

# 気象衛星ひまわりとノアによる 2001 年黄砂の解析

増水紀勝<sup>1</sup>・福田貴広<sup>1</sup>・林省吾<sup>1</sup>・岩崎亮治<sup>2</sup>・小山田恵<sup>2</sup>・木下紀正<sup>2</sup>・矢野利明<sup>3</sup>・飯野直子<sup>3</sup>

(1 第一工大、2 鹿児島大・教育、3 鹿児島大・工)

## 黄砂の移流・拡散研究の意義

毎年春季になると中国大陸内陸の砂漠地帯で発生し、低気圧や寒冷前線と共に日本に飛来する黄砂は、規模が大きいものになると、北太平洋諸島や北米大陸でも観測されることもある。これらの黄砂は東アジアから北太平洋にかけての大気流動を研究する上で重要である。そして、この研究の成果は、工業化が進む中国や韓国からの越境大気汚染の問題を考える場合に状況証拠の一つとなることを意味する。

また、黄砂が移流・拡散して海水中に降下した場合、その中にあるリンやケイ酸を栄養分として海洋中の生態系に影響を与えるという指摘もある。

## 使用したデータと解析方法

気象衛星による黄砂の検出方法は、ひまわり 5 号 (GMS-5) については熱赤外領域の ir1 (10.5~11.5  $\mu\text{m}$ ) と ir2 (11.5~12.5  $\mu\text{m}$ ) の差画像を用い<sup>1)</sup>、ノア (NOAA) においては同じく AVHRR-4 (10.3~11.3  $\mu\text{m}$ ) と AVHRR-5 (11.5~12.5  $\mu\text{m}$ ) の差画像を用いた<sup>2)</sup>。

黄砂検出で用いる差画像は、熱赤外領域の 2 つのバンドで観測される波長での輝度温度差が水蒸気量とエアロゾル量の目安となる<sup>2)</sup>ことに注目し、その値を AVI (Aerosol Vapor Index) と定義し、以下に示す式で求めた。

$$\text{AVI} = \text{ir2} - \text{ir1} + 100 \text{ for GMS-5, } \text{AVI} = \text{AVHRR5} - \text{AVHRR4} + 200 \text{ for NOAA}$$

AVI の表現調整範囲はノアについては 170-210 を基本とし、ひまわりについては 95-105 で統一した。これは、熱赤外波長帯 2 バンドの輝度温度差でいえばノアで -3K ~ +1K、ひまわりで -2.5K ~ +2.5K に相当する。そして、表現調整後の画像について以下の黄砂判定方法<sup>1)</sup>を用いて明度の変化域が「黄砂域」であるかどうかを判定した。

- 表現調整後の白色域は「濃い黄砂域」の候補とみなし、その領域では黄砂が存在する可能性があるとみなした。
- 大陸における白色域においては鷓野氏 (九大応力研) による RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) に組み込んだ黄砂輸送モデルによるシミュレーション結果 (CFORS: Chemical weather Forecasting System)<sup>3)</sup>、その他の方法による観測結果、他の時間の画像との比較、白色域の時間的逆追跡などを用いて判定した。
- 海上や砂漠の影響がないと考えられる地域での明度の変化域については、その変化は黄砂の影響によるものとみなした。
- 砂漠の影響が考えられる地域での明度の変化域については、CFORS シミュレーション結果、その他の方法による観測結果などを用いて判定した。

## 2001 年の黄砂について

この年は熊本地方気象台で 1 月 2 日に黄砂の初飛来を観測したあと、3 月以後 5 月中旬までの間に 19 日間黄砂の飛来 (シーズン通算で 20 日間) が観測された。また、1 月 2 日の初飛来はこれまでの観測記録 (1 月 5 日) を塗り替える記録となった<sup>4)</sup>。

また、4月3日からの黄砂イベントは、中国大陸で発生した黄砂が北米大陸の太平洋沿岸だけでなく、五大湖周辺や大西洋沿岸でも観測されたという報告があるほど、これまでの黄砂イベントに比べて規模がかなり大きなものになった。

