

人工衛星データを用いた黄砂エアロゾルの検出と画像解析

増水 紀勝

Detection and Image analysis of Kosa aerosol using satellite data

Toshikatsu MASUMIZU

Abstract: The advection and diffusion of Kosa (yellow sand) dust from northern China toward Japan were studied by means of the difference in brightness temperature of AVHRR band-4 and band-5 sensors of the NOAA satellites, and VISSR ir-1 and ir-2 sensors of the GMS-5 satellites, which were also compared with those of the computer simulation, from which we had encouraging results.

Key words: Satellite measurements, Aerosol, Yellow sand dust, Split window method

1. はじめに

中国の乾燥地域で発生した黄砂は、大規模な自然現象の一つである。この黄砂現象の分布ならびに移流・拡散の過程を陸域および海域に渡って解明することは、大陸からの物質輸送を解明する上からも非常に重要である。

また、その解析に人工衛星データを用いることは、大変有用な手段であり、大気エアロゾルの役割とその検出解明のためにも欠かせぬものである。

本研究においては、熱赤外域に2つのチャンネルを持つ気象衛星 NOAA/AVHRR と GMS-5/VISSR データを用いて黄砂エアロゾルの検出を行った。特に、NOAA/AVHRR の Band-4 と Band-5 ならびに GMS-5/VISSR の ir1 と ir2 のそれぞれの2つのチャンネルの輝度温度差を利用して、黄砂の検出と時系列にもとづく移流・拡散の検出を試み、良好なる結果を得たので報告する。

2. 黄砂の検出方法と AVI

熱赤外域に2つのチャンネルを持つ気象衛星 NOAA の AVHRR-4 および 5 のチャンネルの輝度温度差を利用した黄砂検出の方法は、次のとおりである。

まず、鹿児島大学大学院連合農学研究科の NOAA 受信装置で受信されたデータ (NOAA-12 と NOAA-14

号) を温度較正の違いから、同一レベルの比較を行うためのキャリブレーション処理を行う。

その後、幾何補正を行った画像に対して、緯度・経度30度の範囲を 512*512 pixel のサイズで切り出し、バンド間演算を行い差画像を作成する。

バンド間演算は、エアロゾル濃度と水蒸気量の指標を示す意味で AVI (Aerosol Vapor Index) を定義し次式で求める。

$$AVI = \text{Band 5} - \text{Band 4} + 200$$

この AVI は、エアロゾルの低濃度部分の検出に優れている。

Band 4 (10.3 μm ~ 11.3 μm) と Band 5 (11.5 μm ~ 12.5 μm) の輝度温度差 $\Delta t = t_5 - t_4$ については、水蒸気の効果とエアロゾルの影響が競合すると考えられるが、水蒸気効果は非常に広い空間に渡って一様であることから、黄砂の空間分布を検出することは可能である。

AVI 画像の白黒濃淡画像では、エアロゾルの濃い部分がより白く表示される。すなわち、黄砂の領域は $AVI > 200$ で白く表示された領域が対象と考えられる。

さらに、この差画像は、画像解析ソフト ENVI で解析できるように 10bit データを 16bit データに変換して解析を行う。

次に、GMS-5 には、VISSR センサーが搭載されて

おり、このセンサーは可視域に1つ(vis)、熱赤外域に2つ(ir1,ir2)、水蒸気バンドに1つ(WV)の計4つのバンドを持って構成されている。このVISSRセンサーの軌道直下における分解能は、visで1.25kmであり、ir1, ir2, WVで5kmである。

ここでも、2つの熱赤外域波長ir1(10.5 μ m~11.5 μ m)とir2(11.5 μ m~12.5 μ m)の輝度温度差を利用して黄砂の検出を行った。

エアロゾル濃度と水蒸気量の指標を示す意味でのAVI(Aerosol Vapor Index)は、前述の式を用いた。

黄砂現象は、中緯度に位置する内陸部の地表面の乾燥状態が大きく起因し、砂塵嵐等に見られるように低気圧や寒冷前線等の強風に煽られ、日本列島上空を通り長距離輸送されてゆく。黄砂の粒径も4~5 μ mのものから10 μ m以上のものまで広く観測されておりその輸送メカニズムも複雑である。

