

2010 年春季と秋季の黄砂現象

飯野直子*¹・後藤将太*^{1#}・中村恭浩*^{1#}・金柿主税*²

Asian Dust Events in the Spring and Autumn of 2010

Naoko IINO *¹, Shota GOTO *^{1#}, Yasuhiro NAKAMURA *^{1#} and Chikara KANAGAKI *²

(Received October 1, 2012)

The advection and dispersion of Asian dust events from China to the Pacific Ocean around Japan in 2010 were investigated using the Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) data. Aerosol Vapour Index images, taking the brightness temperature difference between 11 μm and 12 μm , were very effective for monitoring the Asian dust phenomenon in the East Asia region, with their capacity for detection during the day or night. The results were compared with suspended particulate matter concentrations measured at surface stations in Kyushu and with ground-based observations of sky in Kumamoto and Kagoshima. When a dense dust band was crossing over Japan, the rapid increase of SPM concentrations was observed at stations located in the dust path. The observed increase of SPM concentrations corresponded to the distribution of Asian dust shown in AVI images, the visibilities recorded by the Janan Meteorological Agency and the atmospheric turbidity shown in the ground-observation images.

Key words : MTSAT, Brightness temperature difference image, Suspended Particulate Matter, Visibility,
Ground-based time-lapse image

1. はじめに

東アジアでは2000年から2002年に激しい黄砂現象がしばしば観測された。それまでほとんど黄砂が観測されなかった北海道でも黄砂の飛来が頻繁に観測されたり、福岡空港で視程障害のために欠航する便が出たりした。このころ、東アジア域における風送ダストの発生や黄砂飛来様態の観測、予報、シミュレーション解析や気候への影響予測などの国際的なプロジェクト研究が大変盛んに行われ、それらの成果が論文や書籍にまとめられている(例えば, [1, 2])。2008年4月からは環境省と気象庁が共同で設置した「黄砂情報提供ホームページ[3]」において黄砂に関する観測情報や予報などが提供されている。また、平成24年度用中学校理科教科書の中で、黄砂現象が環境や暮らしに関わる話題として取り上げられるほど身近な現象として認識されるようになってきた。黄砂は春の風物詩という印象から、地球環境や社会生活に関わりをもつ現象であるとの理解へ変わってきている。

新学習指導要領理科では、実感を伴った理解や科学的な知識や概念を活用したり実生活や実社会と関連付けたりしながら科学的な見方や考え方を育成することなどが重視されている。気象学習を活用して取り組む理科学習や環境学習の題材として、越境大気汚染のひとつでもある黄砂現象を教材化することは意義のあることと思われる。

著者らは、1997年の黄砂イベントから気象衛星の熱赤外差画像による黄砂検出を行ってきた。この方法は夜間の黄砂検出も可能であるため、黄砂の発生や移流の様態を時系列画像で非常によく捉えることができる。特に静止気象衛星による画像は固定視野で時間分解能が30分~1時間と高いため大変有用である。2000年から2002年に観測された黄砂イベントの解析結果から、黄砂は三つのタイプに大別できることがわかり、気象用語を用いてこれらを‘dry slot’, ‘high pressure wedge’, ‘traveling high’ と名付けた。このなかで地表面付近の大気環境への影響が最も顕著なのは、発達した低気圧の中心に向かって黄砂

*1 熊本大学教育学部理科教育 # 平成22年度卒業

*2 熊本支援学校/鹿児島大学教育学部附属教育実践センター

が吹き込む 'dry slot' の場合であった[4]. このタイプの黄砂イベントは, 中学校理科の「前線の通過と天気の変化」の発展的な学習題材として教材化するのに適していると考えられる.

気象庁による 1967 年から 2011 年までの統計資料[5]によると, 2010 年の黄砂観測日数は 41 日であった. 2002 年の 47 日, 2000 年と 2001 年の 44 日に次いで黄砂が頻繁に飛来していた. また, 2005 年以来, 5 年ぶりに 11 月にも黄砂が日本各地で観測されていた. ここでは, 黄砂現象の教材化のための基礎研究として, 'dry slot' タイプの顕著な黄砂現象が春季と秋季に日本各地で観測された 2010 年 3 月と 11 月の黄砂イベントについて, 衛星データや大気環境データ, 気象データ, 地上映像観測画像を用いて解析した結果を報告する.

2. 使用データと解析方法

2. 1 MTSAT 熱赤外差画像

運輸多目的衛星 MTSAT の $11\ \mu\text{m}$ と $12\ \mu\text{m}$ の熱赤外差画像を作成して黄砂を可視化した. データは東京大学生産技術研究所の WebGMS [6]から取得した. 3 月の黄砂イベントについては, 2010 年 3 月 19 日 9 時 30 分から 21 日 9 時 30 分まで, 11 月の黄砂イベントについては, 2010 年 11 月 10 日 15 時 30 分から 12 日 15 時 30 分までの, それぞれ 6 時間毎のデータを使用した. ここでは, 輝度温度差 $-2.5\sim 2.5\ \text{K}$ の範囲で 8 ビットの白黒画像を作成した. 黄砂領域は AVI 値が高く, 白く表示される. MTSAT 解析領域を図 1 に示す.