ここでは、2月26日から5月6日の期間について解析を行い、その中で中国大陸において発生した顕著な黄砂現象を、次のように分類してまとめた。

Case 1 3月2日から3月9日

Case 2 3月17日から3月27日

Case 3 4月3日から4月20日

Case 4 4月20日から5月6日

また、ひまわりやノアのデータから得られた差画像と共に、CFORS シミュレーション結果<sup>3)</sup>を付してその様相の解明を行った。ここで用いるシミュレーションの結果は、地表から高度1000mまでのダストの平均濃度(単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )である。

#### Case 1 (3.02 - 09)

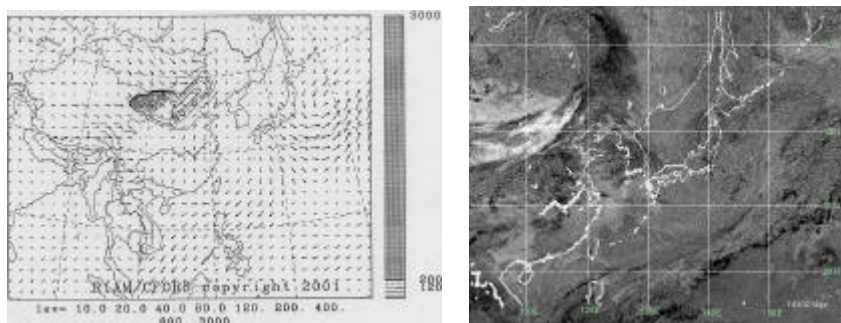
このイベントでは3月2日に華北で砂塵が出現しているという報告があるが、ひまわりの13時(図1)や18時の画像では低気圧と前線と見られる雲の後に広範囲にわたって白色域や明度の変化域が確認できた。この報告と照らし合わせればこれはすべて黄砂によるものと考えられる。この領域が雲の中国東北区からロシア沿海州、日本海への移流に伴って華北から黄海・長江流域へ、そして4日に日本へと移流したと思われる。

図1

3月2日

左：CFORS 結果/12時

右：GMS-5/13時



4日には東京や長崎で黄砂の影響によると思われる観測結果が得られている。しかし、ひまわり画像からは東シナ海の明度の変化域は確認できても日本付近は雲に覆われているために変化を確認することが出来なかった。この日、黄砂が来ているとすれば「雲の下黄砂」状態ではないかと思われる。この日、最初のイベントとは別の砂塵嵐が中国内陸奥地で発生したという報告がある。それをもたらしたと思われる雲もひまわり画像の東端に確認することが出来た。

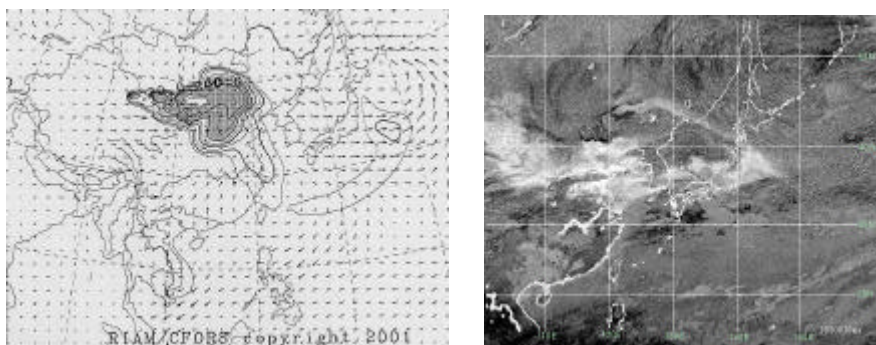
5日は4日の砂塵嵐によってもたらされた黄砂によると思われる白色域が13時の画像で華北一帯を広範囲に覆っている様子が確認できた(図2)。また、13時や15時の画像では黄砂によると思われる明

