

# 気候変動の原因としての太陽活動、火山噴火および雪氷面積\*

須田 滝雄\*\*

## 要旨

極地気温変化の原因を解明する目的をもって、70~80°N 帯の 500 mb 面高度 ( $Z_p$ ) の経年変化と太陽活動 (地磁気活動指数  $C_i$  と黒点数  $S$  の組合せ)、大噴火の有無および北半球雪氷面積の大小との関係を解析して次の結果を得た (対象期間は1946~1979年)。

(1) Sapper 階級 2 以上の大噴火は  $Z_p$  を低下させる ( $Z_p$  から推算した対流圏中層以下の平均気温で 0.1~0.2°C)。

(2)  $Z_p$  は  $C_i$  および  $S$  がともに小さいと低く、いずれか一方が大きいと高い。重相関係数は 0.77 (1946~1971年)。

(3) 1972 年以降の  $Z_p$  は (2) による回帰式で計算した値 (太陽活動より期待される値) より低い (上記同様の推算気温で 0.2°C 弱)。

これは1972年以後急増した雪氷面積の影響で説明できる。

(4) 毎年の雪氷面積の値は、前11年の平均気温 (前記同様推算) と密接な負の相関を示す。

## 1. はしがき

近年世界的に異常気象が頻発しており、また本年 (1980) 5 月米国の St. Helens 火山の大噴火などがあり、気候変化に対する関心が強まっている。

筆者は今回、かねて提唱していた方法 (たとえば1980 a) によって極地の 500 mb 面高度の経年変化を解析して、その変化は太陽活動の 2 指標 (第 2 節参照) の変化、大噴火の有無ならびに雪氷面積の消長によって明確に説明できることを知った。この結果は気候変化の解明に手がかりを与えるとともに、その予測にも役立つと考えられるので、上記のような世界的な社会情勢にもかんがみ、ごくあらましを報告する。

## 2. 記号、定義など

簡便のため、この研究で用いた記号あるいは定義の一覧表をかかげる。

$S$ : 太陽黒点相対数 (太陽紫外線放射の指標と考えられる。年平均またはその移動平均)。

\* Solar Activity, Volcanic Eruptions and Snow & Ice Cover as Causes of Climatic Change.

\*\* Takio Suda, 岐阜大学農学部

—1980年6月11日受領—

—1980年9月8日受理—

$C_i$ : 国際地磁気活動特性数 (太陽微粒子放射の指標と考えられる。年平均またはその移動平均)。  $S$ ,  $C_i$  とも最近のものは推定値を用いた。

$Z_n$ :  $n^\circ$  N 帯の帯状平均 500 mb 面高度 (対流圏下層の気温同等と考える。年平均またはその移動平均)。

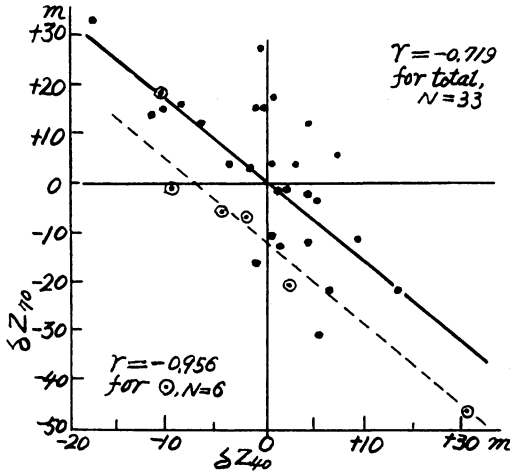
極地: 70~80°N 帯。

$Z_p$ :  $Z_{70}$  と  $Z_{80}$  の平均値。

$t_p$ :  $Z_n$  は対流圏下層の平均気温と見なして論をすすめるが、気温に換算してみる必要がある場合は、1000 mb と 500 mb 面の層厚より換算した気温  $t_p$  と  $Z$  との統計的関係より気温を推算する。  $Z_p$  は 50~80°N 帯の換算気温と相関がよいので、必要により  $Z_p$  からこの気温を求め、これを  $t'_p$  とする。

