

メテオサットで観測された1986～87年のアフリカの 砂塵嵐のダスト雲について

Dust clouds from African dust storms in 1986-87 as observed by Meteosat.

村山信彦*
N. Murayama

Abstract

With an objective of accounting an annual trend of dust storm in the arid area in Africa, mainly in Sahara desert, dust clouds originated from the African dust storms were examined by use of the Meteosat imageries (in published form) for 1986-87. Dust clouds were identified by the visible imagery over the ocean and by the infrared over the land and the extent of the dust clouds was determined and the transport was traced.

The Saharan dust storm occurs throughout the year. The movement of the Saharan dust cloud is related to the strong wind zone more than 10m/s on 850mb analysed by ECMWF. The dust cloud is transported over the Atlantic ocean apart 2000-3000kms from the western coast of the Africa throughout the year.

1. まえがき

サハラ砂漠の砂塵嵐によって生じたダスト雲が北大西洋を偏東風によって輸送され、カリブ海域まで達することは良く知られている (Carlson & Prospero 1972, Prospero 1972, Parkin et al 1972, Schütz 1977, Carlson 1979, Morales 1979, Noyalet 1978)。古くは Darwin が1832年の世界周航の帆船 Beagle 号上で、サハラのダストを採取し成分分析を依頼したという報告がある (参考文献参照)。Beagle 号は1月6日～2月26日の間アフリカ西岸から西南西へ向け冬季にサハラダストが流れ出る道筋に当たる幅約2000km内の海域を航海しており、度々サハラダストの襲来を経験したであろうことは充分納得できる。また西アフリカの南西部を吹く高温乾燥のダストを含む風 *harmattan* についても Darwin の周航記に記載がある。(Fig. 2 上図に当時の航路を記入した)。

静止気象衛星 SMS によって、サハラ大気の大北大西洋上への吹き出しが初めて観測され、長距離輸送され

たダストの採取分析と気象状態の解析について、1970年代の BOMEX 実験や GATE 実験の報告 (Martin 1975) がある。またサハラダストはスボラディックにヨーロッパへ輸送されることがあり、このような事例解析 (Prodi & Fea 1979, Reiff et al 1986) が知られている。

砂塵嵐の発生とダスト雲の輸送に関する研究の一環として、アフリカの砂漠の場合について Meteosat 画像を利用して調べることにした。今までの研究報告のほとんどが気象学的には事例研究であり、全球的に見た大気の大気ダスト負荷量の評価においても仮定をもった推定値である。ここでは砂塵嵐の頻度とダスト雲の広がり。移動の周年変化に注目し、衛星画像からそれらの傾向を調べることにした。

