

桜島の総降灰量の推移

中村 政道*

The Change in Volume of Volcanic ash-fall Deposits erupted from Sakurajima Volcano

Masamichi NAKAMURA

(Received August 22, 2001 : Accepted November 27, 2001)

1. はじめに

桜島南岳は、1955年(昭和30年)10月13日の爆発以降、活発な噴火活動を継続しており、それに伴い火山礫や火山灰を大量に噴出している。降灰による農作物の被害や住民の生活に与える影響は大きく、鹿児島県では、1978年から、桜島島内やその周辺地域で、桜島の噴火活動に伴って噴出された火山礫や火山灰の降下量(以下、降灰量という)の測定を開始した。また、鹿児島地方気象台においては、1955年以降、日毎の降灰量を測定している。鹿児島地方気象台や京都大学桜島火山観測所(現在、京都大学防災研究所附属火山活動研究センター、以下京都大学という)では、これらのデータを総合して、鹿児島県内の月毎の降灰分布状況を把握し、桜島の総降灰量を算出している。現在のように溶岩流出を伴わない山頂噴火活動が続いている間、この総降灰量が桜島の噴出物量と同等であるので、桜島の火山活動の推移を把握する上で重要な指標となる。ここではその総降灰量の算出について過去の経歴を取りまとめるとともに、最近の火山活動の推移との比較を行った。

2. 降灰量観測の経緯

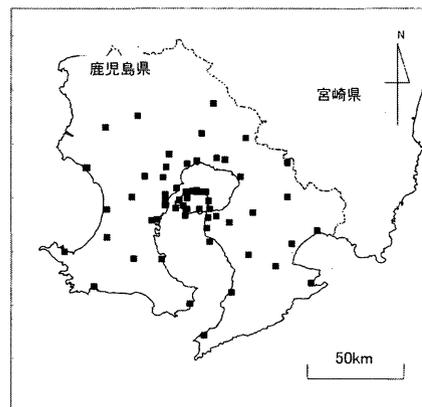
鹿児島地方気象台においては、1955年以来日別降灰量を測定している。気象官署としては他に地磁気観測所鹿屋出張所が1986年から日別降灰量を測定している。

一方、鹿児島県では、1978年の活動火山対策特別措置法の改正に伴い、降灰除去事業や降灰防除事業が国庫補助の対象とされたことから、県内各所における降灰量の測定を開始している(鹿児島県, 1989)。測定開始当初の観測点は55ヶ所であった(第1図)。鹿児島県でとり

まとめたデータは、鹿児島地方気象台を含めた関係機関に送付されており、今回の総降灰量の算出は、鹿児島地方気象台にデータが整理されている1980年以降について行った。

観測点はその後増加され、2000年現在、気象官署を含めると96ヶ所である。現在の観測点分布を第2図に、観測点数の変化を第3図に示した。県内各地に観測点が分布しているが、地形の影響で、桜島南方の観測点数が少なくなっている。また、宮崎との県境が狭まっている桜島の北東側も他の方位と比較すると観測点数が少ない(第4図)。

集計期間は観測点によって異なっており、月毎が58ヶ所、10日毎が23ヶ所、日毎が15ヶ所である。日毎に測定している観測点は、全体の2割に満たず、十分な観測点数とは言い難い。このため、総降灰量の算出は月単位で行っている。



第1図. 1980年当時の鹿児島県内における降灰観測点分布。観測点数は55ヶ所。(鹿児島県, 1989に基づく)

*鹿児島地方気象台

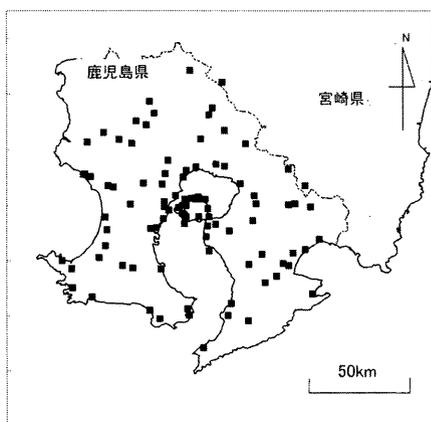
3. 総降灰量の算出

京都大学では、鹿児島県の測定開始以前に、桜島島内の降灰量の厚さ(層厚)から推積層厚分布を求めるための実験式(1)を算出している(加茂ほか, 1977).