そのため、黄砂エアロゾル解析は、点在する多くの観測所のデータやサンプリングさらにはライダーによる地上観測の他に、広大な地上空間を綿密に解析する必要がある。

人工衛星データは、その点広域的な観点からの観測が可能であり、空間的な情報量や測定の同時性においても非常に優れていると言える。

次に、今回用いた2つの衛星NOAA/AVHRRおよびGMS-5/VISSRの観測波長帯を示す。

NOAA/AVHRRの諸元

CH	観測波長帯(μ m)	分解能(km)	観測幅(km)
1	可視域	0.58-0.68	2800
2	近赤外域	0.725-1.10	
3	赤外域	3.55-3.93	
4	熱赤外域	10.30-11.30	
5	熱赤外域	11.50-12.50	

GMS-5/VISSRの観測波長帯

CH	観測波長帯(μ m)	分解能(km)
vis	0.55-0.90	1.25
WV	6.5-7.0	5
ir1	10.5-11.5	
ir2	11.5-12.5	

3. 黄砂発生地域と黄砂現象

黄砂の多くは、中国の乾燥地帯で発生し、強い低気圧に煽られ、上空1500m~3000mの西風に乗って日本上空に飛来する。

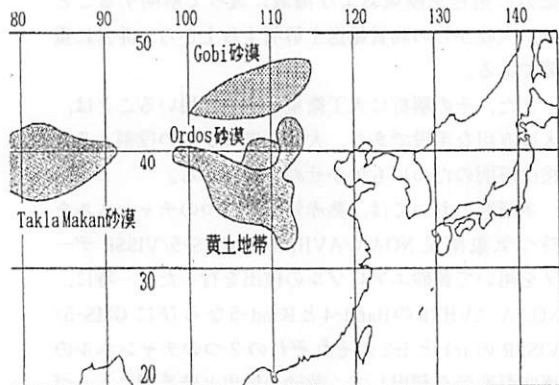
黄砂現象は、水平スケール数千km、鉛直スケールkm、時間スケール数日から1週間に及ぶ物質の長距離輸送現象である。

一般に、アジア大陸の乾燥地帯に発生する砂塵嵐は、大気中に多量の土壤粒子を巻き上げる。これらの粒子は、春特有の移動性の高低気圧による大気の流れに乗って西へと移動してゆく。上空に舞い上がった砂塵は、強い偏西風によって日本に輸送され黄砂となる。

次に、中国大陸における砂漠と黄土の地理的分布を示し、黄砂の主な発生地域を示す。

黄砂の発生地域は、北緯33度~47度、東経75度~115度に広がる広大な乾燥地帯で、西域にタクラマカン(Takla Makan)砂漠があり、黄河流域に黄土高原、ゴビ(Gobi)砂漠およびオルドス(Ordos)砂漠等がある。

黄土は黄河流域に分布し、粒子が細かく、大気中に浮遊しやすい。ゴビ砂漠は、主として礫砂漠である。



黄砂発生地域

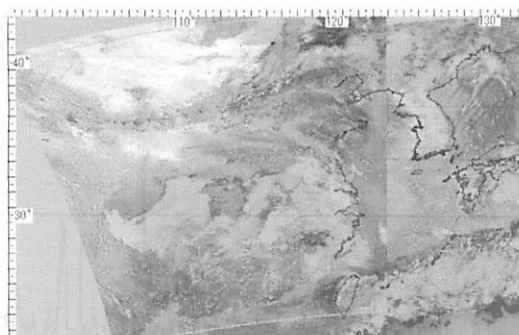


Fig. 1 A mosaic grey scale image of AVI at 15 : 58 and 17 : 49 JST on 24 Jan. 1999.