2. 調査方法

海上のダストは、可視光では低いアルベドの海面バックグラウンドに対し反射率が大きいので、雲のない場合はその広がりを可視画像から推定できる。またア

* 気象衛星センター
Meteorological Satellite Center

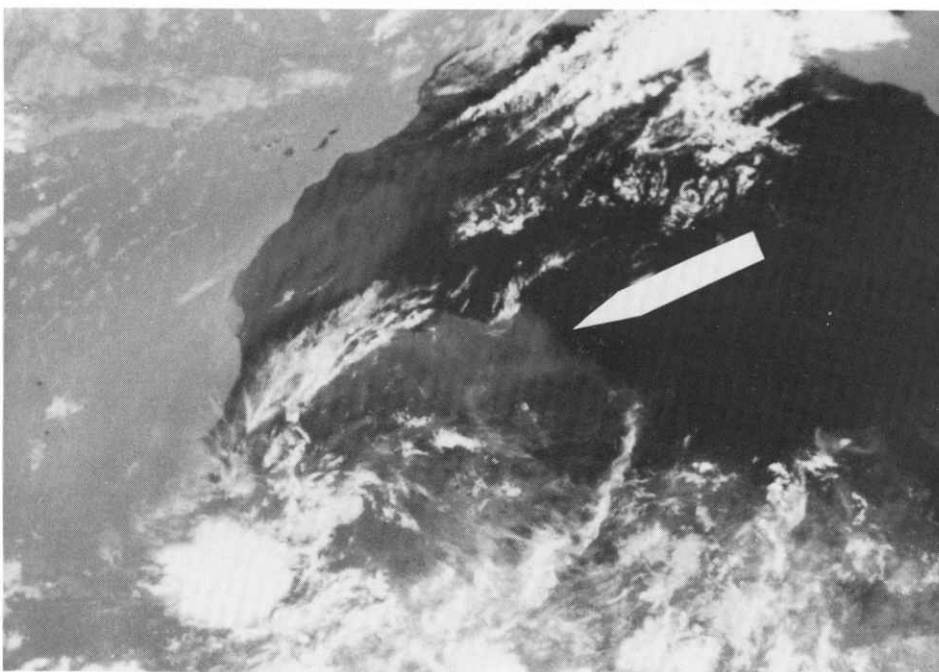
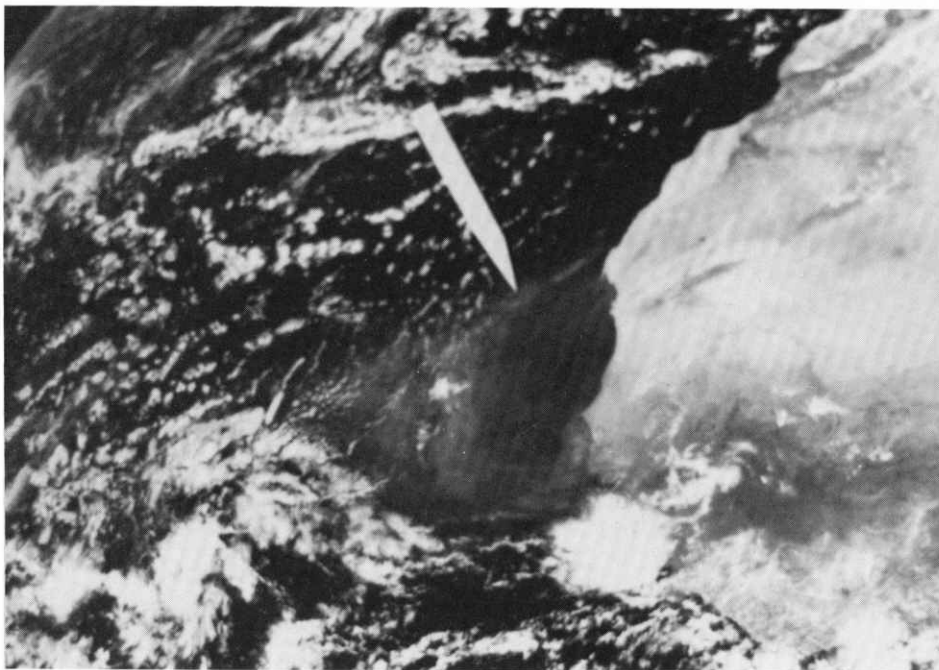


Fig. 1 An example of Meteosat imageries: 1) Sahara dust outbreak on-to the tropical Atlantic (visible picture in the upper) and 2) dust storm over the Sahara desert (infrared picture in the lower) on June 15, 1988 (12UT)

ルベドの大きな雲の上にダストがあるとプラネタリアルベドが減少するので、雲の上にあるダストの広がりも推定できる。一方陸上にあるダストは、陸地の反射率が非常に小さく、ダストの反射率が非常に大きいときを除き、可視画像からの検出はむずかしい。一方赤外画像によれば、上空にあるダストは昼の砂漠のような表面温度が非常に高いバックグラウンドに対し低温であるためその広がりが推定できる (Fig. 1 参照)。そこで陸上の砂塵嵐は主として赤外画像、海上のダスト雲には可視画像を用いて検出した。

砂塵嵐の発生の主な必要条件は強風である。強風は気象じょう乱に伴うものが多く、一般に気象じょう乱は雲を伴うから、砂塵嵐発生域を衛星画像から同定することは容易ではない。しかしサハラ砂漠は極端に乾燥しているので雲の発生が少なく検出され易い。

使用した Meteosat 画像は、印刷物となった Meteosat Image Bulletin (1986年と1987年) の2年間のデータである。まず可視画像 (毎日の12UT) によって西アフリカ沿岸から大西洋へのダストの吹き出しを調べ、その広がりの範囲を月毎に求めた。次にダスト雲の吹き出しの顕著な場合をとり上げ、関連すると考えられる陸上の砂塵嵐とダスト雲を赤外画像から検出した。ここでダストの吹き出しの顕著な場合とは、アフリカ西岸から海上へ延びるダスト雲の反射率の大きなものをいい、およその推定でエアロゾル光学的厚さが1.0以上の場合に当たる。エアロゾル光学的厚さの推定では、Stowe & Rao (1987) の週平均の全球エアロゾル光学的厚さの図を対応して参照した。1986年前半の砂塵嵐について、ECMWF の850mb 風解析を用い、発生域と風との対応を考察した。また Meteosat の観測範囲の縁辺に当たるため十分な資料ではないが、スーダンの Nubia 砂漠からのダストの紅海への吹き出し (haboob という) およびアラビア半島の砂塵嵐のアラビア海への吹き出しについても調べた。