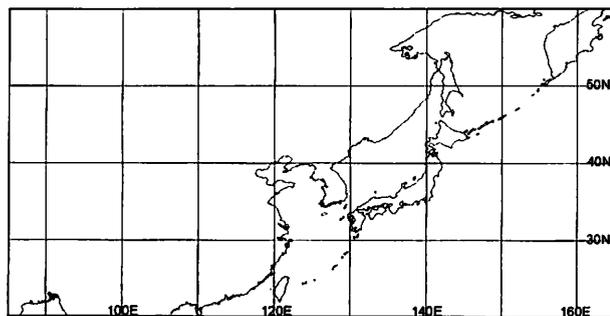


図1 MTSAT 解析領域

2. 2 地上映像観測

地上映像観測カメラの設置場所を図 2 に示す. 図中の地点名は, AS (阿蘇カメラ): 阿蘇火山博物館, KM (熊本地方気象台カメラ): 熊本市中央区京町, KU (熊本大学カメラ): 熊本市中央区黒髪, RE (苓北カメラ): 熊本県福岡ビジターセンター, AG (あさぎりカメラ): あさぎり町立岡原小学校, KN (錦江台カメラ): 鹿児島市錦江台を表す. 地点 AS と RE にはネットワークカメラ (Panasonic BB-HCM515 と 715) を設置して 10 分毎

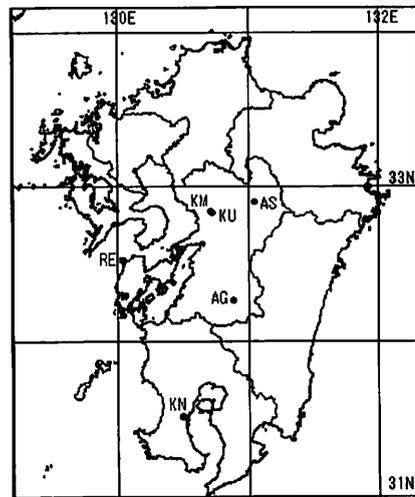


図2 地上映像観測地点

の画像を保存している. 撮影方向は, AS が東, RE が南東である. 地点 KM には全天候型デジタルカメラ (Brinno GardenWachCam) を露場に設置して東の空を 1 時間毎に撮影している. 地点 KU にはデジタルカメラ (Ricoh R8) を設置して南の空を 30 分毎に撮影している. 地点 AG と KN には Windows 搭載のパソコンに 130 万画素 CMOS センサ搭載の USB カメラ (Logicool QVX-13N) を接続し, 定点観測用ソフトウェア ListCam [7]を使用して, 日中 10 秒毎に撮影している. 撮影方向は AG が南, KN が北東である. なお, 地点 AG は 2012 年よりネットワークカメラ (Panasonic BB-HCM715) による観測に変更した.

2. 3 浮遊粒子状物質濃度

浮遊粒子状物質 (SPM) とは浮遊粉塵のうち, $10\ \mu\text{m}$ 以下の粒子状物質である. SPM の環境基準は, 「1 時間値の 1 日平均値が $0.10\ \text{mg}/\text{m}^3$ 以下であり, かつ, 1 時間値が $0.2\ \text{mg}/\text{m}^3$ 以下であること」である. 黄砂飛来時には広範囲にわたって SPM 濃度の上昇が観測されることが知られている.

九州各地の SPM 濃度の経時変化を面的に捉える情報として, 環境省の大気汚染物質広域監視システム[8]から 2010 年 3 月 20 日 18 時から 21 日 18 時までと 2010 年 11 月 12 日 03 時から 15 日 15 時までの九州地方の SPM 測定時報値地図をダウンロードして使用した. 加えて, 熊本県の天草芦北地方・熊本地方・阿蘇地方・球磨地方と鹿児島県の鹿児島地方における SPM 濃度の経時変化を詳しく調べるために, 苓北志岐局・京町局・人吉保健所局・谷山支局における SPM 濃度 1 時間値を使用した. SPM 濃度と大気混濁度や視程との関係を調べるために, 地上映像観測地点および気象観測所にできるだけ近い局を選定した. 各地方の気象観測所および大気環境測定局の位置を表 1 に示す. 地上映像観測カメラと大気環境測定局の間の距離は, 熊本地方は 500 m 程度, 天草芦北地方と鹿

児島地方は3 km 程度である。球磨地方については、約17 km 離れている。

表1 気象観測所およびSPM測定局の位置情報

地方名	SPM	天気・視程等
天草・芦北	苓北志岐局 北緯: 32度30.8分 東経: 130度03.1分	長崎海洋気象台 北緯: 32度44.0分 東経: 129度52.1分
熊本	京町局 北緯: 32度49.0分 東経: 130度42.3分	熊本地方気象台 北緯: 32度48.8分 東経: 130度42.4分
阿蘇	阿蘇保健所局では SPMは測定されていない	阿蘇山特別地域気象観測所 北緯: 32度52.8分 東経: 131度4.4分
球磨	人吉保健所局 北緯: 32度12.4分 東経: 130度45.8分	人吉特別地域気象観測所 北緯: 32度13.1分 東経: 130度45.3分
鹿児島	谷山支所局 北緯: 31度31.3分 東経: 130度31.1分	鹿児島地方気象台 北緯: 31度33.3分 東経: 130度32.9分

2. 4 気象情報

気象情報は気象庁のホームページ[9]で調べた。表1の「天気・視程」の欄に示す気象観測所における天気、視程、記事情報を気象統計情報のなかの過去の気象データの1時間毎の値のページで調べた。防災気象情報のページから3時、6時、9時、12時、15時、18時、21時の1日7枚提供されている実況天気図をダウンロードして使用した。

2. 5 後方流跡線

2010年11月12, 13, 14, 15日のそれぞれ15時に熊本地方気象台の上空500 mに位置した気塊の移流経路を調べるために、上述した各日時を終了(到達)時刻として、2010年11月10日15時までの48, 72, 96, 120時間後方流跡線を計算した。計算には米国海洋大気局(NOAA)のHYSPLIT Trajectory Modelを使用した[10]。気象データはReanalysisデータを使用した。

3. 2010年の黄砂現象

3. 1 春季のイベント

2010年3月19日9時30分から21日9時30分までの6時間ごとのMTSAT熱赤外差画像を図3に示す。白く映っている部分が黄砂領域である。同時刻の天気図を図4に示す。黄砂を発生・輸送した低気圧の中心付近に網掛けをして示した。

