両対数グラフ上でほぼ一定の傾きを持つことから、降下テフラの体積 (V) を求める計算式  $[V=12.2TA]$  を提案している。

最近、層厚 (T) の対数と、その等層厚線に囲まれる面積の平方根 ( $A^{1/2}$ ) のグラフがほぼ直線になることが着目され、両者の関係から降下堆積物の体積を求めようとする試みが行われている。Pyle (1989) は、降下堆積物の厚さが半減する特有な距離 ( $b_t$ ) をパラメーターとして採用し、理論的に求められる最大層厚 ( $T_{max}$ ) から降下堆積物の体積 (V) を求める計算式  $[V=13.08T_{max}b_t^2]$  を提案した。また、Fierstein・Nathenson (1992) は、層厚 (T) の対数と面積の平方根 ( $A^{1/2}$ ) のグラフの傾き (k) を用いて体積 (V) を求める計算式  $[V=2T_{max}/k^2]$  を提案している。

ここでは、Fig. 4の等層厚線のデータをもとに、Hayakawa (1985) の方法と、Fierstein・Nathenson (1992) の方法を用いて、Spfa-1の体積を計算した。Fig. 3から求められる層厚 (T) と等層厚線の内側の面積 (A)、および Hayakawa (1985) の式  $[V=12.2TA]$  から求められる Spfa-1の体積 (V) を Table 1に示した。400cmの等層厚線は、火砕流に覆われて層厚データが得られない地域を多く含み、精度が悪いので除外すると、何れも90km<sup>3</sup>前後(平均：94km<sup>3</sup>)の値が得られた。

Table 1 Volumes of Spfa-1 calculated after Hayakawa (1985).

T(cm)	A(km <sup>2</sup> )	V(Km <sup>3</sup> )
400	1018	50
200	4014	98
100	7903	96
50	14336	87

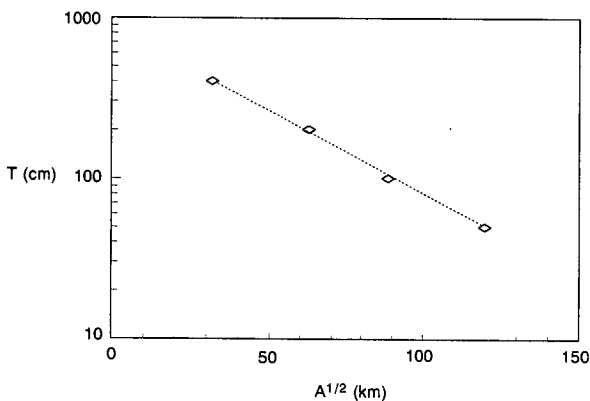


Fig. 5 The logarithm of thickness versus the square root of the area enclosed by an isopach contour for Spfa-1.

Fig. 5は、層厚 (T) の対数と面積の平方根 ( $A^{1/2}$ ) の関係をあらわしたグラフである。それぞれの層厚について得られた値はほぼ直線上にのる。グラフの傾き (k) は0.0125, Y 切片として求められる最大層厚 ( $T_{\max}$ ) は872cm である。従って計算式 [ $V=2T_{\max}/k^2$ ] から求められる Spfa-1の体積は111km<sup>3</sup>となる。

層厚分布のデータを用いずに降下堆積物の総量を見積もる方法としては、結晶法 (crystal concentration method: Walker, 1980) がある。堆積物中の細粒粒子が軽石の破碎によって生じたならば、十分に大きい軽石中の斑晶とガラスの比は、全堆積物中の細粒部分に含まれる遊離斑晶とガラスの比に等しいはずである。このうち遊離斑晶は、比重が大きいため給源付近に選択的に堆積していると考えられる。結晶法では、給源付近に選択的に堆積している遊離斑晶の量から、堆積物全体の量を推定しようとする方法である。この方法は、遠方に拡散して、地層としては残っていないような細粒の粒子を理論的に考慮して降下堆積物の総量を測定することができる優れた方法である。しかし、粒度分析と構成物の量比を測定する作業に多大な労力を必要とするため、この方法を適用して降下堆積物の総量を測定した事例は少ない。

Table 2 Mass calculations for the Spfa-1

size class (mm)	2-1mm	1-0.5mm	0.5-0.25mm
a: crystal % in pumice	0.31	1.6	1.0
H: mass of heavies	0.26	1.1	0.37
b: crystal % in heavies	70	97	99
C: mass of crystals	0.182	1.067	0.366
M': mass necessiated by C	59.67	66.69	36.63
M'': total mass >2mm	1.84	1.84	1.84
M: total mass erupted	61.51	68.52	38.47