図2

3月5日

左：CFORS 結果/12時

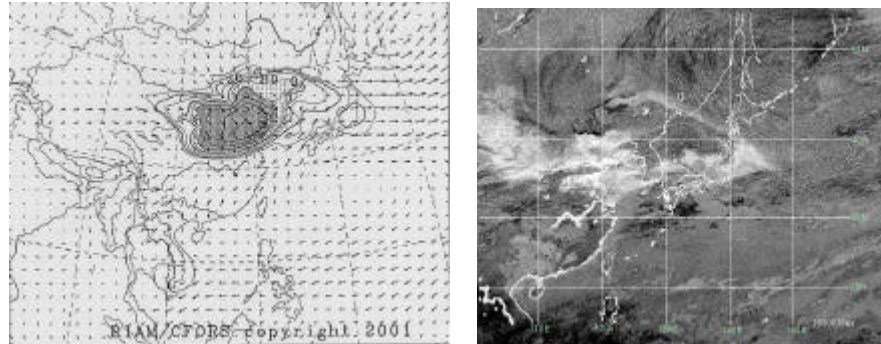
右：GMS-5/13時



度の変化域の一部が朝鮮半島にかかっているが、ひまわりの 15 時画像に近い時間に観測されたノア画像<sup>5)</sup>では黄砂が朝鮮半島にかかっている様子がはっきりと捉えられている。これは、表現調整範囲の違いによるものと考えられる。

6日(図3)になると、この白色域ならびに明度の変化域の先端がブーメラン型になりながら日本周辺に移流している様子がひまわり画像でもノア画像でも捉えることができた。これらのことは、シミュレーションの結果とも大体一致した。

図3  
3月6日  
左：CFORS 結果/ 12時  
右：GMS-5/ 13時

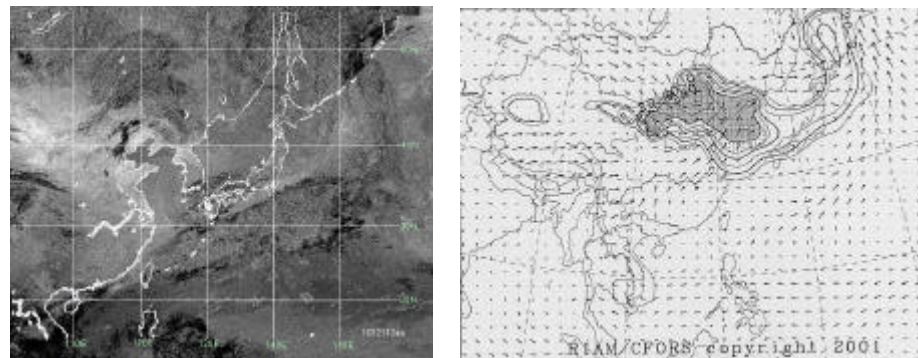


7日以後は日本周辺が雲に覆われたために黄砂を確認することは衛星画像からは難しくなった。

#### Case 2 (3.18 - 28)

このイベントでは 18 日から 19 日にかけて長崎で「上空が黄砂」状態であったという報告や 19 日に北京が弱い黄砂状態に入ったという報告がある。その日(19日)のひまわり画像では、中国大陸から東シナ海・日本付近の広い範囲にわたって明度の変化域を確認することが出来た。また、21 日午後には北京が「強い黄砂状態」になったという報告があるが 12 時のひまわり画像(図4)では明度の変化域が華北にあることを確認できた。これらの変化は報告と照らし合わせると、黄砂によるものと思われる。

図4  
3月21日 12時  
左：GMS-5  
右：CFORS 結果



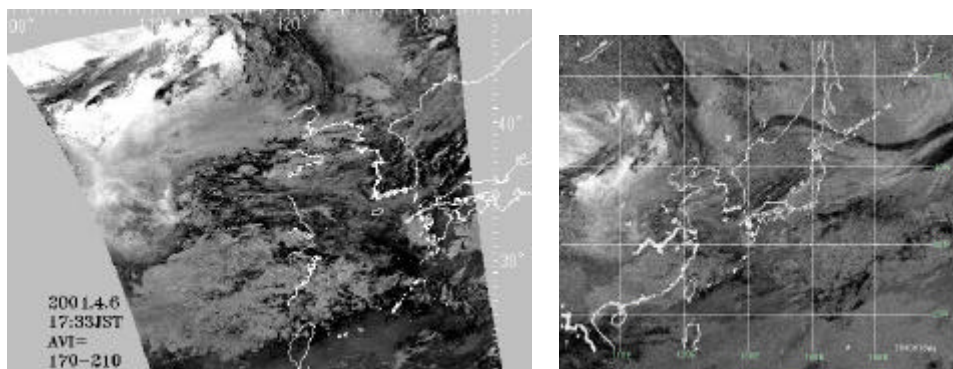
#### Case 3 (4.02 - 20)

