報　告

# 黄砂・越境大気汚染物質の地球規模循環の解明とその影響対策

平成２２年（２０１０年）２月２５日

日　本　学　術　会　議

農学委員会 風送大気物質問題分科会

この報告は、日本学術会議農学委員会風送大気物質問題分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議農学委員会風送大気物質問題分科会

| | | | |
|---|---|---|---|
| 委員長 | 真木　太一 | （第二部会員） | 筑波大学 北アフリカ研究センター客員教授、九州大学名誉教授 |
| 副委員長 | 青木　正敏 | （連携会員） | 東京農工大学大学院共生科学技術研究院教授 |
| 幹　事 | 礒田　博子 | （連携会員） | 筑波大学大学院生命環境科学研究科北アフリカ研究センター教授 |
| | 大政　謙次 | （連携会員） | 東京大学大学院農学生命科学研究科教授 |
| | 鈴木　義則 | （連携会員） | 九州大学名誉教授 |
| | 早川　誠而 | （連携会員） | 山口大学名誉教授 |
| | 宮﨑　毅 | （連携会員） | 東京大学大学院農学生命科学研究科教授 |
| | 山形　俊男 | （連携会員） | 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻教授 |

# 要　　旨

## １　作成の背景

近年、地球規模の多様な環境問題が重大な社会問題となった状況下で、アジア大陸では沙漠化、過放牧、過耕作、森林伐採等によって黄砂が多く発生し、日本、韓国に輸送されるとともに地球を回遊し、グローバルに影響を及ぼす現象が分ってきた。また、黄砂は酸性雨の中和作用や海洋への栄養塩供給の面もある一方、雲の凝結核となり太陽放射を遮るため、地球温暖化とも関連して最近、気候変化への影響が指摘されている。さらには、中国では大気汚染が激しく、日本への輸送による越境大気汚染と酸性雨の増加が懸念され、黄砂と大気汚染物質の結合による変質と光化学汚染が観測される中で、特に人間、環境への正負両面の影響を明確にするとともに、黄砂・大気汚染の高精度・最先端の科学的解明とその的確な防止・対策が強く望まれる背景がある。

## ２　現状及び問題点

近年、地球温暖化、沙漠化等によって中国・モンゴルで黄砂が多く発生するようになり、特に 2000～2002 年の３年連続の急激な黄砂の増加は、異常な現象であったが、その後も相当高いレベルで継続しており、人間・動植物への悪影響と種々の環境変化を及ぼしている。中国では大気汚染が大都市から中小都市でも重大な問題となっており、多量の大気汚染物質が輸送される中で、最近、西日本では光化学オキシダント汚染が問題となっており、変質した越境大気汚染が疑われるが、解明されていない。特に、その黄砂と大気汚染物質の化学反応による変質問題とその悪影響が懸念され、また人間・動植物の病原菌の伝搬・蔓延にも関与が疑われるが、解明できていない状況がある。

## ３　報告の内容

中国の黄砂と大気汚染およびアフリカ、オーストラリアの紅砂の発生・輸送、そして、それらが及ぼす影響に関する短期的・長期的提示の項目・内容を示す。

黄砂・大気汚染に関して、黄砂・ダストのタクラマカン沙漠・ゴビ沙漠での舞い上がり、黄砂の発生・輸送過程と黄砂の予測・対策、大気汚染の発生・輸送過程と越境大気汚染の影響、大気汚染による酸性化・酸性雨の影響、黄砂と大気汚染物質との結合による化学的変質の影響、黄砂の海洋への供給による植物プランクトン増殖の影響、大気汚染物質・酸性雨による海洋の酸性化、黄砂付着病原菌の輸送・伝染・蔓延、黄砂・沙漠化防止用防風林と緑化の効果、黄砂・大気汚染による地球規模の気候変化への影響、人文社会科学系問題等々に

ついて、広範囲に総合的に検討を行った中から、今後の研究の推進に必要な重要事項について、次の 18 項目の課題を提示するものである。

①黄砂発生と中国・モンゴルの沙漠化との関連性、黄砂発生地域での砂の舞い上がり現象、黄砂輸送形態の観測・評価・解明
②黄砂発生地域からの輸送形態と日本国内および太平洋・アメリカ大陸等地球規模での輸送形態の観測的評価・解明
③黄砂と農薬・肥料・大気汚染物質の相互作用による物理・化学的変質の評価・解明
④黄砂と大気汚染物質の水蒸気・氷晶核・雲物理反応の特性解明
⑤地球温暖化・気候変動と黄砂・大気汚染物質の関連性の評価・解明
⑥黄砂による家畜・作物等の病原菌輸送現象の解明と病原菌飛来起源域の特定および黄砂付着病原菌の DNA 同定と防疫体制確立
⑦黄砂による人間への健康影響の評価・解明とその黄砂発生地域の特定および防止対策
⑧黄砂によるアレルギー疾患、花粉症等との関連性の評価とその防止対策
⑨黄砂による農業、特に畜産・水産業への正負の影響評価・解明
⑩広域海面への黄砂降下による地球規模の気象・気候への影響評価・解明
⑪黄砂・紅砂発生源地域における沙漠化防止のための基本的環境対策の強化
⑫黄砂・紅砂発生に対する格子状防風林・草方格等を用いた広域気象改変による防止対策
⑬黄砂・紅砂発生防止に対する画期的人工降雨技術等の導入による防止対策
⑭アフリカ・サハラ沙漠の紅砂発生予測と地球規模の大気循環機構への影響評価・解明
⑮オーストラリア沙漠の乾燥・塩類化と紅砂発生・輸送状況の評価解明とその防止対策
⑯越境大気汚染物質の輸送軽減のための抜本的対策技術開発と普及の推進
⑰超微量大気汚染物質のモニタリングおよび土壌・湖沼の酸性化とオゾン・過酸化物の生物影響評価・解明
⑱黄砂・紅砂と大気汚染の人文社会科学系問題に及ぼす影響の評価・解明