3月19日9時30分の熱赤外差画像に示されている中国内陸部の東経90°~105°北緯45°付近ゴビ砂漠の北側の黄砂は低気圧の移動に伴って東に輸送された。3月20日9時30分には東経105°~120°北緯30°~40°陝西省西安付近、黄土高原の北側で新たに発生した黄砂気塊が合流し、黄砂気塊は大きくなった。低気圧が寒冷前線を発達させるに従い、黄砂気塊は寒冷前線の後部に連なる形で細長く姿を変えていた。3月20日21時30分に

は日本付近まで到達し、その後、青森県以南の日本列島を横断して太平洋上へと移流した。

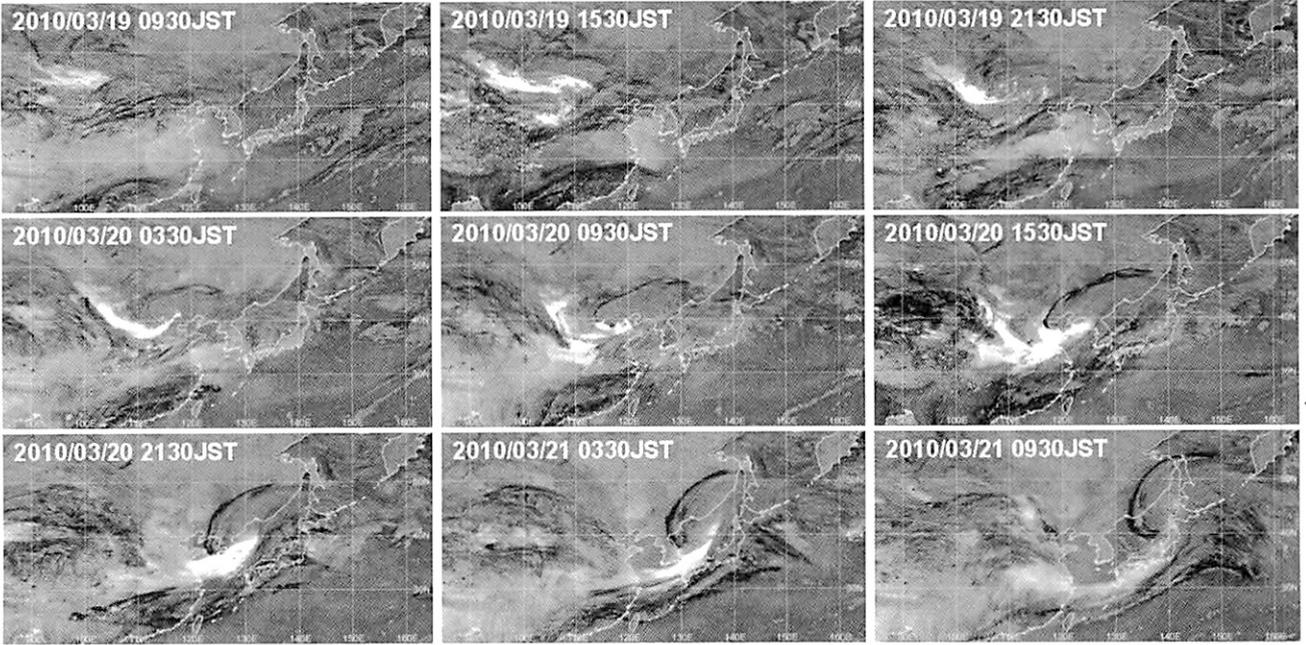
九州地方への黄砂飛来時のSPM濃度分布の時間変化を図5に示す。SPM濃度は3月20日22時に九州北西部から上昇しはじめ、21日0時には熊本市、2時には鹿児島市、3時には宮崎市の測定局も環境基準の0.2 mg/m³を超えるSPM濃度値を記録していた。同日7時からは九州北西部よりSPM濃度が下降しはじめ、12時には九州各地のSPM濃度が環境基準値以下になった。MTSAT熱赤外画像にみられる黄砂が九州を北西から南東へ横断する経時変化とSPM濃度上昇の経時変化はほぼ一致していた。

図5上段の2010年3月20日23時、3月21日01時、03時のSPM濃度測定時報値地図中に黄色のラインで環境基準を超えるSPM濃度を記録しはじめた測定局が東へ広がっていった様子を示す。天気図(図4)に示されている寒冷前線通過後に各地でSPM濃度が急上昇したことがわかる。これは寒冷前線の後ろでは地表面に向かって吹き降ろす風があり、黄砂粒子がその風によって地表面付近まで降下してきたためと考えられる。

一方、図5下段の2010年3月21日7時、9時、12時のSPM濃度測定時報値地図中に、環境基準値以下に濃度が低下した測定局の位置の目安を緑色のラインで示した。この時間帯の熊本地方・阿蘇地方・鹿児島地方における1時間毎の地上映像観測画像を図6に示す。前線通過後のSPM濃度値の低下と地上映像観測画像にみられる大気混濁度の低下はよく対応している。熊本地方気象台の観測によると、6時の天気は薄曇で視程が3.00 km、9時の天気は晴れで視程が5.00 km、12時の天気は快晴で視程が20.0 kmであった。阿蘇山特別地域気象観測所の自動観測によると、7時の天気は晴れで視程2.02 km、9時の天気は晴れで視程5.67 km、12時の天気は晴れで視程22.6 kmであった。鹿児島地方気象台の観測によると、6時の天気は快晴で視程が2.00 km、9時の天気は快晴で視程が1.8 km、12時の天気は快晴で視程が25.0 kmであった。各地域の気象観測所における視程の回復と地上映像観測画像に見られる大気混濁度の低下もよく対応している。また、熊本地方・阿蘇地方と鹿児島地方とでは、SPM濃度が低下しはじめる時刻に2時間程度差があったが、このことが映像観測画像に示される大気混濁度や視程の回復および空の部分の色調変化がみられる時間差によく表れている。