$$C=bH/100, M'=100C/a, M=M'+M''$$

本研究では、この結晶法を用いて Spfa-1の体積測定を試みた。測定方法は、Hayakawa (1985) に従い、測定対象の鉱物を2-1mm, 1-0.5mm, 0.5-0.25mm の粒径に分けて測定を行った。Fig. 6には、単位面積あたりの Spfa-1の堆積量分布図(M), 2-1mm( $0\phi H$ ), 1-0.5mm( $1\phi H$ ), 0.5-0.25mm ( $2\phi H$ ) の鉱物の堆積量, および Spfa-1の各粒度部分の堆積量分布図を示し、Table 2には分析の手順で用いた値を示した。計算の結果、Spfa-1の総質量は、2-1mm 画分の結晶量からは $61.50 \times 10^{15}g$ , 1-0.5mm 画分の結晶量からは $68.52 \times 10^{15}g$ , 0.5-0.25mm 画分の結晶量からは $38.47 \times 10^{15}g$  という値が得られた。各粒度部分から求められた Spfa-1の総量は若干異なる。ここでは3つの平均値 $56.17 \times 10^{15}g$  を Spfa-1の総量として採用する。この値を平均的な堆積密度 $0.4 g/cm^3$ でわると、Spfa-1の総体積として $140km^3$ という値が求められる。

多くの場合、層厚分布から体積を推定する場合には、遠方に拡散した細粒の粒子を十分に評価できないため、結晶法で求めた値より推定された体積が小さくなる傾向がある (Rose, 1993; Fierstein・Nathenson, 1993)。最近でも、フィリピン、ピナツボ火山1991年5月15日噴火の降下堆積物の体積測定にあたって、Fierstein・Nathenson (1992) の方法を用いて得られた値 (Paladio-Melosantes et al, 1996) は、Fluid dynamics modelを適用して推定された値 (Koyaguchi, 1996) より大幅に小さい値を示した。本研究において結晶法で求められた体積も、

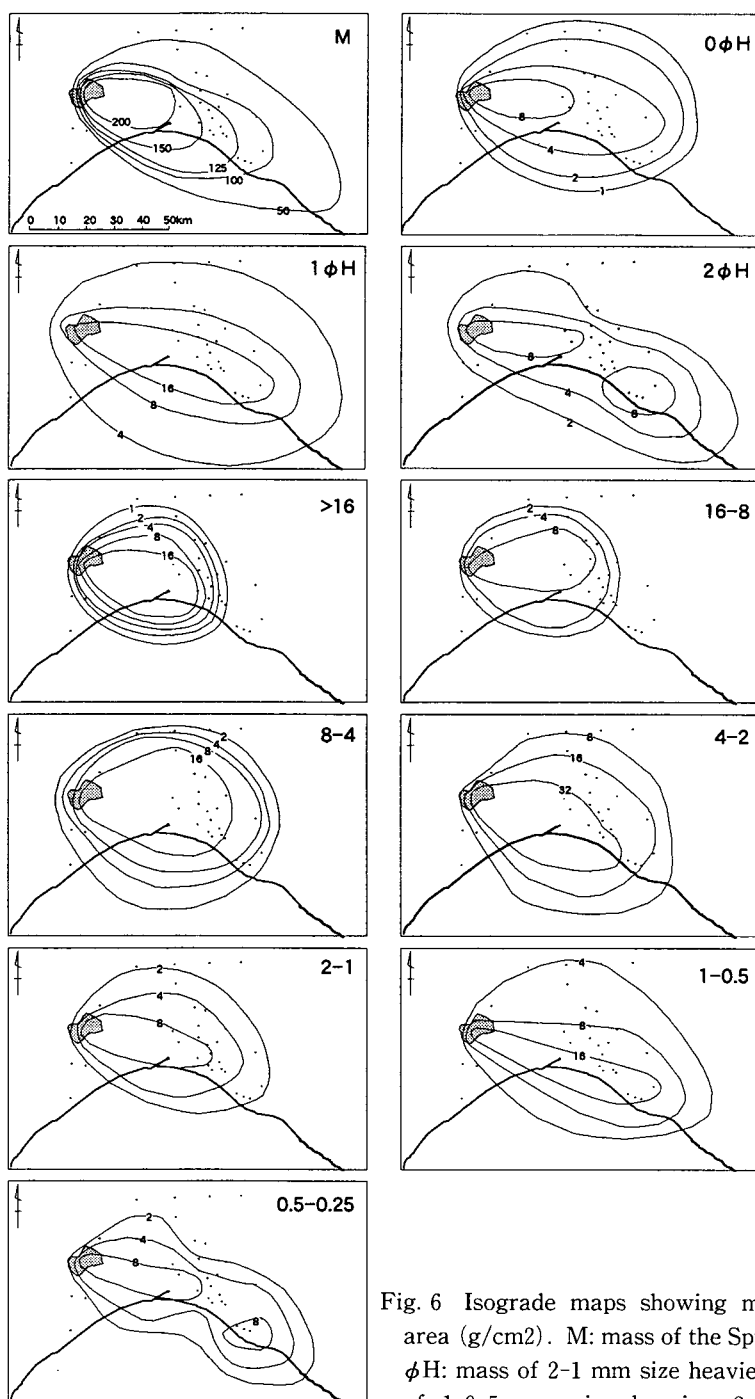


Fig. 6 Isograde maps showing mass per unit area ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ). M: mass of the Spfa-1 deposit.  $0\phi\text{H}$ : mass of 2-1 mm size heavies.  $1\phi\text{H}$ : mass of 1-0.5 mm size heavies.  $2\phi\text{H}$ : mass of 0.5-0.25 mm size heavies.  $>16\sim 0.5\sim 0.25$ : each size class for the Spfa-1.

