

GMS による1981年の西太平洋の火山噴火観測

The GMS Satellite Observation of Volcanic Eruptions in 1981 in the Western Pacific

八十科 洋*・矢田 チエ子*
神林 孝司*・村山 信彦**

Hiroshi Yasoshina*, Chieko Yata*,
Takashi Kanbayashi* and Nobuhiko Murayama**

Abstract

Eruptions of Alaid volcano, Atlasova Island on April 27 and Pagan volcano, Mariana Islands on May 15, 1981 were observed on the GMS satellite images. Behavior of the volcanic plumes is discussed using sequences of GMS images, satellite cloud motions, radiosonde winds and meteorological analyses.

This article presents the findings such as :

- (1) the eruption times of the volcanoes being estimated from the sequences of the satellite images,
- (2) the plume top height being confined in the troposphere, and
- (3) the transport and meandering of the volcanic plume associated with wind field.

1. はじめに

1981年にGMSの観測範囲内で顕著な火山噴火が2つあった。4月28日から30日まで噴煙流がGMSの雲画像に認められた千島列島 Atlasova 島 Alaid 火山(50°51' N, 155°34'E, 標高2,302m)の噴火と、5月15日に観測された Mariana 諸島 Pagan 島(18°06'N, 145°45'E, 標高570m)の噴火である。これらの火山噴火のGMS観測については、概要(清水, 1981; 山田, 1981)が報告されている。過去に於ける火山噴火の衛星観測報告は1980年5月18日の St. Helens 火山爆発についての報告(Edman and Selen, 1981)があるほか二、三の概報(Kruger and Oliver, 1980)があるだけである。この報告では Alaid と Pagan の噴煙流のふるまいについてのGMSの3時間々隔の資料(掲載写真は一部3時

間ごとのほか6時間ごと)を用いて噴煙の時間変化を記述し、周辺の風の観測による説明を試みる。

2. 使用データおよび解析方法

3時間毎の可視、赤外画像、赤外資料からの等価黒体温度(T_{BB})分布図、火山付近の観測点の風と気温の鉛直分布図、高層天気図を噴煙ブルームの時間的な変化の考察のために使用した。Alaid 火山と Pagan 火山の地理的位置を Fig. 1 に、GMS 赤外画像を Alaid については一部に風ベクトル(30分間隔の4枚の画像による)を付記して Fig. 2 に、Pagan については Fig. 6 に示した。 T_{BB} 分布図を Alaid について Fig. 3 に、Pagan については Fig. 7 (山田, 1981による)に、火山周辺の高層風時間高度断面図を Alaid について Fig. 4 に、また周辺観測点の鉛直気温プロフィールを Alaid について Fig. 5 に、一方 Pagan については鉛直気温プロフィールに風を付記して Fig. 8 に示した。解析に使用した高層観測点は Alaid については Mysvasilyevo, Petropavlovsk-Kamcatski と Klyuci で、Pagan について

* 気象衛星センター解析課
Meteorological Satellite Center.

** 気象研究所応用気象研究部、茨城県谷田部町長峰
Meteorological Research Institute,
Nagamine, Yatabe, Ibaraki 305, Japan

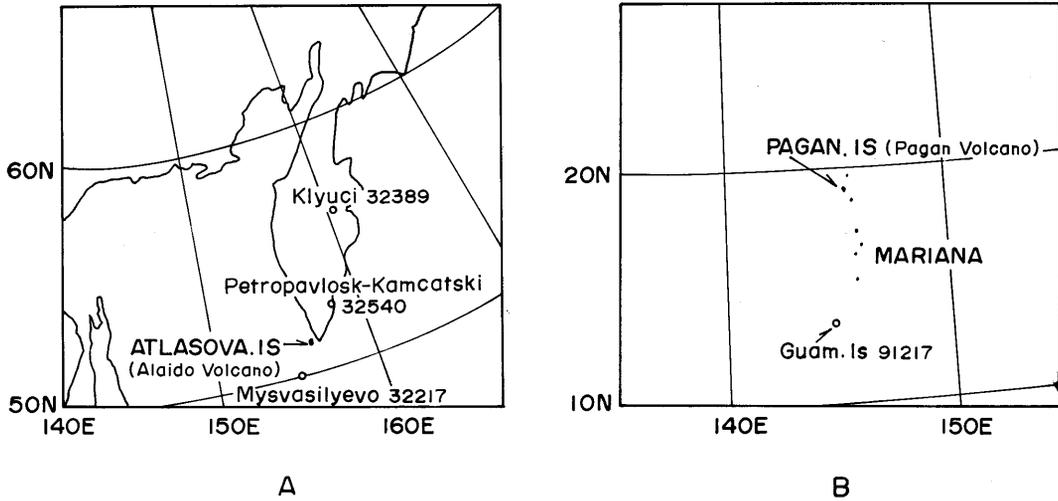


Fig. 1 Locations of Alaid volcano (A) and Pagan volcano (B)

IR 81 APR 27 16Z

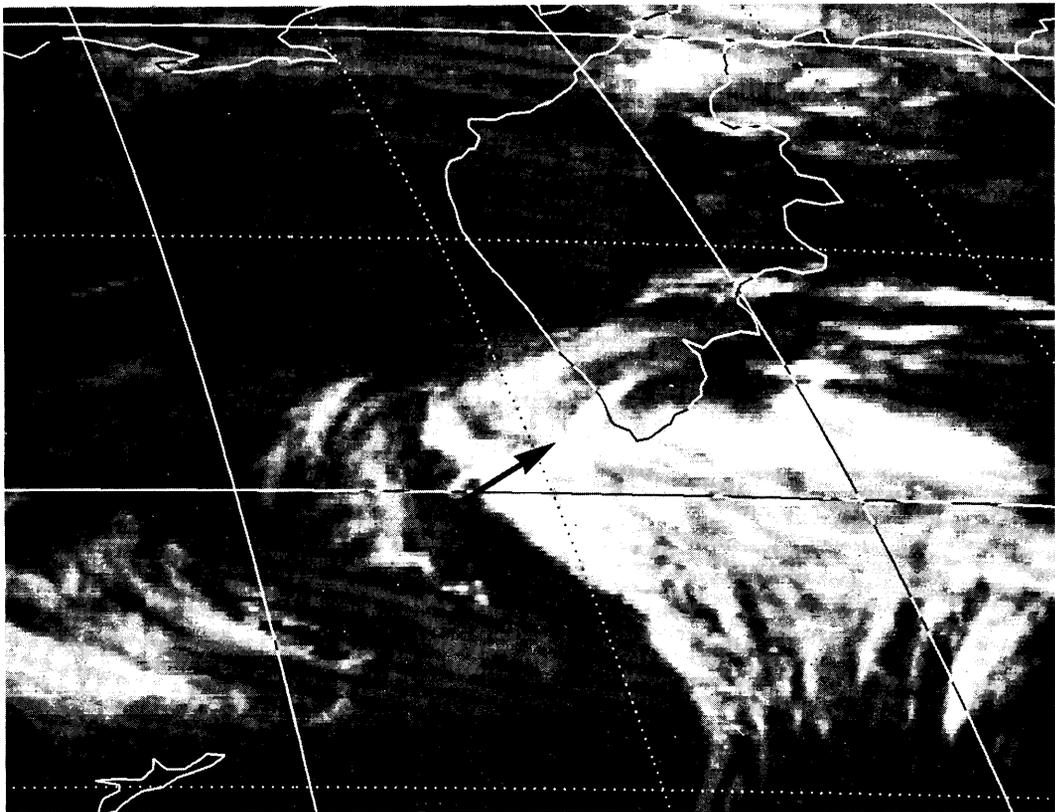
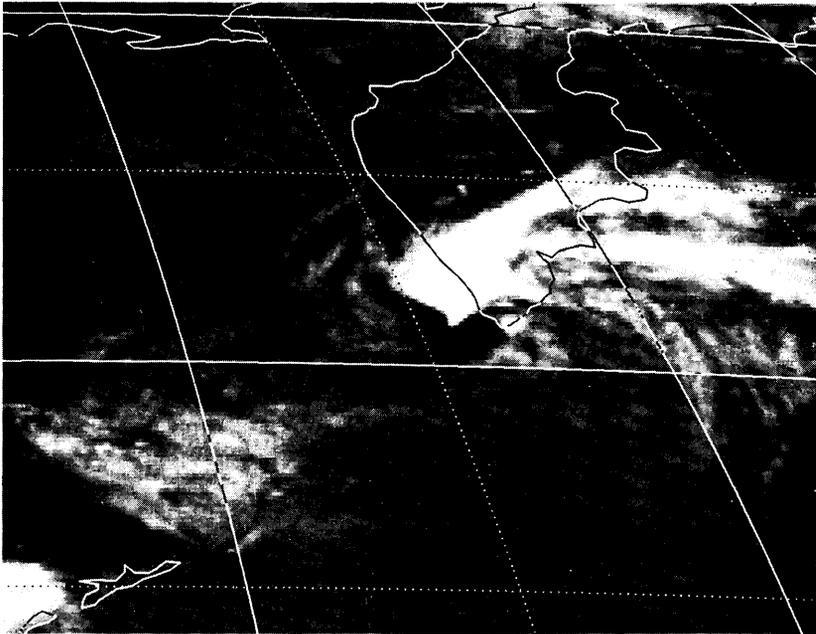


Fig. 2 A sequence of GMS images every 3 to 6 hours from 16 Z, April 27 through 12 Z, April 30, 1981. Infrared images are shown except (c).