本書は政府・国民に対しての報告であり、特に行政に関しては、国土交通省、環境省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、外務省に、また研究に関しては、大学を始め産官学の研究機関、公立試験研究機関に対する報告として取りまとめたものである。

# 目　　　　次


はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
１　黄砂・大気汚染の歴史的背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
(1)黄砂の歴史的背景 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
(2)大気汚染の歴史的背景 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
２　黄砂の特徴と影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
(1)　黄砂の特徴 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
(2)　黄砂・紅砂の地球規模循環 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5
(3)　黄砂の発生地域と陸上輸送中の特徴 ・・・・・・・・・・・・・・・・6
(4)　黄砂の予報と対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8
(5)　黄砂に関する最近の国際的動向 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
３　大気汚染の特徴と影響 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
(1)　大気汚染の特徴・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
(2)　大気汚染による黄砂への影響の特徴・・・・・・・・・・・・・・・・・12
(3)　黄砂・大気汚染物質の光・水蒸気・塩分による変質・・・・・・・・13
(4)　大気汚染物質による人間への影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
(5)　黄砂・大気汚染物質の観測ネットワークの構築・・・・・・・・・・14
(6)　大気汚染物質と雨水の酸性化問題に対する研究推進・・・・・・・15
４　黄砂の発生源と輸送中の健康・病気への影響 ・・・・・・・・・・・・・16
(1)　黄砂による家畜・作物の病気への影響・・・・・・・・・・・・・・・16
(2)　黄砂による人間の健康への影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17
５　黄砂の海洋・気候への影響と沙漠化防止対策 ・・・・・・・・・・・・・18
(1)　黄砂の発生源と輸送中の海洋への影響・・・・・・・・・・・・・・・18
(2)　黄砂と大気汚染物質による海洋酸性化への影響・・・・・・・・・・18
(3)　黄砂の発生源と輸送中の気候への影響・・・・・・・・・・・・・・・18
(4)　黄砂軽減のための沙漠化防止対策・・・・・・・・・・・・・・・・・19
６　黄砂・大気汚染物質に関する重要研究項目 ・・・・・・・・・・・・・・20
おわりに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22
参考資料１　風送大気物質問題分科会審議経過・・・・・・・・・・・・・・25
参考資料２　「黄砂および大気汚染物質の越境輸送問題」・・・・・・・・ 26
参考資料３　「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」・・・・・・・・・・・ 28
参考資料４　ダストー気候系のプロセス概要 ・・・・・・・・・・・・・・ 29
ダストー気候系関係の引用文献 ・・・・・・・・・・・・・・ 30

## はじめに

2008 年 10 月に、喫緊の問題を検討することを目的とした課題別分科会、すなわち日本学術会議農学委員会風送大気物質問題分科会が設立された。

近年、地球規模での広範囲な環境問題が重要な課題となっている。最近では、中国・モンゴルで黄砂が多く発生し、特に 2000～2002 年の３年連続の急激な黄砂の増加は、非常に驚くべき現象であった。４年目の 2003 年はどうなるかと危惧されたが、実際は大きく減少して平年並みとなった。しかし 2004～2007 年においても 1971～2000 年の 30 年平均からすると高い数値を示している。2008・2009 年はやや少ないが、2009 年 10 月 19 日に長崎・福岡等で黄砂が観測された。これは 1992 年の那覇での観測以来、10 月としては 17 年振りの観測である。

一方、近年では中国から大気汚染物質の日本への輸送が懸念されている。中国では大気汚染が激しく、大都市ではもちろんのこと、中小都市でも重大な問題である。北京オリンピックで相当改善されたとはいえ、まだまだの感がある。これらの黄砂と大気汚染物質の変質の評価、それら物質の相互化学反応を考慮した問題点の把握は、極めて重要である。

黄砂・大気汚染物質は地球規模で輸送・拡散することを認識する必要がある。中国・モンゴルの発生源からの黄砂は、偏西風に乗って日本・太平洋を越えて、大気大循環として地球規模で回遊する。最近、その地球一周の期間は 12～13 日であるとのシミュレーション結果が報告されている。一方、世界最大のサハラ沙漠の紅砂の多くは、アフリカ西部海岸から一度、大西洋に出てから北上し、ヨーロッパへのコースを取り地球を周遊する。また、湾岸戦争の時に、クウェートとイラクで燃やされた油井の黒い油煙は中央アジアから中国を経て、日本に達した観測事例もある。

中国は黄砂については自国からが発生源である。しかし、その「黄砂」自体の用語の使用を嫌って「アジアダスト」と呼ぶ場合もあるが、自国の発生は他国、あるいは地球全体に影響を及ぼす一方、他国からの砂、ダスト（浮遊塵埃）によって影響・被害を受けることもあることを認識する必要がある。このことは、自然科学者はもとより人文科学者、行政・政治担当者も知る必要がある。

後述のように日中韓蒙で科学者・行政者レベルで会合が持たれるようになった。それは喜ばしく、大いに期待したいが、果たしてその成果は、如何なるものであろうか。実質的には不明である。もっと踏み込んだ観測・論議・調整を行う必要があり、必要な重要な情報を多方面から収集した、さらなる対策が使命であるように感じられる。

また、黄砂付着病原菌として家畜の口蹄疫、豚コレラ、麦サビ病等が疑われている。これに対しても中国は自国からの発生よりも他国、例えば、イラン、アフガニスタン、モンゴル、ロシア等々からの輸送・移動である可能性も高いことを認識し、その事実を知る必要がある。ヨーロッパの口蹄疫発生から中国、

韓国、日本での発生が疑われるが、確認はできていない。これらは重要な喫緊の課題として、地球規模で解明する必要がある。現在、新型さらに新型の豚インフルエンザが発生し、感染が拡大して大混乱状態にあるが、鳥インフルエンザの問題も含めて早急に解明する必要がある。黄砂による輸送が懸念されることを科学者、行政者、政治家も是非とも認識して緊急の重大問題として対応する必要がある。そして、これら病原菌の同定にはDNA鑑定技術が有効であるが、さらに短時間で大量に判定できる技術確立が必要である。