3. サハラダストの大西洋への輸送

1986~87年の各月のサハラダストの海上への吹き出しと輸送について、可視画像から判定した広がりの範囲を示したの Fig. 2 である。(Fig. 2 は各月の数回の事象の外周を範囲としているのでここで述べる沿岸吹き出し時の広がり幅と必ずしも一致しない)。月名を続けて記してあるのはそれらの月の広がりが同一であることを意味する。これから知られたことは次のとおりである。

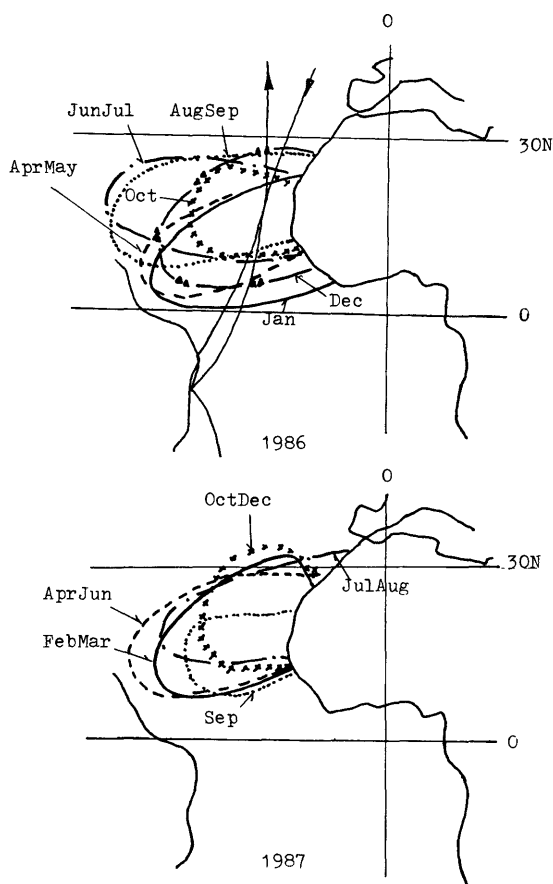


Fig. 2 Monthly average extent of the Saharan dust clouds over the tropical Atlantic in 1986 (upper) and in 1987 (lower). Lines with arrow shows the route of Darwin's expedition "Beagle" in the winter of 1832. The winter outbreak is toward WSW direction while the summer one extends northwestward to ca. 30°N.

- 1) ダストの吹き出しは周年起り、月変化はあまり顕著でない。10°~23°Nから西方への吹き出しが最多であり、冬~春には吹き出す方向が西南西になる。
- 2) ダストは沿岸から偏東風によって2000~3000km輸送される。輸送速度は海上で平均約5 m/sである。
- 3) 南北方向の広がり幅は、沿岸吹き出し時に約500~1000kmで、沿岸から2000~3000kmのところまで約1000~2000kmとなる。

サハラダストは高度約1.5kmをもつ貿易風逆転層の上に乗った乾燥したサハラ大気に含まれて運ばれると

言われている。そのため輸送距離が大きく、輸送時間が長い。なおサハラ大気の範囲は Fig. 2 の輪郭の範囲よりもやや広い。サハラダストを含んだサハラ大気が高度1.5~5 kmの間にあるとすると、しばしば下層雲の上に乗り、プラネタリアルベドを減少させ、サハラ大気の範囲の同定を容易にする。

4. サハラの砂塵嵐とダスト雲の移動

赤外面像 (12UT) を用い、陸上の砂塵嵐とダスト雲の広がりを調べた。砂塵嵐は西サハラに発生する場合は顕著である。Fig. 3 (A)~(V) は、1986~87年の2年間にわたり赤外面像で検出できた顕著な砂塵嵐 (当日は影をほどこした部分および翌日以後は輪郭を付けた部分) と、それが西へ移動したもので可視画像による海上のダスト雲を示したものである。サハラ砂漠内で砂塵嵐があっても海上へダスト雲が吹き出さない場合は含まれていない。これらの15例から次のことが分かった。