IR 81 APR 27 21Z



VIS 81 APR 28 00Z

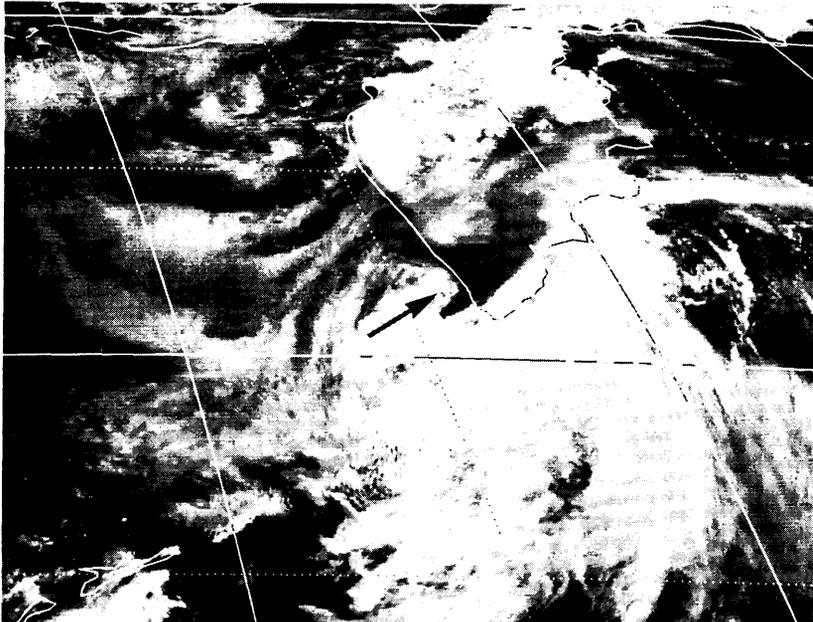
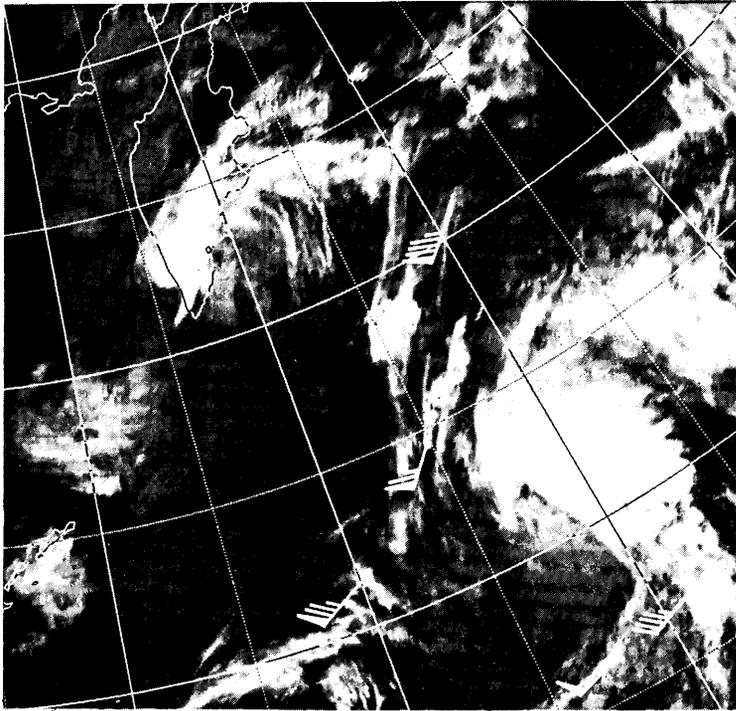


Fig. 2 (Continued)

81 APR 28 00Z



81 APR 28 06Z

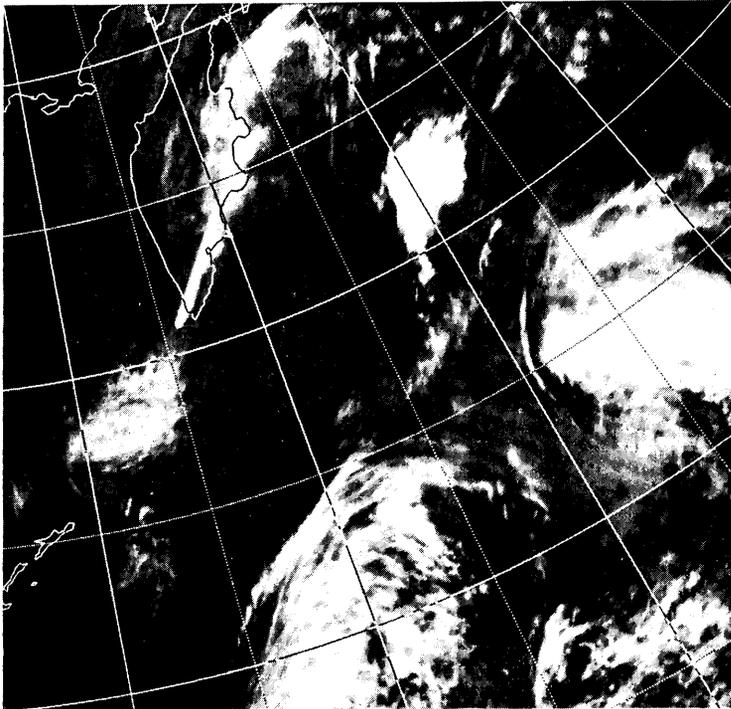
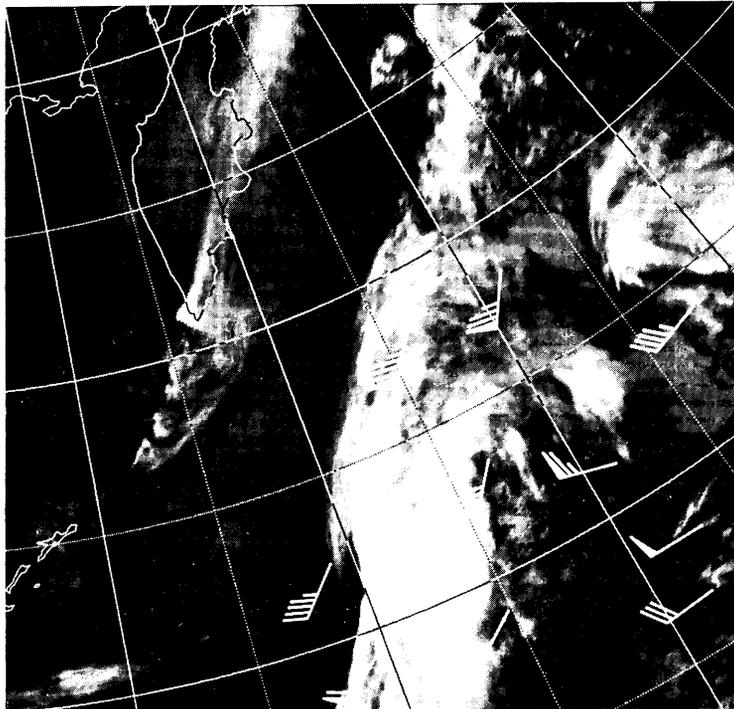


Fig. 2 (Continued)