## 3. $Z_p$ に対する大噴火の影響

1946 年以後の  $Z_{60}$ ,  $Z_{70}$ ,  $Z_{80}$  の経年変化は、大噴火 (Sapper 階級 2 およびそれ以上のもの) に対応して高度が増加しており、中緯度 (30~50°N) の  $Z$  の場合 (須田, 1980 b) とは逆になっている。しかし、これは  $Z$  が中・高緯度の間で振動的に変化するため一見逆に見えるけれども、実際は大噴火は中・高緯度のいずれにおいても  $Z$  を低下させるように働く。  $Z_{40}$  と  $Z_{70}$  を両緯度帯の代表として選び、それぞれの前年差を比較すると高い



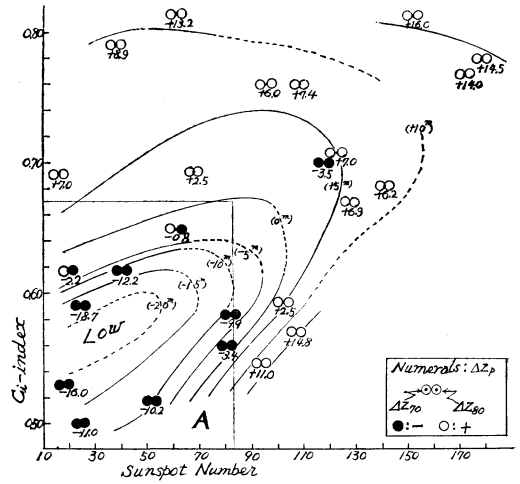
第1図 500 mb 面高度の中・高緯度間の振動および火山噴火の同高度に及ぼす影響, 1946~1979年.  $\delta Z_{70}, \delta Z_{40}$ :  $Z_{70}$  および  $Z_{40}$  の前年差.  $\odot$ : 大噴火の影響があった年.

負の相関を示す ( $\gamma = -0.719, N = 33, \alpha < 0.01$ , 第1図). これらの年で大噴火の影響が考えられる年 (高緯度噴火の場合はその翌年, 低緯度噴火の場合は当年, 須田, 1980c) にマークしてみると,  $Z_{40}$  と  $Z_{70}$  との間の負の相関関係は他の年と変わらないが, 両者とも他の年より低くなっている (第1図 $\odot$ 印). その量は  $Z_{30}$  の場合の約2倍に達している.

4. 太陽活動 ( $C_i, S$ ) と  $Z_p$  の関係

$Z_p$  に及ぼす大噴火の影響は, 3年移動平均をとることによって「大体」消去できる (Suda, 1980d) ので,  $Z_p, C_i$  および  $S$  のそれぞれの3年移動平均値を用いて,  $C_i$  および  $S$  の  $Z_p$  に対する影響を検出しようと試みた. 解析期間は1946~1971年とした. 理由は, 1971~1972年に北半球雪氷面積の急増したことが Kukla によって報告され, 諸氏によって紹介されているので (例えば山元, 1980e), その後は, このための気温低下によって太陽活動と  $Z_p$  との関係が隠されて見出し難くなると考えたからである.

縦軸に  $C_i$ , 横軸に黒点数を目盛った図 ( $C_i-S$  ダイアグラムと呼ぶ) 上に  $C_i, S$  および  $Z_p$  の25組より,  $Z_p$  をプロットして3者の関係を調べたところ極めて密接な関係が見出された (このように太陽活動の2つの指標を組合わせて解析することが大切であるというのが筆者の従来からの主張である) (第2図).