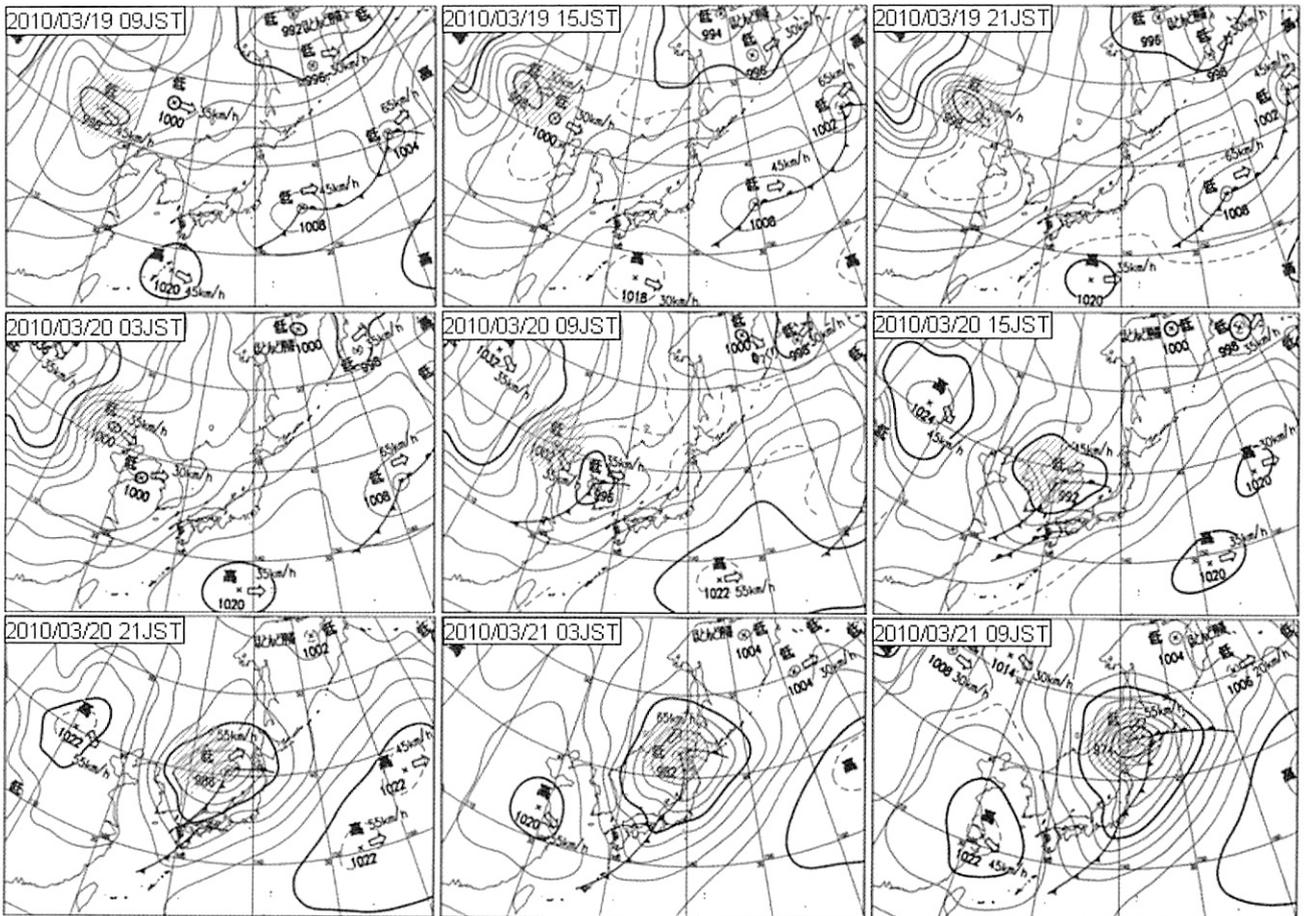
3. 2 秋季のイベント

気象庁の観測[5]によると、2010年11月には12日から15日までの4日間に山形から沖縄までの各地において、黄砂観測のべ日数110日の黄砂現象が観測された。同じく11月に黄砂が観測された2005年のイベントは7日から10日までの4日間で、黄砂観測範囲は岐阜から沖縄、黄砂観測のべ日数64日であったことから、2010年の秋季



