

メキシコ・エルチチョン山噴火による火山灰の 静止気象衛星 GMS-2 による観測

GMS-2 Observation of Volcanic Ashes from Mexican Volcano El Chichon

舟 田 久 之*・荒 井 浄*

Hisayuki Funada* and Kiyoshi Arai*

Abstract

On the visible picture of 0600 JST April 6, 1982 somethings were found over the Hawaiian Islands. They obscured the cloud and the sea hazily. We inferred them the volcanic ashes from Mt. El Chichon, and studied how they were transferred using the visible pictures taken during daylight hours. The volcanic ashes over the Hawaiian Islands April 6 drifted to the west, then reached over the sea south of Japan (140°E) April 13. Besides this, another ashes were recognized over India and Bay of Bengal on the picture of 1800 JST April 13. These ashes were progressing opposite direction, that is, to the east, which would suggest that they were on a level different from that. On April 16 the ashes moving eastward extended to the Philippine Islands, and overlapped with the ashes which had been carried from the east, the Hawaiian Islands. These ashes floating on the different levels were as if they were flowing within a tube imbeded in the region between 10°N and 25°N whose width was 5°-10° in latitude. From April 23 to April 26 they persisted over the tropical regions of Pacific Ocean although they were partially invisible. Finally at the middle of June, it has been difficult to detect the volcanic ashes by visual inspection of pictures.

The changes of albedo associated with the phenomena mentioned above was also investigated. The albedo we have defined here are the raw data measured from the direction that GMS views the earth at noon. When no volcanic ashes were observed, the albedo of tropical Pacific sea surface ranged between 5 and 7 percent in various weather conditions. The albedo of the same area when the ashes covered that area was about 8 to 13 percent. From the comparison of these two cases found, with ashes and without ashes, the increase in the earth albedo by the volcanic ashes was estimated approximately 3 to 5 percent.

1. はしがき

メキシコのエルチチョン山 (El Chichon) が1982年3月末に噴火し、その噴火の規模の大きいことなどが報

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

道された。この火山灰が GMS-2 の画像の中に発見されたのは4月6日06時 (JST)、ハワイおよびその西方の海上で、火山灰は次第に西進して東西のベルト状となり、その西端は4月13日に日本の南海上に達した。

丁度このころ、別の火山灰がベンガル湾北部と印度東部に現われ、この火山灰は東進して4月16日にフィリッ

ピン付近で西進している火山灰と重なった。

これらの火山灰の移動と高層観測資料を解析した結果、火山灰は成層圏の2層の高層風によって流れていることが解った。

また、火山灰の日射に対する反射能(アルベド)を調査した結果を報告する。

2. エルチチョン山の火山灰の観測

2-1. エルチチョン山の噴火と火山灰の状況

エルチチョン山の噴火が気候変動に及ぼす影響について、気象庁気候変動室を中心に打ち合せ会が2回(1982年5月21日と8月2日)開かれた。この席上において気象庁観測部火山室からエルチチョン山の噴火状況について、おおむね次のような説明があった。

エルチチョン山(17°20'N, 93°12'W, 標高 1350 m)の第1回目の大爆発*は3月28日23時32分(GMT)に始まり、約6時間続いて山頂を破壊し直径約1 kmの火口を生成し、マグマや水蒸気を噴き上げ、噴煙の高さが15 kmに達した。その時の軌道衛星NOAAの観測によると雲頂温度が-75°Cで高度が16.8 kmであった。噴き上げた噴煙は2層となり、濃い噴煙が東北東へ薄い噴煙は西へ流れた。

その後は小噴火や中規模の噴火があったが4月3日03時12分(GMT)に第2回目の大噴火があり、火山雲は北東と南西へ流れた。そしてガラスでは気圧波を観測した。

第3回目の大噴火は4月4日05時22分(GMT)に起った。この噴火は最も激烈で、NOAAの観測によれば噴煙の高度は16.8 kmとのことであった。その後、弱い噴火が5月11日まで続いた。

また気象研究所気象衛星研究部からライダーによる成層圏エロゾルをモニターした結果について次のように報告があった。1982年4月25日18時47分(JST)高度17 kmに厚さが2.5 kmの異常なエコーを観測、次に5月4日17時25分~18時35分(JST)に高度16.3 km~19 kmと21 km~24 kmの2層にエコーを観測した。その後、7月15日まで間欠的に高さ17 km付近と24 km付近にエコーを観測した。

2-2. GMS-2の画像による火山灰の観測

1982年3月27日から7月末までのGMS-2の全球画像について調べると、VIS(可視)画像には海面の黒さの

* 火山業務では爆発とは火山活動の中で爆発的な噴火を言い、噴火の状態を示している。

濃度が周囲より少し薄くなって灰色の煙らしき物が見えたり、雲が少しボケるなど、何かが薄く覆っていると見られるものがあった。これを火山灰によるものとした。

このような観測方法によってエルチチョン山噴火による火山灰が最初にGMS-2のVIS画像に観測されたのは、4月6日06時(JST)であった。この日はFig. 2-1に示すようにハワイ(20°N 156°W)および、その西方約1000 kmの20°N 170°Wから東方に南北幅が緯度にして2°~3°の帯状として見る事ができた。

翌日の7日06時(JST)には19°N 176°Wから東方に南北の幅が3°~5°に見え西進した。(Fig. 2-1の点線参照)8日06時(JST)にはFig. 2-1の▲印に示すように火山灰は西進したが、ベルトの一部が分離して22°N 179°Eを中心として東西の長軸を持つ楕円と、21°N 171°Wから南東に延びるベルトに分かれた。

翌9日06時(JST)はPhoto. 2-1およびFig. 2-1の○印に示すように21°N 165°Eから22°N 180°Eのベルト状と、19°N 176°Wから以東のベルト状として見られる。10日06時または09時(JST)にはFig. 2-1の実線に示すように約10° long./dayで西進したが、11日06時または09時(JST)には先に西進していた楕円状の火山灰は見えなくなった。

しかし、東方にあった火山灰のベルトは毎日西進し、15日15時(JST)にはフィリピンの東部に近づいた。このようにしてFig. 2-1から火山灰は1日に経度にして5°~16°、ほぼ10° long./day(17°Nにおいて12.3 m/sec)で西進している。なお、この速度から推定して4月5日にハワイ付近に火山灰が見えるはずであるが、GMS-2ではハワイから東方は画像のボケがあるので確認は困難であった。

一方、4月13日18時(JST)にPhoto. 2-2のベンガル湾北部と印度東部に白い煙のようなものが見え始め、これも火山灰と判断した。これはFig. 2-1に示すように12°~13° long./day(17°Nでは15.3 m/sec)で東進して15日18時(JST)にはフィリピン西部に達している。そして16日には東進している火山灰とハワイ地方から西進してきた火山灰と重なって区別がつかなくなり、10°N~25°Nに幅が5°~15° lat.の火山灰のベルトができ上った。この状況をPhoto. 2-3(4月18日12時JST)に示す。

