

# 火山活動が気候に及ぼす影響の統計的分析\*

高橋 浩一郎\*\*

## 要旨

1つの火山大噴火では、気温が全球的には  $0.05^{\circ}\text{C}$  程度、地域的には  $0.2^{\circ}\text{C}$  程度下り、翌年くらいまでつづき、その後、次第に消えていく。しかし、それ以外に、数年後にも残る影響がある。これは、直接の日傘効果などではなく、気候のシステムの中には、自己調節的な機構があり、これが火山噴火の影響で刺激され、変動が起こり、あとに残るものであろう。また、火山活動の変動には、70年くらいの周期性があり、気温の長周期変動にも、それが反映しているようである。

## 1. はじめに

火山大噴火の影響が、日傘効果などによって気候に現れることは、かなり古くから指摘されており、今世紀の初めには、Humphreys (1920) のくわしい研究がある。日本でも、1934年の東北地方の凶冷のあと、岡田武松 (1934) が、火山の大噴火と東北凶冷との間には相関があるらしいとしており、荒川秀俊 (1955) の調査もある。また、1980年にはセント・ヘレンズ、1982年にはエル・チチョンの大噴火があり、異常気象が起きたこともあり、近年、この関連が世界的に注目され、くわしい観測や解析が進められている。日本では藤田敏夫 (1984) が調べており、また山元龍三郎 (1975) は、北半球の平均気温の変動を調べ、大噴火のあと、 $0.2^{\circ}\text{C}$  くらい下るとしている。また、近藤純正 (1985) は、歴史的資料も用い、火山の大噴火と、東北地方の凶冷との関連を調べ、本誌に論文を出している。

これらの研究から見て、火山の大噴火が気候に影響を与えることは、疑う余地はないが、その影響の現れ方、また、その物理過程は、きわめて複雑であり、地域により、季節によっても違う。また、気候の変動に及ぼすその影響は、その他の擾乱にくらべ、必ずしも大きいとはいえないので、火山大噴火の影響だけを取り出して調べるのには、多くの困難をとまらう。

筆者も、この問題には興味を持っており、過去のなる

べく長い期間の観測資料を用い、統計的に火山大噴火の影響が気候に現れる状況を抽出することを試みた。その結果は、通常考えられていることを裏書きしているが、火山活動には、70年程度の周期性があり、気候にも反映しているらしいことに気がついた。そこで、分析結果を報告したい。

## 2. 分析の方法

はじめに、ここで用いた分析の方法を簡単に述べる。過去の世界のどこかで起きた、火山の大噴火の記録を集め、火山の大噴火のあった年、あるいは10年間の大噴火の回数を目安とし、これをキイ年あるいはキイ年代とし、いくつかの気象要素についてキイ・アナリシスを行う。これは、Craig (1952) などが、地磁気の変動度と気象との関連を調べるのに用いた方法で、キイ年あるいはキイ年代の年または年代、その前後の各年あるいは各年代の気象要素の値の平均値を求める。もし、火山の大噴火と気象要素の間に関連がなければ、各年あるいは各年代の気象要素の値は、統計的な変動の幅の中で一定になるはずであり、それ以上の変動があるならば、火山の大噴火が気象に影響を及ぼしていることになる。そして、キイ年またはキイ年代からの時間差による平均値の変化の様相から、火山の大噴火が気象に及ぼす影響を探る手段となる。

ところで、この方法を現在の問題に応用する場合の第1の問題点は、火山の大噴火としてどれを取るかということである。火山の噴火といっても、いろいろの規模のものがあ、小規模な噴火は、あまり気象には影響を与えず、大規模なものを選ぶ必要がある。しかし、大規模

\* A Statistical analysis on the relationship between volcanic activity and climate.

\*\* Koichiro Takahashi, 元筑波大学.