Hayakawa (1985) および Fierstein・Nathenson (1992) の方法で求めた値より大きくなった。

このような等層厚線図を用いた方法の主要な問題点は、堆積物が保存されている範囲の外側に対する評価である。この部分に堆積している薄い細粒な降下堆積物は、噴火後大部分が浸食され消失してしまうが、堆積物全体の中で重要な割合を占める可能性がある。細粒の粒子は、大気中での挙動が粗粒な粒子とは異なるため、給源付近の層厚分布をそのまま延長したのでは、遠方に堆積している部分の体積を大幅に小さく見積もってしまう恐れがある (Rose, 1993)。このため、遠方の部分には、異なる減衰定数を適用するなどの工夫が行われている (Fierstein・Nathenson, 1992; Pyle, 1989)。しかし、これによって遠方に堆積している体積が正確に見積もられているという保証はない。一方で結晶法による体積測定についても、軽石中の結晶含有率や堆積物の密度を測定する際に誤差が生じやすいことから、正確な測定をするのが困難であるとの指摘もある (Fierstein・Nathenson, 1993)。たしかに、Spfa-1のように軽石中の斑晶の含有量が少ないテフラでは、結晶含有率の測定の段階で誤差が生じやすい。

Fig. 7は、Spfa-1の最大岩片粒径 (ML) と最大軽石粒径 (MP) の分布図である。層厚分布と比較すると、分布軸は若干北に偏る。このような分布軸の方向の違いが生じた理由としては以下の二つが考えられる：1) 最大粒径を示すフォールユニットの分布軸が、ほかのユニットに比べて北に偏っていた；2) 高層と低層で風向に違いがあった。Fig. 6において粗粒な粒子の堆積量分布の軸はほぼ真東に伸びるのに対して、細粒な粒子の分布軸は南に偏る。このことから、高層の風向はほぼ真西からであったのに対して、低層の風向は北西からであったため、風の影響を受けやすい細粒の粒子は、低層の風で南へ移動したのではないかと考えられる。

Carey・Sparks (1986) は、噴煙柱内の粒子は上昇によって噴煙柱最上部の Umbrella region に注入され、さらに Umbrella region に気流が流入することによって発生する放射状の流れと風の影響を受けて粒子が水平方向に移動するというモデルを考えた。このモデルを適用すると、MP, ML の分布の形態から、噴煙柱の高さと噴火時の高層の風速を推定することができる。ML 分布図 (Fig. 7) から、8, 16, 32 の各粒径の等値線について、風下方向の幅とこれと直行する方向の幅を読みとり、Carey・Sparks (1986) の図におとした。その結果、Spfa-1をもたらしした噴煙柱の高さは約50km、そのとき高層で吹いていた風の風速は、30-40m/s であったと推定される。すなわち、Spfa-1を構成する粒子は、成層圏界面付近にまで上昇し、そこから高層の強い偏西風によって東方へ運搬されたと考えられる。

#### 4. 火砕流堆積物の分布と規模

Fig. 8には Spfl の分布を示した。火砕流堆積物はカルデラを中心として全方位に一樣に分布しているわけではない。カルデラの北東から南東にかけての地域には広く平坦な火砕流堆積面が連続的に広がっているが、西側における火砕流堆積面の分布は断片的である。これは、噴火以前の地形によって影響を受けているためで、カルデラの北から南西方向では、標高1000m 前後の新第三系からなる山地が障害となり、Spfl は尻別川と長流川の谷に集中して流下堆積している。南方では、40ka 噴火以前の支笏火山噴出物から構成される開析が進んだ丘陵を覆って Spfl が堆積していて、Spfl は堆積後の浸食が進んでいる。一方で火砕流堆積面が保存されている北東から南方向の地域については、40ka 噴火以前には複数の平坦で広い段丘が広がっていたと推定されている (湊ほか1959)。また、ボーリングデータの解析から、この地域の Spfl の基底