中国、モンゴル等々では黄砂関連病原菌の情報をもっと開示して、国際協力に寄与する必要があると思われる。このような病原菌（黄砂付着病原菌）および、それらに関する情報は多くの国々に必要不可欠であり、特に情報の共有が必要である。しかし、国際間になると、なかなか理想的には進まない微妙な問題があるため、常日頃から協調的に対応する必要があると考えられる。

もう一つ重要なことは、中国、韓国の工業地域および一般家庭から発生した大気汚染物質は黄砂に付着し、あるいは化学反応によって変質した固体物質・ガス状物質の輸送が疑われている。例えば、東シナ海・五島列島・九州北西部上空での光化学オキシダントが観測された。しかし、関連性は想像されるが、まだ実際はどこから発生・飛来した黄砂か、またどの時期、どの地点から変質した大気汚染物質かは確実には特定されていない。これらは早急に解明すべき現象であり、重大関心事である。現在のように科学が発展した中でも、まだこの程度も解明されていないことに、逆に驚きを禁じ得ない。科学者として責任を感じるとともに、行政者・為政者への責任が問われる可能性があり、常日頃よりその認識が必要であると思われる。

黄砂と大気汚染物質に関する背景と現状として、日本あるいは世界の環境、および産業や人間生活に及ぼす黄砂や越境大気汚染物質（風送大気物質）の影響程度を評価・解明して、早期対策に向けて早急に対応できるように問題解決の課題提示を行いたい。

沙漠や乾燥農業・牧畜業地域から放出される黄砂は、農業・工業は元より、地球環境から日常生活に対しても、非常に広範囲な方面に影響・被害を及ぼしている。一方、黄砂には大気汚染による酸性化を中和する作用、および海洋の貧栄養化緩和と栄養塩供給等、幾つかの有効性・効果も認められている。

これら両面の現象を解明するとともに、特に中国、韓国、日本の工場地域から排出される大気汚染物質・ガスに起因する越境大気物質・ガスによる広範囲な影響程度、およびそれら黄砂と大気汚染物質の複合的な影響程度の評価手法を開発する必要がある。また、国内および国外への輸送の特性を把握するとともに、さらなる国外への多方面の影響に関する情報を収集して、最終的には新規性のある対策を重点的に実施する目的で、黄砂・越境大気汚染物質の問題解決策を目指して提示するものである。

## 1　黄砂・大気汚染の歴史的背景

### (1)　黄砂の歴史的背景

黄砂は地球の歴史上、古くタクラマカン沙漠が形成された時代からあったと推定される。タクラマカン沙漠からの黄砂は、砂面から巻き上げられて飛砂となって輸送され、まず現在の中国中東部の黄土高原に 200～300m の堆積を造ったとされる。そして、日本への黄砂はタクラマカン沙漠とゴビ沙漠、および黄土高原から補給されて輸送され、やがて落下して、九州では黄砂の堆積は数メートルになったとされる。また、沖縄でも赤土の多くは黄砂由来であるとも推定されている。

黄砂の記録は、さすが中国では紀元前からあり、雨土、雨砂、黄霧等の用語がある。韓国では中国に近いためか２世紀からあり、雨土が多い。日本では８世紀からあり、赤雪、紅雪が多く、黄砂の用語は 1906 年からである（岩坂ら、2009)。これらのデータは概ね正しいと推測されるが、それらの情報をさらに正確にするには、一層の歴史的研究が必要であろう。

### (2)　大気汚染の歴史的背景

中国の大気汚染は、黄砂の歴史と比較すると新しく、近年 1950 年代になって、中国が近代化を加速した頃からであり、特に中国東部、沿岸域の工業化が中国開放以来、急激に進んだ頃以降であると推定される。それまでは越境大気汚染や地球規模での大気汚染の影響は少なく、中国国内に限られていたと推定される。

さて、石炭による暖房、炊事等の生活用等での急激な増加は地域によってかなり異なるが、1900 年代以降であると推定される。それらが黒い煙、黒煙を含む大気層を形成し、例えばウルムチでは、盆地地形のため、冬季は、特に夜間には大気逆転層の形成によって、盆地の下層大気に蓄積・充満して息苦しくなるほどの状況が 1960～1990 年代まで続いていた。その後は、石油の普及によって多くの地域では白い煙、白色の大気汚染に変わってきているが、地方都市では、現在も石炭と石油による大気汚染が激しい。特に工業地域、あるいは地方にある鉱工業地域でも相当の大気汚染を発生させている。

中国では 2008 年の北京オリンピックを契機に、大々的な環境規制が行われ、幸いオリンピックは成功したとされるが、それに至る過程は並大抵ではなかったと思われる。もちろん夏季の短期間を目指したコントロールであったので、かなり無理をしての大気汚染制御であったと推測される。なお、中国の大気汚染は全く治まった訳ではなく、発生時期、発生形態、要素・種類、量等々を変化させながら、引き続き発生している。

## ２　黄砂の特徴と影響

### (1)　黄砂の特徴

黄砂の直接的被害では 1993 年５月の中国における黄砂（砂塵嵐）による死者 85 人、負傷者 264 人、37.3 万 ha の農作物被害、12 万頭の家畜被害、農地被害、人間の健康影響の事例（黄砂問題研究会報告書、環境省、2005、HP）や 2001 年の連続１週間の北京空港閉鎖被害の事例が顕著である。韓国では、2002 年３月の黄砂は社会経済面に甚大な被害を及ぼし、学校の休校、航空機の欠航、精密機器工場の操業停止、病院では呼吸器・皮膚・眼科患者の急増があり、健康影響被害は年 364 億円との推計がある。なお、韓国・日本の黄砂被害は中国の被害の質・程度とは大きく異なる。