ベルト状の火山灰は23日に一部分が見えにくい所があったが、26日まで続いた。しかし、27日12時(JST)からベルト状の火山灰が全体に薄くなり、4月30日にはベルト状が切れ始め、Fig. 2-2に示すように日本の南海上では5月2日まで約10° long./day(17°Nで12.3 m/

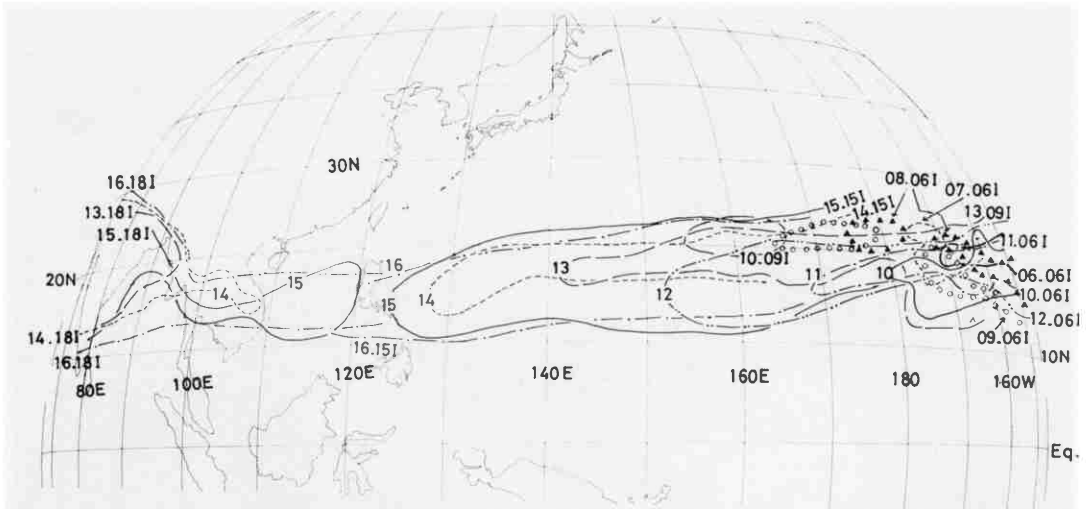


Fig. 2-1 A progressin of volcanic ashes whose daily position was determined by inspection of VIS pictures.

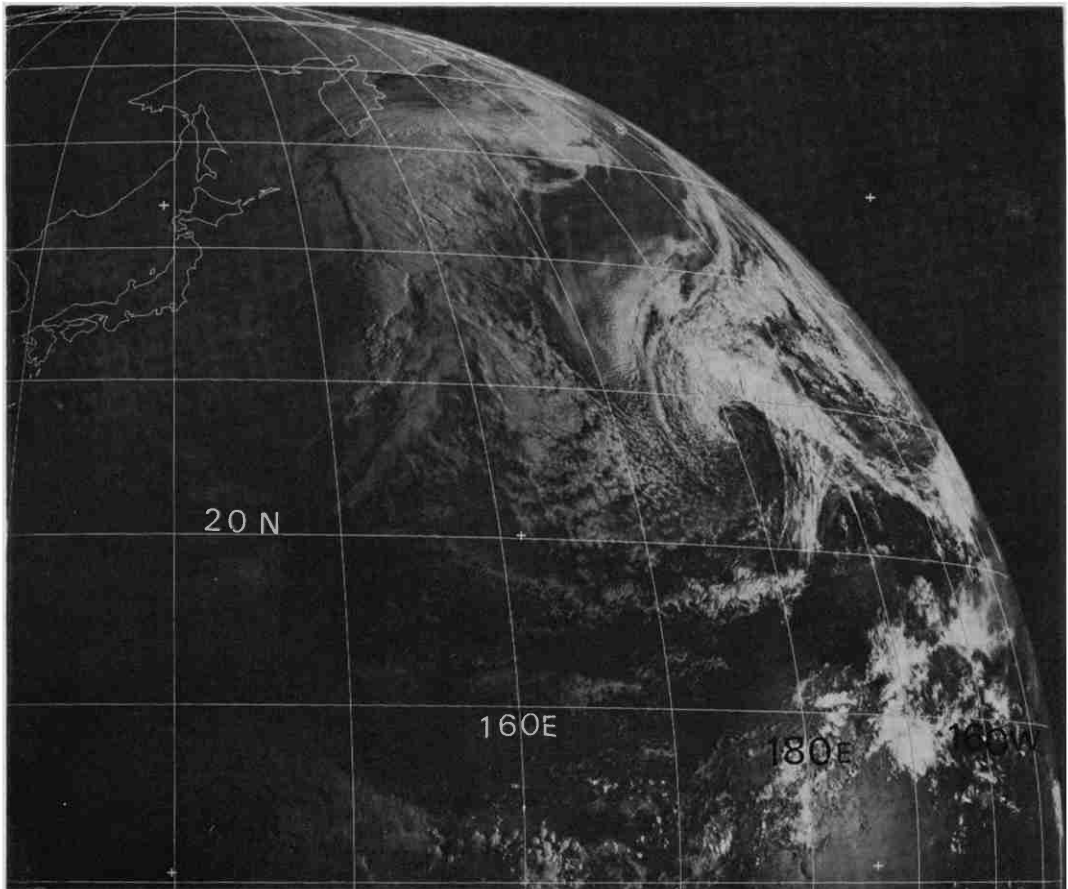


Photo. 2-1 The picture of 0600 JST April 09, 1982 (VIS). Volcanic ashes are detected over the area enclosed with the latitudes 20°N and 23°N, and with the longitudes 165°E and 180°E. Another ashes are also observed between 16°N and 20°N, beyond the longitude 176°W to the east.