—1985年5月27日 受領—

—1986年9月22日 受理—

という言葉の定義が問題であり、噴火の性質によって気象に及ぼす影響は違うと思われる。また、古い記録では、規模の程度が必ずしもはっきりしない。また、ここでの統計の性格から、火山噴火の規模を、統計的に独立にきめる必要がある。この点では Lamb (1972) が定義をした火山噴火の規模、D.V.I. は必ずしも適当ではない。気候の変動の影響が入っているからである。このように、いろいろ難かしい点があるが、Smithsonian Institution で集めた、世界の火山噴火の記録によって選ぶことにした。すなわち、その中には、噴火の規模 VEI を、0 から 8 までにわけて示されており、とくに大規模な、VEI 5 以上の大噴火のあった年をえらんだのが第 1 表である。なお、表中 1783 年は、VEI 5 以上の大噴火は

ないが、天明の浅間山の大噴火のあった年であり、VEI 4 以上の大規模の噴火が、3 回もあったので、ここに入れた。

### 3. 気温に及ぼす影響

火山の大噴火が気候に及ぼす影響で、一番わかりやすいのは、気温への影響であろう。これを検出するため、なるべく長い記録のある地点の年平均気温および 8 月の平均気温、あるいは日本の米の作柄など、気温の変動の指標となるものについて、キイ・イヤー・アナリシスを行ってみた。

なお、年平均をとったのは、火山噴火による影響が季節変化より小さいので、季節変化をとりのぞくためである。また、年々の 8 月の値の時系列についても調べたのは、この頃、北半球では南北の気温傾度が割合小さく、大循環の変動による移流の影響が比較的小さく、日傘効果が現れやすいと思ったからである。第 2 表の中にはその分析の結果が示されてある。なお、表中の  $\epsilon$  は、気象要素の時系列がランダムな量の時系列と仮定した場合に

第 1 表 VEI 5 以上の火山大噴火のあった年

1641, 1663, 1700, 1739, 1755, 1783, 1815, 1822, 1835, 1875, 1883, 1886, 1902, 1907, 1912, 1932, 1956, 1980, 1982
--

第 2 表 火山大噴火年による気象要素のキイ・イヤー・アナリシス

要素	年 差										$\epsilon$	単 位	標本数
	-3	-2	-1	当年	1	2	3	4	5				
北半球気温	-5	-4	3	-47	-32	9	43	19	-7	30	$10^{-3}^{\circ}\text{C}$	7	
ベルリン気温	0.07	0.14	0.11	-0.17	-0.42	-0.11	0.08	0.29	-0.21	0.22	$^{\circ}\text{C}$	13	
フィラデルフィア気温	-0.05	0.12	0.21	-0.19	-0.19	-0.35	-0.02	0.01	0.25	0.16	$^{\circ}\text{C}$	14	
イギリス夏気温	0.04	-0.08	0.15	-0.17	-0.03	-0.08	0.37	0.31	-0.24	0.22	$^{\circ}\text{C}$	17	
コロンボ 8 月気温	0.01	0.07	0.10	-0.25	-0.09	-0.04	-0.05	-0.05	0.07	0.18	$^{\circ}\text{C}$	8	
リオデジャネイロ 8 月 気温	0.37	0.19	-0.11	-0.49	0.36	0.20	0.18	0.18	-0.17	0.34	$^{\circ}\text{C}$	7	
日本の米の作柄	2.4	-2.2	0.2	-4.1	0.2	-0.01	-1.6	2.4	0.7	2.1	%	14	
バルチック海流氷面積	-16	-5	-18	23	3	-6	-15	-65	42	31	$10^3\text{km}^2$	13	
ボンベイ降水量	-117	120	-4	373	-54	-104	143	-46	-4	166	mm	10	
ガルベストン降水量	15	176	-73	-184	128	149	8	-129	-108	116	mm	7	
ニューヨーク降水量	-45	-57	-29	-31	110	-18	-98	13	33	60	mm	9	
チャーレストン降水量	-36	-83	0	-67	60	151	-70	-67	-55	95	mm	10	
ミラノ降水量	-26	39	9	-59	-15	-26	79	95	30	50	mm	13	
コペンハーゲン降水量	-50	36	10	37	2	25	123	71	-107	78	mm	10	
チリー降水指数	-0.06	0.12	0.18	-0.06	-0.06	-0.12	0.50	-0.06	-0.06	0.25		16	
日本風水害指数	-6	0	-2	-3	0	15	11	-13	3	9		17	
ボンベイ気圧	0.00	0.09	0.00	-0.08	0.08	0.22	-0.09	0.12	0.10	0.13	mmHg	8	
函館気圧	0.18	0.41	0.03	-0.14	0.03	-0.17	-0.03	0.22	0.36	0.18	mmHg	7	
グリニッジ気圧	0.13	-0.58	0.10	0.18	0.38	-0.43	-1.04	0.43	0.36	0.38	mmHg	8	
コペンハーゲン気圧	0.44	-0.18	-0.12	0.45	0.54	-0.37	-0.42	-0.30	-0.10	0.35	mmHg	8	
東京最深積雪	3	3	-4	-1	1	-3	-2	7	-8	3.5	cm	8	
北陸豪雪年	-0.05	-0.05	-0.05	0.06	0.17	-0.05	-0.11	0.00	0.00	0.08		19	