日本の黄砂被害には、視程障害、機械軸受けの摩耗、精密機器への障害、目詰まり、遮光害、埃害、洗濯物の汚染等々であるが、その被害程度や被害額の統計的データは不十分である。一方、黄砂には生態系や大気汚染に好ましい側面もある。①魚類の餌となる植物プランクトン増殖への微量要素（Fe、K、Ca 等の栄養塩）の供給効果と食物連鎖の一環としての効用が挙げられる。②中国の黄砂はアルカリ性であり、大気汚染物質は多くは酸性であるため、それらを中和させる作用があり、風上側の亜硫酸ガス等による酸性雨の強度が減少し、その影響は緩和されることになる。

さてここで、黄砂の最近の観測状況（延べ日数）を図１（気象庁）に示す。図のとおり、近年の黄砂の増加傾向が明白である。次に、月別の黄砂の発生状況を図２（気象庁）に示す。図のとおり、日本では３～５月に多く黄砂シーズンである。一方、2009 年のように秋冬季にもある程度発生する。なお、中国敦煌においても、黄砂発生期間は２～６月で、その内３～５月が多く、変化形態は日本のそれと類似している。

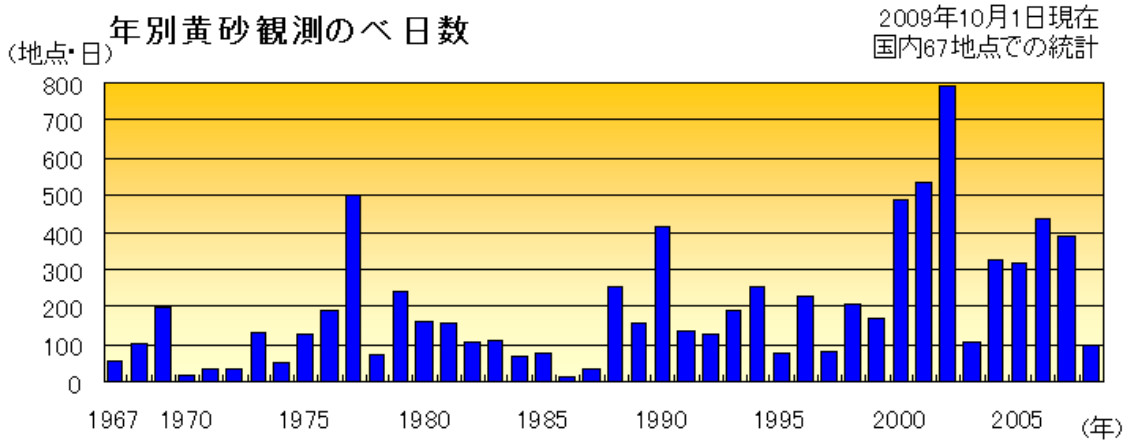


図１．年別黄砂観測延べ日数（気象庁）

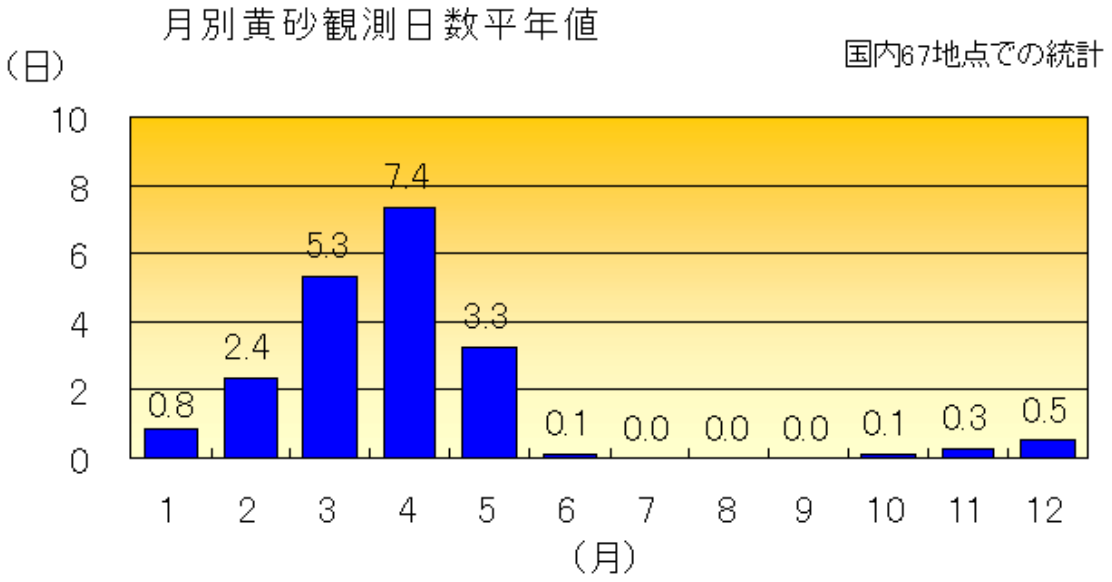


図２．月別黄砂観測日数平年値（気象庁）

### (2)　黄砂・紅砂の地球規模循環

まず、黄砂は地球規模で輸送・拡散することを知る必要がある。発生源が中国であることは別に、大気・空気は偏西風に乗って太平洋を越えて、大気大循環としてグローバルに回遊することである。中国の黄砂は日本上空を通過して、はるか太平洋上のハワイを越え、さらに太平洋を越えてアメリカ合衆国、カナダへと輸送される。そしてまた、大西洋を越えてヨーロッパへと輸送され、やがて中央アジアを経て中国・日本に還ってくる地球一周の循環を認識する必要がある。最近、その一周の期間は 12～13 日であるとのシミュレーション結果が報告されている（鵜野、2009）。

一方、世界最大のサハラ沙漠の紅砂（中国の黄砂と区別した名称）は、①多くは、アフリカ西部海岸から一度、大西洋に出てから北上し、ヨーロッパへのコースを取る。そして、②ヨーロッパに北上した一部は東風に乗って、アメリカ大陸に向くコースも取る。また、③一部は直接北上して地中海を越えてイタリア、ギリシャ等のヨーロッパへのコースを取ることもある。さらには、④偏西風に乗ってサウジアラビア半島の方向に流れ、そこから新たに砂塵を補給することもあり、大陸上またはインド洋に流れ東南アジアへのコースを取る場合もあるが、いずれにしても地球規模で地球を回遊することになる。