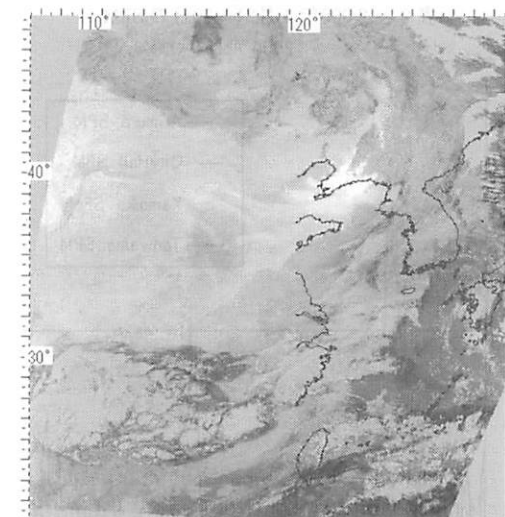


Fig. 2 A grey scale AVI image at 4 : 24 on 25 Jan.

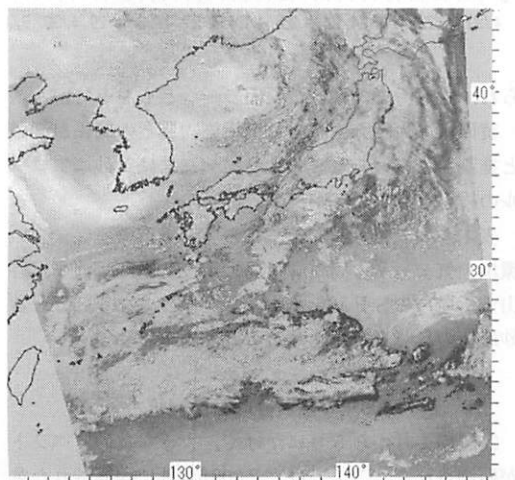


Fig. 3 A grey scale AVI image at 17 : 27 on 25 Jan.

4. 1999年1月のNOAA/AVHRRによる黄砂の検出

次に、1999年1月の黄砂イベントについて示す。黄砂は、通常3月から4月にかけて、中国の乾燥地域で発生し、低気圧や寒冷前線に煽られ広範囲に拡散しながら、日本海を横切り日本列島上空に及ぶことが多い。