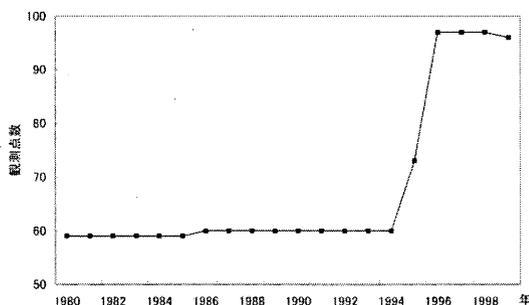
$$f = a \cdot e^{-br} \quad \dots\dots (1)$$

(f: 層厚[cm], r: 距離[km], a=5.2, b=0.5)

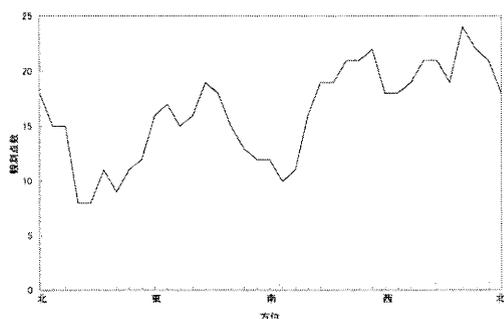
江頭・石原(1979)は、これに鹿児島県の測定結果を加え、南岳火口からの距離 r[km]における降灰量の層厚 f



第2図. 2000年現在の鹿児島県内における降灰観測点分布. 観測点数は96ヶ所. (第1図に加筆)



第3図. 観測点数の推移



第4図. 方位別の観測点数. 方位角10度毎に、その方位角を中心とした60度の範囲の観測点の総数を示した.

[mm]を推定する実験式を(2)のように求めている.

$$f = a \cdot r^{-b} \quad (3\text{km} < r < 50\text{km}) \dots\dots (2)$$

ここで、定数 a, bは南岳火口を中心に北から45度ずつの扇形の領域に分け、それぞれについて算出している. また、総降灰量は、推積層厚分布から面積計で測定することにより求めている.

江頭(1984)は、この45度の扇形の各領域(第5図)について、南岳火口から3km以内に(1)式を用い、3kmから50kmに(2)式を用い、それらを積分することにより、総降灰量重量を算出した. また、扇形の分布図を作成して、各年各月毎に象徴的な降灰分布(第6図)を作成して、上空の風との関係について考察している.

鹿児島地方気象台では、鹿児島県の測定結果をもとに、渡辺・塩手(1982)が手書きによる降灰分布(第7図)を試み、火山性微動の出現時間との関係について触れている. この描画方法は詳細に分布が描けるが、煩雑であり手間がかかるものであった.

山里(1984)は、江頭(1984)の方法を採用し、45度ずつの扇形の領域に(1)(2)式を適用して総降灰量を算出し、その結果に基づいて、爆発回数と火山性微動の出現時間から総降灰量を推定する計算式も求めている.

中野・上田(1989)は、降灰量の等値線を描画するプログラムを開発し、詳細な分布(第8図)を簡易に描く手法を作成した. この手法は、より実際の分布に近いものを表現しているが、観測値の誤差により等値線が切れたり、島ができたりする問題があった.

白坂・上田(1990)は、南岳火口からの距離を r[km]として、次式で降灰量 f[g/m²]を近似した.

$$f = b \cdot \frac{e^{-ar}}{r} \quad \dots\dots (3)$$

この式は、火口(r=0)で発散する問題があるが、面積積分することにより無視できる. 一方で以下述べるように、総降灰量を算出するための面積積分は単純になるメリットがある.

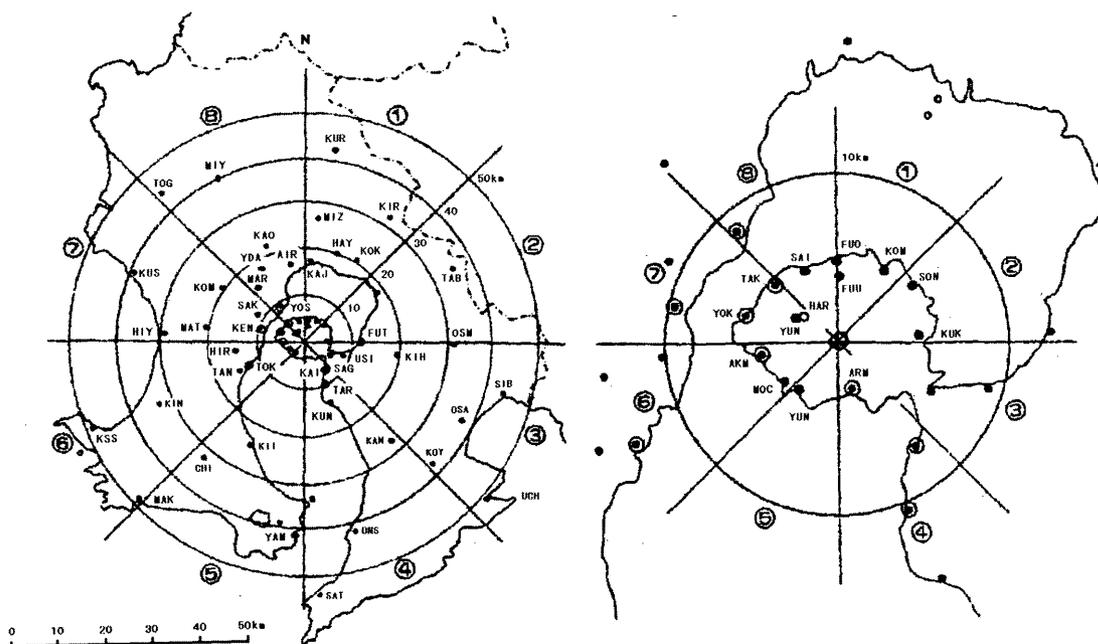
(3)式の定数 aは、距離による減衰率を表わしており、主に上空の風に影響されているものと考えられる. これ以降は、この(3)を近似式として用いて降灰量を算出する.