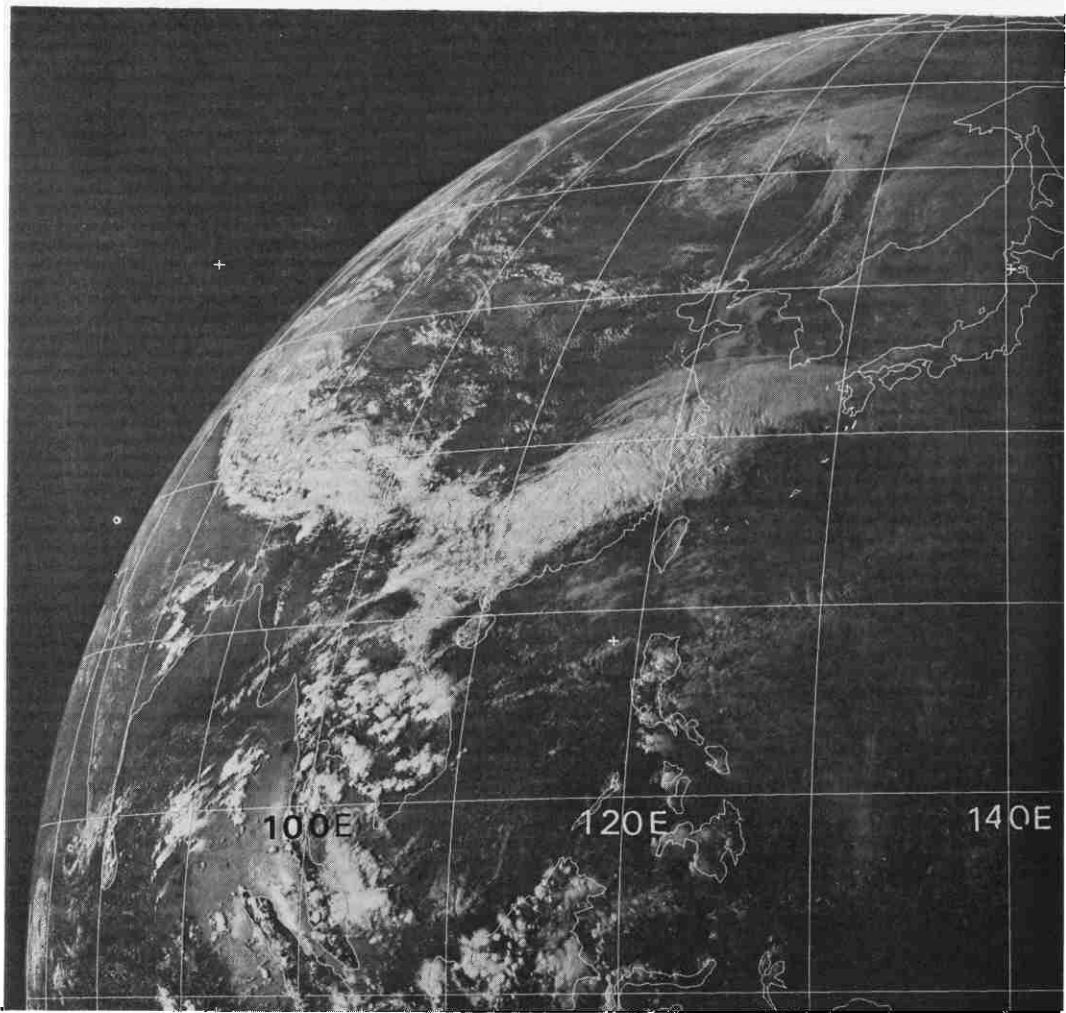


Photo 2-2 The picture of 1800 JST April 13, 1982 (VIS). Volcanic ashes are recognized over the Bay of Bengal and the eastern part of India.

sec) で東進した。その後は速度が遅くなり、6月中旬に見えなくなった。

2-3. 火山灰の移動と高層風

前節で述べたように火山灰は GMS-2 の画像では西進するものと東進するものがあった。NOAA の観測では噴煙の高さが約 17 km であった。また気象研究所のライダーによるエアロゾルの観測では約 17 km と 24 km に認められている。これらの高さを Fig. 2-3 の南鳥島の高層風のシーケンスによって調べると、100 mb (高さ約 16.5 km) では10~60ノット平均すると、ほぼ30ノットの西よりの風が吹いている。また 30 mb (約 24 km の高度) では10~25ノットで平均すると、ほぼ15ノット

の東よりの風が吹いている。

したがって GMS-2 の画像上で最初にハワイ付近で見え西進した火山灰は、ほぼ 30 mb の層の東風によって流され、次にベンガル湾から東進した火山灰は、ほぼ 100 mb の層の西風に流れたものと考えられる。

Fig. 2-4(a) と (b) はエルチチョン山が爆発後、間もない3月29日00時 (GMT) と、火山灰が赤道近くでベルト状になっている4月20日00時 (GMT) の 30 mb の北半球成層圏天気図 (ベルリン天気図より) である。パターンは冬から夏型へ移行する状態であるが、両図とも高気圧が高緯度においてエルチチョン山 (17°N) 付近の緯度帯は東風が吹くパターンになっている。