- 1) 砂塵嵐は年間を通し発生し、広がりは数100km x 数100km程度ある。西サハラのダスト雲は西へ輸送され海上へ吹き出される。
- 2) 西サハラの砂塵嵐は地形 (6°E 付近の Ahaggar 山地、最高2960m、18°E 付近の Tibesti 山地、最高3360mなど) の影響を受けているようである。
- 3) 陸上の輸送速度は平均約6~8 m/s で海上よりやや大きい。

また西アフリカの沿岸から内陸へ約700km以内で発生した顕著な砂塵嵐のダストは、可視画像にも検出された (1987年5月5~6日、12~14日、21~23日の例がある)。

砂塵の舞上がりの主要な必要条件は、表土の乾燥と強風である。風のデータとして ECMWF の850mb 風解析 (水平分解能300km) を用い、砂塵嵐発生域と強風域の分布を対応させ、Fig. 4 に示した。850mb で15m/s 以上の地域に砂塵嵐のダストが分布している。また強風域の移動と砂塵嵐地域の移動が一致する。Reiffら (1986) による1983年4月11日西サハラの砂塵嵐の北欧への輸送の場合は、発生地から40°Nに達するまでの経路が、850mb 強風域の移動経路とよく一致していた。

1986年前半のサハラ砂塵嵐の5例を考察する。

- 1) 1月11~12日の砂塵嵐発生域は850mb 風が15m/s 以上の区域にあり、11日の2個のダストブルームの東端は Ahagaar 山地の北縁と南縁 (Air 山地との間) の

風下約300kmに当たる。西へ伸びたブルームは12日に2本の吹き出しとなって大西洋へ流れ出している。

- 2) 1月19日~20日の砂塵嵐については、19日のダストブルームの西側のものの東端は Ahagaar 山地の北の砂漠にあり、東西へ延びるブルームは15m/sの強風軸の走向に沿っている。東側のブルームの西端は Ahagaar と Air 山地の間に当たり東風10~15m/sの区域である。海上への吹き出しは20、21日と続き10m/sの風の区域にある。

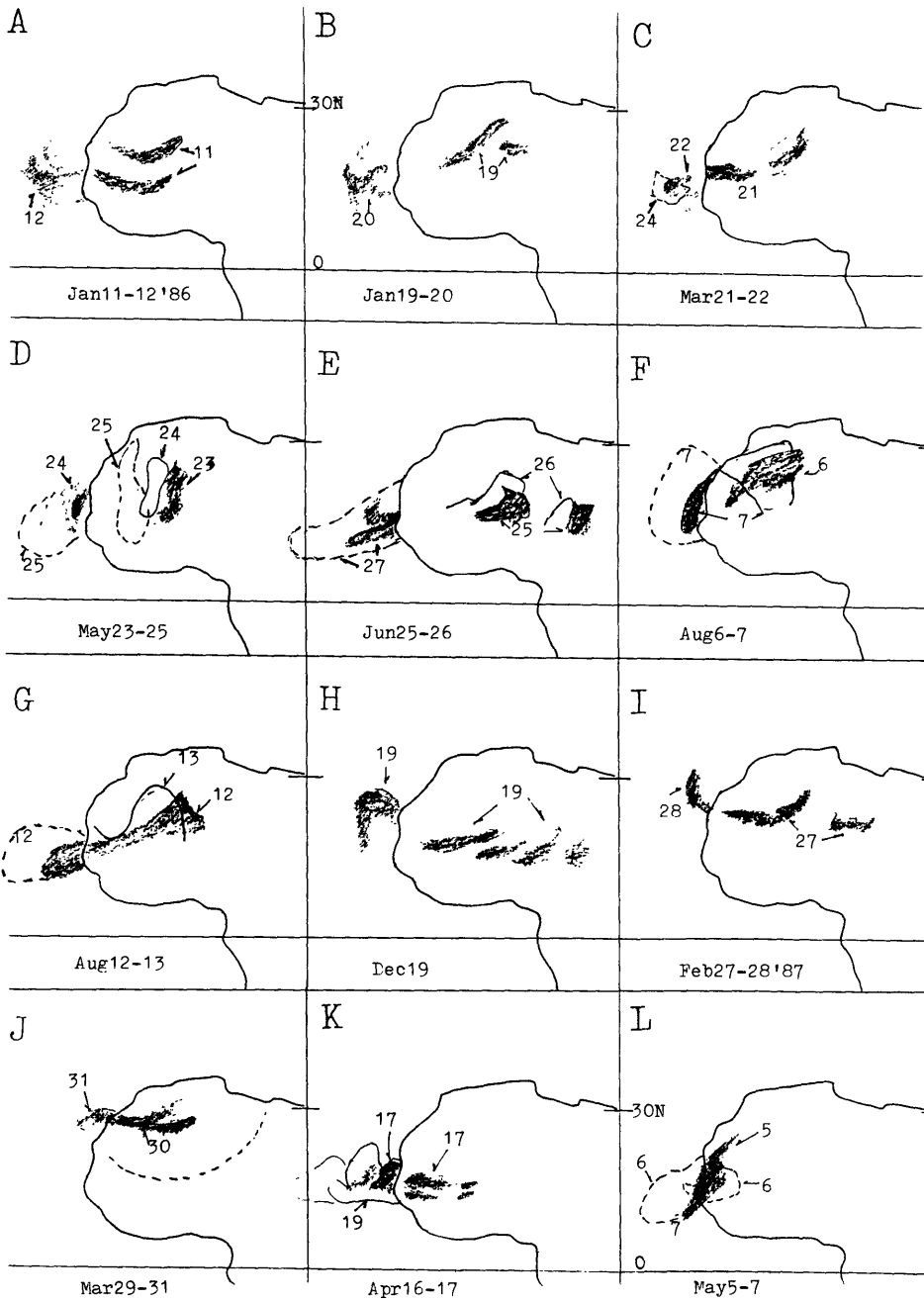
- 3) 3月21~22日の砂塵嵐については、図には21日のダストブルームが示してあるが25日まで継続し、23~25日は21日のブルームより南北に広い区域にダスト雲が広がった。海上への吹き出しは23~24日は5m/sの東風に伴っていて、24日に沖合約1000km以内にダスト雲が存在した。