図中の濃い白の領域が黄砂領域

図3 2010年3月19日09時30分から3月21日09時30分までの6時間毎のMTSAT熱赤外差画像。



網掛け：黄砂を発生・輸送した低気圧

図4 2010年3月19日09時から3月21日09時までの6時間毎の地上天気図。

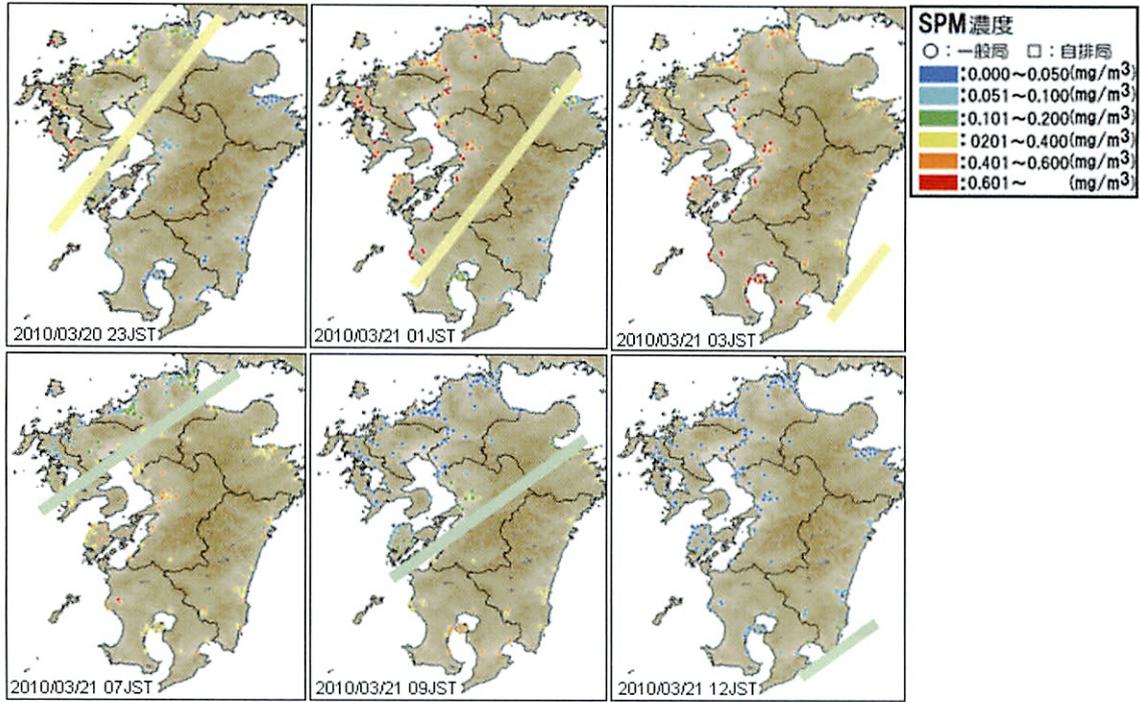