これらの輸送現象は、旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所の爆発で、その放射能が東回りと西回りによってアメリカ大陸には 10 日～２週間で到達した事例からも明白である。また、湾岸戦争の時に、クウェートとイラクで燃やされた油井の黒い油煙の一部は中央アジアから中国を経て、日本に達した事例も観測事実としてある。

アメリカ大陸での黄砂の飛来としては、1998 年４月に北米大陸で初めて科学的黄砂観測が成功したとされる。また、2001 年４月にも大規模な黄砂輸送が観測・解析された。その結果、現地で発生したエーロゾルと黄砂が混合して、健康に影響が出る恐れのあるレベルの PM10（粒径 10μm のエーロゾルを 50%カットすると規定した場合の浮遊粉塵）濃度まで上昇したとされる（岩坂ら、2009）。このように、１万 km も離れた黄砂の長距離輸送は重大な問題であり、今後とも地球規模で黄砂の移動を監視する必要があり、観測とシミュレーション評価等の研究が不可欠である。

黄砂は後述の地球規模の陸海上の生物への影響はもとより、長期的には土壌や海洋沈殿物の生成にも関連すると推測される。従って、地球規模での黄砂による放射、雲生成等の気象学的課題、黄砂の物理・鉱物的課題、微生物・植物プランクトンの生物的課題、酸性化・沈殿等の化学的課題まで、極めて広範囲に関連するため、総合的・包括的な研究が必要である。

### (3) 黄砂の発生地域と陸上輸送中の特徴

#### ① 黄砂の発生･輸送の特徴

黄砂は発生・輸送地域の気象、地勢･地質、土地利用等の複合的な要因によるものであり、その発生メカニズムに関する研究が進められている。一方、具体的な発生源の特定、土壌中の水分、風速等の舞い上がりを規定する係数・数値等は確定しておらず、黄砂発生の年変動や長期的な傾向について、正確に評価･予測できるだけの情報が蓄積されていない。

このような状況から、黄砂現象の科学的解明のためには、黄砂発生地域および黄砂輸送ルートにおける大気･地表･植生･人間活動等に関する科学的モニタリングデータの蓄積が、より一層重要である。黄砂は、エルニーニョ（ペルー沖の海水温上昇）年では発生が少なく、逆のラニーニャ年では多い解析例がある。また、近年の地球科学の進展に伴い、黄砂やダスト（自然起源の浮遊塵埃）は地球規模の循環系の重要な因子の一つであるとされるが、いまだに多くの変化過程の理解と定量的評価は不十分であり、さらなる高精度のデータ収集による解析が必要である。

#### ② タクラマカン沙漠での黄砂発生状況

タリム盆地の砂沙漠、タクラマカン沙漠の主なダスト発生域は東部から中央部であり、浮遊ダストは南部から中央部で多く発生する。東部はダスト発生（強・弱ダスト、ダストストームを含む）が頻繁であるが、浮遊ダストは少なく、北部はダスト発生・浮遊ダストともに少ない（Kurosaki and Mikami, 2002）。タクラマカン沙漠とゴビ沙漠での黄砂発生は３～５月に多く、強風頻度とダスト頻度は類似している。タクラマカン沙漠では浮遊ダストの発生頻度が高く、夏季にも発生するが、ゴビ沙漠では少ない。ゴビ沙漠では11月に強風頻度とダスト発生の小さい

ピークがあるが、タクラマカン沙漠では見られない(Kurosaki and Mikami, 2005;黒崎、2009)。それらの理由と夏季のダスト発生機構は不明である。

最近の研究から考察すると、崑崙山脈北斜面では日中に山地の中腹の気温が上昇しやすく、山谷風の谷風がタクラマカン沙漠・タリム盆地の低平地から吹き上げ、それに伴ってダストが巻き上げられる。また、日中の沙漠表面の加熱によって頻繁に発生する塵旋風（つむじ風、ダストデビル）でダストを巻き上げる。さらには、タリム盆地東部域下層の偏東風によって、タクラマカン沙漠の広大なタリム盆地内の大気中にダストの漂いが多くなり、平均5,000mの崑崙山脈並の高度に達したダストは、次第に上空の偏西風に乗って敦煌付近を経由して輸送され、そして日本の黄砂に定常的に影響すると推測されるが、まだ確定的でない。

**③　タクラマカン沙漠と敦煌での黄砂の舞い上がり**

黄砂の巻き上げ、舞い上がり状況から、飛砂発生量は地表面の土壌粒径分布の差によって砂沙漠よりも砂礫沙漠の方がはるかに多いことと粒径別の飛砂量に下層で多く上層で少ない垂直分布特性が観測された（Mikami *et al.*, 2005)。

また、敦煌では上述と同様な飛砂の垂直分布を観測するとともに、春季の乾燥期にはオアシス・農地の方が砂沙漠やゴビ沙漠よりも飛砂の舞い上がりが多いことが観測された（Du *et al.*, 2002；真木・杜、2009；杜・真木、2009)。これは、春季にワタ栽培のための耕耘農地や農道から微細な粘土・砂粒子が多く飛びやすいために舞い上がりが多く、また落葉したポプラ防風林内では若干の減風と日射で気温上昇が起こりやすいため、上昇気流や塵旋風によって発生頻度的にはオアシスからの土・砂の舞い上がりが多くなる。もちろん、暴風時には砂沙漠の方が激しいが、一般的に弱い（バックグラウンド）黄砂としての寄与は相当高いことが確認された（真木、2003)。

**④　バックグランド黄砂**

バックグランド黄砂は、ライダー観測では自由対流圏、特に４～６kmで多く観測され、厚さ１～３kmで0.5～３日間継続する。発生地域は後方流跡線解析によるとタクラマカン沙漠で低気圧性活動による発生とは別で、春季に限らない。タクラマカン沙漠上空での推測では30～68t/km$^2$dayで、日本の10倍量に相当する（Iwasaka *et al.*, 2008)。バックグランド黄砂の春季間の積算値は、アジア太平洋域では低気圧活動による大規模な黄砂（巨大な砂塵嵐）に匹敵するとされる（Matsuki *et al.*, 2002)。