このイベントでは、4月4日にタクラマカン砂漠でもすごい砂塵嵐(最大風速 25m 以上、最大視程 3m)が発生したという報告があるが、今回使用したひまわり画像の解析範囲外であるため発生状況を検出することは出来なかった。その後、この砂塵をもたらしと思われる雲が5日夕方から6日早朝に解析範囲内に入った。

6日夕方(図5)になると雲は少しずつ渦を巻きながらバイカル湖周辺から中国東北区へと移流し、白色域が渦の隙間に確認することが出来た。この日の夕方以後、大慶(ターチン/中国・黒龍江省)で観測していた PM<sub>10</sub> が上昇し、23 時には 0.60mg/m<sup>3</sup> に達したという報告がある。

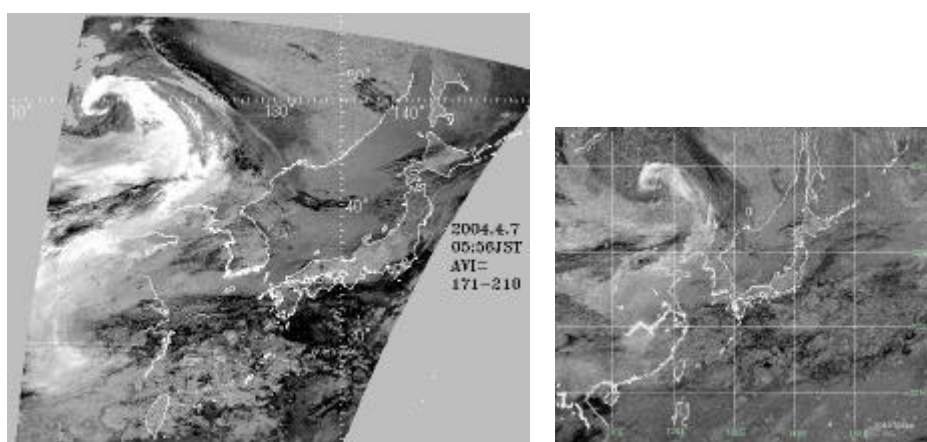


図5  
4月6日  
左：NOAA/17:33  
右：GMS-5/18時



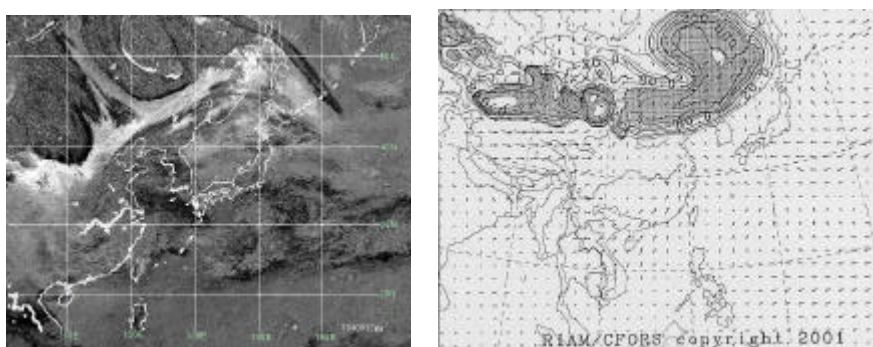
7日(図6)になると雲の渦ははっきりとした形となり、黄砂による白色域が中国東北区から華北にかけての広範囲でどちらの衛星画像でも確認することが出来た。この日の午後、中国内陸部の寧夏回族自治区、新疆ウイグル自治区南部、甘肅省などで最大風速が25m/sを超える強砂塵嵐が発生したという報告がある。

図6  
4月7日  
左：NOAA/5:56  
右：GMS-5/6時



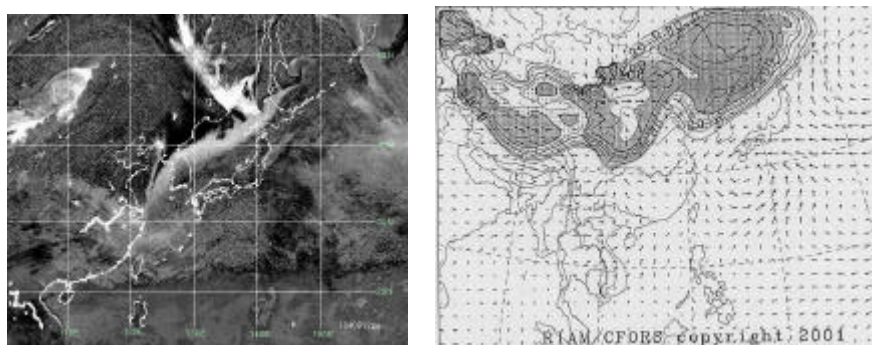
8日(図7)になると雲の渦は少しずつ形が崩れてきて、7日のひまわり画像で確認できた中心部分の空白域がかなり狭くなってきた。それと同時に、白色域がロシア沿海州から日本海に広がり、一部は北海道にもかかった。また、この雲の後にまた、別の砂塵嵐イベント(7日午後中国内陸奥地で発生したイベント)をもたらしたと思われる雲の一部を確認することが出来た。