図5 2010年3月黄砂イベント時の九州地方のSPM濃度測定時報値地図。

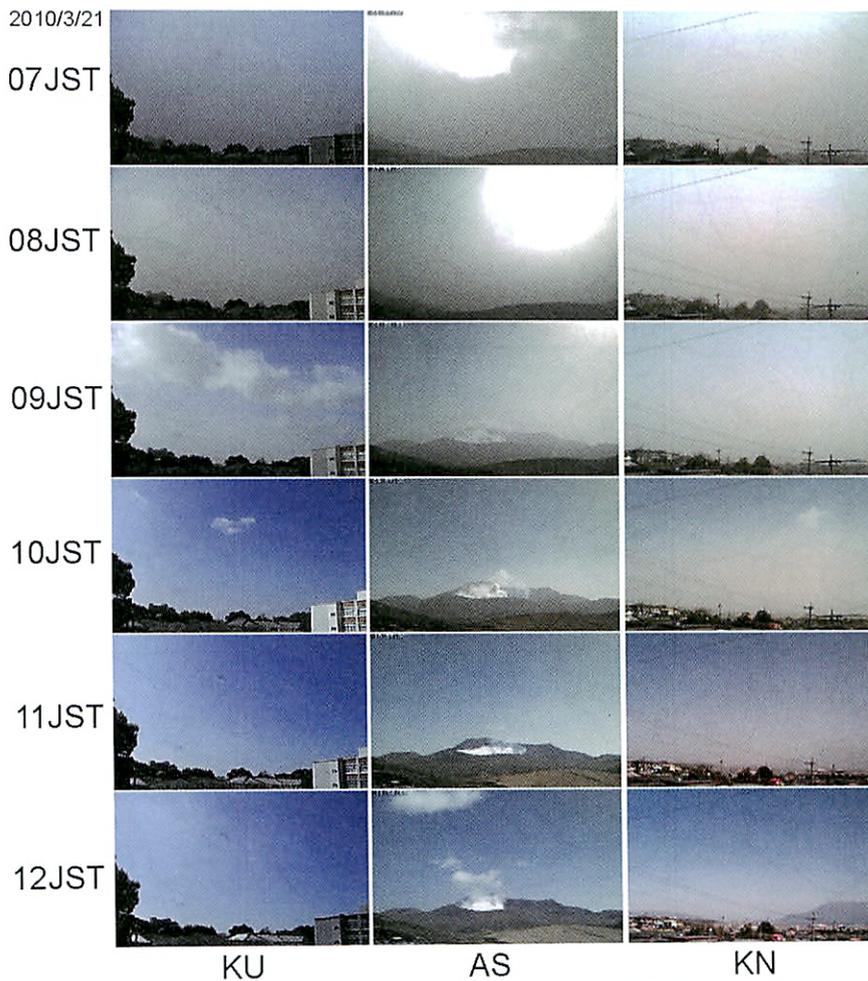
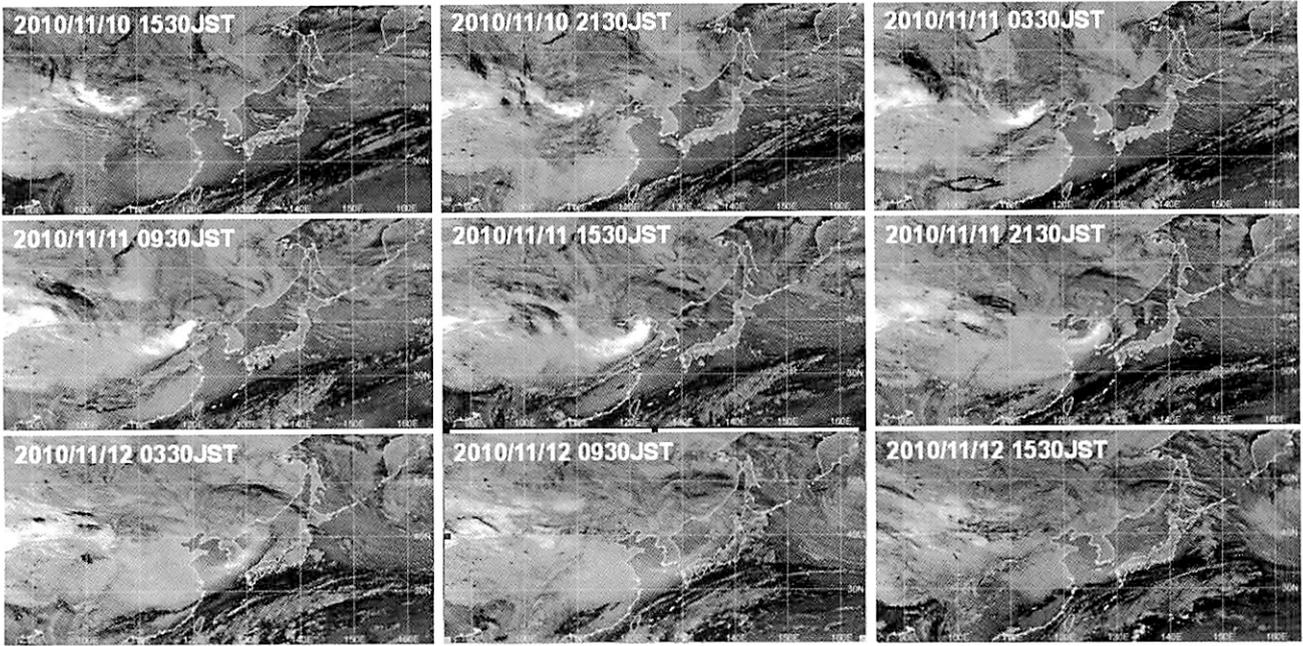
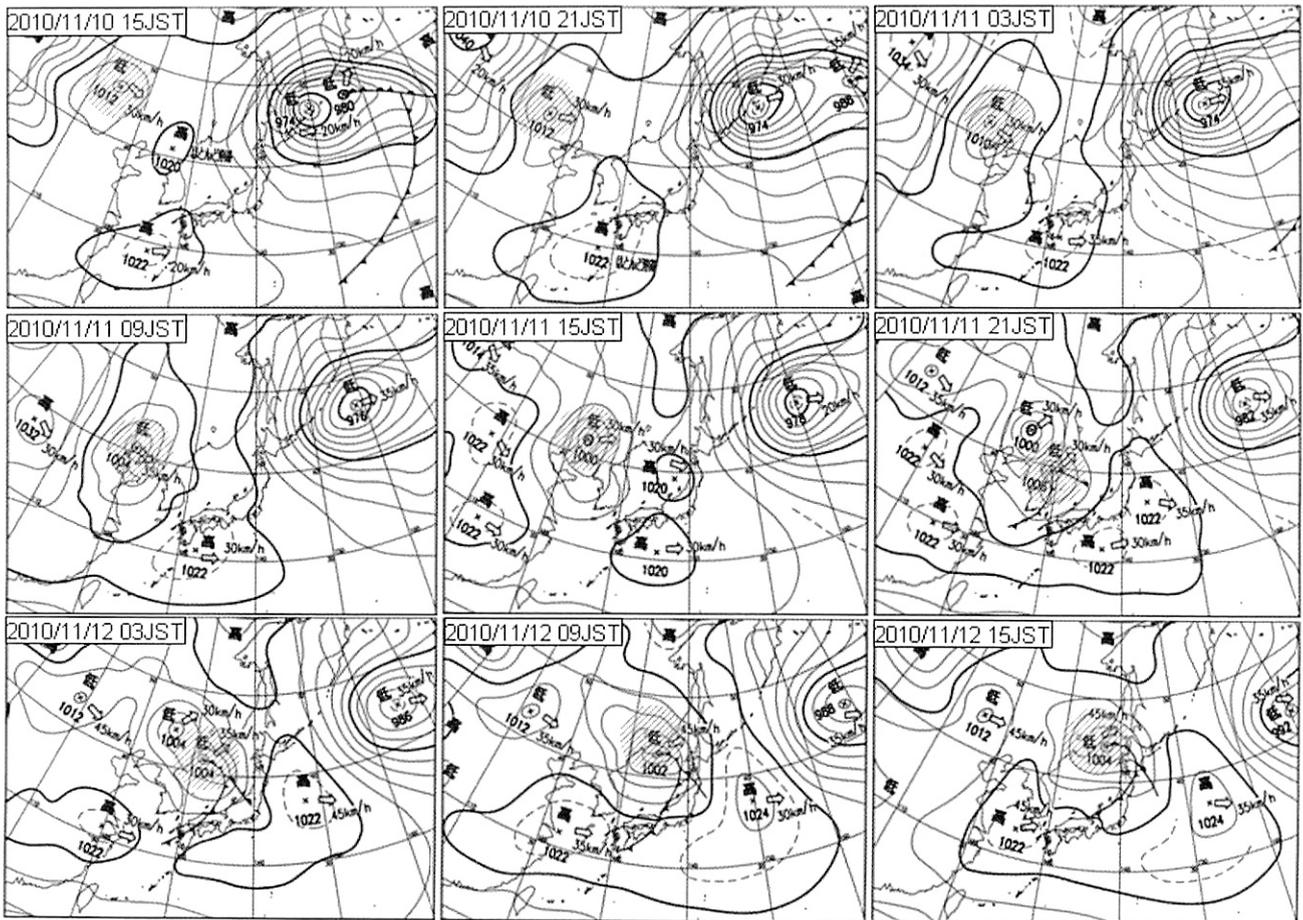