バックグラウンド黄砂に関して、タクラマカン沙漠での上空への黄砂の巻き上げには、崑崙山脈北斜面で毎日のように吹く前述の谷風や塵旋風の関与が大きいと推測される。

**⑤　タクラマカン沙漠でのダスト特性評価**

中国西部に位置するタリム盆地は、三方が天山山脈・パミール高原・崑崙山脈で囲まれ、東側が幾分低く大気の出口となるが、大部分がタクラマカン沙漠で占められ、閉鎖系である。

最近、「風送ダストの大気中への供給量評価と気候への影響に関する研究（ADEC)」(Mikami *et al.*, 2006）で多くの現象が観測された。ダストの粒径・組成分布の精度上の問題で、ダストの直接測定量とライダーによる消散係数の垂直分布は比較できなかったが、ダストによる消散係数と質量濃度の関係が得られれば、ダストの空間分布を人工衛星で推定可能となる。最近、衛星搭載ライダーから世界の消散係数垂直分布が利用可能となり、エーロゾルカラム（気柱内の浮遊微粒子）量が求められた結果、タクラマカンのダスト総量は、ダストストーム時で744Gg、バックグランド黄砂時で200Gg、４月の平均で320Ggと算定された(甲斐、2009)。今後は、気候影響研究に応用でき、その発展が期待される。

### (4) 黄砂の予報と対策

#### ① 黄砂の予報・警報

暴風時の大規模ダストストームに関して、タクラマカン沙漠から日本への輸送時のアフリカ・中近東起源のダスト輸送状況をダスト予測モデルで再現している。このダストの５割は北アフリカ起源、３割が中東起源であり、日本へのアフリカ起源のダストが自由大気上層部を移動する可能性が示唆された（Tanaka *et al.*, 2005;田中、2009)。このことからアフリカの紅砂と病原菌の輸送の影響が懸念される。

黄砂発生・輸送過程は複雑であり、モデルの精度は十分ではなかった（Uno *et al.*, 2006）が、その後かなり改良されている（鵜野、2009)。一方、気象庁・環境省の黄砂予測でも土壌水分による地表面の乾燥や粗度やバックグラウンド黄砂の問題等があり、必ずしも精度が高くない。ダストとエーロゾルによる放射への影響は天気予報にも関連するが、人工衛星、ライダー、放射計等の観測データと照合し、黄砂輸送中の新たな黄砂発生情報の数値予報モデルへの取り込みには格段の高精度化が必要である。現在、日本、中国、韓国における各国気象部門が黄砂予報を行っているが、的確な予報・警報の早期発令のためには、飛来が予想される黄砂を現地発生直前・直後から監視し、一層、高精度の移動予測システムの確立が必要である。

国際連携によるライダー・モニタリングネットワークでは、機器の設置に加え、観測データの共有を行うソフト面でのネットワーク化が重要であり、リアルタイムデータを予報に利用し、国際的に検証した高精度のデータの共有が必要である（環境省、2005）。ただし、ライダー観測は数地点での観測であり、面的・空間的情報に弱いため、衛星画像、気

象官署データ、数値シミュレーション等で一層、予測精度を高め、国際協力で黄砂発生予測とその防止を推進する必要がある。

**② 発生源地域の対策**

黄砂の防止には一般的な意味での緑化が有効である。防風・防砂・防護林や草方格によって沙漠化を防止する必要がある(真木､1987;2000)。防風施設による砂の移動の管理や自然保護区の設定による植生回復等対策の選定に当たっては、当該土地条件への適合性について配慮が必要である。また、過放牧の防止や耕作の制限等、生産活動の制限を行う場合には、その地区の社会経済に対する影響を慎重に検討する必要がある。

なお、乾燥地・沙漠での有望な緑化法に新技術としての液体炭酸人工降雨法（真木ら、2008）の導入が期待される。

黄砂発生は、強風が土壌粒子を巻き上げる現象であり、地上風の影響と同時に、土壌の粒径分布、土壌水分、植生分布、積雪、凍土、土地利用等の地表面状態が関係する臨界・始動風速（土壌粒子が舞い上がり始める風速）に影響される。従って、地上風速と地表面状態がどの割合で黄砂発生に寄与するかの定量的評価は今後の課題である。また、地域・季節・年ごとに地表面状態は変化するため、この地表面状態と臨界風速との関係解明も重要である。黄砂対策には、事前に期待される効果の予測を行い、費用対効果を検討して、対策手法を選択する必要がある。

**(5) 黄砂に関する最近の国際的動向**

**① 黄砂問題の国際プロジェクト**

黄砂については､2000年以降の急増に対して対策すべく､中国､韓国､モンゴル、日本で多くのプロジェクトが推進され、精力的に対応している。環境省では2002年12月より「黄砂問題検討会」が設置され、その活動報告書が公表されている（環境省、2005)。その内容は以下のように要約できる。

「黄砂問題への取り組みに向けた計画案」として黄砂対策は長期的に取り組むべき課題であり、確実な実施体制の構築と資金を確保する手段が必要である。日中韓蒙４ヶ国、国際機関、二国間援助機関、研究機関、民間団体の多くが黄砂問題に取り組んでいる。これらの取り組みの全体を把握し、重複を避け、利用可能な資源を有効に活用し費用対効果を確実に実施する必要がある。日本は黄砂対策を精査し、国際分業・共同作業の可能性も視野に入れた今後の計画を提示している。黄砂問題解決には科学的知見の蓄積や施策の実施状況を踏まえて、モニタリング、早期警報、黄砂発生対策の在り方を検討し、４ヶ国・国際機関と協力して実施する必要がある。これに対して、単独に行うのではなく、相互に基本的に結合し、対策効果の最大化に配慮しなければならない。