予想される標準偏差であり、分析の誤差を表す。また、表中の値は、平均値からの偏差である。この値が $\sigma$ の1.5倍以上ならば危険率6.7%以下、2倍以上ならば、2.3%以下で有意である。

この表中、北半球の気温偏差は、山元龍三郎らが推定した値について分析したものであり、火山大噴火年、その翌年に $0.05^{\circ}\text{C}$ ほど下がっている。これは値としてかなり小さいが、統計的には有意性が高い。また、多くの地点の気温では、大噴火年、あるいはその翌年、 $0.15\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ 程度気温がさがる傾向がかなりはっきり見える。また、1700年以降の日本の米の作柄は、断片的ではあるが、反当たり収量、米価の記録があるのである程度推定出来る。そして1880年以降では、きちんとした記録もある。米の作柄は夏の気温に大きく左右されるので、夏の気温の1つの指標となるので、ここでの分析には都合がよい。そして、これも明らかに大噴火年には気温が下がる傾向を示している。そして、ふつう夏の気温が $1^{\circ}\text{C}$ 低いと作柄は5%くらい減少するので、これを逆に利用すると、火山大噴火年には $0.8^{\circ}\text{C}$ くらい下がることになる。

ただ、ここで注意すべきは、気温が下がる年が地点によって必ずしも同じではなく、翌年、あるいは翌々年のところもある。また、3~4年後に火山大噴火の影響が現れると思われるところもある。また、その程度も、北半球の平均では、 $0.05^{\circ}\text{C}$ と小さく、各地点では $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ と大きいことである。これは、火山の大噴火によって火山灰、または噴煙が成層圏に拡がり、日射を弱めるため気温が下がるという、日傘効果だけでは説明出来ず、大循環の移流による影響と解釈するのが自然であろう。事実、個々の年あるいは月の状況を見ても、世界全体の気温が一律に下がったり、上がったりすることはなく、低温の区域があれば、必ず高温の区域があるのが実態である。また、大循環自身、海や土地の熱容量、雲や雪・氷などの影響もあって、それ自体自己調節作用がある。火山大噴火の影響が数年おかれて現れることもあるのは、日傘効果の直接の影響ではなく、大気大循環の自己調節作用を通じて現れると見るのが適当ではあるまいか。このことは、あとでのべる気圧や降水量についての分析でもいえることである。

なお、このことは日傘効果があることを否定するものではない。北半球全体の平均気温では、移流の影響は消えるはずであり、そこに現れる値では、日傘効果が大きいと考えてよいであろう。そして、第2表に見られるよ

うに、確かに出ているが、各地点で見られる値より、かなり小さい。

#### 4. 気圧や降水量に及ぼす影響

つぎには、気温と同様、年平均の気圧、年降水量などについて、火山大噴火の影響を、キイ・イヤール・アナリスによって調べてみよう。その結果も第2表に示してある。

まず、気圧について見ると、コペンハーゲンのように、火山大噴火の翌年気圧が上昇する地点もあり、函館のように、5年後に現れるところもある。そして、一般に気温の場合ほどはっきりしていない。これは、気圧の観測期間が気温ほど長くなく、標本数が少ないためもあり、また、火山大噴火の影響が、直接気圧に及ばないためではなからうか。おそらく日傘効果などで気温が低下するとか、火山灰が氷晶核となって降水に影響を与え、それが気圧の変化に影響を与えるものであろう。