- 4) 5月23~24日の砂塵嵐について、23日のダスト雲が Ahagaar、Air 山地の西方約100~200kmに存在し、850mb 風は北東風5~10m/sの区域にあたる。24、25日と西へゆっくりと移動 (速さ約500km/日、地中海西部の気象じょう乱と関連) した。海上へ吹き出した24日、25日のダストブルームとは直接関連づけができなかった。

- 5) 6月25~27日の砂塵嵐については、25日西側のダスト雲が Ahagaar の西 Niger で、東側のそれが Tibesti 山地と Marra 山地の間の Chad で発生しており、前者のダスト雲は850mb 風が15m/s 以上の区域である南の方へダストブルームを伸ばしている。26日にはそれぞれのダスト雲が北西方向へ移り (それぞれ Ahagaar と Tibesti の風下西方)、さらに25~27日の東風の強風域に沿い海上へダスト雲が吹き出している。27日の舌状をしたダスト雲の吹き出し区域は東風10m/s 以上の風の南縁に伴い、約1500kmのブルームとなっている。(衛星画像からは分からないが西アフリカ南西部に高温乾燥の風である harmattan を生じたと考えられる。)

5. アフリカ東部の砂塵嵐

スーダンの Nubia 砂漠付近に発生する砂塵嵐のダスト雲が紅海を横断して流れることがある。haboob と呼ばれ、5~9月特に6月に頻発するといわれる。Meteosat 画像の周縁部に位置するため明瞭ではないが、1986~87年の調査資料で検出できた例を Fig. 5 (A)~(F) にスケッチ図として示した。6例とも6~7月のものである。関連した砂塵嵐として、Morales