81 APR 28 12Z



81 APR 28 18Z

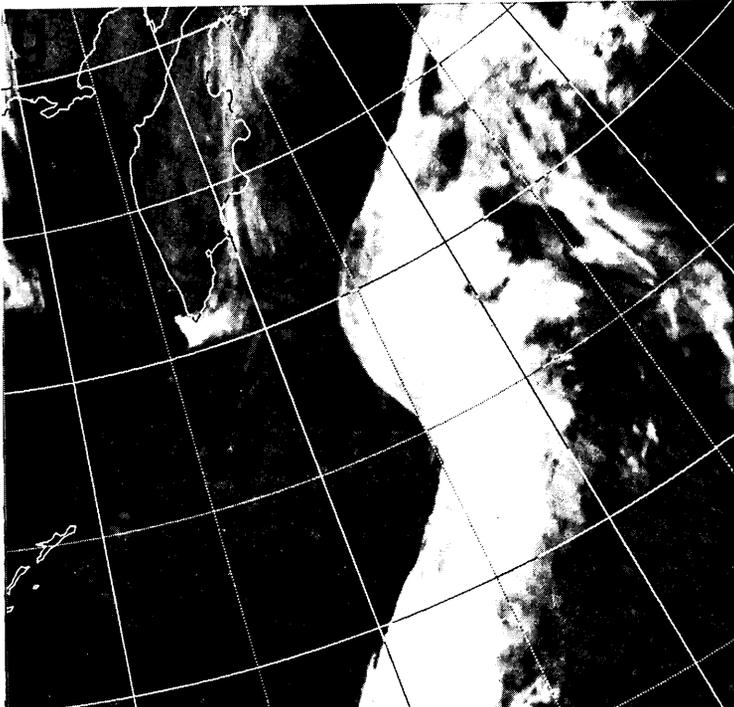
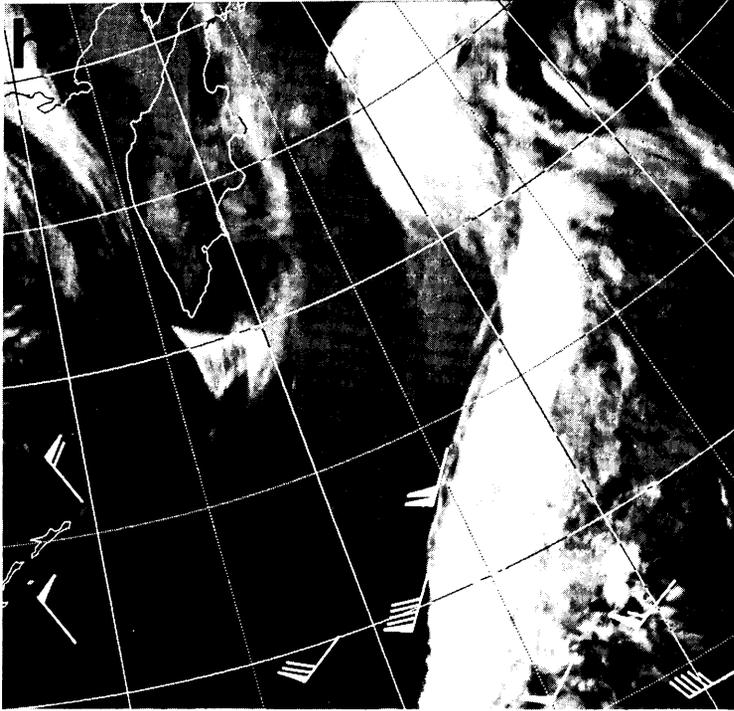


Fig. 2 (Continued)

81 APR 29 00Z



81 APR 29 06Z

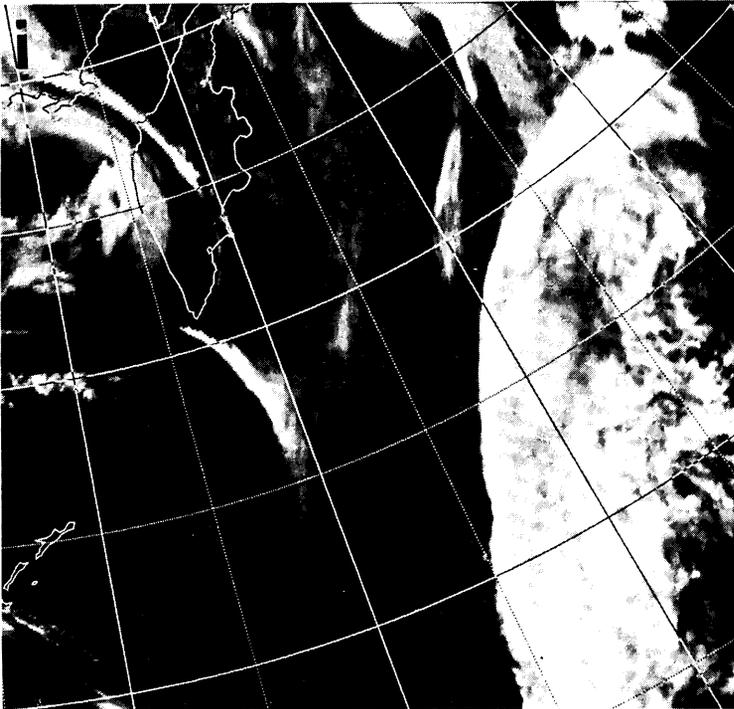
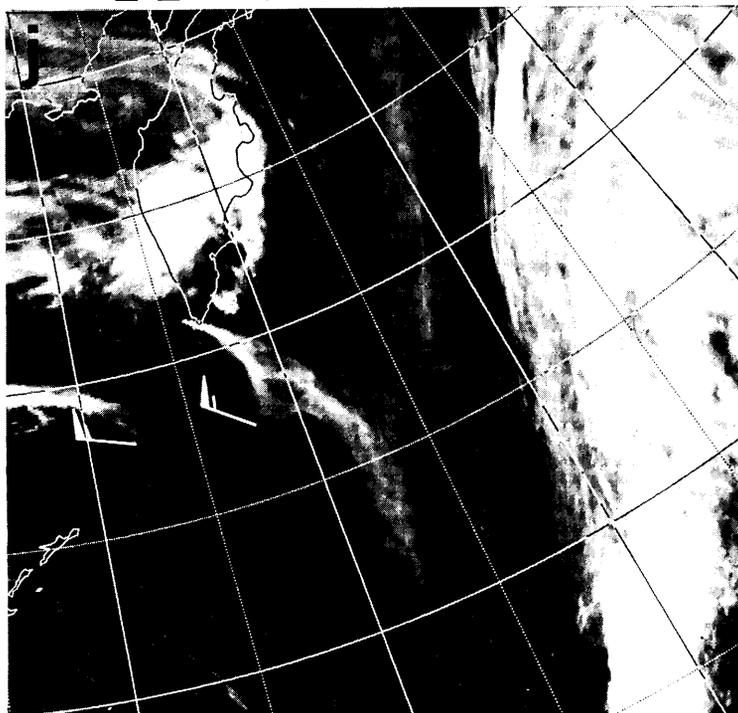


Fig. 2 (Continued)

81 APR 29 12Z



81 APR 29 18Z

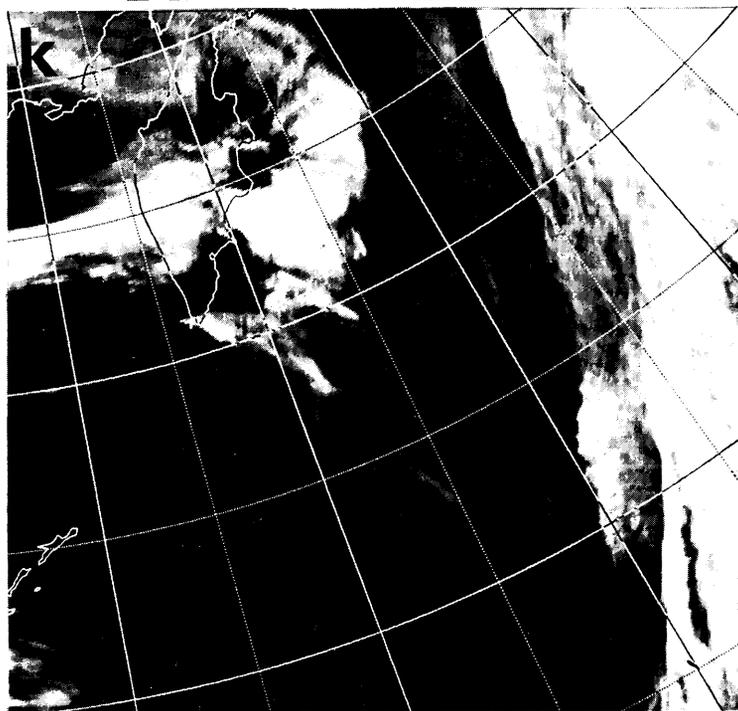
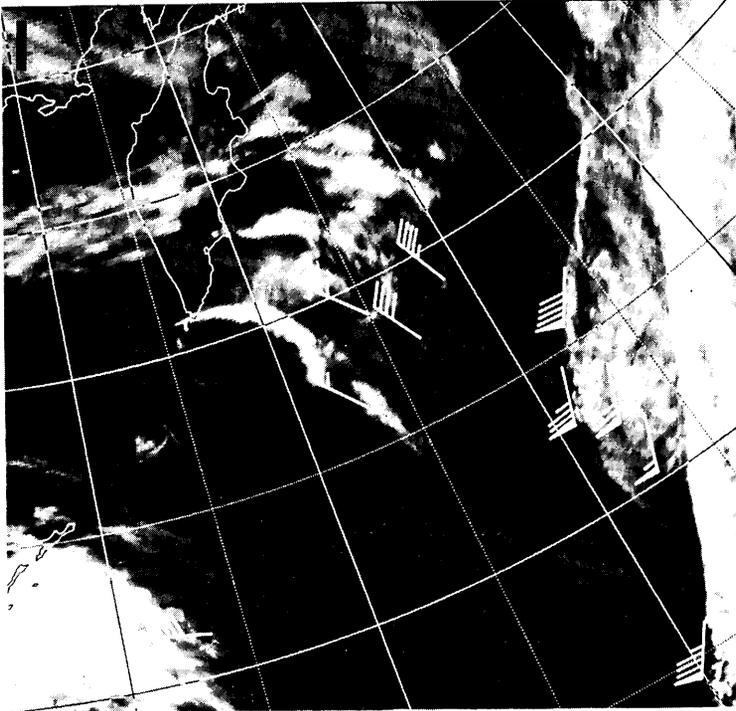