しかし、1月に飛来する黄砂の例は少なく3年に1

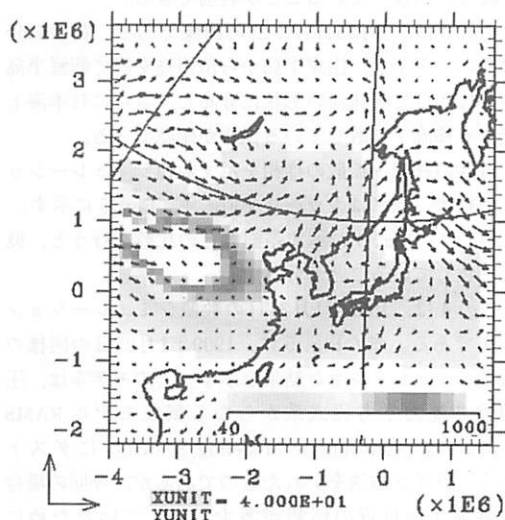


Fig. 4 1999. 1. 24 Simulation image

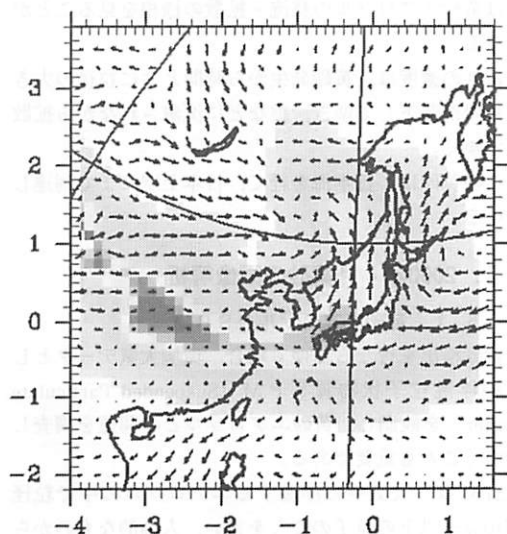


Fig. 5 1999. 1. 25 Simulation image

度程度の割合で観測されている。1999年1月に観測されたこのイベントの黄砂検出について示す。

Fig. 1は、1999年1月24日15:58の画像と同年1月24日17:49の画像をつなぎ合わせたものである。

画像中、左上の西北部の濃い白い部分が、黄砂発生源の中心部と考えられ、黄砂の全体的な拡がりの様相を見ることができる。

Fig. 2は、1月25日4:24のAVI画像で濃い黄砂の部分が、強い低気圧に煽られながら黄海ならびに遼東半島まで到達していることが判別できる。

Fig. 3は、1月25日17:27の画像である。黄砂部分はさらに南下し、山東半島から済州島を経て朝鮮半島南部にかけて興味深い形状に分布し、さらに日本海上空にも移流・拡散している様相が確認できる。

黄砂の移流・拡散の様相を示す数値シミュレーションの結果(原画はカラー)をFig. 4, Fig. 5に示す。

Fig. 2, Fig. 3に示す差画像との比較を行うと、概ね一致していることが分る。

Fig. 4は、1999年1月24日の数値シミュレーション結果である。またFig. 5に、1999年1月25日の同様の数値シミュレーション結果を示す。このモデルは、圧縮性非静力学方程式系からなる気象モデルRAMS (Regional Atmospheric Modeling System) にダストのオンライン輸送をいれたものであるが、今回の場合黄砂発生源付近の情報が多少不足していたためにAVI画像とに差が生じている。

Fig. 1からFig. 5までの画像を通じて、時系列的には黄砂エアロゾルの移流・拡散の様相を見ることができる。

黄砂の濃度は、黄砂発生から時間と共に粒径の大きいものが落下してゆき、雲などに沈着されながら拡散してゆく。

この黄砂は、日本海を経て、日本上空にまで到達している。

5. 2000年4月黄砂の画像解析

5.1 黄砂エアロゾルとSPM

黄砂検出を行なってゆく場合、環境大気データとしての浮遊粒子状物質SPM (Suspended Particulate Matter) を観測し、黄砂エアロゾルとの関連を調査してゆくことも重要である。

SPMは、大気中に浮遊するエアロゾルの中で粒径が $10\mu\text{m}$ 以下の粒子のことを言い、人為的なものから自然発生的なものまで多種多様な分野での発生が考え

表1 2000年4月のSPM

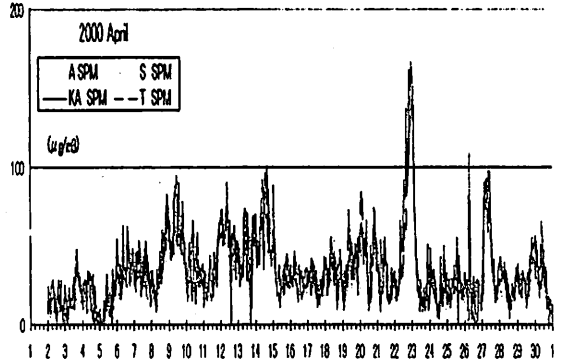
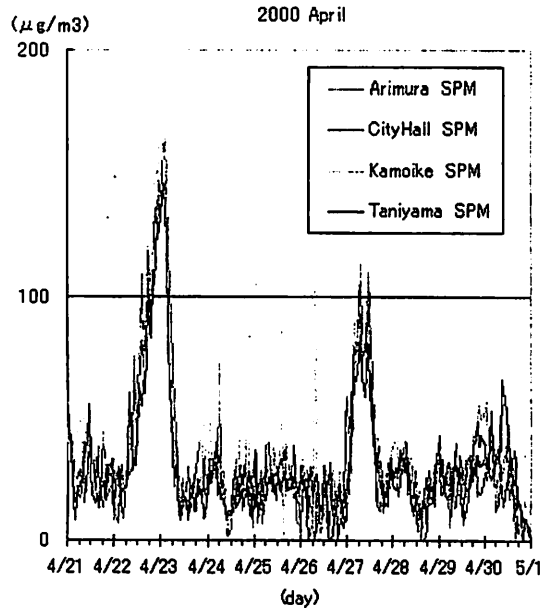