第2図 太陽活動 ( $C_i$  と  $S$  の大小) と極地 500 mb 面高度 ( $Z_p$ ) との関係, 1946~1971年.  $Z_p: Z_{70}$  と  $Z_{80}$  の平均. 图中的数字は  $\Delta Z_p$  (1946~1979年の平均との差).  $\Delta Z_p$  は3年移動平均, 従って  $C_i$  も  $S$  も同様. A は総ての  $\Delta Z_p$  がマイナスの領域. 曲線は  $\Delta Z_p$  の等値線.

実験式は次のように求められる,

$$Z_p = 5241.51 + 50.13 C_i + 0.088S \quad (\text{単位はm})$$

(1)

$$R = +0.772 \quad (N = 25)$$

$$\gamma(Z_p - C_i) = +0.682 \quad (N = 25, \alpha < 0.01)$$

$$\gamma(Z_p - S) = +0.650 \quad (N = 25, \alpha < 0.01)$$

$$\rho(Z_p - C_i)_s = +0.548$$

$$\rho(Z_p - S)_{C_i} = +0.500$$

これを見ると  $Z_p$  との関係は  $C_i$  の方が  $S$  より深い傾向があるが, 大差はない.

第2図を見ても分かるように  $C_i$  と  $S$  との関係は3年移動平均値においても密接ではない ( $\gamma = +0.494, N = 25, \alpha = 0.01$ ) が, 長期間, たとえば11年の移動平均をとれば, 高い正の相関を示す. この場合は第1式  $C_i$  に  $S$  を代入 (その逆も) できるから,

$$Z_p = a + bC_i \quad \text{あるいは} \quad Z_p = \alpha + \beta S$$

の関係となり, 黒点数あるいは  $C_i$  を単独にとっても  $Z_p$  との密接な関係が見出せる.

そのことを確かめてみよう.  $Z_p, C_i$  および  $S$  について, 1946~79年における11年移動平均を求め, 23組を用いて相関係数を計算すると次のとおり.

$$(a) \gamma(C_i - S) = +0.920, N = 23$$

(b)  $\gamma(Z_p - C_i) = +0.940, N=23$

(c)  $\gamma(Z_p - S) = +0.807, N=23$

(b)-(c) がこのように大きな値となることは、 $Z_p$  に対する他の影響（例えば噴火の）を取去った場合、その変化の主因は太陽活動であることを示すものと考えられる。また (b) が (c) より大きいことは、散布図 (第3図) から明らかであるが、これは  $C_i$  の方が  $S$  よりも大きく  $Z_p$  に影響することを物語っているように思われる。 $C_i$  あるいは  $S$  と  $Z_p$  との関係は厳密には直線ではなく、図中に示すように2次曲線となるが、これを直線と見なした場合の回帰式は図中に示したものが得

られ、重相関係数は 0.951 となる。

次に第2図の関係を別の実験式で表わしてみる。図からも判るように、 $C_i \geq 0.67$  の年では  $C_i$  の影響が  $S$  より大きく、 $C_i < 0.67$  ではその逆となっている。よって対象年を  $C_i$  の大きさによって二分し、各グループにおける影響の小さい指標を無視して実験式を求めると次のようになる。

(a)  $C_i \geq 0.67$  の年

$$Z_p = 5232.28 + 75.46 C_i \text{ (単位: m)} \quad (2)$$

$$\gamma = +0.737 \text{ (} N=13, \alpha < 0.01 \text{)}$$

(b)  $C_i < 0.67$  の年

$$Z_p = 5262.12 + 0.236 S \text{ (単位: m)} \quad (3)$$

$$\gamma = +0.766 \text{ (} N=12, \alpha < 0.01 \text{)}$$

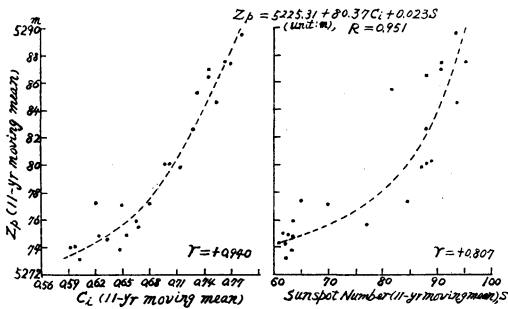
以上により、 $C_i$  および  $S$  の大きさが  $Z_p$  に大きく影響することは、高い有意水準で確からしいことが分かる。