ある微小面積 ds の領域の降灰量 df は、

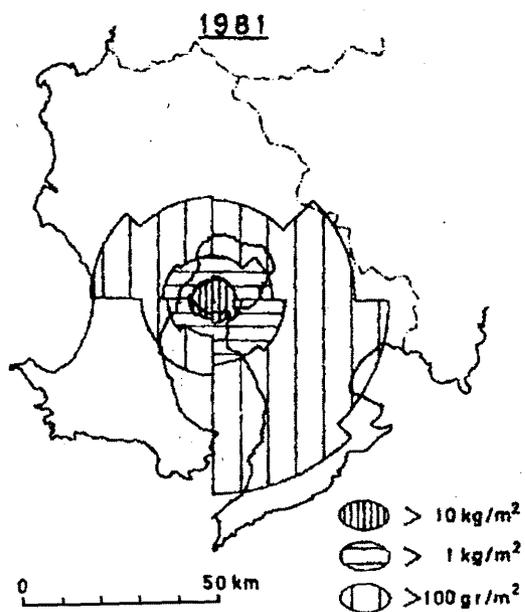
$$df = f \cdot ds$$

により求まる. 総降灰量 f_{total} はこれを全領域について積

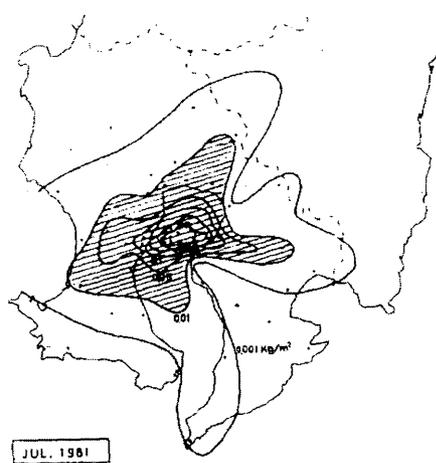
桜島の総降灰量の推移



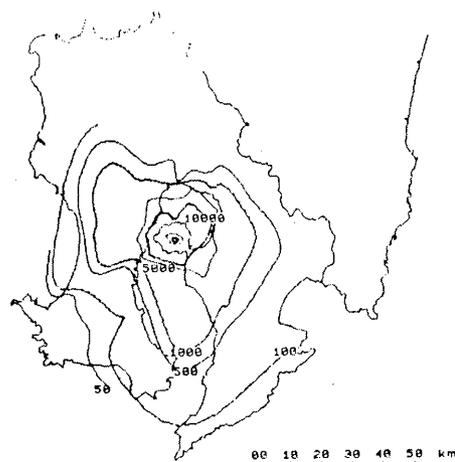
第5図. 江頭(1984)による扇形の領域. 桜島を中心に北から45度ずつの8つの領域に分割.



第6図. 江頭(1984)による1981年の降灰分布. 第5図の各扇形領域について降灰量を計算して描画.



第7図. 渡辺・塩手(1982)による手書きの1981年7月の降灰分布.



1988年の年間降灰分布図 [g/m²]

第8図. 中野・上田(1989)による1988年の降灰分布

分したものになるので,

$$f_{total} = \int_{(S: 各領域)} f ds = \int_{\theta=0}^{2\pi} \int_{r=0}^{\infty} f r dr d\theta \quad \dots(4)$$

(4) に (3) を代入して積分すると, 総降灰量 f_{total} は次のようになる.

$$f_{total} = \sum_{\text{各領域}} -k \frac{a}{b} \quad \dots\dots(5)$$

定数 a, b は, 南岳火口からみて 60 度の扇形領域の観測点のデータから最小自乗法によりそれぞれ算出し, その値を扇形領域の中心の方位角のものとして, 方位角 10 度毎に各領域について算出した. これは, 60 度の範囲で 10 度毎に移動平均させていることになるので, 方位による分布は滑らかになる. また, この場合 (5) の係数 k は, 総降灰量 f_{total} の単位を「万 t」とすると, 0.174533 となる.