表2 2000年4月21-30日のSPM



られ、大気汚染の大きな要因の一つともなっている。

黄砂は、大陸発生源の大気汚染物質との関係が深いと推測されている。このSPMデータに黄砂エアロゾルの検出を見ることが出来る。

表1, 表2に、2000年4月の鹿児島市環境保全課の環境大気データ4局(有村局, 市役所局, 鴨池局, 谷山支所局)のSPMを示す。観測値の大なる部分と黄砂確認の日時を対照させることが出来る。

5.2 2000年4月黄砂の画像解析

2000年2月から5月にかけて、大きな黄砂イベントが観測された。ここでは、2000年4月に観測された黄砂イベントについて、NOAA/AVHRRならびにGMS

—5/VISSR の画像解析結果とシミュレーション結果について示す。

また、NASA の Home-page の TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) を参照にした Aerosol Index 画像を用いて、黄砂エアロゾルの発生および移流・拡散を対応させて、ほぼ一致する部分の多いことを確認できた。

Fig. 6 から Fig. 9 に、2000年4月始めの黄砂イベントのうち4月6日の黄砂についての画像、すなわち、NOAA/AVHRR と GMS-5/VISSR の AVI 画像 (差画像) およびマルチレベルスライス画像と TOMS 画像について示した。

Fig. 6 の NOAA AVI 画像ならびに Fig. 7 の GMS-5 AVI 画像においては、いずれも白く濃い部分の黄砂を確認することができる。Fig. 8 に示すレベルスライス画像 (原画はカラー画像) でも、色分類にて黄砂の部分を判別することができる。