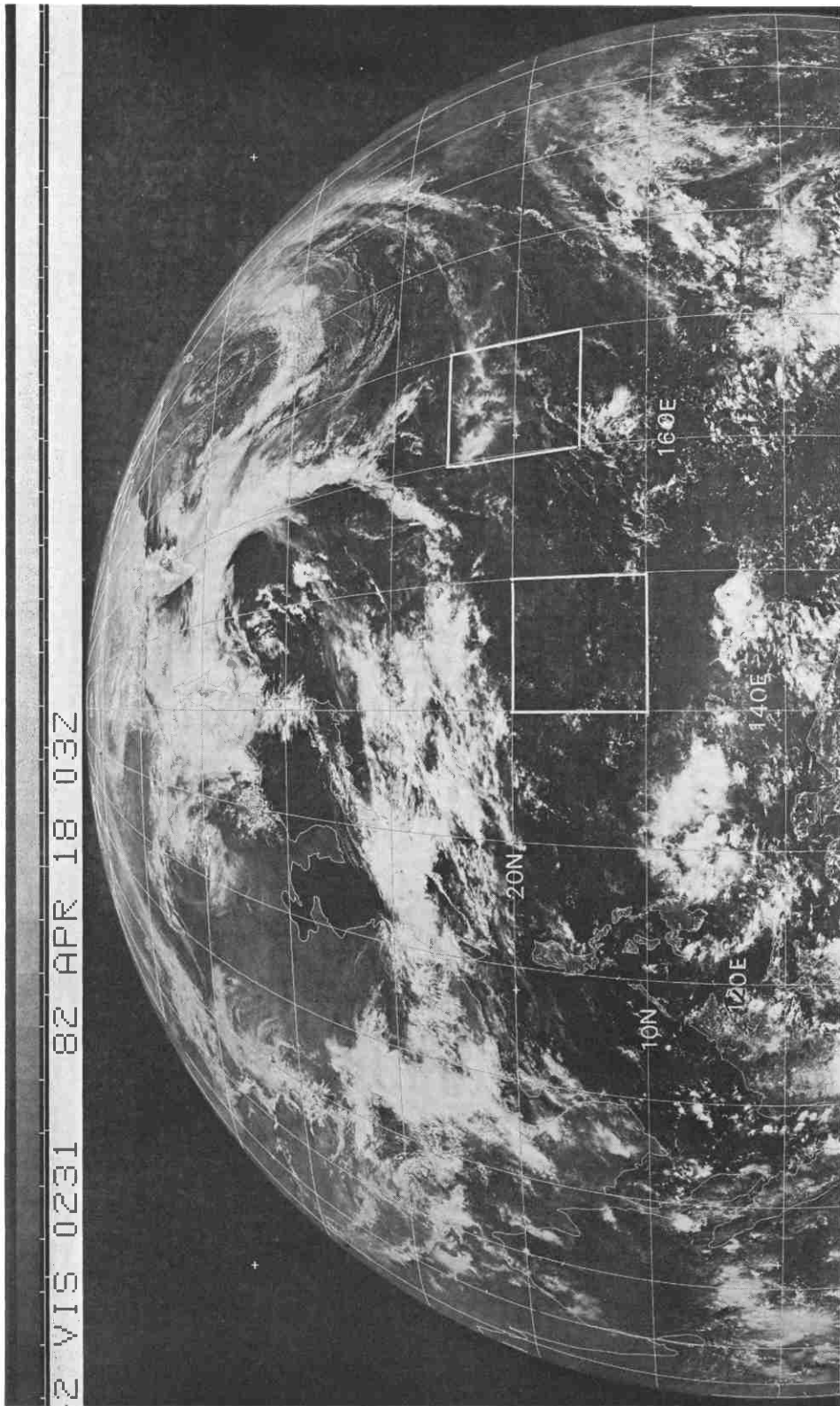


Photo. 2-3 Drifting ashes detected by the GMS (VIS picture, 1200 JST, April 18, 1982). A very thin belt-like obscured area running through the middle of the picture will be recognized. Squares are the areas from which histograms are made up.

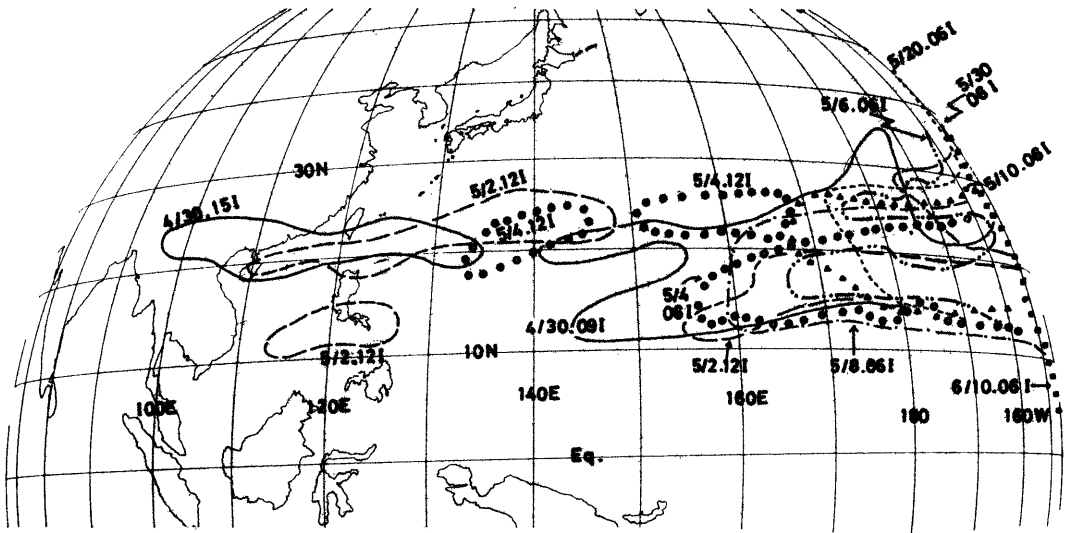


Fig. 2-2 A regression of volcanic ashes whose position was also determined by the same way as Fig. 2-1.

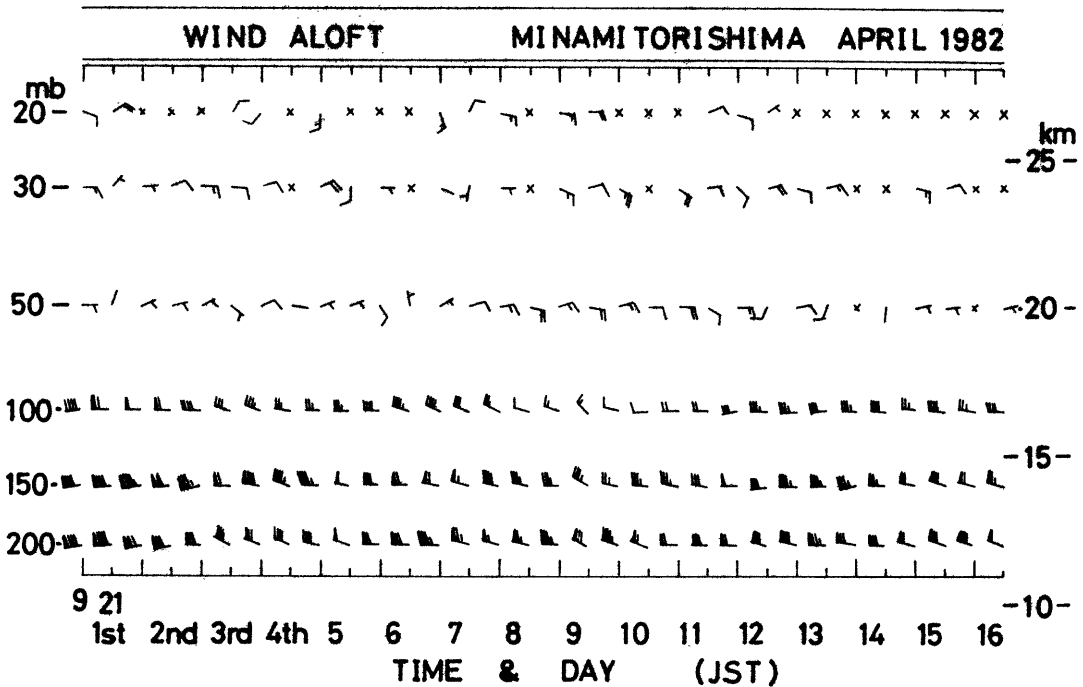


Fig. 2-3 Wind aloft at Minami-torishima.