Fig. 2 (Continued)

81 APR 30 00Z



81 APR 30 06Z

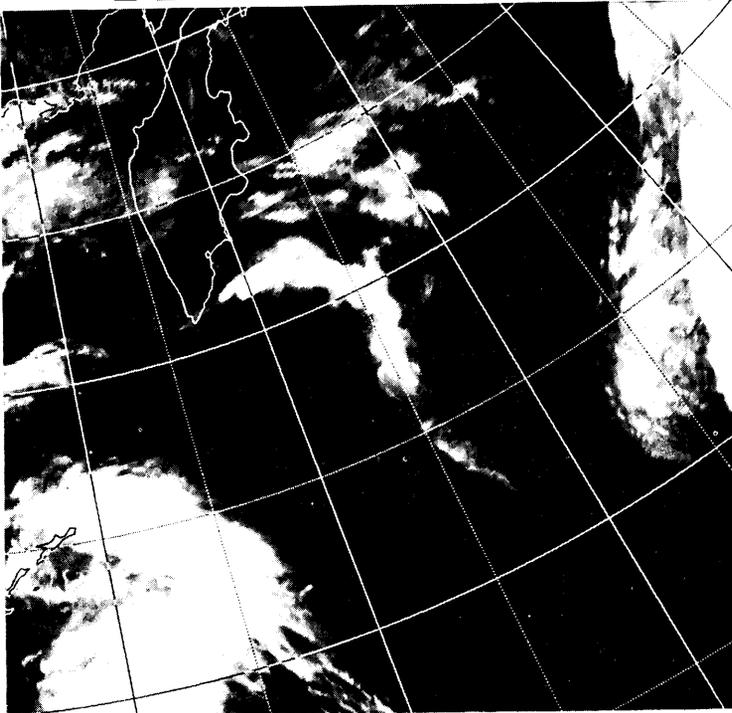


Fig. 2 (Continued)

81 APR 30 12Z

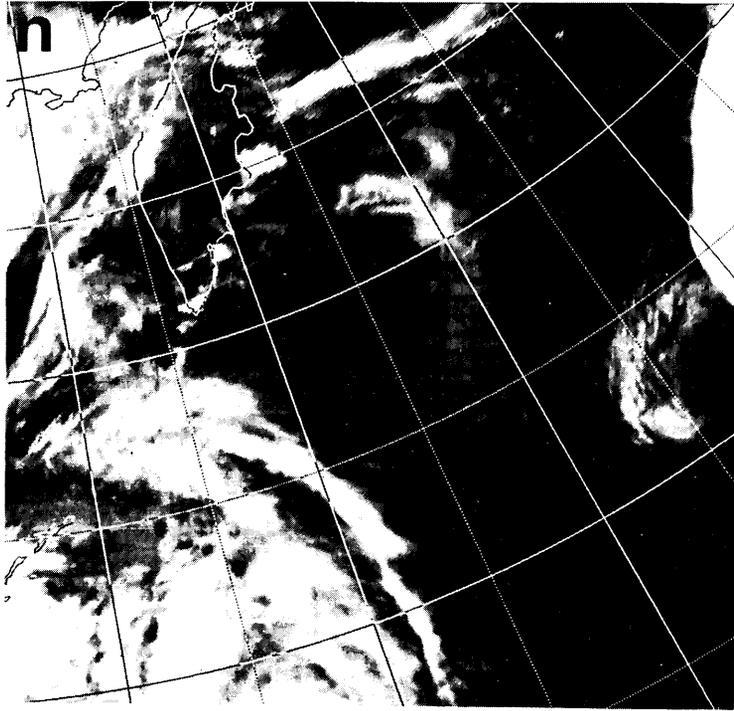


Fig. 2 (Continued)

は Guam, Mariana, Is. である。なおここでは噴煙上面の T_{BB} と等しい気温の高度をもってブルーム上面の高度としてある。赤外画像上で噴煙ブルームと周辺の雲との区別が充分にできない場合には可視画像との位置対応によって、ブルームの広がりや雲パターンを判別した。

3. Alaid 火山噴火ブルームの推移

4月27日16Z, Fig. 2(a) : 15^h39^mZ頃に Alaid 付近が走査されている。このとき初めて Alaid の噴火の噴出物とみられるものがGMS画像に観測された。このときの噴出物のブルームは火山からカムチャッカ半島南部を北東へ約140 km, 最大幅45 km で帯状にのびている。噴煙上端は T_{BB} と状態曲線から300 mb 付近(この時刻の圏界面相当高度)まで達していると推定される。火山の高さとこの噴煙上端との間の対流圏の温度分布からブルーム主軸が500 mb の風(17 m/s)で流されたとし、源の噴煙発生すなわち噴火時刻を逆算して求めると約2.3時間前(300 mb, 20 m/s とすると1.9時間前), すなわち27日13^h21^mZ 前後と推定される(火口から噴煙がこの高度まで達する時間は1分以下と推定されるので無視した)。この時刻はちょうどGMSの前回観測直後(現地走査27日12^h40^mZ)にあたる。

27日21Z, Fig. 2(b) : カムチャッカ半島南部を北東へほぼ横断し、長さ約300 km, 最大幅60 kmまでのびている。

28日00Z, Fig. 2(c, d) : その後ブルームの主軸は引き続き北東へ伸長し、先端がベーリング海西端へ達した。長さ約700 km, 最大幅約140 kmとなった。このとき風下約90 km付近(矢印)からブルームが西へ横方向に約150 km広がり、そこから風下へ弧状に流れているのがみられる(これは後述のように低気圧中心付近の下層の風に流されたものと推定)。以上ブルームが半島上空を流れている間、赤外画像からみると低温、可視画像からみると低反射の領域を示している。それは噴火に伴い噴煙中の水蒸気が高空で凝結して水滴や氷晶になったために赤外画像で白くみえるのであるが、可視画像で灰色にみえるのは、水滴の濃度が一般の雲の濃度よりも低いかブルーム粒子が一般の雲粒より小さく、火山灰が混じっているためと推測される。なおこのブルームは周辺の雲より高い高度にあるためと思われる。

28日03Z : ブルーム主軸は全体的に東へさらに約80 km 広がった。長さは約800 km以上, 最大幅約220 km であり、また西方への広がりが、低気圧の移動に呼応して噴出源から約200 km 風下から生じていることを除い