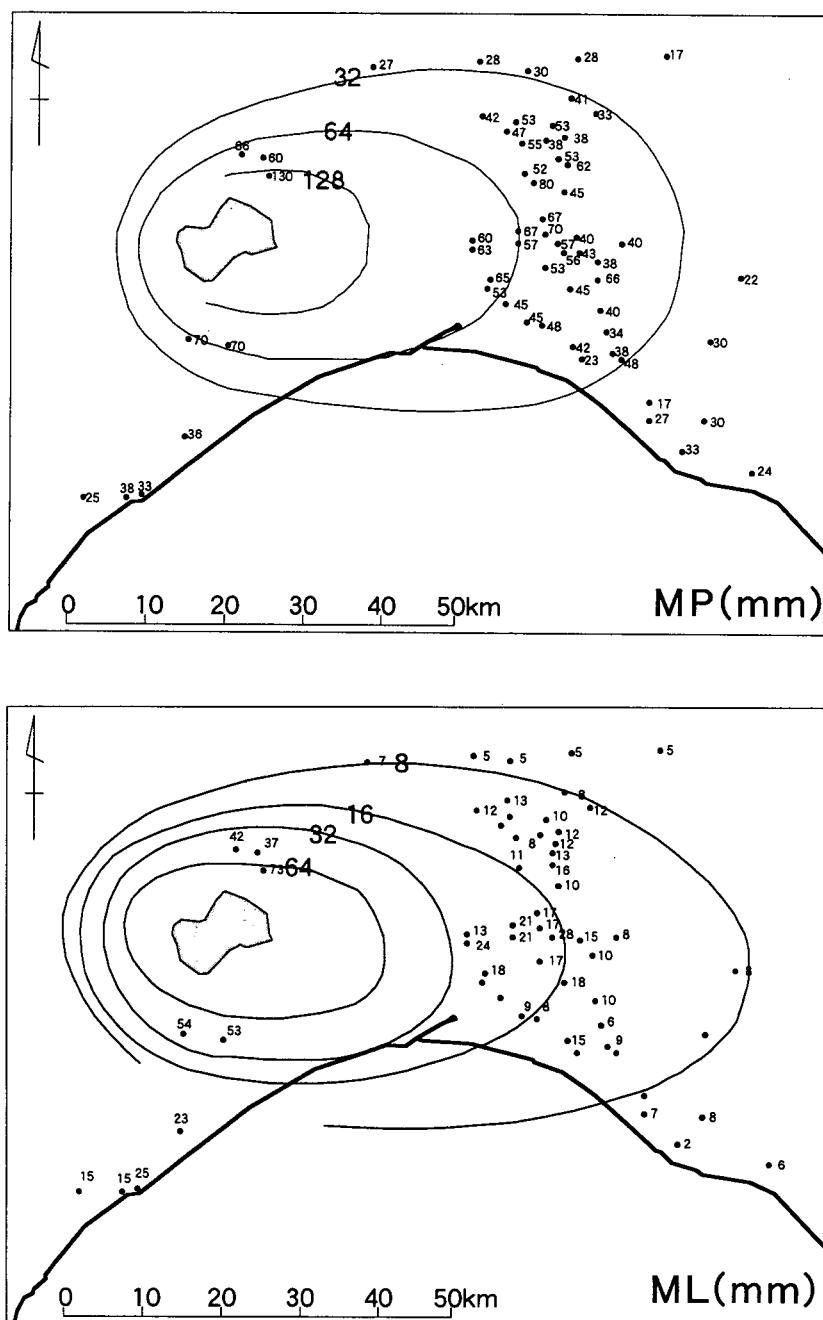


Fig. 7 Isograde maps of the average maximum diameter of the three largest pumice clast (MP), and lithic fragment (ML).

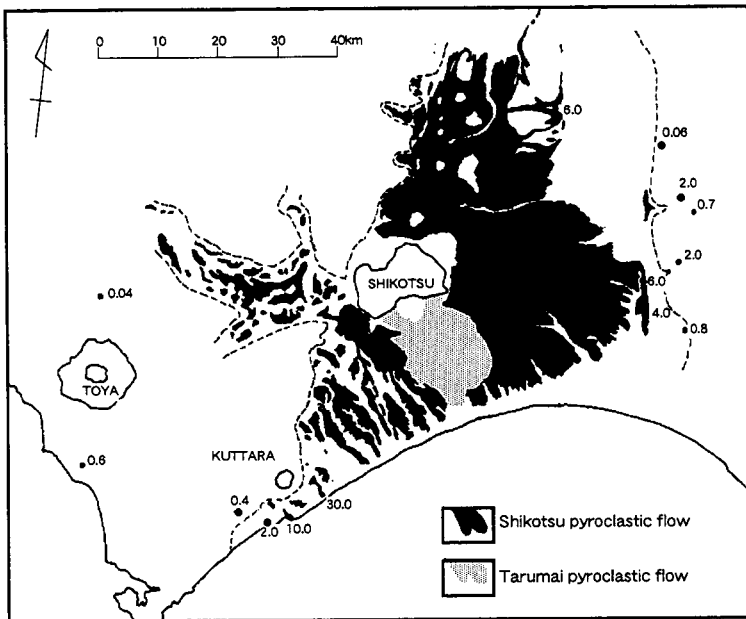


Fig. 8 Distribution map of the Spfl. Figures are thickness (m) of the Spfl at terminal area. Modified from Katsui (1959)

には、南に向かって深度を増す谷地形が存在することが明らかにされている(山口, 1974)。すなわち現在日本海に流入している石狩川は、Spfl 堆積以前には、石狩低地を南流して太平洋に注いでいたと考えられる。