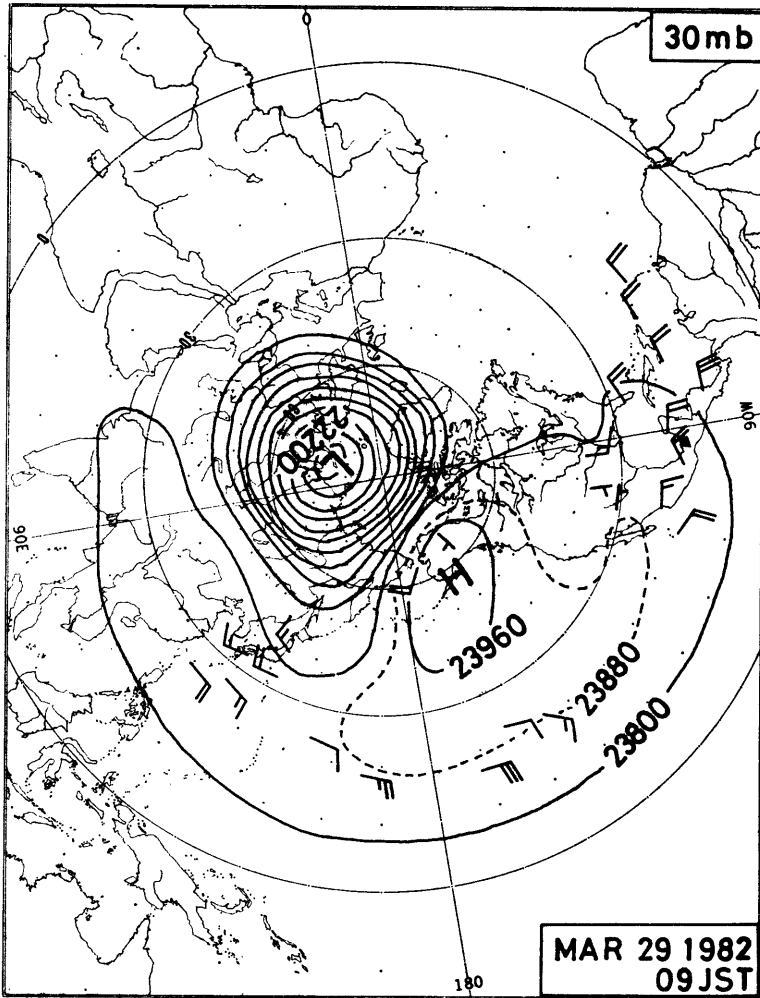


Fig. 2-4(a) 30 mb chart, stratosphere, 0900JST March 29, 1982. Mark "▲" indicates the location of El Chiehon.

エルチジョン山(93°W)の噴火が3月29日00時(GMT)に30 mbの高さに達し、その東風に流され4月15日06時(GMT)にフィリピンの東部(124°E)に西進したとすると、17°Nにおける平均速度は880 km/day(10.2 m/sec)となる。Fig. 2-4(a), (b)とも17°N付近では10~40ノットの東風が吹いており、おおよそ12 m/secと見られ火山灰の移動速度に近い。

Fig. 2-5(a), (b)は3月29日と4月15日12時(GMT)の100 mbの北半球高層天気図(電計資料より)である。両図とも低気圧が北極付近にあり、西風が吹くパターンになっている。3月29日00時(GMT)にエルチジョン山から東進して大西洋を渡り4月15日09時(GMT)に

フィリピンの西部(120°E)に達する平均速度は、17°Nにおいて1,300 km/day(ほぼ15 m/sec)である。Fig. 2-3より南鳥島の100 mbでは、およそ30ノットの西風が吹いており、またFig. 2-6の太平洋の熱帯地方の主な3地点の100 mb高層風についても10~50ノットの西よりの風で、平均するとほぼ15 m/secの西風が吹いており火山灰の移動速度と一致する。

火山灰がGMS-2の画像から消去する状況はFig. 2-2に示した。この図には西進する火山灰が表現されていない。これについて次のように考える。エルチジョン山の最後の噴火は4月4日05時(GMT)で、この後には噴煙が30 mbまで達するような噴火がなかったとする

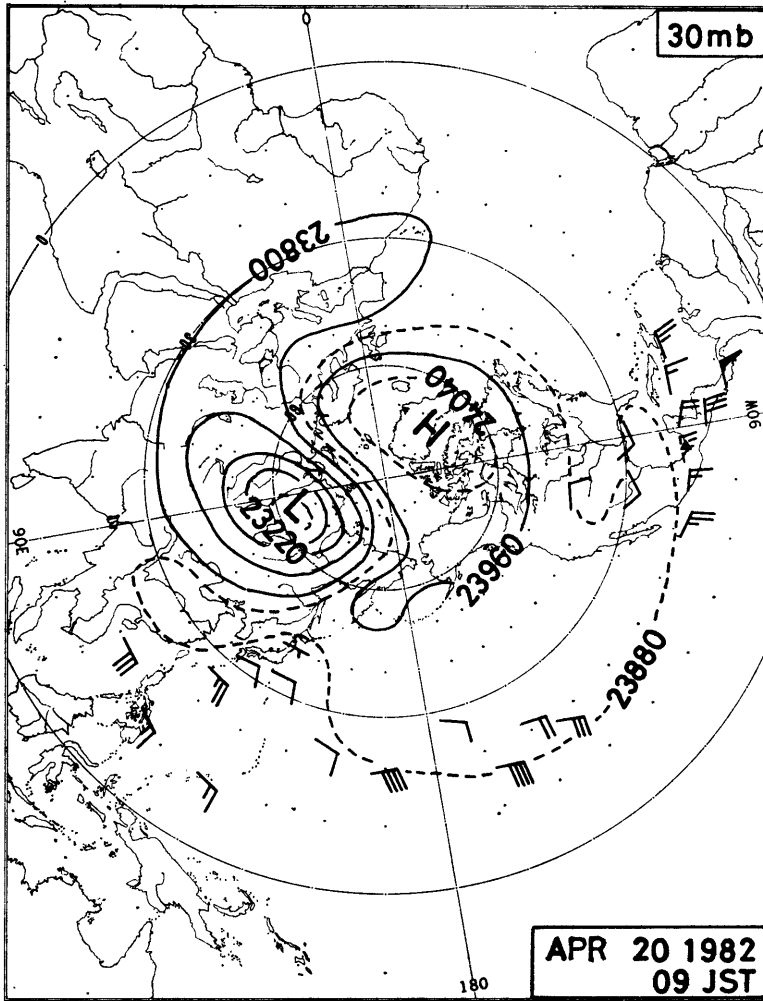


Fig. 2-4(b) 30 mb chart, stratosphere, 0900JST April 20, 1982.