総降灰量の算出に当たって, 前項でも触れたように, 方位によっては観測点の少ないところもあり (第4図), 観測データの誤差もあることなどから, 定数 a が正の値 (遠距離になるほど降灰量が増加) になるなど, 明らかに異常な値になることがある. この場合は以下のように対応した.

- ・定数 a について, あらかじめ異常値を取り除いた 10 年間 (1980 ~ 1989 年) の平均値 (平年定数と呼ぶ) を算出しておく.

- ・算出された a が異常値となった場合, 算出された b と平年定数により観測値を推定し, その推定値との差の大

さい観測データを異常データとして取り除いて, 定数 a, b を再計算する.

- ・異常データが多く, 使用できる観測データが 2 点となった場合, 平年定数をそのまま定数 a とし, 定数 b のみを算出する.

降灰分布の描画については, 上記により算出した定数 a, b により降灰量が 1, 10, 100, 1000g/m² の地点を求め, その地点を 2 次のスプライン関数 (青山ほか, 1995) により滑らかに繋げて表示させた.

実際の降灰量の計算, 分布図の描画は Microsoft 社の汎用表計算ソフト Excel のマクロ機能を利用した. 観測点の変更に対応し, 異常値を客観的に排除しているので, より汎用的で柔軟に降灰量を算出して分布図を表示することが可能となっている. 夏期と冬期の降灰分布図の例を第9図, 第10図にそれぞれ示す. 桜島南岳は標高 1040m であり, 鹿児島上空 850hPa (高度 1500m 付近) の風向頻度分布図 (風配図) からわかるように, 方位による分布の偏りは上空の風向によるところが大きい.

4. 求めた総降灰量とその精度

前項の方法で 1980 年以降の各月毎の総降灰量を算出した. この月別総降灰量を第11図に, 対応する桜島南岳の月別噴火回数及び爆発回数を第12図に示す. また, 年間の総降灰量を年間噴火回数と併記して第1表に示した.

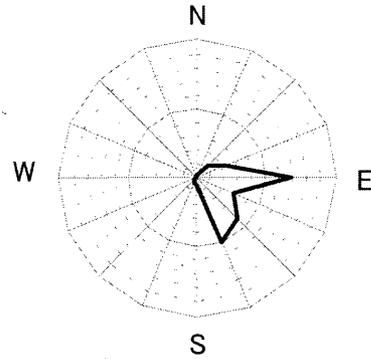
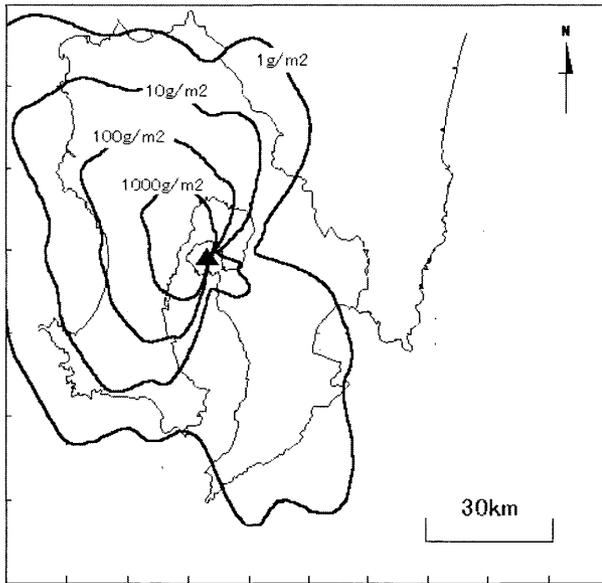
実際の観測値と計算値の比較について, 観測初期の 1980 年 (第13図), 降灰量の多かった 1985 年 (第14図), 降灰量の少なかった 1994 年 (第15図), そして観測点の増加後の 1998 年 (第16図) を例として掲載する. 観測値と計算値の相関は降灰量の多い方がよいが, 少ないときを含めても, 0.89 ~ 0.95 と概ね観測値に沿っているものと言える. ただし, 降灰量の少ない部分については少し多めに計算される傾向がある.

(2) 式と (3) 式を用いた場合の比較例を第17図に示した. いずれの式も経験式であり, 概ね観測値を説明できているので, 算出された総降灰量はオーダー的には違いがないものと言える (気象庁, 1992).