これが確かであれば、1972年以降も成立するはずであり、もし成立しないとすれば、何らかの合理的理由がなければならない。

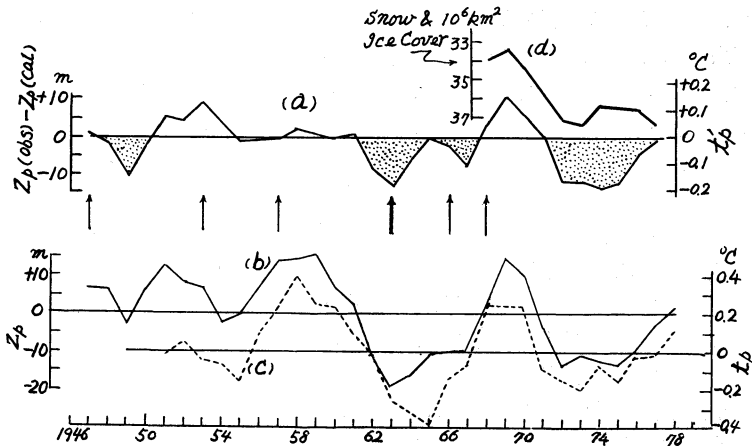
そこで、1946~1978年間の3年移動平均の  $C_i$  と  $S$  とを用いて、第1式よっての計算値 ( $Z_p(\text{cal})$ ) を求め、実測値 ( $Z_p(\text{obs})$ ) と比較してみた (第4図)。

第4図について、まず1971年までの状況を見ると、誤差は一般に小さいが、1963年頃に大きなマイナスがある。

これは、1963年2月 Agung に起った今世紀に入って最



第3図 太陽活動 ( $C_i$  と  $S$  の大小) と極地 500 mb 面高度 ( $Z_p$ ) との関係 (各要素とも11年移動平均), 1946~1979年.



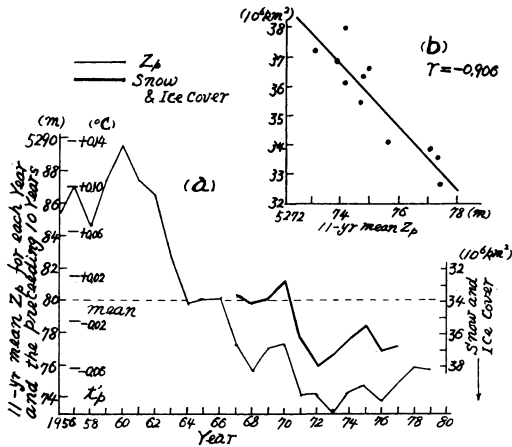
第4図 大噴火と雪氷面積の極地 500 mb 面高度 ( $Z_p$ ) に及ぼす影響。

(a):  $Z_p$  の計算値と実測値との差。  $t_p$ : (b), (c) の関係より推算した気温。矢印: 大噴火年 (太線は Sapper 階級 1~1/2, 他は同 2)。

(b):  $Z_p$

(c):  $t_p$  (1000~500 mb 層厚より換算した 50~80°N 帯気温)。  $Z_p, t_p$  とともに 3年移動平均。

(d): 北半球雪氷面積 (Kukla らの図より, 3年移動平均)。



第5図 北半球雪氷面積の年々の増減に及ぼす極地500 mb 面高度 ( $Z_p$ ) の累積効果。

(a): 各年の氷雪面積 (年平均, 右側目盛, 太線) とその年を含む前11年間の平均  $Z_p$ , 平均値は1946~1979年).  $t'_p$ :  $Z_p$  と  $50 \sim 80^\circ \text{N}$  帯平均気温との関係より推算した値. (b): (a) の散布図.