と、エルチチョン山から太平洋を西進してベンガル湾(90°E)に達するまでには、先の西進速度(880 km/day)では21.35日を要するので、4月25日には4日の噴煙がベンガル湾に達し、それ以降はGMS-2の視野範囲から西方へ去ることになる。したがって4月の末には西進する火山灰が見られなかったのであろう。

Fig. 2-2 において4月末に見えていた火山灰の東進速度は5月2日以降に遅くなった。これは南太平洋の100 mbの西風が弱くなったからである。例えばマニラでは4月中旬に20ノット位の西風(Fig. 2-6 参照)であったものが、4月28日ころから5ノット位の弱風となり、5月5日ころから東風に変ったことや、ウェーク島では4月中旬は30ノット位の西風(Fig. 2-6 参照)で

あったが、4月24日ころから20ノット位に弱まり5月9日ころから2~15ノットと弱くなっていることなどからである。

3. 海面のアルベトの変化

この章では火山灰が拡散してきたことによる海面のアルベドの変化を数量的に調べたことを述べる。

GMS に搭載されている放射計は、0%~100%の可視データを64階調で送信している。したがってアルベドは $100/64 \div 1.5\%$ の精度で観測されていると言えよう。また各ピクセルの値には誤差が含まれている。誤差はガウス分布にしたがうことが多いので、この誤差を除くため

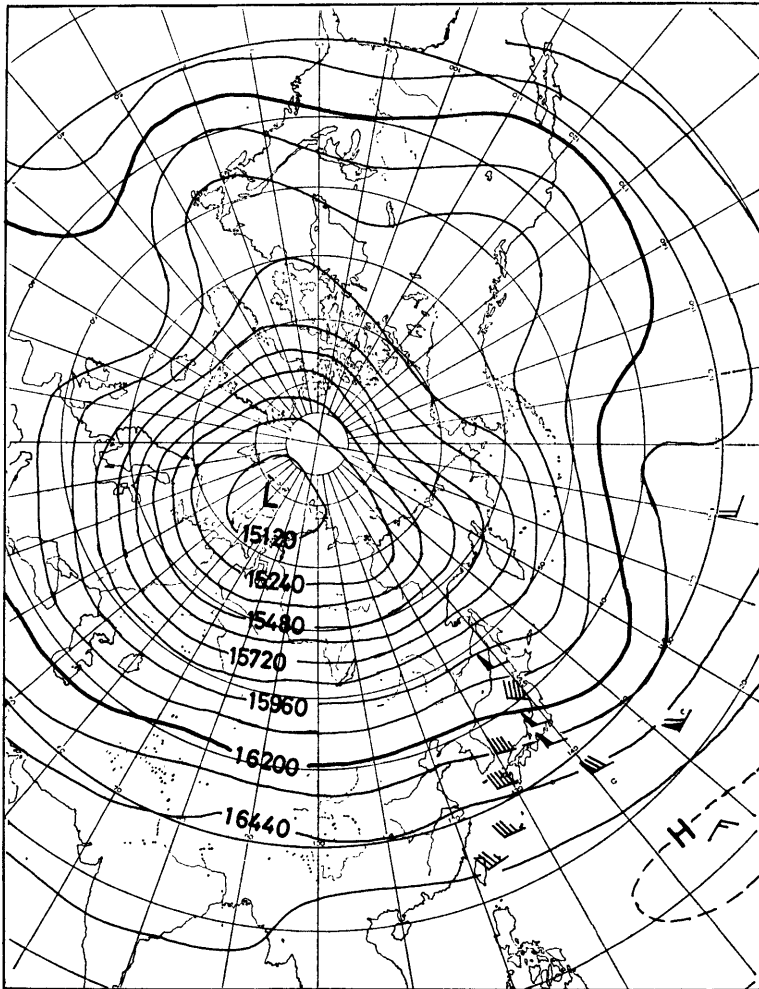


Fig. 2-5(a) 100 mb chart, Northern Hemisphere, 2100JST March 29, 1982.

本報告では10度緯経度の四辺形に含まれるピクセルの平均値やモードで考えた。(ヒストグラムによる分析は、雲のアルベドと海面のアルベドを分離するためにとられる通常の手段でもある。)

最初に火山灰が飛来していないときのある海域のアルベドの時間的変動幅を調べて、飛来したときのアルベドが、この変動幅を上回ったとき、これを火山灰の影響によると考えることにした。

Fig. 3-1 は火山灰が飛来していない4月6日03時(GMT) 160°Eと170°Eおよび15°Nと25°Nの緯経度に囲まれた四辺形(Photo. 2-3参照)の可視データから作成されたヒストグラムである。(雲による高いアルベドの部分は表示を略した。四辺形に含まれるピク

セル数は一定なのでその中に占める雲量によって海面のモードに含まれるサンプル数が変わる。よってヒストグラムの形にあまり意味はなく、モードの存在に意義がある。) Fig. 3-1 から、この日の、この海域のアルベドは5%前後と推定される。

海面のアルベドは波浪など海面の状態によって変わるので、この海域のアルベドの変動幅を調べるために Fig. 3-2 を作成した。これは Fig. 3-1 の手法によって推定した海面のアルベドを時系列的に並べたものである。この図から、この海域の4月ごろのアルベドは5%~7%と言える。

画像の視察で火山灰が薄いときのヒストグラムの形状はモードが1個(基本的には海面のアルベドのヒストグ

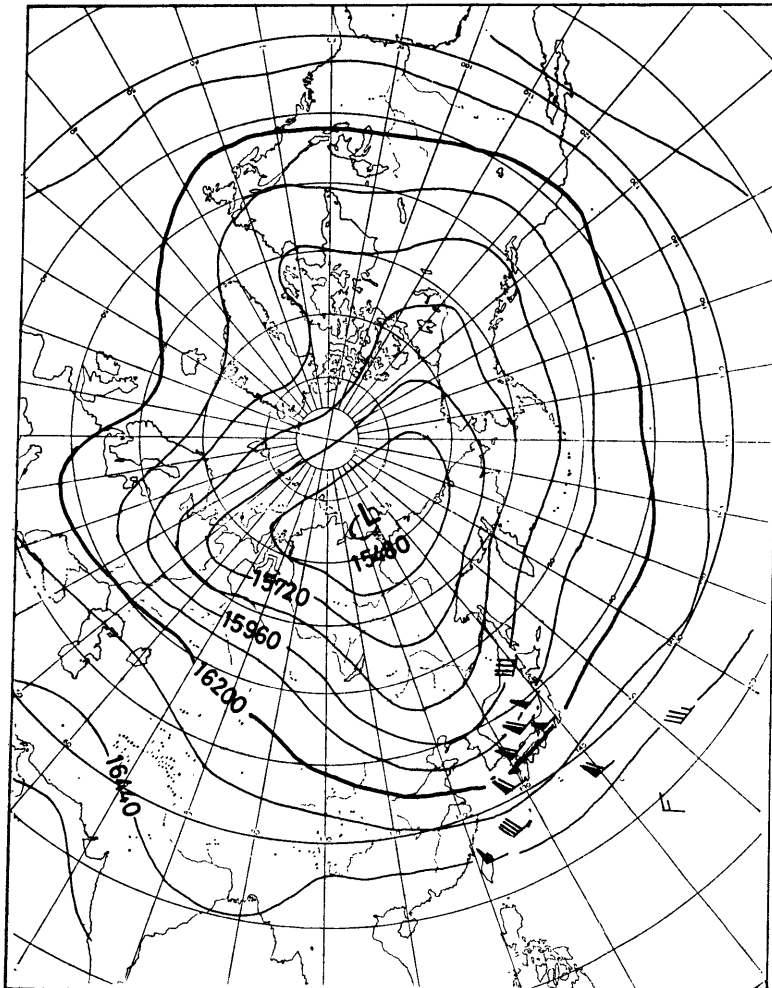


Fig. 2-5 (b) 100 mb chart, Northern Hemisphere, 2100JST April 15, 1982.