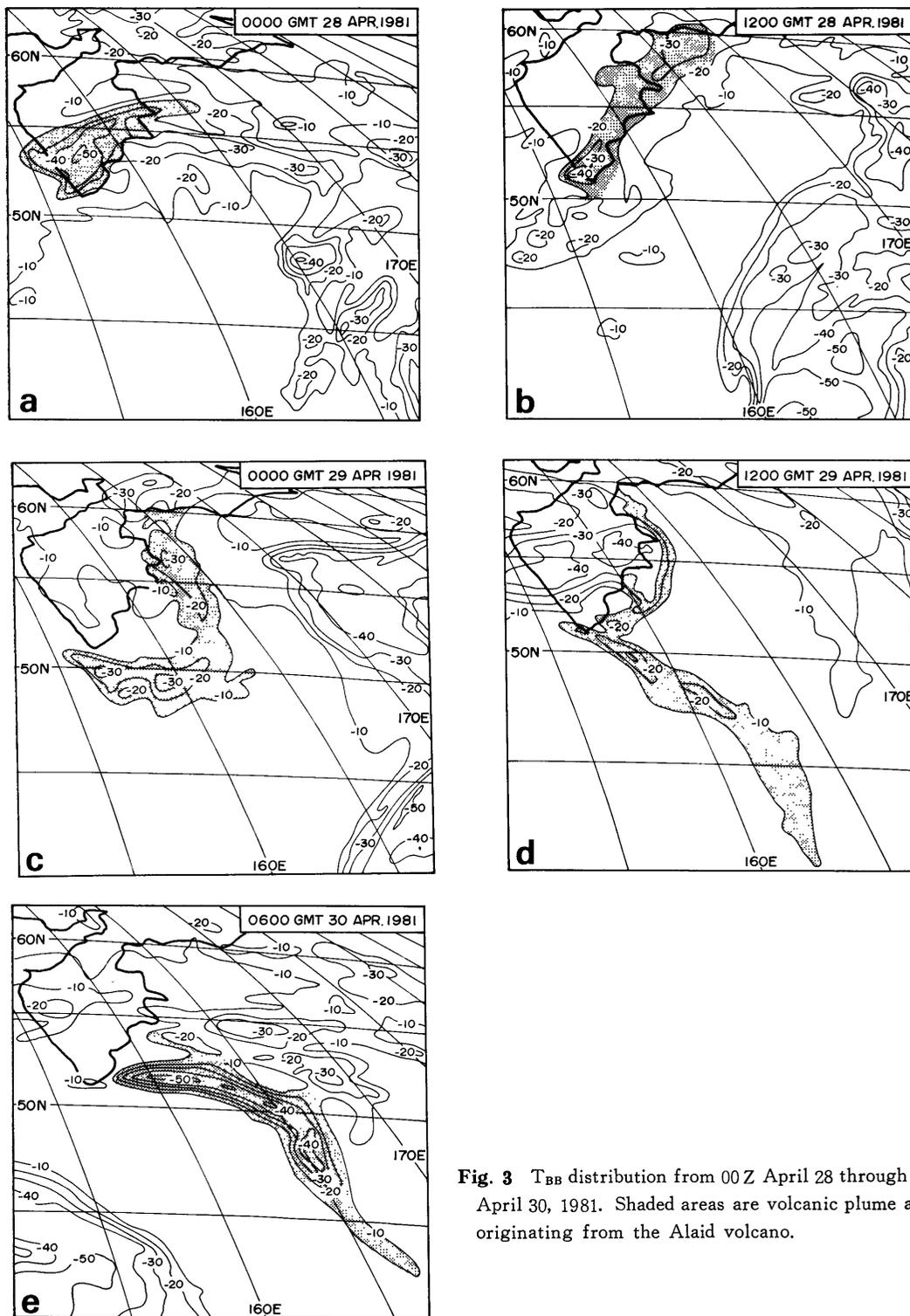


Fig. 3 T_{BB} distribution from 00 Z April 28 through 06 Z April 30, 1981. Shaded areas are volcanic plume areas originating from the Alaid volcano.

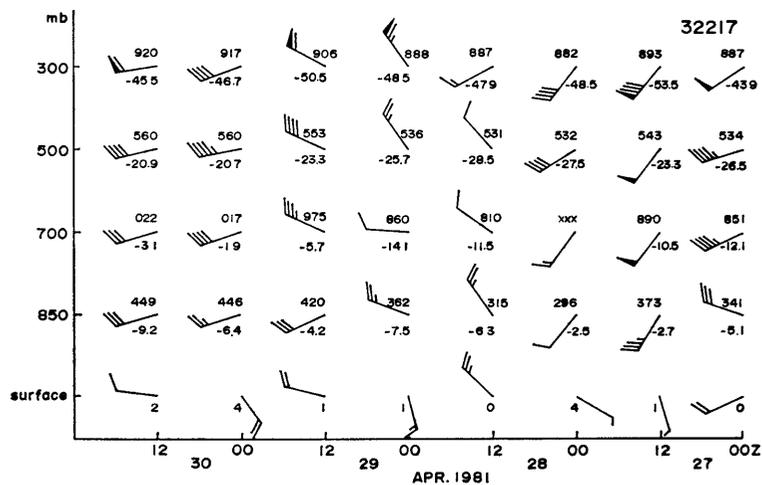
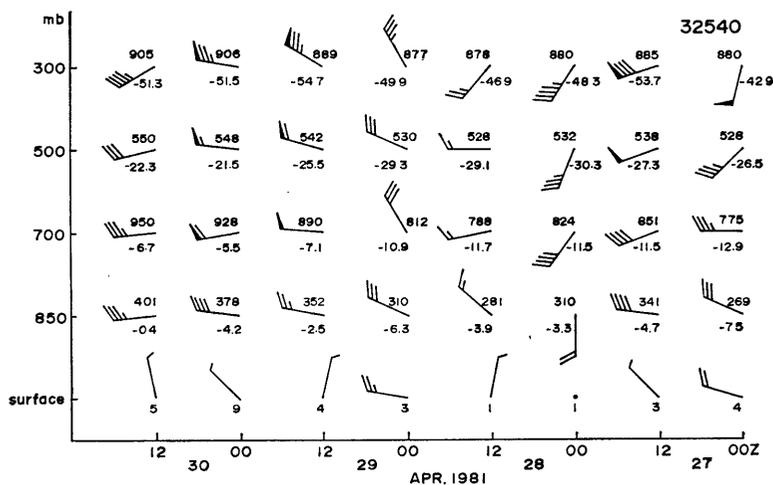
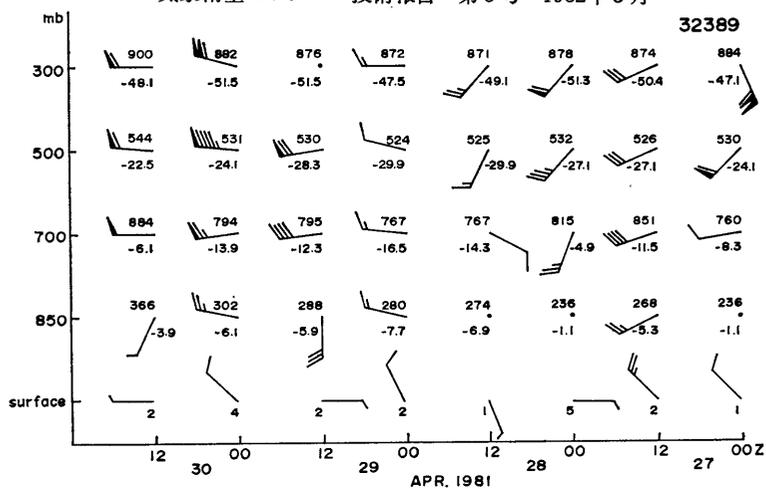


Fig. 4 Time sequence of vertical profiles of winds, geo-potential heights and temperatures at three reporting stations near the Alaid volcano shown in Fig. 1 (A).

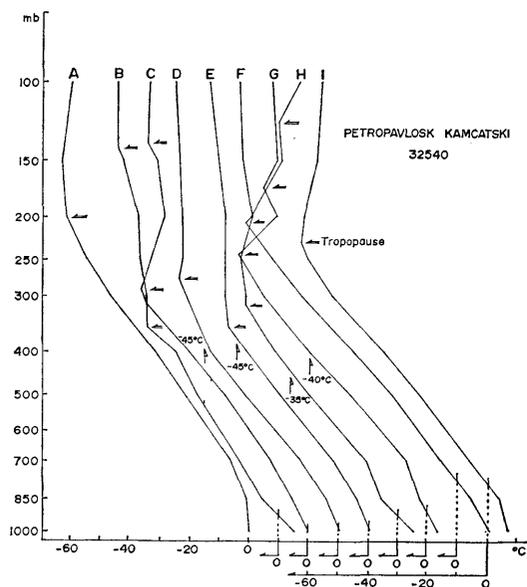


Fig. 5 Vertical temperature profiles at Petropavlosk Kamcatski every 12 hours from 12 Z April 26 (A) through 12 Z April 30, 1981 (I). Double arrows show the tropopause levels and single arrows the volcanic plume top levels with T_{BB} .