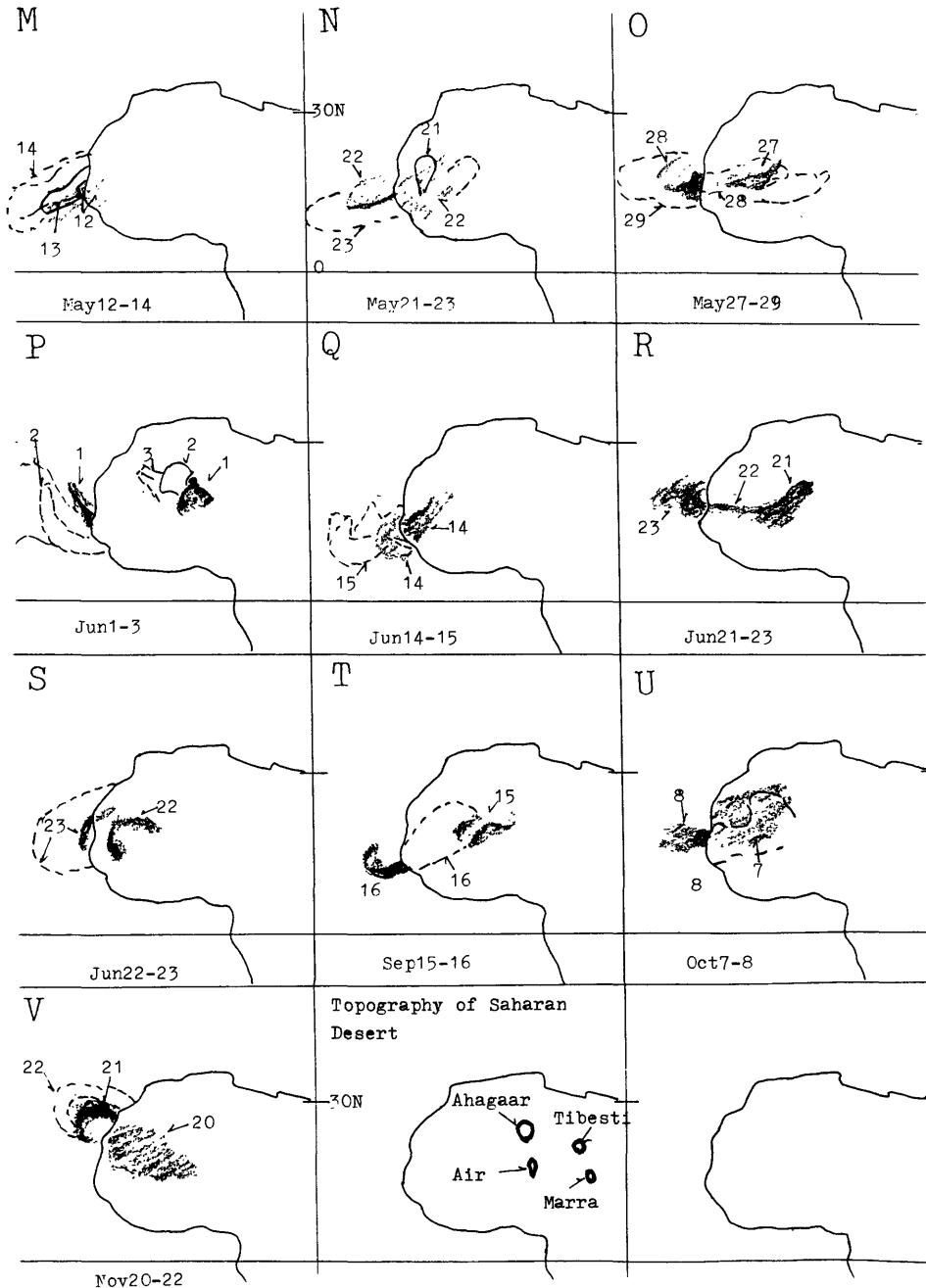


Fig. 3 The dust clouds originated from dust storms in the Sahara desert were identified in Meteosat/IR images over the land and /VIS images over the ocean during 1986-87. A) Jan 11-12' 86, B) Jan 19-20, C) Mar 21-22, D) May 23-25, E) Jun 25-26, F) Aug 6-7, G) Aug 12-13, H) Dec 19, I) Feb 27-28 ; 87, J) Mar 29-31, K) Apr 16-17, L) May 5-7, M) May 12-14, N) May 21-23, O) May 27-29. P) Jun 1-3, Q) Jun 14-15, R) Jun 21-23, S) Jul 22-23, T) Sep 15-16, U) Oct 7-8, V) Nov 20-22.