2005年９月に黄砂問題検討会報告書（委員長：岩坂；環境省、2005、HP）が公表されている。その中で、2003年１月より国連環境計画（UNEP）、国連アジア太平洋経済社会委員会（UNESCAP）、国連砂漠化対処条約事務局（UNCCD）、アジア開発銀行（ADB）の４機関と日中韓蒙４ヶ国によるADB－地球環境ファシリティ黄砂対策の共同プロジェクトが実施されており、報告書：第１巻「黄砂の防止と抑制に関する地域協力のためのマスタープラン」、第２巻「黄砂の地域モニタリング及び早期警報ネットワークの確立」、第３巻「実証プロジェクトを通しての黄砂の防止と抑制に関する投資戦略」が公表されている。この中で、中国の黄砂（砂塵嵐）による直接的損失は年6500億円、韓国では中国と質が異なるが年364億円と推定されている。しかし、日本では黄砂害の定量的評価額は示されていない。

**②　黄砂対策の国内外の体制と基盤整備**

黄砂の国内外の対応として、①2005年より黄砂対策に関する関係省庁会議が設置され活動し、日中韓蒙４ヶ国環境大臣会合で黄砂問題が取り上げられ論議されて、様々な既設の枠組みで論議を深める。②人的交流・能力向上が必要であり、４ヶ国間での人的資源の質量を整え、調査・研究に活かす。特に、黄砂発生地域住民・地方公共団体の技術者に基礎的知識の修得・普及を図る。③未解明な黄砂現象の調査・研究を推進するとともに、アカウンタビリティを確保する。黄砂対策の直接・間接的効果を定量的な把握は困難である一方、黄砂対策資金の透明性のある管理・追跡を行う。黄砂モニタリングの推進とデータの共有の推進、黄砂発生源地域における黄砂発生抑制・対策が必要である。優良事例を整理し、各国でデータを共有する。黄砂モニタリングネットワークの効果を高めるには黄砂被害緩和等に利用し、例えば黄砂に付随して飛来物質の情報提供、大陸での黄砂の発生輸送状況の気象部門への提供等を推進する。④関連取組みとの連携として国内外の連携、協力体制を構築する。東アジア酸性雨モニタリングネットワーク地球観測ネットワーク、砂漠化対処条約によるテーマ別ネットワーク等との連携を図り、相補的・非重複的に推進する。⑤黄砂と社会経済への影響の評価として、発生源や影響地域での一次的影響および二次的影響を評価する。修復費用に対しての農業生産活動、経済活動への影響やその関連性を評価し、対応する。

以上のとおり、４ヶ国の環境大臣による国際会議が開催され、概ね順調な推進状況は好ましく思われるが、これでも十分でないのが実状である。従って、国際・国内共同研究の積極的な推進、および黄砂被害、影響等の統計的資料整備等を国内機関と国際機関で実施する必要がある。

**③　多様な黄砂防止対策の推進**

上記以外に、大学、試験研究機関、民間等々が黄砂防止に取り組んでいるが、総合的・概略的に評価すると黄砂は治まった訳ではなく継続し

ている。最近の中国での対策、特に植林、植生回復等々によって成果が挙がる可能性はあるが、明らかな黄砂の軽減・減少には至っていない。従って、その対策の問題点や今後の推進の方向性を精査して提示するものである。すなわち、黄砂対策は多様であるべきで一方法のみで解決されるとは思われない。地域、時期にあった対策・方法を選ぶ必要がある。

また、黄砂は自然科学系のみならず、人文社会科学系問題とも密接に関連するため、広範囲な黄砂問題を自然・社会科学系両面から研究を推進する必要がある。

従来の多くの沙漠化防止対策、農業開発等々では、大掛かりであればあるといえるほど、アフリカ、アジア等で失敗事例が多く見られる。審査に精査は重要であり、多様な意見を聞く必要がある。すなわち、一課題・一手法のみへの集中は危険性を伴う。生物多様性とは意味が異なるかも知れないが、こと黄砂防止に限っては、ある程度の多様性があってしかるべきであり、今後検討を要する状況、実態があると考えられる。

**④　黄砂関連データの収集問題**

中国の気象データ等の取得は、北京オリンピックを契機に非常に厳しくなっている。国家機密扱いで、過剰な対応であるとも感じられる。また、動植物・微生物の遺伝資源保持の目的でも厳しい状況である。その他、防疫上の審査が非常に厳格・煩雑な国際間の問題がある中では、黄砂防止の研究目的の砂・土・植物等に関しては、例えば中国・モンゴルからの持ち出しと日本国内への持ち込み手続きの簡素化・短期化が必要であり、これらの関連事項の対応を処理する窓口の設置が必要なように感じられる。黄砂に限っては、環境省・気象庁中心に重点的に検討されているが、さらなる情報収集が必要であるとともに、多くの国民、行政・研究者の意見を聴取して推進する必要があると思われる。

## 3　大気汚染の特徴と影響

### (1)　大気汚染の特徴

大気汚染や酸性雨によって、神奈川県の丹沢・大山のスギ、ヒノキ、栃木県の日光のスギ等々で樹木が劣化したが、現在はある程度、定常状態にある。特に東京では、1950～1980 年の大気汚染による公害・環境破壊は激しかった。1970 年頃には東京都北区西ヶ原にあった農業技術研究所やその隣の平塚神社では、ケヤキ、サクラ、イチョウ等の夏季の落葉が、やがてケヤキ、イチョウの枯死を目の当たりにしてきた状況で、その先どのようになるかと懸念されたが、その後は環境基準が発令され、工業地域での大気汚染の改善が急速に進み、1980 年代には相当回復した状況があった。そして 1990 年代には一部で、公害を克服したとさえいわれた。しかし、二

酸化硫黄、一酸化炭素、SPM（浮遊粒子状物質）、二酸化窒素等は減少したが、どうしても環境基準を達成できない地域、特に幹線道路沿いの地域や一部の工業地域では依然、問題であり、一層の規制・対策が必要である。そして、都市のヒートアイランド化による、特に夏季の高温は、冷房熱、生活排熱等によって激しい状況がある。都市の道路や住宅の配置・設計計画、大型建造物の設置方向や風道の確保等々の改善が必要である。