大の噴火 (Sapper 階級1~1/2) によるものと考えられる。また1967年頃のマイナスは、1966と68年に起った2つの噴火 (Awu, Fernandina) の影響と思われる。これらとともに階級2であったが、時間間隔が2年以下という短かいものであったため、 $Z_p$  に対する影響が大きく、3年移動平均によって消去できなかったものであろう。

1950年代および60年代終りのプラスは、上記のように噴火の影響を「十分」に消去できない  $Z_p$  を用いて求めた実験式によって計算したためのものと考えられる。

##### 5. 雪氷面積急増の原因とその影響

$Z_p(\text{obs}) - Z_p(\text{cal})$  の経年変化は1970年代前半に大きなマイナスを示している (第4図)。これはこの頃急増した北半球雪氷面積に起因した地球反射能の増大によるものと推測できる。試みに雪氷面積の年平均を Kukla らの図より求め、その3年移動平均を第4図に記入して、 $Z_p(\text{obs}) - Z_p(\text{cal})$  の経年変化と比較してみると、後者にやや位相のおくれがあるが、両者の密接な関係を示している。すなわち、この時期には雪氷面積の増大によって  $Z_p$  は太陽活動から期待される値より平均して15 m 内外低くなったのである。これをさきに述べたように  $t'_p$  に換算すると約  $0.2^\circ \text{C}$  に相当する。

Kukla が雲量を考慮せずに計算したところ、地球の反

射放射は1970年から1971年初めにかけては約  $1.75 \times 10^{16}$  カロリー/日と求められるが、1972年から1973年に約  $2.05 \times 10^{16}$  カロリー/日となるというから反射能は約14%の増大となる。一方、反射能が約20%変化すると、全球平均の地上気温は  $2.3^\circ \text{C}$  変化するという計算もあるから、1970年代の  $Z_p$  が太陽活動から期待される値より低かったのは、雪氷面積の急増による、と解釈しても不合理ではなからう。

次に雪氷面積が急増した理由を考えてみよう。この面積の増減には、気温のほか、地温、陸水温、海水温なども関与するはずであるから、気温の短期間の変化よりも長期間の累積効果の方が、雪氷面積に有力に働くに違いない。

そこである年の雪氷面積とその年以前  $n$  年間の平均  $Z_p$  との関係調べた。  $n$  は試行錯誤的に求めて11を得た。すなわち雪氷面積は、その年を含めた前11年間の平均  $Z_p$  と極めて高い負の相関を示す (第5図)。サンプルは少ないが、 $r = -0.906$  ( $N=11, \alpha \ll 0.01$ ) という値は、両者の関係を否定するには、余りに大きな値である。なお、 $Z_p$  から求めた前11年の平均  $t'_p$  も同図に示した。この値が平年値 (1946~1979年) より約  $0.1^\circ \text{C}$  低くなった時に雪氷面積の急増が起っている。

ここで問題なのは、1971年以前における雪氷面積の  $Z_p$  への影響である。第5図 (a) から見て1971年以前の雪氷面積が狭かったことは想像に難くないが、狭い中での変化が  $Z_p$  に影響したであろうと考えることが妥当である。しかし、この時期の  $Z_p$  の経年変化は既述のように、大噴火と太陽活動 ( $C_i$  と  $S$  の変化) で十分説明できるから、この時期の雪氷面積の変化が比較的小さかったとも推測できる。いずれにしても、観測値がないので詳しく論ずることはできない。しかし、「 $Z_p$  の経年変化の主因は太陽活動で、副因として雪氷面積の変化が有力である」という本論文の主張を支持するための別の方法がある。