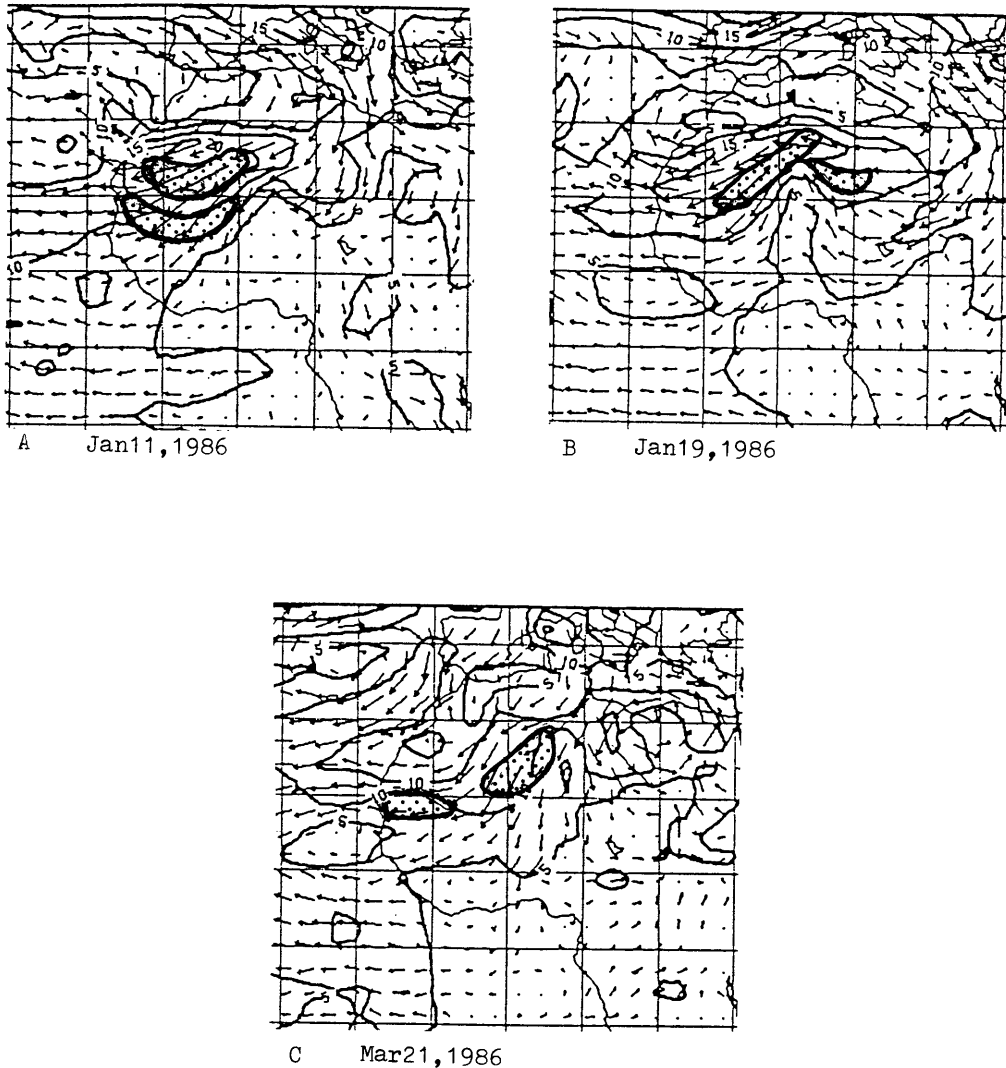


Fig. 4 Dust clouds (stippled area) superposed on the 850hPa wind analysis of the ECMWF for A) Jan 11, B) Jan 19, and C) Mar 21, 1986. The location where the dust storms occurred and the direction where the dust clouds flew can be recognized in coincidence with the strong wind area on the 850hPa.

(1980/81)は1973年4月スーダンの砂塵嵐の気象解析をしている。また Fig. 5 (G)～(J)にはアラビア砂漠からアラビア湾へのダストの吹き出しの4例(2月と3月)を示した。

6. むすび

Metesat 画像を使いアフリカの砂塵嵐の発生とそ

れによって生じたダスト雲の移動を調査した。Metesat 画像は印刷物写真であり分解能が低いため砂塵嵐とダスト雲の詳細な構造を知ることができないが、その広がりや年間の発生傾向はよく検出できた。中緯度に発生する砂塵嵐と異なり発生季節傾向は顕著ではないことが分かった。海上へ流れ出たサハラダスト雲は中緯度のそれと違いソースから近いことなど