つぎに、降水量についての分析結果を眺めてみると、地点によりかなり違う。一般的にいって、低緯度では、火山の大噴火があった年、あるいは翌年、降水量が増したり、減少したりする例が多い。しかし、中緯度、高緯度では、もっとおくれ、3年後辺りにその影響が現れることが多く、高緯度ほどその影響がぼやけてくるようである。

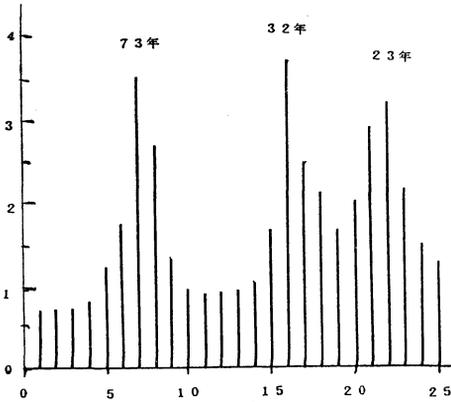
これらの分析結果から見て、火山の大噴火が気象に影響を与えていることは、ほぼ確かであるが、その機構は複雑であり、単純に日傘効果だけでは説明出来そうもない。火山灰の氷晶核としての働きもあるであろうし、大循環を通じて、各地に複雑な影響をもたらすことも考えられる。そして、時には数年後にその影響が出てくる場合もあるようである。

#### 5. 火山活動の70年の周期性

火山の大噴火の影響が気象に現れるとすれば、火山活動の長周期変動が気候にも反映するはずである。1940~60年頃の、中緯度、高緯度の気温が高かったのは、この頃、火山の大噴火がなかったためという説もある。そして、過去の火山活動の状況を調べてみると、長周期の変動があるようであり、70年くらいの周期性が感じられる。そこで、Smithsonian Institutionの資料から、VEI 4以上の大噴火を抜き出し、10年間の大噴火の数をその年代の火山活動の指標にして、長周期の変動を調べることにした。もう少し正確には、10年間の大噴火の数を調

第3表 10年間の火山活動

100位 \ 10位	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90年
1500年	2	1	1	1	0	0	1	1	1	4
1600	1	0	0	2	4	0	6	1	2	2
1700	4	1	2	2	2	3	5	2	4	3
1800	1	8	4	2	2	2	1	6	10	1
1900	10	10	3	5	3	7	7	5	(4)	



第1図 火山活動指数  
パワー・スペクトル

べるとき、VEI 4は1、VEI 5は2、VEI 6は3という重みをつけた。第3表がその結果である。なお、15世紀以前は数が非常に少なくなるのではぶいた。

これを見ると、一般的傾向として、古い時代ほど指数関数的に数値が小さくなっている。これは、火山活動が弱かったのではなく、記録もれが多くなったと考えるのが自然であろう。そこで、記録もれにより、平均的には100年さかのぼるごとに0.69倍づつになると仮定する。そして、1500年代を基準とし、この割合で新しい時代の値を小さくとり、これを火山活動の指数とすることにした。この値は、おおむね2年間の大噴火の回数に相当する。(第2図参照)

そして、この値を用い、マキシマム・エントロピー法により、パワー・スペクトルを求めた。第1図がその結果である。縦軸は、振幅になるように、パワーの平方根をとってある。なお、指数関数による記録もれの補正は、70年周期にはほとんど影響しない。また、長周期なので、分解能をよくするため全資料を用いたが、信頼性の高い1700年以降の値でも、はっきりでる。

これを見ると、72年、32年および23年のはっきりした

山が出ている。これは、周期の分解能を考えに入れると、70年周期の第1成分、第2成分、第3成分に相当するものと思われ、火山活動に70年くらいの周期性があることを物語る。そして、これは、自己相関係数などを計算しても出てくる。