第5図に見られるように、ある年の雪氷面積は、その年を含む前11年間平均  $Z_p$  にほぼ完全に反比例しているから、この値は雪氷面積の代用になる。この値は1950年以前は得られないが、幸い前述のように  $Z_p$  と  $C_i$  の11年移動平均値 ( $Z_p(11)$ ,  $C_i(11)$ ) は極めて高い正の相関を示すことから、 $C_i(11)$  を  $Z_p(11)$  の代わりに雪氷面積の指標に用いることができる。

これを用いて、 $Z_p$  の経年変化は前記3要因によることを確認してみよう。

3年移動平均すると  $Z_p$  に及ぼす噴火の影響はかなり除去できるが、1962~1964年の  $Z_p$  にはなお影響が残されていることが判ったので、この3年間を除外して、1947~1978年の各年の  $Z_p$ ,  $C_i$ ,  $S$  のそれぞれ3年移動平均値および各年の前11年平均  $C_i$  ( $C_i(11)$ ) を用いて、計算した相関係数を次に掲げる。

$N=29$  (対象期間は1946~1979年であるが、3年移動平均だから32、これから除外年3を引く)。  $\alpha \approx 0.01$  (但し最後のものは、 $\alpha \approx 0.05$ )。

$$\begin{aligned} \gamma(Z_p - C_i) &= +0.473, \quad \gamma(Z_p - S) = +0.663, \\ \gamma(Z_p - C_i(11)) &= +0.530, \quad \gamma(C_i(11) - S) = +0.414, \\ \gamma(C_i(11) - C_i) &= +0.433, \quad \gamma(C_i - S) = +0.334 \end{aligned}$$

重回帰式は、

$$Z_p = 5202.78 + 49.59C_i + 0.106S + 56.00C_i(11)$$

(単位: m)

重相関係数は、 $R=0.852$  となり、 $Z_p$  の経年変化は、噴火の影響を除くと上記3因子に支配されることを確認できた。

## 6. 今後の予測に関連して

筆者(1976)はさきに、太陽活動は1960年代以降20~30年は衰退期に入ると予想し(世界の大方の研究者も同様)、高緯度の寒冷化の進行を予測したが、1979年から1980年にかけての太陽活動は予想に反して活発である。これが今後当分続くものか、一時的なものであるかは、なお推移を見る必要があるが、仮に太陽活動が特別の衰退を見せなくとも、さきに予測したように寒冷化が進む懸念はなくなる。その理由は次のとおりである。

前11年間の平均  $Z_p$  は、1978年および1979年には約5275.9mであるから、第5図(b)から見て、兩年の雪氷面積は約34.7( $\times 10 \text{ km}^2$ )になっているものと思われる。この値は一時より狭いものであるが、なお1970年以前より広い。1980年前後の太陽活動が活発なことにより、これらの年の  $Z_p$  が上昇し、雪氷面積がさらに縮少すれば急増前に戻る可能性もあるが、1980年5月の St. Helens の大噴火はその可能性を低めるように働くであろう。この噴火は1963年の Agung 噴火より規模は小さいというが、北半球で起ったので同程度の影響を  $Z_p$  に与える可能性がある(Agunge 噴火は南半球であったため、Lamb の見積りでは北半球への火山灰の拡散は全体の半分であった)。とすると1980~1981年の  $Z_p$  は1963年頃と同様に低下する可能性がある。

すなわち、活発な太陽活動にもかかわらず  $Z_p$  はそれ

から期待される値より著しく低くなり、雪氷面積は縮小しないか反って増大する可能性も考えられる。その結果は  $Z_p$  を低下させる方向となる一方、太陽活動は11年周期の極大を過ぎて1985年と見込まれ極小期へ向う。こうして高緯度の寒冷化と雪氷面積の増加が相互に作用し合って気候が小氷期の状態に入る可能性も絶無とは言えない。その場合、世界は依然として異常気象の頻発になやまされることになる。しかし、以上のことは、ここ2~3年間の太陽活動、雪氷面積の推移、大噴火の有無などを見守った上でなくては断言はできない。