同様に Fig. 9 の TOMS 画像 (原画はカラー) のエ

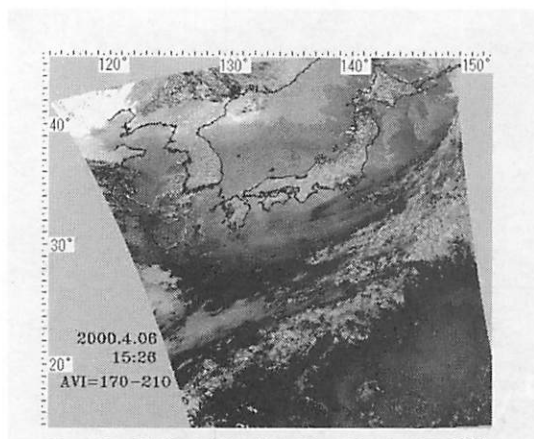


Fig. 6 2000.4.06 15:26 NOAA AVI 画像

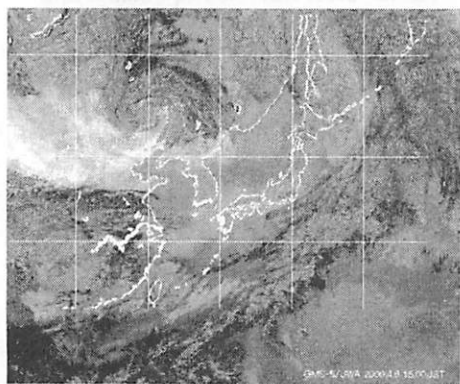


Fig.7 2000.4.6 15:00 GMS-5 画像

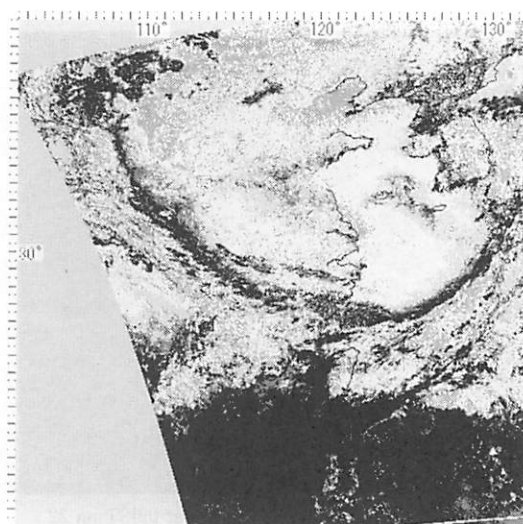


Fig. 8 2000.4.06 NOAA マルチレベル画像

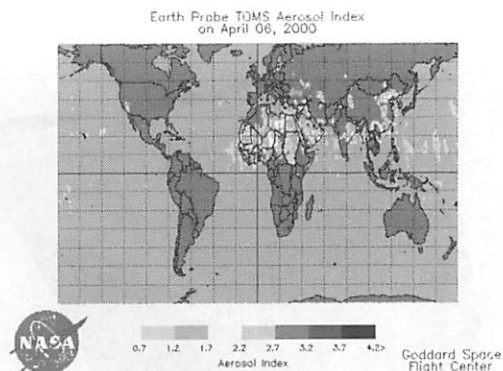


Fig. 9 2000.4.06 TOMS 画像

アロゾル分布画像においても、黄砂分布の確認を行うことができる。

Fig.10から Fig.15までは、2000年4月後半の黄砂イベントの中で4月22日—26日までの主要な画像解析結果について示した。

Fig.12と Fig.14は、4月23日と26日の NOAA/AVHRR の AVI 画像で、濃い灰色および白く濃い部分が黄砂である。日本本土にも薄く拡散している様相が分かる。

また、Fig.10と Fig.13は、4月22日と24日の GMS-5/VISSR の AVI 画像で、灰色がかった白い部分が黄砂であると考えられる。AVI の範囲は、95~105である。

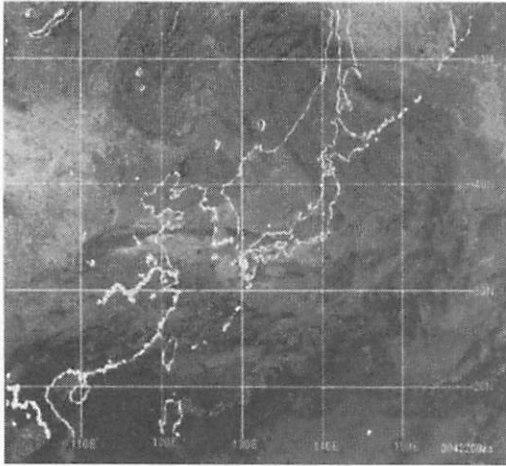


Fig.10 A gray scale AVI image at 09JST on 22 Apr. 2000. (GMS-5)