このような周期性が出てくる理由は、わからない。河角広がかつて東京の大地震に69年周期があることを指摘したが、その周期とほぼ一致していることは、火山活動の70年周期を支持するように思われる。また、これも理由はわからないが、太陽の黒点数の長周期変化とも関連があるようで、黒点数が少ない年代に火山活動が増加する傾向がみられる。

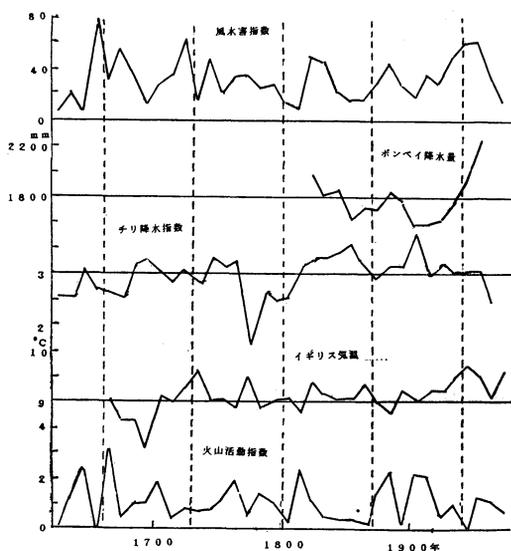
6. 気候の70年周期

さて、火山活動に長周期変化があれば、気候にもそれが反映することは十分に考えられ、火山活動の70年周期に対応する変動も現れるであろう。そこで、これを検出するため、長い観測資料のある気象要素、あるいは、それに対応する指数などについて調査を行ってみた。第2図は、その例として10年間の火山活動の指数、イギリスの気温、南米チリーの降水指数、インドのボンベイの降水量、日本の風水害などをグラフにしたものである。ここで、日本の風水害指数は、古い気象史料から、風水害による人口1億人当たりの死者数、家屋の倒壊数を求め、家屋の被害には7分の1の重みをかけて加え、その平方根をとった値である。その他の資料は、Lambの著書の中の表からとった。

この図を見ると、いろいろの要素が、おおむね70年くらいの周期で上がったり、下がったりしており、火山活動と相関があるように見える。たとえば、ボンベイの降水量は、2回ほどしかないが、70年周期がきれいに出ており、日本の風水害の指数とも平行している。そして、火山活動の変動とは正相関のようである。そこで、長い観測資料のある気象要素などについて、70年のペリオド

第4表 いろいろの要素の70年ペリオドグラム・アナリシス

要素	対応位相年	1900	10	20	30	40	50	60年	$\epsilon$	標本数
火山活動		0.18	0.14	-0.06	-0.48	0.08	0.34	-0.16	0.31	5
イギリス気温		-0.21	0.10	0.07	0.20	0.17	-0.17	-0.03	0.13°C	5
フィラデルフィア気温		-0.21	-0.21	-0.09	-0.25	0.14	0.08	0.02	0.13°C	3
チャールストン降水量		48	-60	-98	-37	176	42	18	64 mm	3
ボンベイ降水量		-90	-73	-187	-41	20	224	62	141 mm	2
風水害指数		-10	-5	-7	8	-1	14	1	5	5
チリー降水指数		0.15	-0.27	0.07	-0.07	-0.19	0.11	0.11	0.16	5
サキ湖沈澱層の厚さ		7	-7	-23	17	-10	17	4	13	7



第2図 10年平均火山活動、気象要素の経年変化

グラム・アナリシスを行ってみた。第4表がその結果である。表中の数値は、平均からの偏差で示しており、対応年は、10年間のはじめの年である。また、第1列は、1900年代の位相に対応するようになってある。

統計年数が300年前後であり、70年周期は、せいぜい4~5回なので、統計的に充分有意性の高い結果を期待することは難かしいが、分析の誤差と比較して、偏差がかなり大きく、70年周期の存在をかなりはっきりと示しているものもある。

イギリス・フィラデルフィアの気温を見ると、火山活動の小さい年代に高温、大きい年代に低温となることを示しており、常識ともよく一致する。つぎに、チャールストン、ボンベイの降水量、チリーの降水指数を見る