図6 2010年3月21日07時から12時の地上映像観測画像(1時間毎)。
 KU:熊本大学 AS:阿蘇火山博物館 KN:錦江台。



図中の濃い白の領域が黄砂領域

図7 2010年11月10日15時30分から11月12日15時30分までの6時間毎のMTSAT熱赤外差画像。



網掛け：黄砂を発生・輸送した低気圧

図8 2010年11月11日15時から11月12日15時までの6時間毎の地上天気図。

の黄砂イベントの方が規模が大きかったと考えられる。さらにそれ以前に11月に観測された黄砂イベントとしては、2002年の12日から14日に北海道から沖縄までで黄砂が観測された記録がある。このときの黄砂観測のべ日数は73日であった。2010年11月の黄砂イベントは2002年11月のイベントよりも観測範囲はせまいものの、黄砂観測日数および黄砂観測のべ日数が多いことから、最近10年間の11月の黄砂イベントとしては顕著なイベントであったと考えられる。なお、黄砂観測日数は国内のいずれかの黄砂観測地点で黄砂を観測した日にちであり、黄砂観測のべ日数は、黄砂を観測した地点数を合計した日数（例えば、1日に5地点で黄砂が観測された場合は5日としてカウントする）である。

2010年11月10日15時30分から12日15時30分までの6時間ごとのMTSAT熱赤外面像を図7に示す。白く映っている部分が黄砂領域である。同時刻の天気図を図8に示す。黄砂を発生・輸送した低気圧の中心付近に網掛けをして示した。戈壁砂漠で発生した黄砂が、先に述べた、3月の黄砂イベントと同様の経路を移流して日本付近まで飛来したことがわかる。ただし、11月の黄砂イベントでは、黄土高原付近において3月の黄砂イベント時のような大規模な黄砂が発生しなかったため、図7のMTSAT熱赤外面像の日本付近での黄砂領域は図3に比べて薄い白色で表示されている。

九州地方のSPM測定時報値地図によると、SPM濃度は11月12日の05時より九州北西部から上昇しはじめ、その後、長崎県や福岡県では環境基準の 0.2 mg/m^3 を超えるSPM濃度を記録していたが、 0.4 mg/m^3 を超えた局はほとんどなかった。熊本県内においては、ほとんどの測定局において環境基準を超えることはなかった。熊本県の南部に位置する球磨地方や鹿児島県、宮崎県においては、全体的にみて、さらに低いSPM濃度で推移していた。熊本地方・阿蘇地方・球磨地方・天草芦北地方・鹿児島地方における、2010年11月11日12時から15日12時までのSPM濃度1時間値の経時変化を図9に示す。3月の黄砂イベントと比べると、寒冷前線通過後のSPM濃度のピーク値は低い、人吉保健所局以外の各局において、黄砂飛来前よりも高い濃度が長時間継続していたことがわかる。

熊本地方気象台では2010年11月12日08時40分から15日14時00分まで黄砂現象が観測されていた。この期間中、京町局におけるSPM濃度が高い状態も継続していた(図9)。このときの大気状況を調べるために、11月12、13、14、15日のそれぞれ15時に熊本地方気象台の上空500mに位置した気塊の移流経路である後方流跡線(図10)を計算した。各流跡線上のシンボルは6時間毎の気塊の位置を示している。11月12日の後方流跡線は、図7のMTSAT熱赤外面像に示される濃い黄砂領域の移流