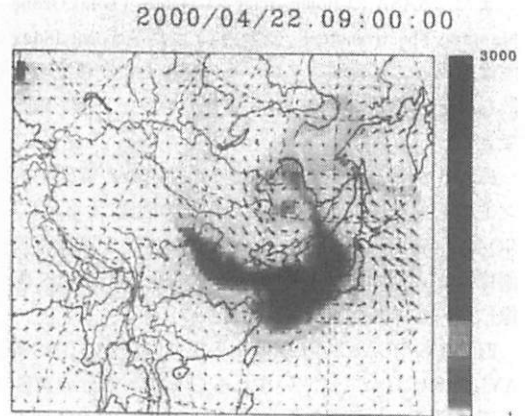


Fig.11 RAMS simulation column density

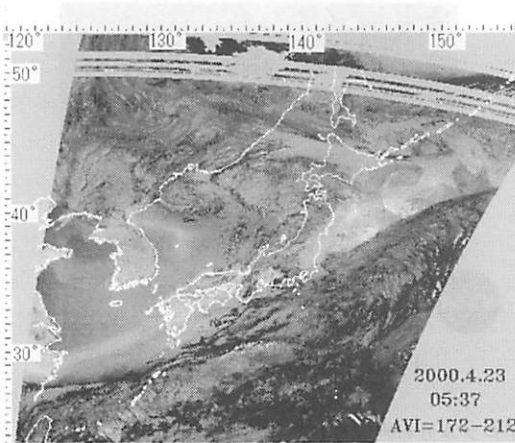


Fig.12 2000.4.23 5:37 NOAA AVI 画像

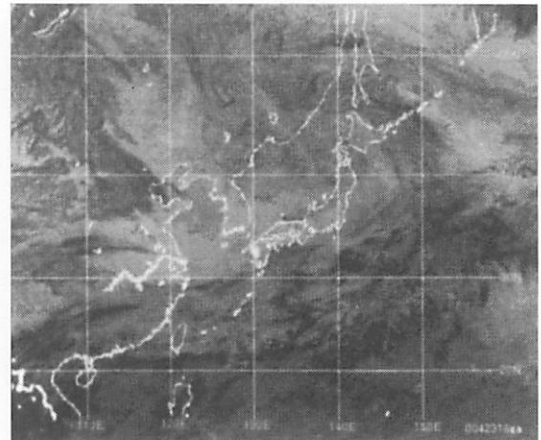


Fig.13 2000.4.24 03:00 GMS-5 画像

Fig.11は、4月22日9時の気象モデルRAMSによるシミュレーション結果である。濃く黒い部分が黄砂であり、AVI画像とほぼ一致している。

Fig.10およびFig.12に見られるように4月22日～23日の画像は、白く灰色がかかった黄砂の明度の変化域が、東シナ海から九州・西日本・東海・関東などの広

範囲に及んでいることを識別できる。

またFig.13に示す4月24日の画像は、黄砂の明度の変化域が、日本近辺に広範囲に広がっていることを判別できると共に中国大陆にはすでに次の黄砂イベントとなる部分も確認できる。

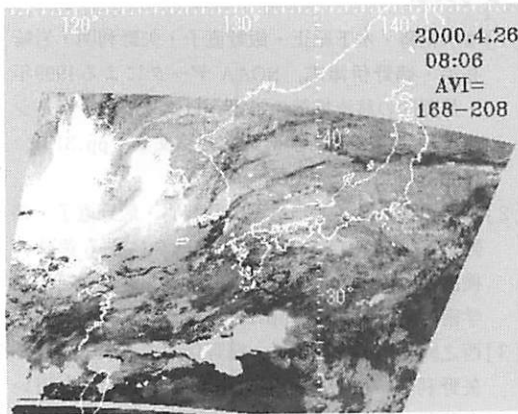


Fig.14 2000.4.26 8:06 NOAA AVI 画像

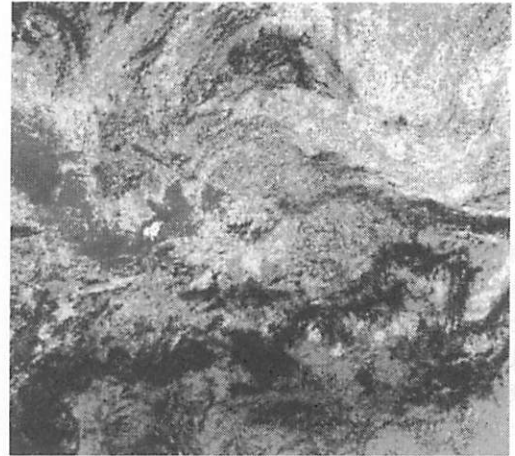


Fig.15 2000.4.26 GMS-5 マルチレベルスライス画像

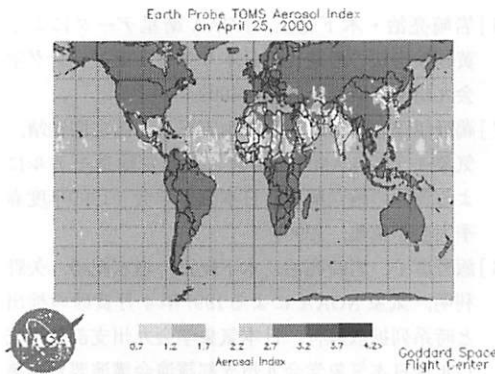


Fig.16 2000.4.25 TOMS 画像

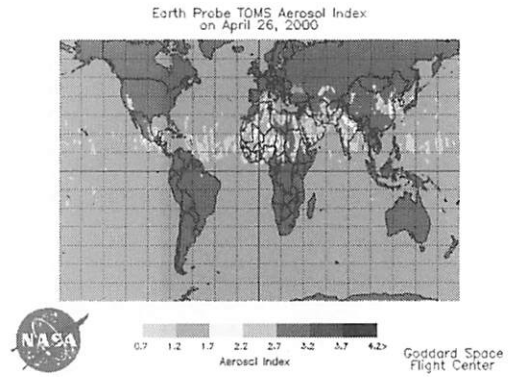


Fig.17 2000.4.26 TOMS 画像

Fig.15は、4月26日のGMS-5のマルチレベルスライス画像（原画はカラー）である。左中央部が黒く濃い部分のが黄砂である。色分類にて黄砂の部分が見分けられる。