ラム) だが、火山灰が濃いときのヒストグラムは Fig. 3-3 (領域に雲が多い場合) や Fig. 3-4 に示されるようにヒストグラムは2つのモードを持つ形状になる。第2モードを Fig. 3-2 の点線で図示した。これは火山灰によるものと推定される。

次に火山灰のアルベドを空間的に見よう。Photo. 2-3 の 140°E と 150°E および 10°N と 20°N に囲まれた領域の計算機出力 (文字とアルベドの関係は Table 1 による) を Fig. 3-5 に示す。図の右上から左下に 8%~10% の帯が認められるが、これと Photo. 2-3 を対照すると火山灰は 8%~10% のアルベドを持つことがわかる。

別の領域での例を提示しよう。Photo. 3-1 でベンガ

ル湾上空に火山灰が浮遊しているのが認められる。画像中の四辺形 85°E と 95°E および 10°N と 20°N の領域の計算機出力 (Table 1 による) を Fig. 3-6 に示した。前例と同じく Photo. 3-1 と Fig. 3-6 を照合すると、火山灰のアルベドは 8%~13% になる。(図示は省略するが、この海域のアルベドは 6%~7% と推定された。)

以上の解析から今回の火山灰によって 10°N~20°N 帯の海面のアルベドは 3%~5% 増加したと結論される。

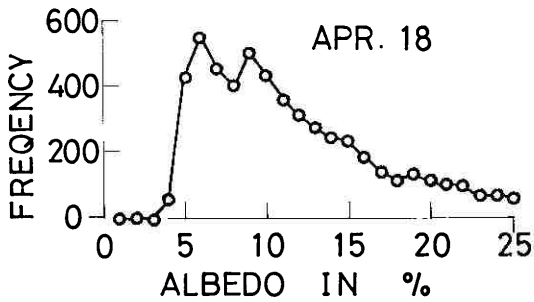


Fig. 3-3 A histogram in the ash-drifted case. An adopted method for making histogram here, and the area from which pixels are sampled, are the same as Fig. 3.1.

Table 1. Used characters in Figs. 3-5 and 3-6, which represents albedo measured in unit of 1.5 percent.

albedo range (%)	symble
less than 7	blank
8	8
9	blank
10	A
11	blank
12	C
13	D
14	E
.	.
.	.
.	.

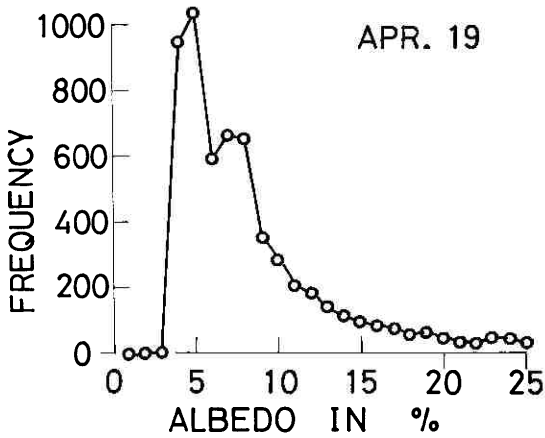


Fig. 3-4 The same as Fig. 3.3 but cloud free area is greater than Fig. 3.3.

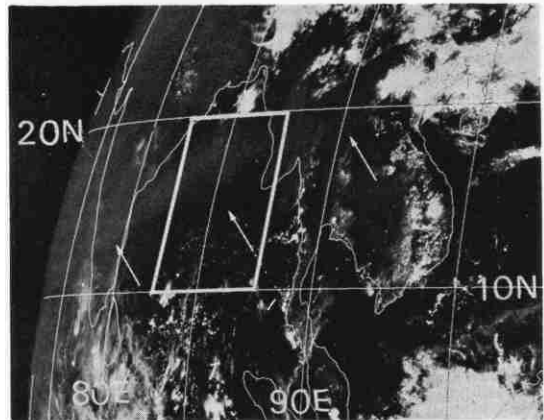


Photo. 3-1 A drifting ashes over the Bay of Bengal, also detected by GMS VIS channel. Arrows indicates ashes. Taken Time: 1200JST, April 23, 1982. Square is the area shown in Fig. 3-6.