と、火山活動が盛んな年代に多く、多少位相差はあるが、小さい時に少ない傾向が見られる。また、サキ湖の沈澱層の厚さ(クリミア半島付近の降水量の多少を示す指数)と、日本の風水害指数を見ても、分析の誤差からみて、70年のサイクルの存在する信頼性はかなり高い。そして、その変動の様子は類似しており、70年の間にも2回の振動が見られ、35年周期の存在を示しているようにも思われる。この振動は、先にみたように、火山活動にもみられるし、有名なブリクナー周期とも一致する。

これらの分析結果からみて、気候変動の中にも、70年周期およびその分振動の周期性があることはかなり確かのように思われる。そして、それを生ずる原因の1つとして、火山活動の70年サイクルがあるようにも思われる。

### 7. むすび

以上の分析結果から見て、火山の大噴火が気温を降下させる働きがあり、降水量などにも影響が及んでいることは、充分に考えられることである。そして、火山活動には、70年のサイクルがあり、気候にも反映しているようである。

しかし、これらの過程は、おそらく単純ではなく、大気大循環が内在しているであろう、地球全体の気温としては、火山灰またはその変質した微粒子の、いわゆる日傘効果が主要な原因であろうが、降水量となると、火山灰などの氷晶核の作用も考えられる。また、火山噴火の日傘効果で気温が変わり、それによって大循環の様式も変わり、降水量の分布が変化してその変動が起こることはありうることである。このため、火山活動の70年サイクルで大循環に70年の周期的な変動が起こり、たとえば前線帯が南北に振動をすれば、降水量にその分振動の35年周期が現れても不思議はない。

終わりに、火山活動指数のパワー・スペクトルの計算には、気象庁長期予報課の能登正之氏の手をわずらわせたので、感謝の意を表したい。

### 文 献

- 荒川秀俊, 1955: 気候変動論. 地人書館, p.p. 37.  
 Craig, R.A., 1952: Surface pressure variations following geomagnetically disturbed days and geomagnetically quiet days, *J. Meteor.*, 9, 126-138.  
 藤田敏夫, 1984: 環流パターンの変動に及ぼす火山爆発の影響. 気候変動集會報告集, IV-6.  
 Humphreys, W.J., 1920: *Physics of the air*, Franklin Institute, press of J.B. Lippincott Company.  
 磯野謙治, 駒林 誠, 1954: 火山塵による降水量の

- 増加, *天気*, 1, 138-140.  
 近藤純正, 1985: 最近 300 年間の火山爆発と異常気象・大凶作, *天気*, 32, 157-165.  
 Lamb, H.H., 1972: *Climate: present, past and future*, vol. 1. Methuen, 1977, vol. 2, Methuen, Barnes Noble.  
 岡田武松, 1934: 東北地方凶冷の原因, *天気と気候*, 1, 338-342.  
 Smithsonian Institution, 1981: *Volcanos of the World*, Hutchinson press Company.  
 Yamamoto, R., Iwashima, T. and M. Hoshiai, 1975: Change of the surface air temperature averaged over the Northern Hemisphere and large volcanic eruptions during the year 1951-1972, *J. Meteor. Soc. Japan*, 53, 482-486.  
 山元龍三郎, 1978: 火山噴火と気候変化, *天気*, 25: 81-102.

## NEWS

### 熱帯域の「降水量観測衛星」計画始まる

NASA から、熱帯域の降水量を観測するための衛星を打ち上げる計画に対し、この秋、日本にも協力を呼びかけがあった。

この計画の名称は、TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) と呼ばれ、赤道상을  $30^\circ$  で横切る軌道を持つ衛星を打ちあげ、熱帯域の雨量を観測しようとい

うものである (図参照)。日本側での対応する機関は、現在のところ、電波研究所で、衛星に搭載する測器の開発を主として分担する計画のようである。このデータの利用方法等、興味のある方は、詳細を、東京大学松野教授まで問い合わせていただきたい。

(東大理学部 住 明正)