図7  
4月8日12時  
左：GMS-5  
右：CFORS結果



9日(図8)になると沿海州北部の雲の渦はひまわり画像の上ではただの団子雲となり、黄砂による白色域は後続の大きな雲の塊と挟まれる形でブーメラン状に確認することが出来た。また、雲の前面のオホーツク海や千島列島付近に周辺よりも明度の変化が大きい領域があることも確認できた。後続の大きな雲の塊に囲まれた領域にも黄砂による白色域を確認できた(図8)。

図 8  
4月9日 12時  
左：GMS-5  
右：CFORS 結果



10日、この日は札幌と稚内の地方气象台で黄砂の飛来を観測した日（札幌での黄砂観測は18年ぶり）であるが、北海道への黄砂の飛来はひまわり画像では前日（9日）の午後に始まっていたと推測される。9日21時のひまわり画像を図9-aに示す。そして、1日かけて黄砂による白色域の塊は北海道を横断し、午後にはオホーツク海から北太平洋に抜けたと思われる。12時のひまわり画像とCFORSシミュレーションの結果を図9-bに示す。一方、7日に発生したと思われる黄砂による白色域はこの日の午後に華北から中国東北部にかけての広い範囲を覆った。そして、21時のひまわり画像（図9-c）には沿海州に達した。

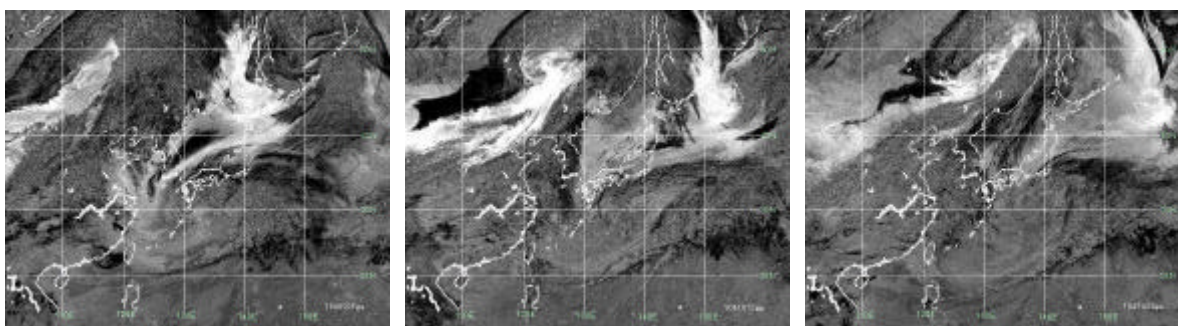
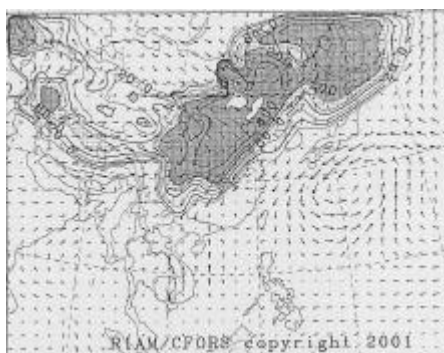


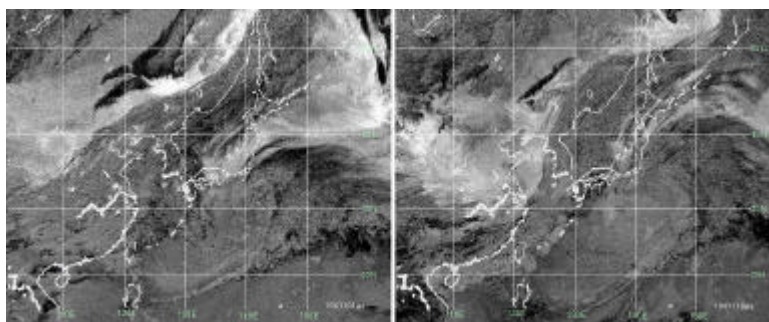
図 9  
GMS-5  
左：4月9日 21時 (a)  
中：10日 12時 (b)  
右：10日 21時 (c)