また、Fig.16、Fig.17に、2000年4月25日と26日のTOMS画像（原画はカラー）を示す。

NOAA/AVHRRおよびGMS-5/VISSRのAVI画像と対比して、同地域に同様の黄砂エアロゾルの存在を確認できる。

6. 結論

本研究において、熱赤外域に2つのチャンネルを有する気象衛星NOAA/AVHRRとGMS-5/VISSRによるAVI・差画像を用いての黄砂の検出を試みた。その結果次のような結論を得た。

- ① 熱赤外域の2つのチャンネル（ $11\mu\text{m}$ 帯と $12\mu\text{m}$ 帯）の差画像によって、気象衛星NOAA/AVHRR画像のみならずGMS-5/VISSR画像でも黄砂エアロゾルの検出が効果的に行われることが判明した。

- ② 黄砂が、低気圧によって煽られ日本海を経て太平洋沖まで移流・拡散してゆく様相が2つの異なる気象衛星によって確認できた。これは気象モデルに基づく数値シミュレーション結果と概ね一致し、さらにTOMS画像とも一致する部分が多かった。

謝辞 NOAA画像を提供して頂いた鹿児島大学大学院連合農学研究科衛星画像受信・運用委員会、貴重な御助言、御指導を頂いた鹿児島大学教育学部の木下紀正教授、同じく鹿児島大学機械工学科の矢野利明教授、飯野直子氏、九州大学応用力学研究所鶴野伊津志教授ならびに鹿児島大学教育学部大学院生岩崎亮治君、小山田恵さんに深く感謝致します。

参考文献

- [1] 増水紀勝・木下紀正・飯野直子・矢野利明・岩崎亮治・鶴野伊津志, NOAA データによる1999年1月黄砂の移流拡散の解析, 日本リモートセンシング学会第27回学術講演会論文集, pp.3131, 1999.2
- [2] 木下紀正・西之園雅靖・矢野利明・飯野直子・鶴野伊津志, NOAA/AVHRR データによる黄砂の検出と解析, 日本リモートセンシング学会第26回学術講演会論文集, pp.253-257, 1999.
- [3] 西之園雅靖・木下紀正・鶴野伊津志・天野宏欣・矢野利明・飯野直子, NOAA 衛星データを用いた黄砂の移流拡散の検討, 鹿児島リモートセンシング研究会講演論文集, pp.1-6, 1999.
- [4] 西之園雅靖, 衛星データを利用した大気中の浮遊粒子状物質の検出, 理工学研究科修士論文, 1999.2
- [5] 甲斐憲次・徳野正己, 衛星画像による黄砂, エアロゾル研究, 12(1),6-12, 1997.
- [6] 岩崎亮治・木下紀正, NOAA 衛星データによる黄砂検出法の最適化, 日本リモートセンシング学会九州支部研究発表会, 1999.
- [7] 鶴野伊津志, 天野宏欣, 木下紀正, 西之園雅靖, 気象モデル RAMS と結合した物質輸送モデルによる黄砂の輸送解析, 日本気象学会 1999年度春季大会予稿集, 1999.
- [8] 飯野直子, 岩崎亮治, 木下紀正, 増水紀勝, 矢野利明, 気象 NOAA による1997年4月黄砂の検出と時系列拡散解析, 日本気象学会九州支部, 平成11年度日本気象学会九州支部講演会講演要旨集第21号, pp.1-2, 2000.
- [9] 名古屋大学水圏科学研究所編, 大気水圏の科学黄砂, 古今書院, 1991.