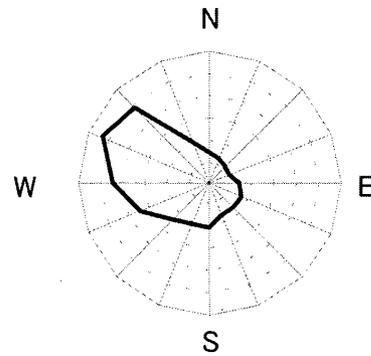
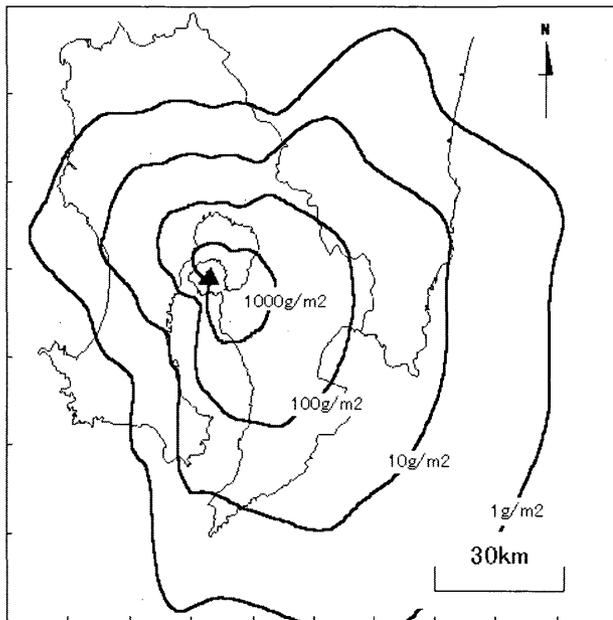
5. 総降灰量と火山活動についての考察

月別総降灰量のグラフ (第11図) を見ると, 1985 年をピークとした活動期と, 1990 年代始めの活動期が見られる. 1985 年には年間爆発回数が 474 回を記録し, 激し