下  
b に対応する CFORS 結果

11日の早朝（図10-a）に4日に発生した黄砂イベントによる白色域ならびに明度の変化域はオホーツク海から北太平洋のほうへと移流し、画像上では確認することが出来なくなった。また、7日に発生した黄砂イベントによる白色域ならびに明度の変化域も本体はロシア沿海州からサハリン北部を通過して、オホーツク海へと移流し、一部は長江流域から東シナ海へと移流した（図10-b）。

図 10  
4月11日 GMS-5  
左：1時 (a)  
右：18時 (b)





その後、北太平洋へ移流した黄砂は、15日にはソルトレークシティで確認され、19日には五大湖付近を撮影した SeaWiFS 画像にそれらしきイメージがあったことが報告された。そして、20日には北大西洋カナダ沖に黄砂ダストが到達したと報告された。

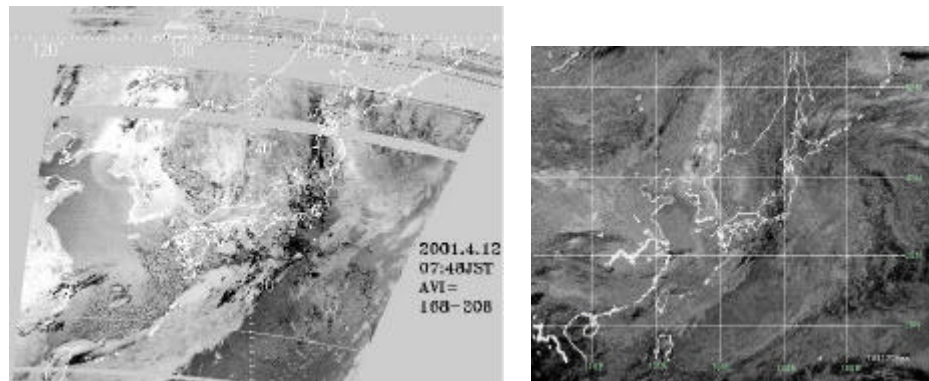
Case 3の中で西日本などに黄砂が飛来したイベントについては、7日に発生したと黄砂イベントから分離した黄砂が長江流域から東シナ海を通過して日本に12日に到達した(図11)と思われる。その後、この黄砂は拡散しながら日本全体を覆い、その後発生した黄砂と合流しつつ、熊本地方気象台の観測結果<sup>4)</sup>や報告などから「雲の下黄砂」状態と思われる期間を含めて19日まで影響しつづけたものと思われる。

図11

4月12日

左：NOAA/7:48

右：GMS-5/9時



これらの内容については、CFORS シミュレーションの結果とほぼ一致した。

#### Case 4 (4.20 – 5.06)

この期間の黄砂イベントとしては4月21日に発生したと思われるイベント(図12-a)、4月29日に発生したと思われるイベント(図12-b)、5月3日に発生したと思われるイベント(図13-a, b)があり、この中で、5月3日に発生したと思われる黄砂イベントについては渦巻状の雲の隙間に黄砂による白色域を確認することが出来た(図12-d)、また、それぞれのイベントについて移流拡散の様相を見ておくことが出来た。

図12-a, b

Case 4-4月/GMS-5

左：21日18時(a)

右：29日24時(b)