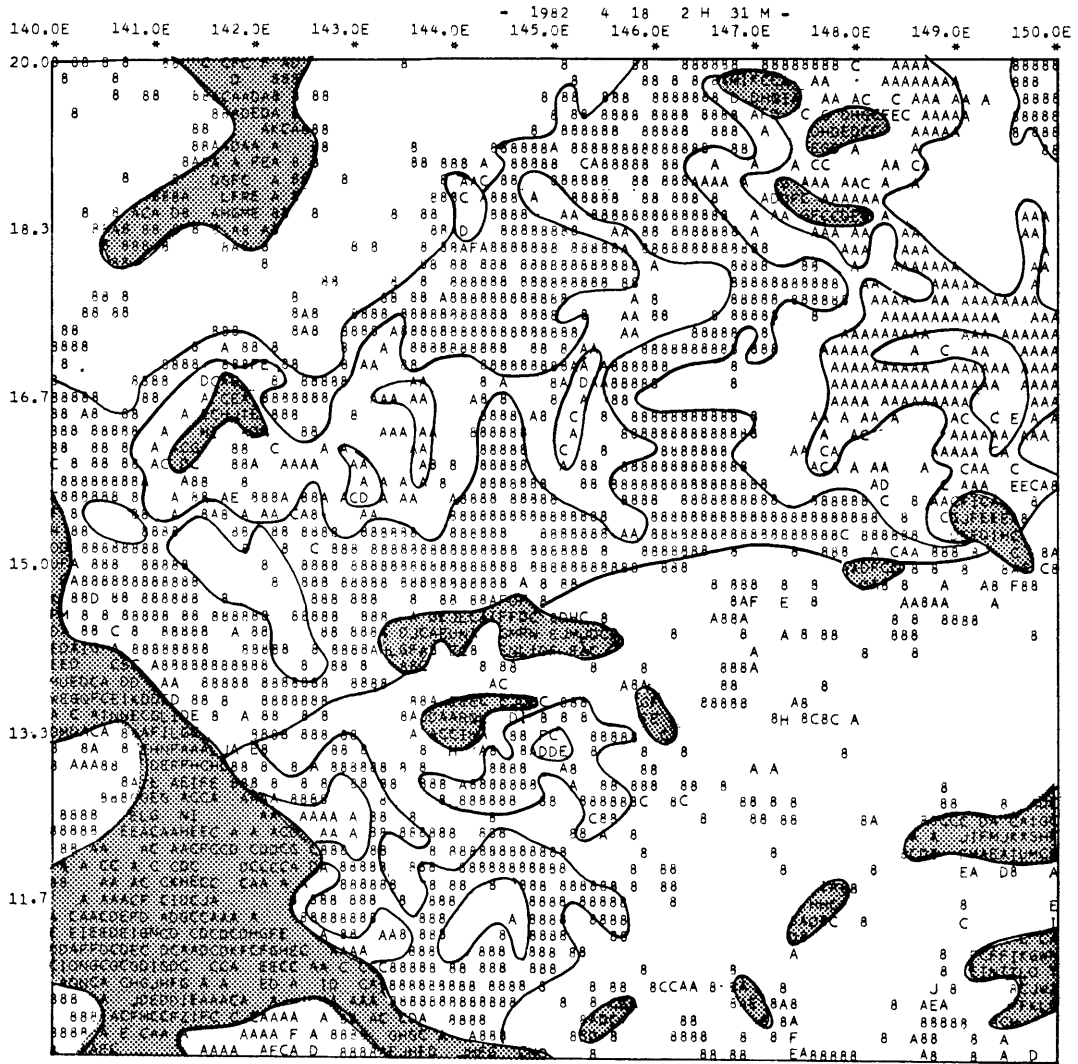


Fig. 3-5 A computer print out of ashes. The sampled area is bounded by the longitudes 140E and 150E, and by the latitudes 10N and 20N. Characters represent a mean albedo in an area 0.06 lat. x 0.1 long. using Table 1. Stippled areas are cloud or land. The area running from the upper right to the middle left shown by more than 8% is ash, which results that ashes in this area at this time have a 8%-to-11% albedo. Sea surface albedo in this area was about 5 percent.

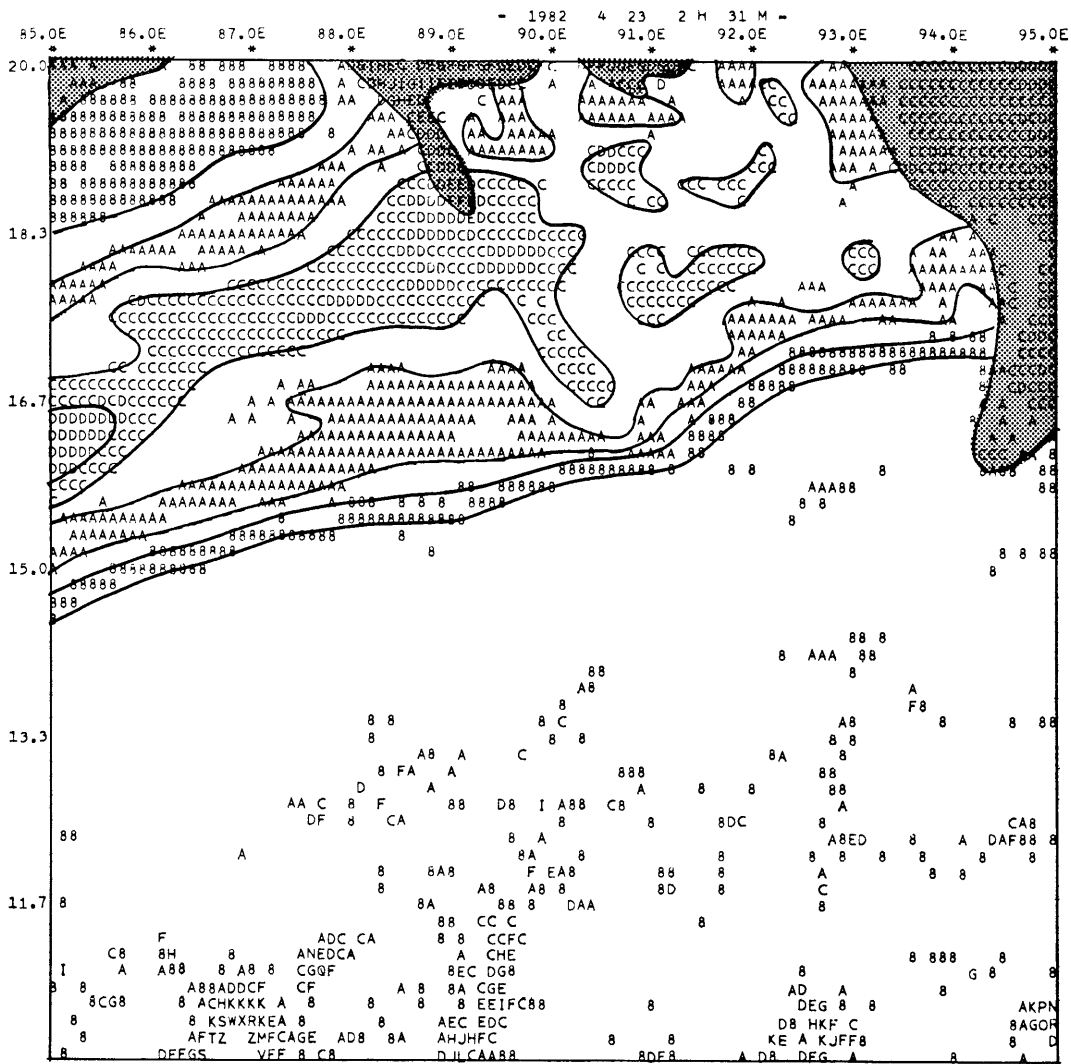


Fig. 3-6 A computer print out of ashes over the Bay of Bengal. The presented square area is bounded by the longitudes 85E and 95E, and by the latitudes 10N and 20N. The 8%-to-13% area in the upper part of the Figure corresponds to ash's. Others are the same as Fig. 3-5.

4. 結 び

この調査によって1982年3月末に爆発したメキシコ・エルチチョン山の火山灰をGMS-2の可視画像によって次のことを観測することができた。

火山灰は4月6日06時(JST)にハワイ付近に見え初め、西進する火山灰と東進するものを見ることができた。その西進速度は30mbの風速とほぼ等しく、また東進する火山灰の速度は100mbの風速とほぼ一致していた。火山灰は6月中旬に見えなくなった。

海面のアルベドは火山灰が覆った海域では3%~5%

増加した。

火山の爆発は気候変動と密接な関係があると言われていいる。この調査が気候変動の研究のための資料となるならば幸いである。

なお、ここに報告したものの一部は、メキシコ・エルチチョン山噴火の気候への影響に関する打ち合せ会(気象庁企画課主催)に報告したものである。

終りに資料収集に協力いただいた観測部高層課島貫補佐官、予報部長期予報課能登調査官、同部予報課吉田良夫技官に厚く謝意を表する。