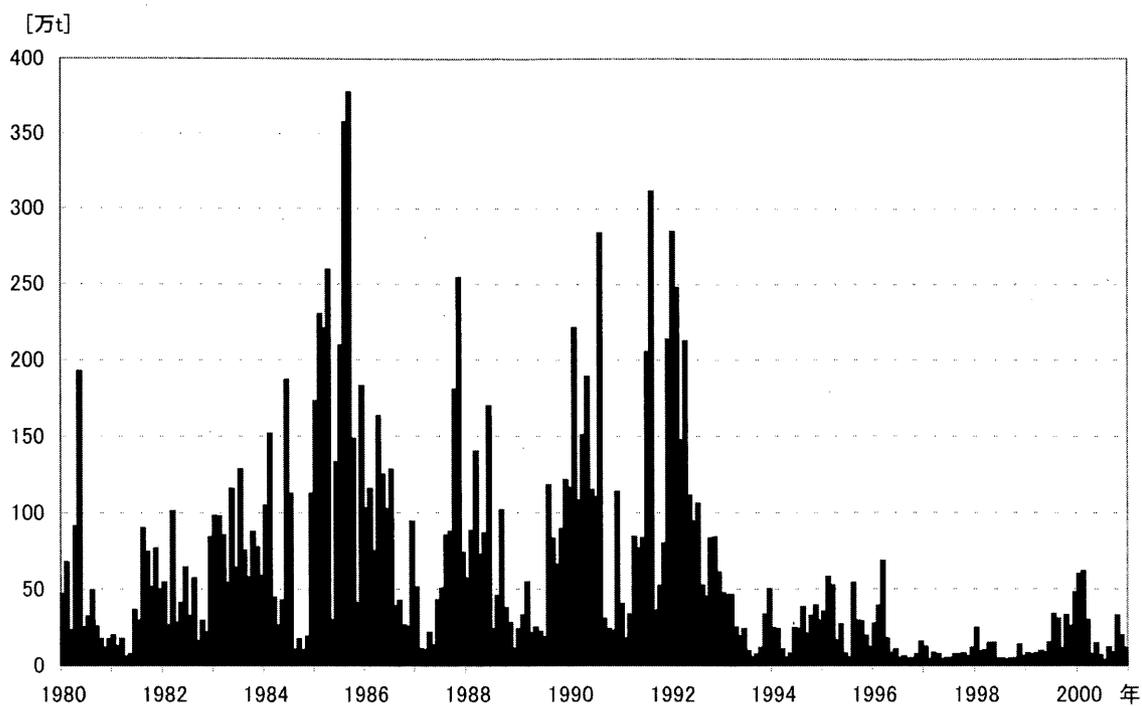
桜島の総降灰量の推移



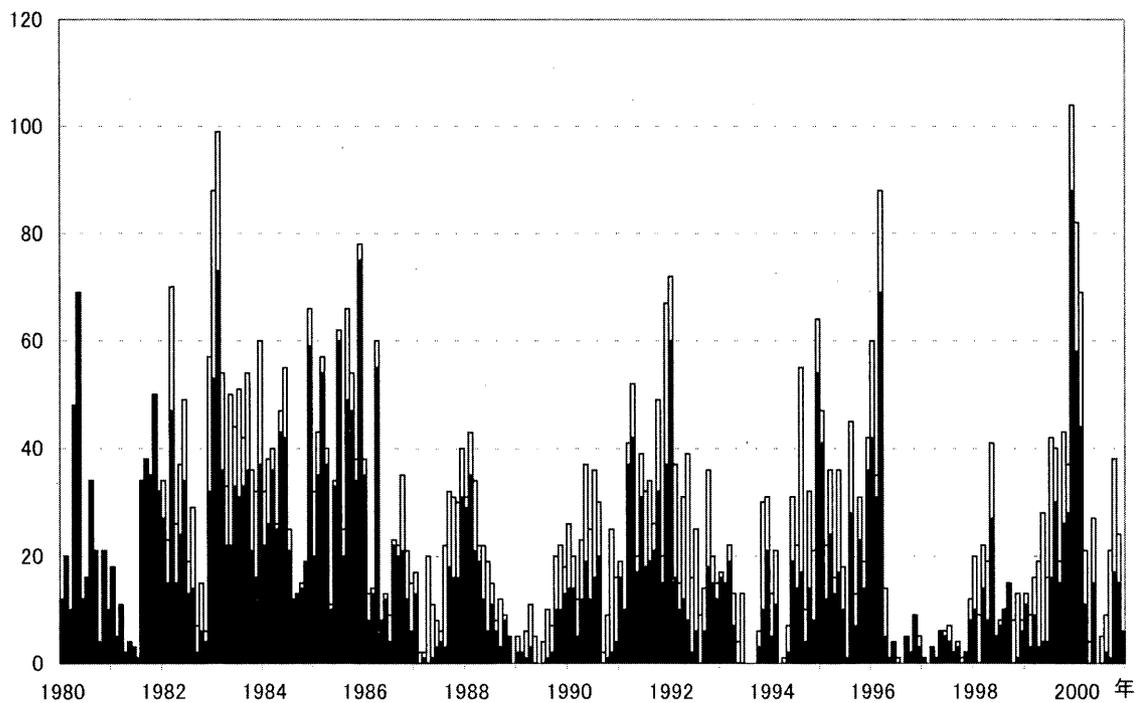
第9図. 夏期の降灰分布例 (1985年8月). 右図は鹿児島島上空850hPa (高度1500m付近) の風配図.



第10図. 冬期の降灰分布例 (1985年2月). 右図は鹿児島島上空850hPa (高度1500m付近) の風配図.



第 11 図. 桜島周辺における 1980 年から 2000 年までの月別降灰量.



第 12 図. 桜島南岳火口における 1980 年から 2000 年までの月別噴火回数. 噴火回数のうち黒い部分が爆発回数. なお, 爆発回数は噴火回数に含まれている.

桜島の総降灰量の推移

い噴火活動をしていた。一方、1993年以降は総降灰量が大幅に減少している。第11図と第12図を比較すると、総降灰量は爆発（噴火）回数に変化のないことがわかる。総降灰量は噴火によるもののみではないが、単純に考えると、1993年以降、個々の爆発（噴火）による平均的な噴出量が少なくなっていると言える。

この降灰量の減少に対応するように、鹿児島湾周辺部（始良カルデラ）の隆起を示すデータがいくつか示されている。江頭ほか(1998)や京都大学(2000)によれば、桜島周辺の水準測量により、桜島の北部の隆起が捉えられている（第18図）。また、下村・坂井（1998）は枕崎港を不動点とした場合の鹿児島港の潮位の変化をまとめており（第19図）、1993年以降、鹿児島港の地盤が隆起していることを示している。これらのことから、山頂噴火による噴出物量の減少とともに、始良カルデラの地下に推定されるマグマだまりにマグマが蓄積され、鹿児島湾

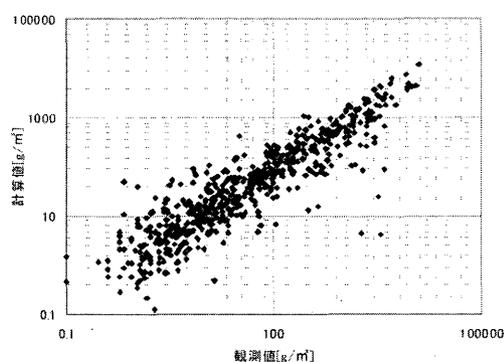
第1表. 年別総降灰量 [万 t] (A)と年間噴火回数(B)、及び噴火1回当たりの降灰量 [万 t] (A/B)。