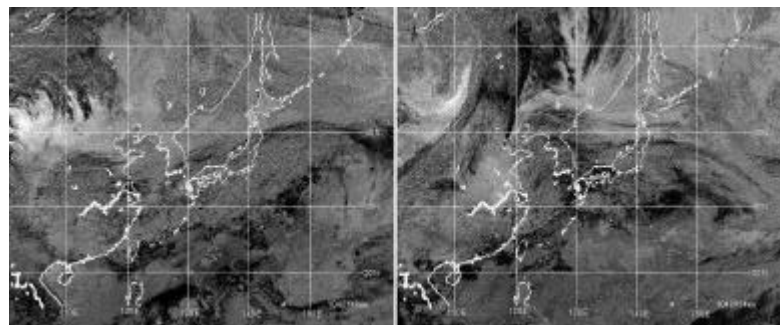
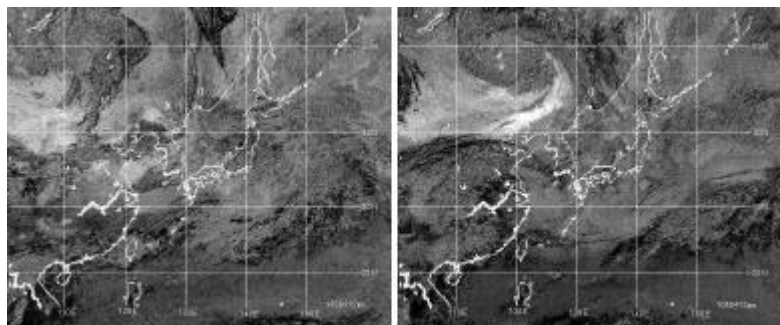


図13-a, b

Case 4-5月/GMS-5

左：3日12時(a)

右：4日12時(b)



## まとめ

気象衛星ひまわりとノアの熱赤外領域における2つのチャンネルの差画像による検出方法に加えて、CFORSシミュレーション結果<sup>3)</sup>を活用することにより黄砂検出の有為性をより確かめることが出来た。

今回の2001年春季の黄砂イベントについても、これまでの解析と同様<sup>1), 2)</sup>にAVI画像を用いて移流ならびに拡散の様相、時系列的变化を一層明確にすることが出来た。また、ここで得られた結果については、RAMS気象モデルに基づくシミュレーション結果に概ね一致することも判明した。この研究と平行して、気象衛星ひまわりとノアのデータ比較<sup>6)</sup>、AVI値と地上で観測されるSPMの関係<sup>7)</sup>についても研究した。

1月2日を中心としたイベントを含めた、すべての2001年春季の黄砂イベントについての解析結果をまとめたホームページ「Asian dust analysis in spring 2001」のアドレスは以下のとおりである。

<http://arist.edu.kagoshima-u.ac.jp/kosa2001/kosa2001.html>

また、黄砂解析鹿児島グループではこれまでに発表した学会講演予稿などを論文資料集<sup>2)</sup>にまとめ、昨年9月に発行した。

## 謝辞

この論文は第2回東アジア域の地域気象と物質輸送モデリングの総合化に関する研究会 - TRACE-P & ACE-Asia 期間のモデル・観測・衛星データを眺める会 - (2001.6.29-30)における議論とAsian Dust Networkの情報 を参考にさせていただきました。

また、この論文で用いたノアデータを提供していただいた鹿児島大学大学院連合農学研究科と衛星受信・解析システム管理委員会の関係各位、シミュレーション結果を提供していただいた九州大学応用力学研究所の鶴野伊津志先生、いっしょに議論をしていただいた鹿児島大学水産学部の菊川浩行先生にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 岩崎亮治・増水紀勝・小山田恵・木下紀正・鶴野伊津志・吉井啓貴・矢野利明・飯野直子、GMS-5/VISSRによる2000年春季黄砂の解析、日本リモートセンシング学会第30回学術講演会論文集、pp.73-76、2001
- 2) 黄砂解析鹿児島グループ、黄砂の衛星画像解析、鹿児島大学教育学部、2001
- 3) 鶴野伊津志・他、準備中
- 4) 熊本県気象月報2001年1月～6月、熊本地方気象台、2001
- 5) 増水紀勝・岩崎亮治・小山田恵・木下紀正・鶴野伊津志・佐竹晋輔・矢野利明・飯野直子、GMS-5/VISSRとNOAA/AVHRRによる2001年春季黄砂の解析、日本リモートセンシング学会第31回学術講演会論文集、pp.71-74、2001
- 6) 岩崎亮治、NOAA/AVHRRとGMS-5/VISSRのデータ比較、日本リモートセンシング学会第31回学術講演会論文集、pp.281-284、2001
- 7) 小山田恵、黄砂エアロゾルと三宅島噴煙の気象衛星データによる研究、鹿児島大学大学院教育学研究科修士論文、2001