このように火砕流の堆積は地形に支配され、降下軽石のように系統的ではなく不規則である。従って、火砕流の体積の測定には、困難と不正確さが伴う。従来の研究において火砕流堆積物の体積は、分布面積と平均層厚との積で求められている場合が多い。しかし、実際の平均層厚を求めるのは困難である。ここでは、まず Aramaki (1984) の方法に従って、分布域をいくつかの層厚区に分け、それぞれの層厚区の面積を測定し、これと各層厚区の層厚の中央値との積を合計して体積をもとめた。層厚区は  $>100\text{m}$ ,  $100\sim 50\text{m}$ ,  $<50\text{m}$  の3つを設定し、それぞれの層厚区の占める面積は  $1090\text{km}^2$ ,  $774\text{km}^2$ ,  $1481\text{km}^2$  と測定された。ここには、現在の東方および南方海域や沖積層下に堆積している部分の層厚も推定して含めている。この面積に、それぞれ  $100\text{m}$ ,  $75\text{m}$ ,  $25\text{m}$  の層厚を乗じて体積を計算したところ、 $204\text{km}^3$  という値を得た。ただしこの方法では、北方から南西方向の山地方向へ噴出し、長流川や尻別川の谷沿いに流下して、現在の海底や沖積層下に堆積した部分の体積を見積もることは難しい。

そこで、Spfl 分布域の特定部分について体積を詳細に測定し、火砕流が全方向に同様に流出したという仮定のもとに、火砕流全体の体積を推定した。測定の対象とした地域は、カルデラ西方の中心角  $45^\circ$  の扇形の範囲である (Fig. 9)。この地域では、Spfl の堆積面がカルデラ縁から分布限界まで連続的に残存していて、基底の地形がボーリングデータから推定されている。この範囲を  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  のメッシュに区分して、各メッシュについて、開析谷の深さ、野外観察の情報、および山口 (1974)、佐藤・曾屋 (1980) に示されているボーリングデータをもとに

Spfl の層厚を推定した (Fig. 9)。その結果、各メッシュの層厚の総和から求められるこの範囲内における Spfl の体積は  $28\text{km}^3$  となり、8 倍して360度に換算すると、Spfl の総体積は  $225\text{km}^3$  と推定される。

体積の他に火砕流堆積物の特徴を表す値としてアスペクト比 (Aspect ratio: Walker, 1983) がある。アスペクト比は、火砕流堆積物の平均層厚と到達距離との比で、火砕流の流動性をあらわす指標である。Fig. 8には Spfl の分布限界が破線で示してある。比較的平坦な地形上を流下した西方では、分布限界はカルデラ中心から約40km の位置にある。この位置は、馬追丘陵西麓に発達する最終間氷期の海成段丘末端の位置とほぼ一致する。この海成段丘上およびそれ以东には、Spfl の ash cloud surge と思われる成層したサージ堆積物のみが分布する。平均層厚を50m、到達距離を40km とすると、アスペクト比は  $1:800$  となる。これは、大規模な火砕流堆積物としては比較的高いアスペクト比である。なお、長流川流域のように谷中を集中して Spfl が流下したところでは、40km 以上遠方においても Spfl が認められる。

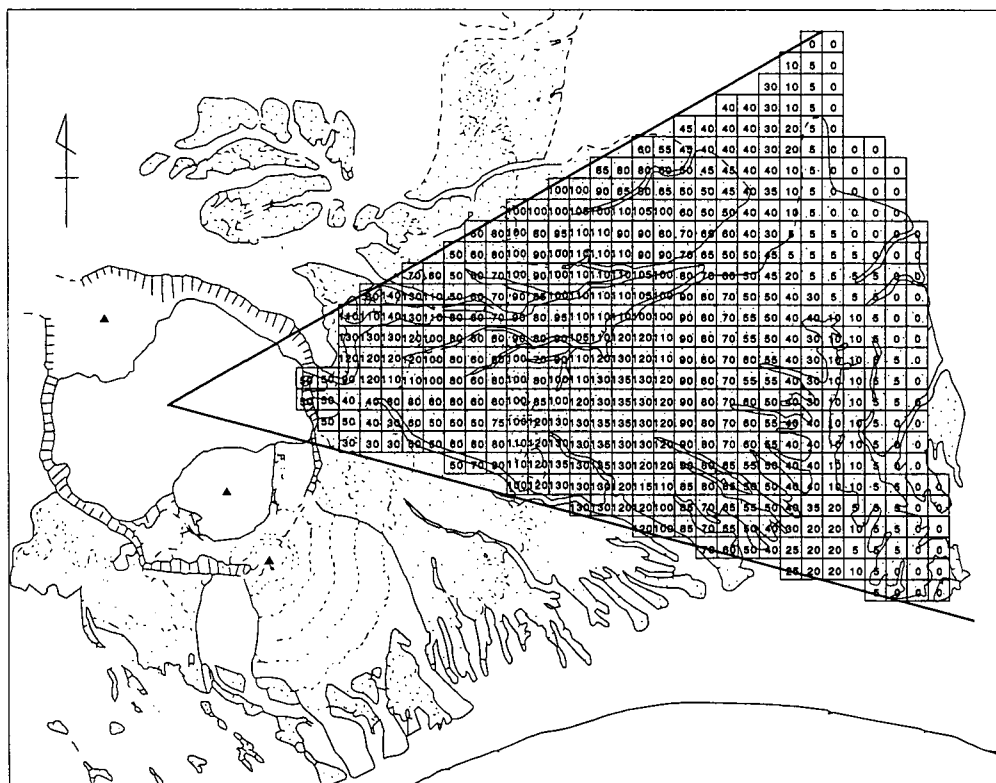


Fig. 9 Thickness distribution of the Spfl in the western flank of Shikotsu volcano. Figures are in m.