前観測とほぼ同じパターンを示した。

28日06 Z, Fig. 2 (e): プルームは引続いて北東へ流れ、約1,000 km以上、最大幅約250 kmとなった。

28日09 Z: 噴火口付近の扇形プルームが広がり、東方へも流れ出した。

28日12 Z, Fig. 2 (f): 扇形プルームはさらに広がり、南東方向へ流れ出し長さ約1,240 km、幅約320 kmである。これは火山付近 (Mysvasilyevo) での 850~500 mb の風が北西風に変ったことと関連している。

28日16 Z: 古いプルームの主軸はカムチャッカ半島東海岸に沿って流れ、新しい噴煙が南東へ流れるプルームとなって約250 km 以上までのびている。

28日18 Z, Fig. 2 (g): プルームはカムチャッカ半島南端をかすめ、これにつながった古いプルーム流は半島南部東岸に沿ってメアンダリングした形で東北へのびている。このカムチャッカ東岸に沿う古いプルームの走向は後述するように 700 mb 等高度線にはほぼ平行している。

28日21 Z: プルームは前観測と同様でさらに全体が東方へ流れた。

29日00 Z, Fig. 2 (h): 古いプルームは北端の一部を除いて半島東沖へ流された。新しいプルームは南南東から南東へ扇形に広がり、長さ約300 km、最大幅約230 km となり、扇形の西側が 400~500 mb、北東側が 850 mb の風と平行している。また噴煙源付近の風向にトランスバ

ーサルモードの波状パターンがみられる。

29日03 Z: 扇形プルームは薄くなり、長さ約700 km、幅約400 kmで南東へのびている。

29日06 Z, Fig. 2 (i): 古いプルームは半島東方約300~400 kmへ移動した。新しいプルームは南東へ約300 km、それから南へ約500 km計800 kmの長さで弧状をなして、古いプルームと先の方でつながっている。

29日12 Z, Fig. 2 (j): 古いプルームは約500~700 km 東方へ流れた。新しいプルームの長さ約1,300 km で主軸がメアンダリングの様相を呈し始めた。

29日18 Z, Fig. 2 (k): 古いプルームは約700~800 km 東方へ流れ、その前面 (東方) の低気圧系の雲と走向が揃っている (700 mb 等高度線に沿う)。新しいプルームはさらにメアンダリングが著しくなった。長さ約1,500 km、このメアンダリングは後述するように700 mb 地衡風によって説明できる。

29日21 Z: 古いプルームがさらに東方へ約900~1,000 km 移動しやや薄くなった。

30日00 Z, Fig. 2 (l): 古いプルームは東方前面の低気圧系の雲と合流し始めた。新しいプルームは、噴火口付近で東北東へ流れる。これは 850~300 mb 高度にわたって西南西の風となったためである。メアンダリングの振幅がやや小さくなった。

30日03 Z: 新しいプルームの先端も古いプルームと合流しながら前面にある低気圧系に接近している。

30日06 Z, Fig. 2 (m): プルームの長さは約1,700 km 以上に達し、大きくメアンダリングして先端が東方前面の低気圧系へ合流し始めた。メアンダリングしているプルームはその主軸のまわりに直径約120 km のうず状のパターンを作っている。源の噴煙は画像からみる限り弱まった。

30日12 Z, Fig. 2 (n): 源からの噴煙は約100 km 伸び、その先は以前のプルームがやや薄くなり、つながっている。メアンダリングしているプルームの湾曲部で濃くなっているのがみられる。

4. Pagan 火山噴火プルームの推移

5月15日00 Z: この画像 (Fig. 6 に矢印で示す) に Pagan の噴火まもなくの噴煙がみられた。Pagan の噴火時刻は 23^h15^m~35^m の間と推定されている (山田, 1981)。噴煙プルームは 03 Z~12 Z の間、北西風でゆっくりと南東へ流れている。山田の解析によると、噴火直後の 00 Z に噴煙プルームは風上側にも 24 km (風下側に 44 km) 広がっている。Fig. 7 によると T_{BB} 上面温度が -75°C であるので、Guam の高層観測からみて約120 mb まで達していると推定される。圏界面高度が約100 mb

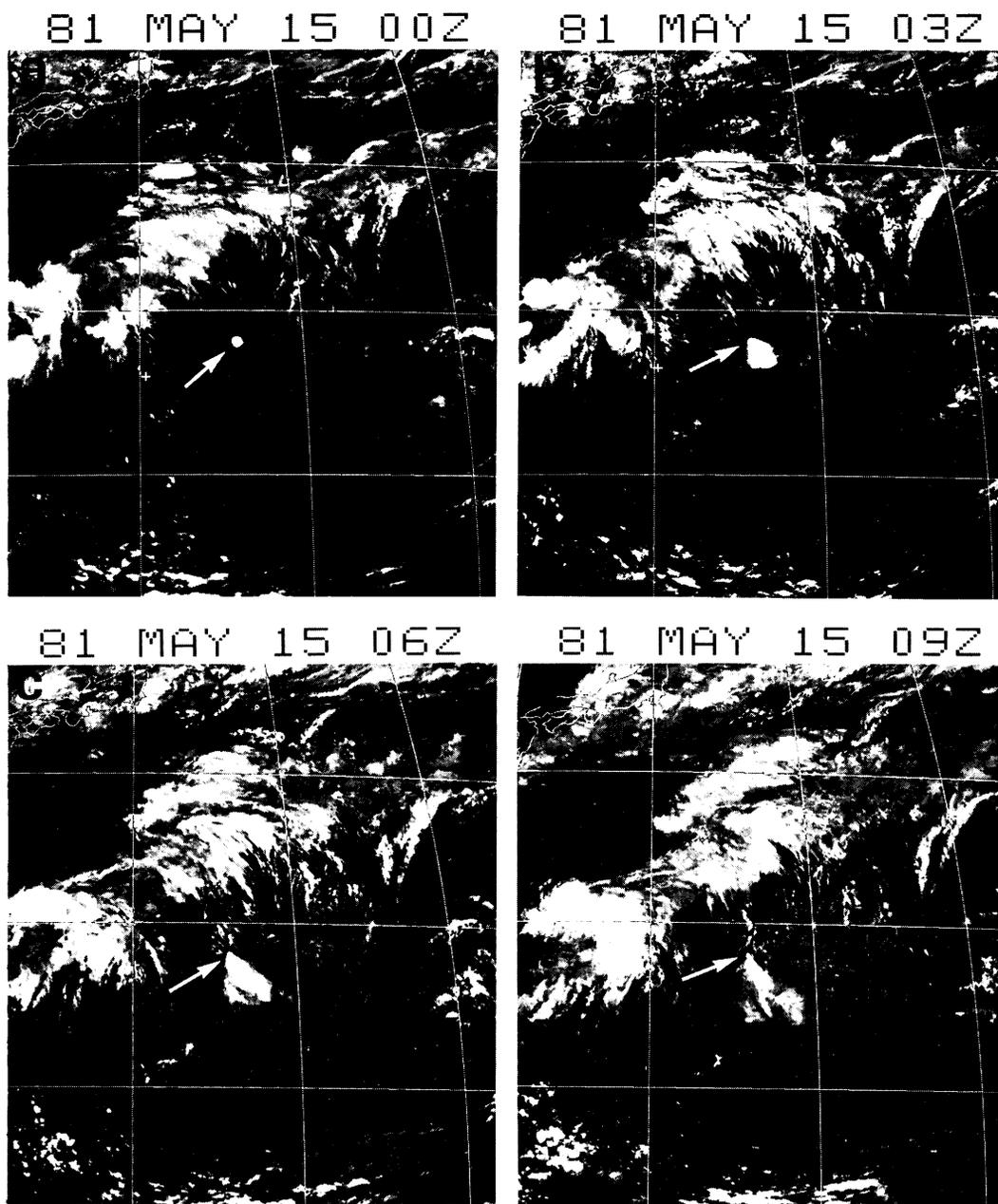


Fig. 6 A sequence of GMS infrared images from 00Z through 09Z, May 15, 1981. Volcanic plume is expanding from the Pagan volcano shown by an arrow.