年	年別総降灰量 [万 t] (A)	年間噴火回数(B)	A/B [万 t]
1980	601.0	277	2.2
1981	471.8	233	2.0
1982	556.2	372	1.5
1983	1000.4	643	1.6
1984	838.5	388	2.2
1985	2363.1	540	4.4
1986	1039.4	271	3.8
1987	882.1	221	4.0
1988	862.5	220	3.9
1989	676.6	110	6.2
1990	1486.4	261	5.7
1991	1236.2	409	3.0
1992	1532.1	329	4.7
1993	326.1	151	2.2
1994	282.0	277	1.0
1995	346.5	326	1.1
1996	214.7	224	1.0
1997	86.8	45	1.9
1998	116.0	178	0.7
1999	238.7	386	0.6
2000	269.1	306	0.9

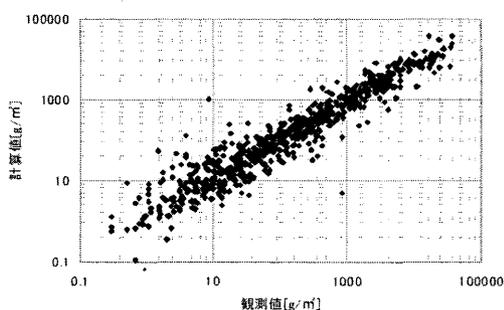
周辺部の隆起につながっていることが考えられる。

6. まとめ

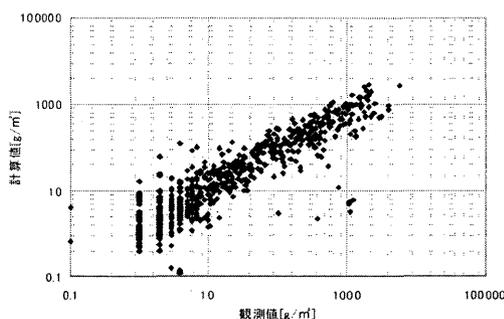
桜島による降灰量の分布を求めることは、降灰対策に役立つものとなりうる。また、総降灰量を継続的に算出することにより、噴出物量からみた長期的な火山活動の変化が捉えられている。1993年以降は、噴出物量が少なくなるとともに、始良カルデラにマグマが蓄積されることが考えられる。今後もデータを蓄積し、他のデータとも照らし合わせて火山活動の推移を注意深く見てい



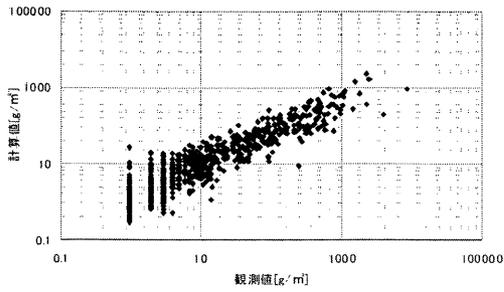
第13図. 観測初期の1980年における観測値と計算値の比較。相関係数は0.90。



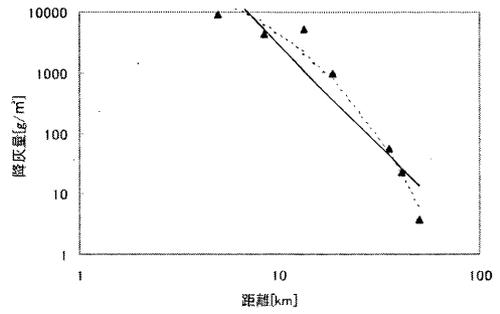
第14図. 降灰量の多かった1985年における観測値と計算値の比較。相関係数は0.95。



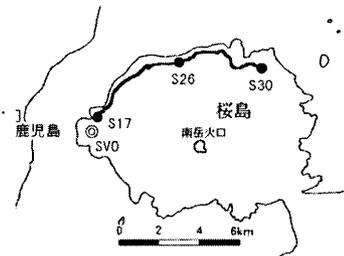
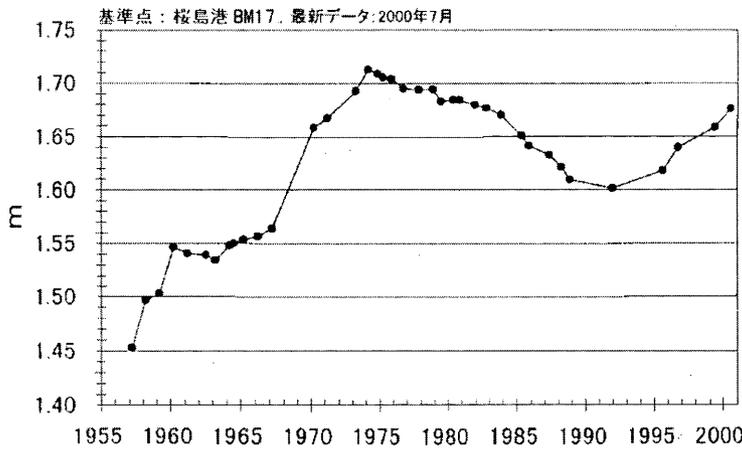
第15図. 降灰量の少なかった1994年における観測値と計算値の比較。相関係数は0.89。