5. 考 察

本研究では、支笏火山40 ka 噴火によって噴出した降下軽石堆積物 (Spfa-1) と火砕流堆積物 (Spfl) の規模について定量的な検討を行った。Spfa-1, Spfl ともに複数の方法で体積を推定したが、ここでは Spfa-1の体積については、結晶法によって求められた140km<sup>3</sup>という値、Spflについては、カルデラ東方の扇形の地域の層厚分布から推定された225km<sup>3</sup>という値を採用する。従って、40 ka 噴火噴出物の体積の総和は375km<sup>3</sup>となる。この値から、Simkin et al(1981) が噴火の規模を表す指数として提案した火山爆発度指数 (Volcanic Explosivity Index: VEI) をもとめると、支笏火山40 ka 噴火は VEI 7の巨大噴火に相当する。

また、この値をマグマの体積 (DRE) および質量に換算した結果を他の大規模噴火の値とともに Table 3に示した。体積の測定方法が異なるため単純には比較できないが、支笏火山40ka 噴火噴出物の体積は、Aramaki (1984) や Carey・Sigurdsson (1989) に示されている第四紀後期に発生した主要な大規模噴火噴出物の体積と比較しても最大級のものであり、25ka に始良カルデラを形成した噴火の規模に匹敵する。特に降下軽石 (Spfa-1) は、体積 (Magnitude) および推定された噴煙柱高度 (Intensity) とともに極めて大きい。Walker (1973, 1980) は、マグマの粉碎度 (F) と拡散度 (D) を用いた降下堆積物の分類を提案している。この分類において Spfa-1は、現在知られている中で最も規模が大きいとされている Taupo 噴火と同様に、ultra plinian 噴火に分類される。

Table 3 Bigness of the some Quarternary caldera forming eruption

	Pyrocrastic fall			Pyroclastic flow			Total			Ref
	Volume km <sup>3</sup>	DRE km <sup>3</sup>	Mass E+15g	Volume km <sup>3</sup>	DRE km <sup>3</sup>	Mass E+15g	Volume km <sup>3</sup>	DRE km <sup>3</sup>	Mass E+15g	
Shikotsu 40 ka	140	22.5	56.2	225	117.0	292.5	365	139.5	348.7	
Aso 4							>80			1
Toya							125			1
Kucharo							90			1
Aira	98	27.6	69	313	138.0	345	411	165.6	414	1
Oyu, Towada		0.2	0.5		2.0	5.0		2.2	5.5	2
Mt. St. Helens		0.3	0.6		0.04	0.09		0.3	0.7	2
Taupo		5.8	14.5		25.0	62.5		30.8	77.0	2
La primabera		16.0	40.0		18.5	46.3		34.4	86.0	2

DRE: Dense Rock Equivalent (2.5cm<sup>3</sup>/g), Ref 1: Aramaki (1984), Ref 2: Carey・Sigurdsson (1989)

このような大規模な噴火は、当時の地球環境に大きな影響を与えた可能性が高い。この噴火が生じた時代は、最終氷期の亜間氷期 (isotope stage 3) の末期にあたる。現在までには、グリーンランドや南極の氷床コアから支笏火山40 ka 噴火に対比される層準は報告されていない。しかし、今後対比が行われ、気候変化との関係が議論されることが期待される。

従来の研究では、カルデラを形成した噴火噴出物の総量と、カルデラの地形的な陥没量を比較すると、噴出物量より陥没量の方が大きい場合が多かった(荒牧, 1969)。しかし、本研究で検討した支笏カルデラの場合には、カルデラの体積115km<sup>3</sup>と、マグマの体積に換算した総噴出量の DRE 139.5km<sup>3</sup>では、噴出物の総量の方が、カルデラの地形的凹地の体積より若干大きくなった。Aramaki (1984) は、支笏カルデラを含む日本の一般的なカルデラは、発泡した本質

物質や、破碎された岩片で埋積されたじょうご型の地下構造を持つため、この部分に10%程度の質量欠損を生じていると考えた。また、Yokoyama・Aota (1964) は支笏カルデラ内に認められる負の重力異常から、この欠損している質量を  $32 \times 10^{12} \text{kg}$  と推定している。これは DRE に換算すれば  $12.8 \text{km}^3$  となり、噴出物の総量とカルデラの地形的凹地との体積の食い違いをほぼ説明できる。

支笏火山 40 ka 噴火のような大規模噴火は、支笏火山の噴火史の中でも重要な意味をもつ。Fig. 10は、後期更新世以降の支笏火山の活動を累積質量-年代図に示したものである。カルデラ周辺には、この図に示した後期更新世以降の噴火噴出物の下位にも第四紀の火砕流堆積物が認められる。しかし、後期更新世の活動との間には少なくとも10万年以上の噴火休止期が存在すると思われる。後期更新世の活動で噴出した堆積物の総量のうちで40ka 噴火で噴出した堆積物の占める割合は75%をこえ、前後の噴火イベントの噴出量よりはるかに大きい。このため、支笏火山の長期的な噴出率は、40 ka 噴火の噴出量に支配される。したがって、支笏火山の長期的な噴出率を明らかにするためには、40 ka 噴火に先行する、中期更新世の大規模噴火の規模と年代を明らかにする必要がある。これは、今後の課題である。