なお、 $\text{CO}_2$  の昇温効果を無視することはできないのは勿論であるが、いままで述べた事実によって、この効果はこの研究で取り上げた4つの要因が気温低下の方向をとるとき、それを打消すほどには大きくないことが判った。従って  $\text{CO}_2$  の影響を考慮に入れても、高緯度の寒冷化がすすむかも知れないという危惧を払拭することはできない。

## 7. まとめ

太陽活動の2指標、火山噴火および北半球雪氷面積の4つの要因を総合的に考慮して、極地気温(500mb面高度)の経年変化を解析した結果、この変化は、4つの要因の変化によってほぼ完全に説明できることが判った。なおこの結果を利用して気候予測について検討した。その要点を次に掲げる。

(1) 極地の対流圏下層気温(70°, 80°N 帯の500mb面高度)は、地磁気活動度指数および黒点数と極めて高い正の相関を示す。例えば、3要素の3年移動平均値を用いた場合の重相関係数、 $R=0.772$ ,  $N=25$  (1946~1971年)、11年移動平均の場合は、 $R=0.940$ ,  $N=23$  (1946~1979年)となる。

(2) 大噴火は上記気温を低下させる。

(3) 1960年代前半の太陽活動の大衰退(とくに地磁気活動度指数の急減)と幾つかの大噴火のため、上記気温は急低下した。

(4) 極地気温の累積効果(前11年平均)によって北半球雪氷面積は増減する( $\gamma = -0.906$ ,  $N=10$ ,  $\alpha(0.01)$ )。

(5) (3)の結果、1971, 1972年における前11年平均の極地気温は急低下し、北半球雪氷面積は急増した。

(6) (5)のため1970年代前半の極地気温は、太陽活動より期待される値より著しく低くなったものと考えられる。

(7) 1980年前後の太陽活動は活発のようであるが、前

11年平均極地気温はまだかなり低く、しかも1980年 St. Helens の大噴火があったため雪氷面積の急減は起こらない可能性がある。そして太陽活動は11年周期の極小期(1985年頃)に向うため、今後高緯度寒冷化が進行するおそれなしとしない。しかし、いまのところ断言することはできず、ここ2、3年間の太陽活動、極地気温、雪氷面積の推移および大噴火の有無などを見守る必要がある。

(8) (1) 項に記した結果は、太陽活動が極地気温に強く影響することを支持するものであるが、その機構はよく判らない。本稿と同様太陽活動の2指標を組合わせて解析することによって得られた他の種々の場合、たとえば準2年周期振動に及ぼす影響(須田, 1980d)などを統一的に説明できるようになれば、機構解明に一步をすすめることになる。

(9) いずれにしても、本稿に述べた事実は太陽活動と大噴火が極地気温に強く影響し、それが雪氷面積の増減につながることによって、上記2者が気候変化に根源的に主役を演じていることを語っているように思われる。

### 謝辞

この研究に用いた資料について、気象庁長期予報課の方々、とくに朝倉予報官および田中康夫調査係長に大変お世話になった。また同係長ほかレフリーの方々には有益なコメントを頂いた。これらの方々に深く感謝する。

### 文献

- 須田滝雄, 1980a: 500 mb 面気圧分布に及ぼす火山噴火と太陽活動の影響, 研究時報, 31, 27.  
 ———, 1980b: ———, 329-331.  
 ———, 1980c: ———, 329.  
 ———, 1976: 太陽黒点の予言, 地人書館, 176-187.  
 Suda, T., 1980d: An Attempt at Prediction of Solar Activity Indices which are closely related to Climate, Solar-Terrestrial Predictions Proceeding, NOAA, ERL, USA, 3, A99-A100.  
 山元龍三郎, 星合 誠, 1980e: 北半球平均気温と雪氷被覆面積等の関連性, 日本気象学会, 春季大会予稿集, 132p.