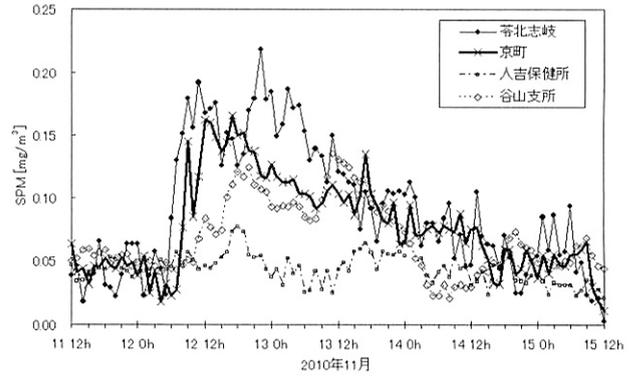


図9 2010年11月11日12時から15日12時までのSPM濃度1時間値の経時変化

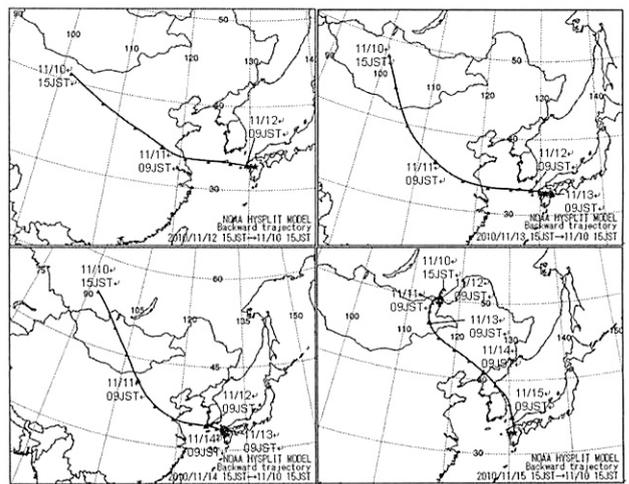


図10 熊本地方気象台上空500mの後方流跡線

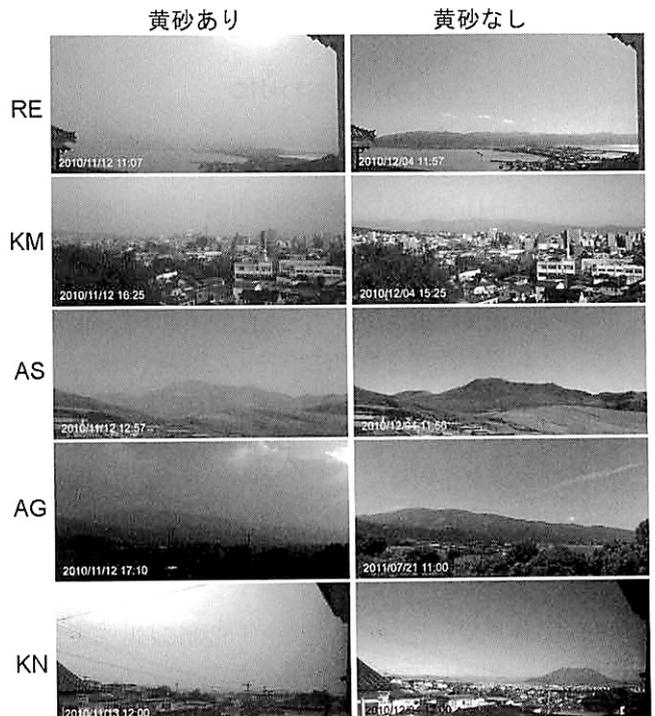


図11 地上映像観測画像の比較。左：黄砂あり 右：黄砂なし

表2 地上映像観測画像撮影時頃のSPM濃度
および天気・視程

	項目	黄砂あり	黄砂なし
天草・吉北 RE	SPM	11/12 11h: 0.192 mg/m ³ (田中島大)	
	天気・視程	11/12 12h: 晴れ, VIS 4.00 km	12/04 12h: 快晴, VIS 30.0 km
	映像	11/12 11.07	12/04 11.57
熊本 KM	SPM	11/12 17h: 0.166 mg/m ³	
	天気・視程	11/12 15h: 快晴, VIS 7.00 km	12/04 15h: 快晴, VIS 40.0 km
	映像日時	11/12 16.25	12/04 15.25
阿蘇 AS	SPM	-	
	天気・視程	11/12 12h: 晴れ, VIS 6.97 km	12/04 12h: 晴れ, VIS 50.0 km
	映像日時	11/12 12.57	12/04 11.56
球磨 AG	SPM	11/12 18h: 0.078 mg/m ³	
	天気・視程	11/12 18h: 曇り, 6.70 km	2011/07/21 11h: 晴れ, VIS 33.7 km
	映像日時	11/12 17.10	2011/07/21 11.00
鹿児島 KN	SPM	11/13 11h: 0.136 mg/m ³	
	天気・視程	11/13 12h: 曇り, VIS 10.0 km	12/04 12h: 快晴, VIS 40.0 km
	映像日時	11/13 12.00	12/04 12.00.00

とよく一致している。13日と14日の後方流跡線についても、それぞれ11日09時と12日9時にMTSAT熱赤外差画像に示される黄砂領域を通過したことを示しており、13日から14日には黄砂を含む気塊が九州北部付近に停滞していたことが示されている。このため熊本地方気象台における黄砂観測や京町局におけるSPM高濃度状態が長時間継続したと理解できる。一方、15日の後方流跡線は黄砂の発生や移流がない経路を示しており、15日の午後からのSPM濃度の低下や黄砂現象の終了がうなずける。

最後に、各大気環境測定局においてSPM濃度の最大値が記録された時刻頃に撮影された地上映像観測画像(左)と黄砂が飛来していない時の画像(右)を図11に示す。地上映像観測画像撮影時頃のSPM濃度および天気と視程の情報を表2に示す。黄砂による視程の低下は地上映像観測画像にもよく表れている。また、黄砂飛来時と黄砂がないときの画像の違いは明瞭である。SPM濃度や視程と地上映像観測画像に示される大気混濁度との関係の定量的な検討は今後の課題である。

4. おわりに

2010年3月の黄砂イベントについては教材化と授業実践を行った[11]。今後は、実践を踏まえて教材の改良と充実を図るとともに、11月の黄砂イベントについての教材化を行う予定である。

本研究の解析結果については、MTSAT熱赤外差画像や天気図の時系列画像をもとに作成した動画やカラーの地上映像観測画像なども含めて、学校教育のための素材としてホームページ：<http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/ese/>に公開・提供している。

謝辞

東京大学地震研究所/生産技術研究所において受信・処理されたMTSATデータを使用させていただきました。心より感謝いたします。地上映像観測システムの設置について、あさぎり町立岡原小学校、阿蘇火山博物館、熊

本県富岡ビジターセンター、熊本地方気象台に感謝いたします。熊本県の大気常時監視測定局の1時間値データをご提供いただきました熊本県環境生活部環境保全課、鹿児島県の大気常時監視測定局の1時間値データをご提供いただきました鹿児島市環境保全課に感謝いたします。本研究は文部科学省科学研究補助金若手(B)21700791の助成を受けて行いました。

参考文献・URL

- [1] 岩坂泰信・西川雅高・山田丸・洪天祥編：黄砂，古今書院，2009。
- [2] 三上正男：ここまでわかった「黄砂」の正体 ミクロのダストから地球が見える，五月書房，2007。
- [3] 環境省・気象庁 黄砂情報提供ホームページ：
<http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/kosateikyoku/kosa.html>
- [4] Naoko Iino, Kisei Kinoshita, Andrew Tupper and Toshiaki Yano, Detection of Asian dust aerosols using meteorological satellite data and suspended particulate matter concentrations, Atmospheric Environment, Vol. 38(40), pp.6999-7008, 2004.
- [5] 気象庁 [地球環境のデータバンク]黄砂：
http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/kosahp/kosa_data_index.html
- [6] WebGMS-MTSAT/GMS (運輸多目的衛星/ひまわり) データサービスセンター：
http://webgms.iis.u-tokyo.ac.jp/index_j.php
- [7] ListCam：http://www.clavis.ne.jp/~listcam/index_j.ssi
- [8] 環境省大気汚染物質広域監視システム：
<http://soramame.taiki.go.jp/>
- [9] 気象庁：<http://www.jma.go.jp/>
- [10] ARL READY：<http://ready.arl.noaa.gov/>
- [11] 田中均・島田秀昭・飯野直子・渡邊重義・三宅安・西村幸太・渡瀬洋平：地域と連携した理科授業実践(第4報)，熊本大学教育実践研究 Vol.29 pp.131-137, 2012.

※URLは全て2012年9月30日確認