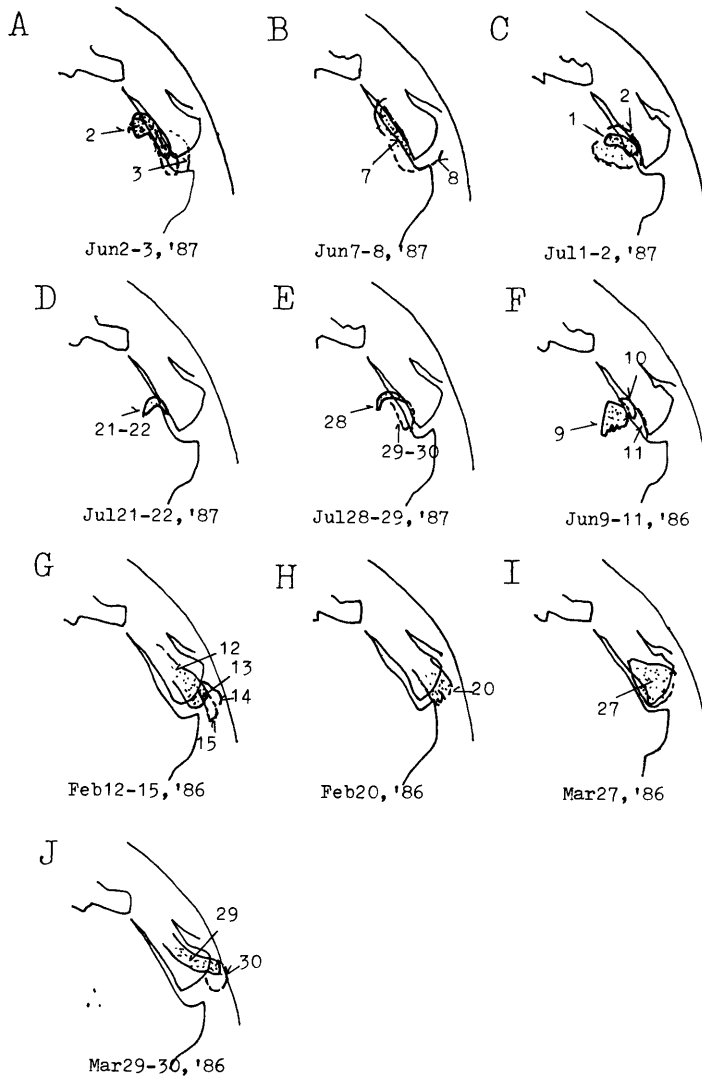


Fig. 5 The same in Fig 3 except dust clouds originated from Nubian desert, Sudan only in summer (A-F) and those from Arabian desert only in winter/early spring (G-J). A) Jun 2-3, '87, B) Jun 7-8, C) Jul 1-2, D) Jul 21-22, E) Jul 28-29, F) Jun 9-11, '86 for Sudan dust storms and G) Feb 12-15, '86, H) Feb 20, I) Mar 27, J) Mar 29-30, '86 for Arabian dust storms.

の理由によってダスト濃度が高い。

参考文献

- Carlson, T.N. and J.M. Prospero, 1972: The large-scale movement of Saharan air outbreak over the northern equatorial Atlantic. *Jour. Appl. Meteor.* 11, 283-297
- Carlson, T.N., 1979: Atmospheric turbidity in Saharan dust outbreaks as determined by analysis of satellite brightness data. *Mon. Wea. Rev.* 107, 322-335
- Martin, D.W., 1975: Identification, tracking and sources of Saharan dust--an inquiry using SMS. p.217-227 in Preliminary Scientific Results of the GARP Atlantic Tropical Experiment, vol II, GAPP/GATE Report No.14
- Noyalet, A., 1987: Utilisation des images Météosat: g n se et  volution d'une temp te de sable sur l'ouest Africain. *La M t eorologie* 6, 113-115
- Morales, C (ed.), 1979: Saharan Dust: Mobilization, Transport, Deposition, SCOPE 14 pp.289, John & Wiley Sons.
- Morales, C., 1980/81: A case study of a dust storm weather situation in the Sudan in April 1973. *Pageoph.* 119, 658-676
- Parkin, D.W., D.R. Phillips, R.A.L. Sullivan and L.R. Johnson, 1972: Airborne dust collections down the Atlantic. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.* 98, 798-808
- Prodi, F. and G. Fea, 1979: A case of transport and deposition of Saharan dust over the Italian peninsula and southern Europe. *Jour. Geophys. Resear.* 84 (C11), 6951-6960
- Prospero, J.M., 1972: Vertical and areal distribution of Saharan dust over the western equatorial north Atlantic ocean. *Jour. Geophys. Resear.* 77, 5255-5269
- Reiff, J., G.S. Forbes, F.Th.M. Spieksma and J.J. Reynolds, 1986: African dust reaching northwestern Europe: a case study to verify trajectory calculations. *Jour. Climat. Appl. Meteor.* 25, 1543-1567
- Schutz, L., 1977: Saharan dust transport in NE-trade wind region over the north Atlantic ocean.

p.68-70 in H.G. Bolle (ed) *Radiation in the atmosphere* (1977)

Stowe, L.L. and C.N.R. Rao, 1988: *Optical thickness of the world: Aerosol User Survey.*

チャールズ・ダーウィン (島地威雄訳) ビーグル号航海記 (全3冊), 1959年 岩波書店