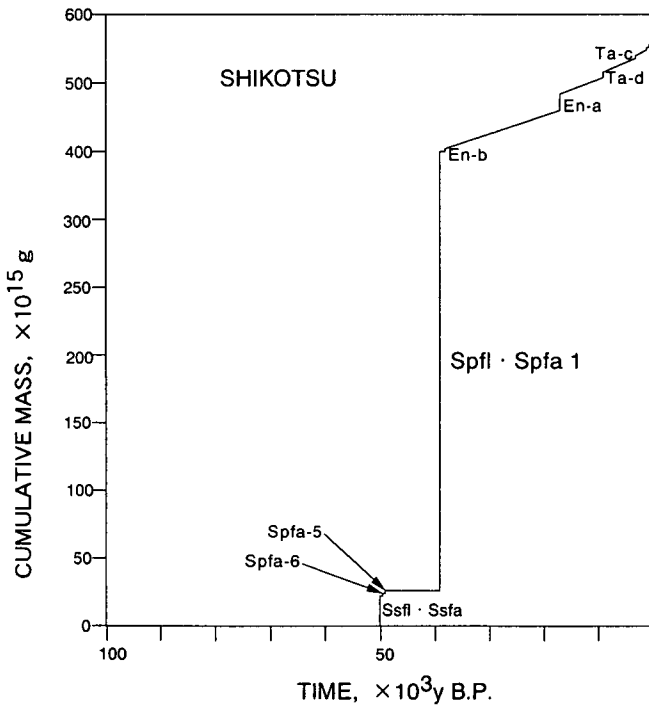


Fig. 10 Cumulative mass plotted against time for all erupted materials from Shikotsu Volcano during the late Pleistocene and Holocene.

## 6. ま と め

本研究では、支笏火山40 ka 噴火の規模に関して定量的な検討を行った。この噴火の噴出物は主に大規模な降下軽石 (Spfa-1) と火砕流堆積物 (Spfl) から構成されている。降下軽石の体

積については、結晶法を用いて $140\text{km}^3$ と推定された。この降下軽石をもたらしした噴煙柱は高度 $50\text{km}$ 前後の成層圏界面付近まで達し、そこから高層の強い西風( $30\text{--}40\text{ m/s}$ )によって粒子を東方に拡散させたと考えられる。なお、堆積量分布の軸の方向が粒度によって異なることから、下層の風は、上層の風より南に偏った方向に向かって吹いていたと考えられる。火砕流堆積物の体積については堆積域の一部について詳細に層厚分布を明らかにし、そこから全体の体積を推定した結果 $225\text{km}^3$ という値を得た。降下軽石、火砕流とともに現在知られている噴火の中でも最大規模のものである。特に Spfa-1は、Walker (1980) の分類において最大級の ultra plinian に分類される。Spfa-1と Spfl の体積をマグマの体積(DRE)に換算し、合算したところ、 $40\text{ka}$  噴火をもたらししたマグマの体積は $139.5\text{km}^3$ と推定された。この値は、カルデラの地形的凹地の体積より若干大きい。支笏カルデラ内の負の重力異常から求められる質量欠損によって体積の食い違いは説明できる。

今回得られた、支笏火山において起こった極めて大規模な噴火の規模に関する情報は、今後支笏火山や北海道南西部の火山活動史、あるいはこの噴火の地球環境への影響などを考える上で、重要な資料となる。

## 文 献

- 青木かおり, 新井房夫, 山根雅之, 大場忠通 (1998) 東北日本周辺海域及び北大西洋に分布するテフラ—三陸沖海底コア KH94-3, LM-8中のテフラ層序を中心に—. 日本地理学会発表要旨集, 54, 278-279.
- 荒牧重雄 (1969) カルデラ学説に関するいくつかの問題点. 火山, 14, 55-76.
- Aramaki, S. (1984) Formation of the Aira Caldera, Southern Kyushu, ~22,000 years ago. *Jour. Geophys. Res.*, 89, 8485-8501
- Carey, S., Sigurdsson, H. (1989) The intensity of plinian eruption. *Bull. Volcanol.*, 51, 28-40.
- Carey, S., Sparks, R.S.J. (1986) Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruptin column. *Bull. Volcanol.*, 48, 109-125.
- Fierstein, J., Nathenson, M. (1992) Another look at the calculation of fallout tephra volumes. *Bull. Volcanol.*, 54, 156-167.
- Fierstein, J., Nathenson, M. (1993) Reply to comment by W.I. Rose. *Bull. Volcanol.*, 55, 375-378.
- Frogatt, P. C. (1982) Review of methods of estimating rhyolitic tephra volumes; applications to Taupo volcanic zone, New Zealand. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 14, 301-318.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada Volcano. *Bull. Earthqua. Res. Inst. Univ. Tokyo*, 60, 507-592.
- 勝井義雄 (1959) 支笏降下軽石について —特に支笏カルデラ形成直前の活動について—. 火山, 4, 33-48.
- Koyaguchi, T. (1996) Volume estimation of tephra-fall deposits from the June 15, 1991, erption of Mount Pinatubo by theoretical and geological methods. Newhall, C. G., Punongbayan, R.S. (ed), "Fire and Muds -Eruption and lahars of Mount Pinatubo, Philoppines.", Philippine Institute of Volcanology and Seismology, 583-600.
- 町田洋, 新井房夫 (1994) 「火山灰アトラス —日本列島とその周辺—」, 東京大学出版会, 276p.