であるので、噴煙は圏界面近くまで上ったが対流圏内にとどまったと推定される。

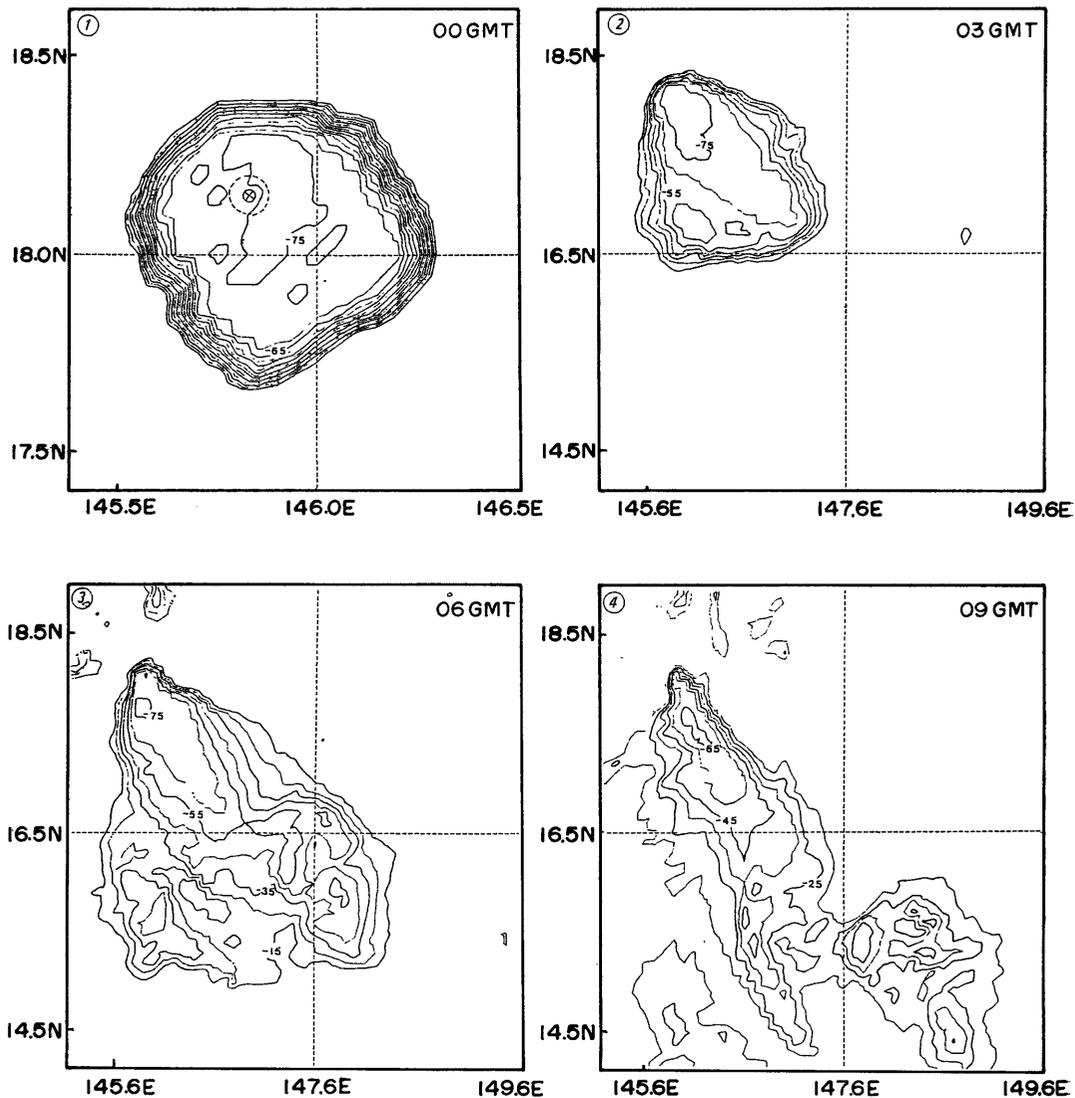
15日03Z：ブルームは南東へ約200 kmのび、最大幅約190 kmとなった。-75°C域が源から南東へ約20 kmある。そこでこの時刻には噴火が続いていると推定される。

15日06Z：ブルームは南東へ約370 kmのび、最大幅約290 kmとなり-75°C域が源から約80 km離れた。この頃から噴火が弱まり始めたと推定される（-75°Cの区

域が小さくなった）。

15日09Z：ブルームは南東へ最大約550 kmのび、最大幅約370 km、源付近の最大の低温域が約10°C昇温し、噴火がさらに弱まったことを示している。ブルームのパターンは一様でない。

15日10Z：ブルームの後端は源から南東へ80 km離れている。すなわちこの時刻にはすでに噴火が止んでいることを示す。9^h~10^hZの間の移動速度は約22 m/sとなり、一方対流圏内の風は全層で弱く、最も強い層は150



0000 GMT - 0900 GMT 15 MAY 1981

Fig. 7 T_{BB} distribution around the Pagan volcano from 00 Z through 09 Z May 15, 1981 (after Yamada, 1981)

～200 mb 付近で 15 m/s である。そこでブルームの後端はこの速度で流されたものと思われる（写真省略）。

15日12Z：ブルームの風下距離は約 650 km に達し、16Z には約 900 km、幅450 kmまで観測できた。しかしこの時刻以後前線の東進により、その先端部の雲に覆われて、噴煙ブルームがみえなくなった。Pagan の噴火ブルームは16時間追跡できたが、その後の火山噴火はまったくみられず、この火山は一回の噴火に止ったものと推定される（写真省略）。

5. ブルーム流についての考察

5.1 Alaid ブルーム

4月26日12Zから30日12Zまでの Alaid 火山に近く

風下の Petropavlosk における気温プロフィールによると圏界面高度は120～380 mbの間を変動しており、Alaid 噴煙ブルームの T_{BB} による推定上端高度（図の一重矢印）は常に圏界面より下にある。すなわち Alaid の噴煙は大部分が対流圏内にとどまったことがわかる（Fig. 5 参照）。

28日00Zに火山の風下約90 kmから西方へブルームが分流したのは Fig. 9a に示すように、このころから小低気圧の中心が Alaid 付近にあって、低気圧中心から250～500 km の下層の南東風でブルームが流されたものと推定される。また同図 b に示すようにこの低気圧は北東へ時速約 20 km で移動したので、03Z（低気圧中心はカムチャッカ半島先端付近にあった）には源から約200km

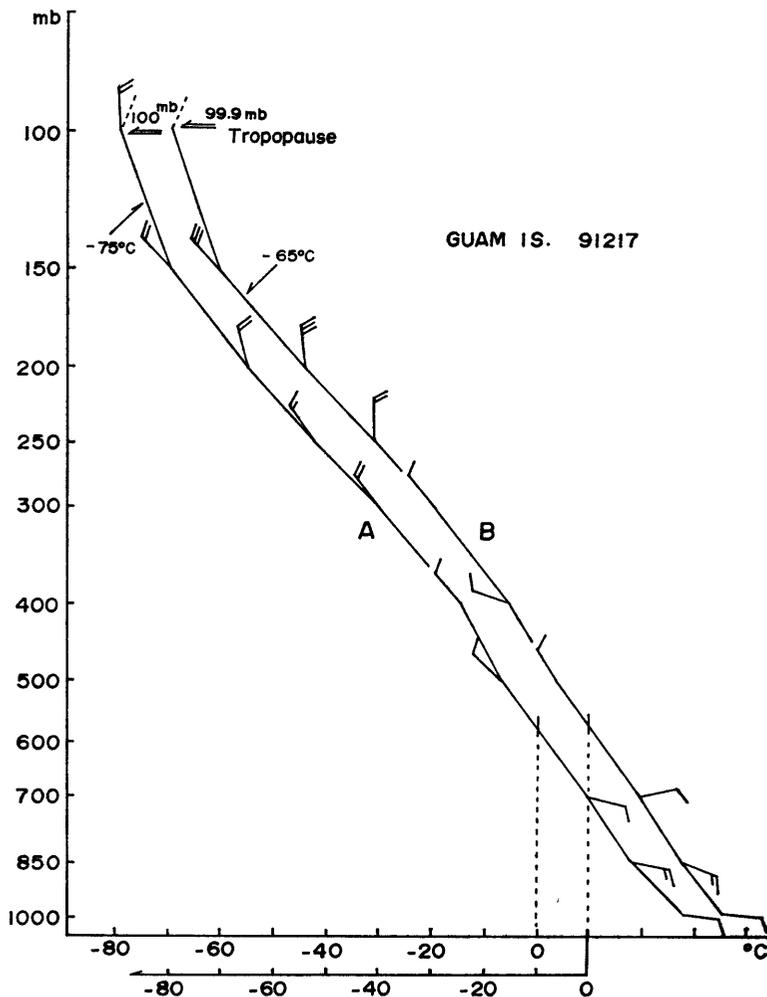


Fig. 8 Vertical temperature profiles observed at Guam Is. at 00Z (A) and 12Z (B), May 15, 1981. The symbols are the same as those in Fig. 5.

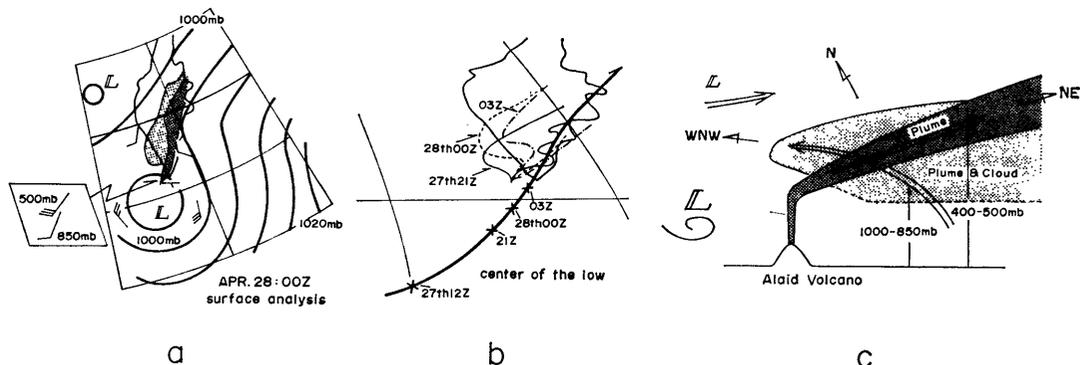


Fig. 9 Volcanic plume area and meteorological situation around the Alaid volcano.