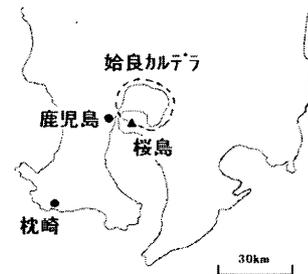
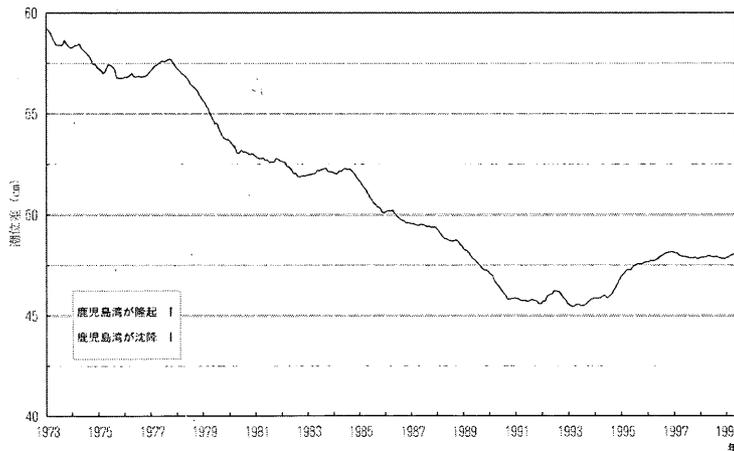
第16図. 観測点の増加後の1998年における観測値と計算値の比較.
相関係数は0.93.



第17図. 降水量の近似例 (1985年9月). ▲印が観測値. 実線が本文(2)式による近似. 点線が本文(3)式による近似. 縦軸及び横軸は対数目盛り.



第18図. 桜島西部の水準点S17 (桜島港) を基準とした桜島北部の水準点S26 (松浦神社) の比高変化 (京都大学, 2000). 右図は水準測量路線



第19図. 枕崎港に対する鹿児島港の1973年から1999年の潮位変化 (下村・坂井, 1998). 地盤変化に合わせるため-1を乗じてある.

く必要がある。

なお、今回使用したプログラムは観測点の変化にも柔軟に対応できるので、十分な観測データが揃えば他の火山へも応用可能である。

最後に、鹿児島県をはじめとする降灰量の観測者へ敬意を表します。前京都大学防災研究所附属火山活動研究センターの江頭庸夫氏、地震予知情報課の上田義浩氏ならびに査読していただいた方々には貴重なご意見をいただきました。鹿児島地方気象台の赤木智次長ならびに観測課の方々にはご議論やご意見をいただきました。感謝申し上げます。

引用文献

- 鹿児島県 (1989)：桜島火山対策ハンドブック－現状と制度の概要－ (改訂版)，22-23.
- 加茂幸介・江頭庸夫・石原和弘・河原田礼次郎 (1977)：桜島における降下火山灰の堆積について，昭和51年6月豪雨による鹿児島県の土砂および土石流災害に関する調査研究報告，文部省自然災害特別研究 (昭和51年度)，77-86.
- 江頭庸夫・石原和弘 (1979)：鹿児島県下における桜島の火山灰の降下堆積状態－昭和53年6月～昭和54年2月－，鹿児島県の地震と火山，**11**，77-94.
- 江頭庸夫 (1984)：桜島から放出された降下火山灰量について，鹿児島県の地震と火山，**13・15併合**，45-53.
- 渡辺義徳・塩手裕昭 (1982)：桜島火山活動と降灰量分布，福岡管区気象研究会誌，**43**，142-143.
- 山里平 (1984)：桜島降灰解析，技術通信，**30**，17-22.
- 中野辰美・上田義浩 (1989)：等値線による降灰分布図と総降灰量，福岡管区気象研究会誌，**50**，142-143.
- 白坂光行・上田義浩 (1990)：桜島の降灰分布図と総降灰量 その2，福岡管区気象研究会誌，**51**，142-143.
- 青山智夫・早川義徳・川添良幸 (1995)：コンピュータグラフィックス，共立出版，34-38.
- 気象庁 (1992)：火山観測指針 (参考編)，237-240.
- 江頭庸夫他12名 (1998)：桜島火山周辺における水準測量結果について，第9回桜島火山の集中総合観測，15-29.
- 京都大学桜島火山活動研究センター (2000)：桜島北部の水準測量の結果，第85回火山噴火予知連絡会資料.
- 下村雅直・坂井孝行 (1998)：鹿児島港の潮位と桜島の火山活動，福岡管区気象研究会誌，**59**，224-225.