- 湊正雄・石井次郎・熊野純男 (1958) 本邦熔結凝灰岩の研究 第2報 支笏熔結凝灰岩について. 地質学雑誌, 65, 209-221.
- Paladio-Melsantos, M. L., Soldium, R. U., Scott, W. E., Quiambao, R. B., Umbal, J. V., Rodolfo, K. S., Tubianosa, B. S., Delos-Reyes, P. J., Ruelo, H. R. (1996) Tephra falls of the 1991 eruptions of Mount Pinatubo. Newhall, C. G., Punongbayan, R.S. (ed), "Fire and Muds -Eruption and lahars of Mount Pinatubo, Philoppines.", Philippine Institute of Volcanology and Seismology, 513-536.
- Pyle, D. M. (1989) The thickness, volume, and grain size of tephra fall deposits. *Bull. Volcanol.*, 51, 1-15.
- Rose, W. I. Jr. (1993) Comment on ' Another look at the calculation of fallout tephra volumes' by Fierstein and Manuel Nathenson. *Bull. Volcanol.*, 5, 372-374.
- Rose, W. I. Jr., Bonis, S., Stoiber, R. E., Keller, M., Bickford, T. (1973) Studies of volcanic ash from two recent central America eruptions. *Bull. Volcanol.*, 37, 338-364.
- Simkin, T., Siebert, L., McClelland, L., Melson, W. G., Bridge, D., Newhall, C. G., Latter, J. (1981) "Volcano of the world: regional directory, gazetter, and chronology of volcanism during the last 10,000 years". Smithsonian Institution, Hutchinson Ross, 232p.
- 曾屋龍典・佐藤博之 (1980) 「千歳地域の地質」地域地質研究報告 5 万分の 1 図幅説明書, 地質調査所, 92p.
- 鈴木建夫 (1981) 降下火砕堆積物の“層厚-面積”曲線. 火山, 26, 9-23.
- 鈴木建夫, 勝井義雄, 中村忠寿 (1973) 樽前降下軽石堆積物 Ta-b 層の粒度組成. 火山, 8, 47-63.
- Walker, G.P.L. (1973) Explosive volcanic eruptions -a new classification scheme. *Geologisch Rundschau*. 62, 431-446.
- Walker, G.P.L. (1980) The Taupo Pumice: product of most powerful known (ultraplinian) eruption?. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 8, 69-94.
- Walker, G.P.L. (1983) Ignimbrite types and ignimbrite problem. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 17, 65-88.
- Yamagata, K. (1991) Formation of lithic breccia and vent evolution during the 32 ka. eruption of Shikotsu Caldera, Japan. *Geograph. Rep. Tokyo. Metro. Univ.*, 26, 227-240.
- 山縣耕太郎 (1994) 支笏およびクッタラ火山のテフロクロノロジー. 地学雑誌, 103, 268-285.
- 山口久之助 (1974) 「支笏湖周辺の地下水調査報告」. 北海道道立地下資源調査所, 39p.
- Yokoyama, I., Aota, M. (1964) Geophysical study on Sikotu caldera, Hokkaido, Japan. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, Ser. 8, 2, 103-122.

〔付記〕 本研究に要した経費の一部には、科学研究費補助金基盤研究(C) (課題番号10680095, 代表者: 平川一臣) を使用した。

## The Bigness of the 40 ka caldera forming eruption of the Shikotsu volcano, Japan.

Kotaro YAMAGATA\*

### ABSTRACT

The bigness of the caldera forming eruption of Shikotsu volcano was examined quantitatively. The deposits of the eruption are mainly consisted of the large scale pumice fall deposit (Spfa-1) and pyroclastic flow deposit (Spfl). The total mass of the Spfa-1 was calculated as  $56.17 \times 10^{15} \text{g}$  by the crystal concentration method (Walker, 1980). The eruption column height and wind speed of the upper air current was estimated from the maximum lithic size distribution. The eruption column, which produced the Spfa-1, was ascent to the altitude of ca. 50km, and the particles were dispersed from the height being affected by the strong westerly wind (30-40 m/s). The volume of the Spfl was calculated as  $225 \text{km}^3$  from the thickness distribution of the Spfl in the specific fan shaped area. The dense rock equivalent volume of the hole deposits of the Shikotsu 40ka eruption was estimated as  $139.5 \text{km}^3$ . This value is larger than the volume of the topographic depression of the Shikotsu caldera ( $115 \text{km}^3$ ). But, the mass deficiency estimated by the gravity anomaly over the caldera (Yokoyama and Aota, 1964) would account for the discrepancy of the volume.

---

\* Division of Social Studies