- (a) Surface map at 00 Z, April 28, 1981.
- (b) Trajectory of the center of a low and areas of volcanic plume.
- (c) Schematic interpretation on the formation of the volcanic plume.

のところから西方へブルームが流れるようになった。また同図cにこの時のブルームの流れ模図を示した。このような状態は27日21Zにも観測されていると思われるが、この時刻の観測が赤外画像だけのため雲との区別が明瞭でない。ただしこの赤外画像から低気圧に伴う雲は低いことがわかる。一方28日00, 03, 06Zの可視画像によって、噴煙ブルームはこれらの低い雲を覆っているものであることがわかる。

27日21Z, 28日00Z, 03Zの画像と小低気圧中心位置の移動と対応させることにより、噴煙ブルームの風下西方への流れが時間とともに(低気圧の進行とともに)ブルーム主軸の先の方へ移っていることがわかる。またそれたブルームは主軸ブルームの最高高度より低い高度のものであろう。このことは850 mb以上の高度の風向が南西であること、地上風が南東であることから推測できる。以上のブルームの動態はこのときの小低気圧の風分布を反映している。低気圧の風分布が中心付近よりも離れたところで風速が大きくなっているのは、この小低気圧が孤立していたものでなく、北方に向かった気圧の谷が続いていることによるものであろう。

29日00Zに古いブルームはカムチャッカ半島東岸沖をほぼ平行しており、新しいブルームが扇形に南東へ広がっている。前者はほぼ700 mb地衡風向に並行している。(Fig. 10)。後者の扇形ブルームはその南西側の縁が約400~500 mbの風向、北東側の縁が850 mbの風に平行し、また濃度パターンの風向に直交するいわゆるトランスバーサルモードの波動がみられる。この波動の走向は400~500 mbの風ベクトルと850 mbの風ベクトルの差

ベクトルの方向に向いている。一般に山岳地形風下のいわゆるV字形雲に現われる波動の走向が雲頂と雲底の風ベクトル差と並行する(例えば村山, 1979)と言われているので、この場合も同じような原因が考えられよう。Fig. 11に28日00Zから30日12Zまで6時間おきのブルームの形を示した。時間経過によるブルームの拡散と移流による変形が顕著である。

5.2 Pagan プルーム

Pagan 噴火のブルームは対流圏内全体が比較的弱風であったため風向と垂直な水平面内の拡散が顕著であった。一方風向方向の移流はブルーム先端の移動速度の推定(00^h~03^hZの間で14 m/s, 03^h~06^hZの間で16 m/s, 06^h~09^hZの間で16 m/sとなる)によると、平均約15 m/sとなり、これは150~200 mb高度の風速に相当する。源からの扇形の広がり角が大きく水平拡散が大きなブルームパターンとして観測された原因としては次のことが考えられる。ひとつは400~500 mb高度の風速が弱く(約5 m/s)この高度の噴煙ブルームは風下に遠くまで流されないうちに拡散したこと、もうひとつは火山噴火が爆発的なもので最初の噴出時に噴煙が広がったことである(直径約55 km)と推定される。したがって拡散を論ずるとき面源として扱う必要がある。

5.3 両者の比較

以上のブルームの考察から Alaid と Pagan とではブルームにかなりの違いが認められた。火山噴火の様子そのものが違うことは、衛星観測だけから完全な記述は

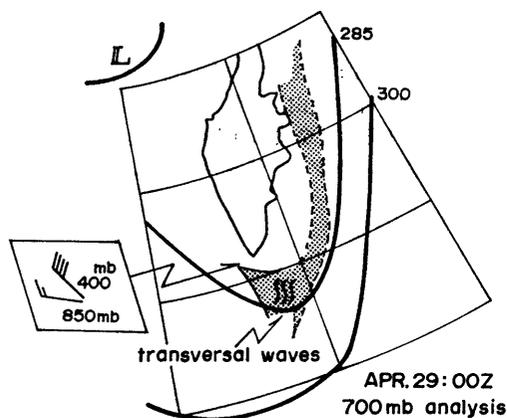


Fig. 10 700 mb map around Alaid volcano at 00 Z April 29, 1981. Shaded area shows the volcanic plume.

できないが、まとめると次のことが推定できる。

i) Alaid 火山は噴火が数日継続し、噴出物が遠方まで運ばれたが、Pagan 火山は一回の爆発であり、噴出物は風向に垂直方向により多く広がり、前者ほど遠方に運ばれなかった。

ii) 両噴火とも噴出物が圏界面付近に達したがその大部分が対流圏内にとどまった。

iii) Alaidのブルームはその噴火の早い時期に下層雲の上を流されたので、可視画像では雲に比して反射率の低い噴出物ブルームの特徴を示してくれた。一方 Pagan

の場合は雲のない海上をブルームが広がり、またより高い高度に達し、そのため Alaid ブルームのような噴出物ブルームの特性が観測されなかった。

6. むすび

GMS 観測により、西太平洋地域の火山の監視に役立つ情報が得られた。今まで NOAA 衛星観測でこの地域の火山噴火が検出された例があるが観測間隔が短くても12時間であるため、噴火時刻の推定や噴煙ブルームの輸送を追跡することができなかった。これに対しGMS 観測はこの目的のためには必ずしも充分ではないが毎3時間での観測ができるので、かなり多くの情報を抽出することが可能である。遠隔地の火山情報は、そのための常時観測がなされていない実状を考慮して、GMS 観測が非常に有効であることが例証できた。また気象衛星写真からみた噴煙ブルームの変化や拡散が総観気象資料の解析からも考察できた。

謝辞

この調査を行うにあたり、Pagan噴煙の温度分布図を提供していただいた気象衛星センター解析課の山田隆之主任技術専門官、助言をいただいた同課荒井 浄技術専門官、編集委員の小花隆司調査官に感謝致します。また実施にあたり、データ処理課の方々にオペレーションでお世話になり、また T_{BB} 作図にあたってはシステム管理課高橋大知技官の開発したプログラムを利用させていただきました。深く感謝致します。

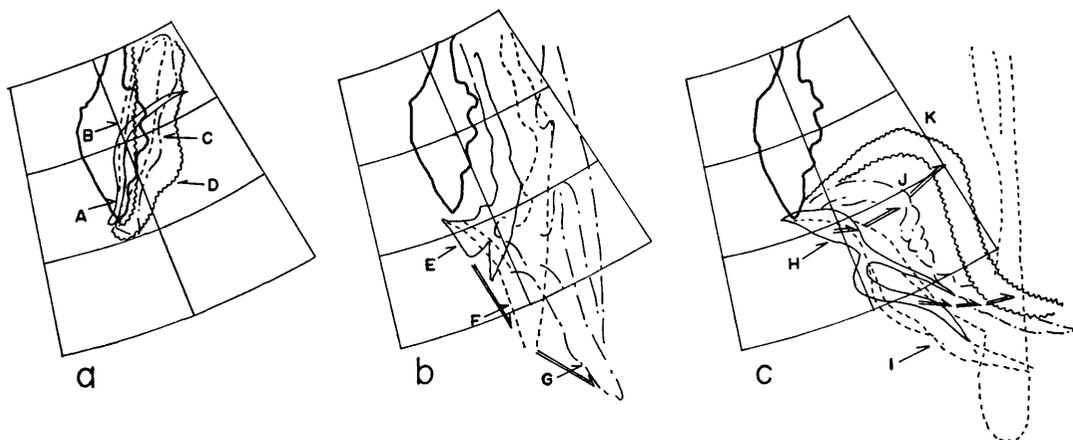


Fig. 11 The areas of volcanic plumes at every 6 hours from 00 Z April 28 (A) through 12 Z April 30, 1981 (K). Double arrows denote geostrophic winds at 500 mb in the map (b) and at 700 mb in the map (c).

References

- Edman, D. A., and R. Selin, 1981; A note on the Mt. Saint Helens volcanic eruption, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1103-1110.
- Kruger, A. F., and V. J. Oliver, 1980: Satellite observation; the soufriere volcano. *Weatherwise*, **33**, 71-74.
- 村山信彦, 1979: 衛星からみた地形効果によって生じた雲について, 日本気象学会関西支部講演要旨集, 25~29.
- 清水重雄, 1981: ひまわりのとらえた火山噴火—アトラソワ島アライド火山, *気象* 1981—7, 6372~6375.
- 山田隆之, 1981: 「ひまわり」のとらえた火山噴火—マリアナ諸島バガン島, *気象* 1981—7, 6376~6377.