後述のように、大気汚染物質は黄砂に化学反応を起こすとされるが、中国内での反応、大陸からの輸送中の反応では、まだ定性的評価が中心で、定量的なデータ不足である。幸い黄砂の方は、ADEC の研究を契機にかなりのデータが蓄積されつつあるが、黄砂と大気汚染の反応では、重要な未確認反応も推測されるので、基礎的観測・調査ともに中国大陸上や東シナ海・日本海海上での立体観測による物理・化学反応の解明が必要である。

### (2) 大気汚染による黄砂への影響の特徴

#### ① 発生源から輸送中における黄砂の変質

黄砂の化学的組成は全粒子濃度基準でAlが５～７％含まれ、基本粒子成分（Na, P, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Sr, Y, Ba）のAl相対濃度比は２倍程度の差である。飛来黄砂の中央粒径は3～5μmで、基本成分組成は粒径分布によらず、ほぼ一定で石英、長石、粘度鉱物、カルサイトが特徴的鉱物である。Al相対濃度比が５倍差の$NO_3^-$, $SO_4^{2-}$, Cu, Zn, Pbでは、発生源の粒子含有量を超える量が輸送中に大気汚染物質・海洋等から付加される（岩坂ら、2009)。従って、混合した飛来黄砂の起源の場所の同定には、Sr同位体・主成分・鉱物組成比法等によって、黄砂の平均的基準化学組成・指標が評価可能であるとされる。

また、黄砂と越境大気汚染物質との区別には、SPMとPM2.5（粒径2.5μmエーロゾル50%カットの浮遊粉塵濃度)の自動観測体制の強化が必要である。そして、黄砂粒子の氷晶核としての雲物理反応の機能評価、ウオッシュアウト（雲底下洗浄）作用の評価、pH（酸性度）の影響評価等の解明が必要である。なお、黄砂による中和作用は古くから指摘されているが、定量的な数値は出ていない。酸性度は春季には12%減少し、その内の大気中と地表面の効果比は13：87（川村・原、2006）であり、日本での黄砂の沈着量（堆積速度）は1～10g/m$^2$/年（吉永、1998)、中国北京では180g/m$^2$/年（Nishikawa *et al.*, 2002）であるとされる。今後、広範囲・高精度化が必要である。

#### ② 黄砂の大陸輸送時の大気汚染物質による変質

黄砂は日本に飛来するまでに発生地域とは大きく異なる大気汚染の大都市上空を通過することになる。従って、中国東部域での大気汚染による黄砂変質現象の解明が重要となる。黄砂粒子は酸性ガス、水蒸気、エ

ーロゾル粒子と混合し、物理的変質・性状（粒子の形状や粒径・吸湿性・光学特性）変化と化学的変質・性状（粒子・ガス状物質の合体や化学反応特性）変化を起こす。硫黄酸化物（SOx）や窒素酸化物（NOx）の合体による硫酸塩や硝酸塩の生成はよく知られているが、その過程での黄砂による放射、雲物理反応、生物的・病害的影響等は解明されていない。

### (3) 黄砂・大気汚染物質の光・水蒸気・塩分による変質

#### ① 黄砂の海上輸送時の光化学的変質

黄砂は日本に飛来するまでに大気汚染の大都市上空や高湿度の海洋上空を通過することになる。従って、中国東部域と東シナ海・日本海上での黄砂変質現象の解明が最重要となる。例えば、最近、長崎の五島列島、熊本の天草、福岡の北九州等で晩春期に、新しい現象としての光化学オキシダントの発生がある。今後その影響が拡大する可能性が高いため、データ収集と発生域の特定化が必要であり、この方面の研究が不可欠である。これには、中国本土、朝鮮半島や東シナ海・日本海上空での大気汚染物質の単体および多数の物質間との複合的な化学反応、特に黄砂との物理・化学的反応を解明する必要がある。

#### ② 黄砂の海上輸送時の塩分による変質

黄砂上の硫黄酸化物（硫酸塩）は、多くは大気汚染域で吸着する。特に九州では、約９割が硫酸塩を吸着した黄砂であり（Zhang *et al.*, 2003）、日本上空では約５割とされる（岩坂ら、2009）。これは黄砂と高濃度の$SO_x$が海洋上で湿潤大気の影響で吸着したと推測されるが、自然起源の硫黄酸化物もあり、その区分が必要である。大気中での混合割合には複雑な乱流・流体力学等、物理的な評価が不可欠である。

黄砂粒子は海塩成分が多いほど大きく、例えば0.4～0.8μmの成長が確認されている（Zhang and Iwasaka, 2004）が、微小粒子の成長過程、重力による落下等が未解明である。また、海上での黄砂の酸性物質の吸収、黄砂と海塩の塩素ガスとの化学反応、黄砂・海塩混合と雲・霧生成との反応は密接に関連するが、反応機作は不明な点が多い。従って、黄海、東シナ海、日本海上での黄砂の化学的変質の解明が必要である。

#### ③ 黄砂の海上輸送時の水蒸気による変質

黄砂が運ぶもの（岩坂、2009）によると、黄砂の長距離輸送が活発な高度の自由大気圏では、偏西風だけでなく低気圧の影響を受ける場合は、その低気圧が南北・上下方向に物質を攪拌するため、高度10km位まで極めて複雑な動きと混合を伴いながら長距離輸送される。大気中の水分量が黄砂表面での反応に重要な役割を果たす可能性が高い。中国沿岸部上空では粒子表面に顕著な付着はないが、東シナ海を送風する間に粒子表面に大気汚染物質が付着したとの報告がある。しかし、汚染ガスとの反

応過程は不明な点が多い。

水蒸気による黄砂の変質では、相対湿度が$SO_2$の反応速度に大きく関連することが観測から解明されつつあるが、硫黄含有率（量）の関連や湿度の変化に対する取り込み係数の変化に敏感である。中国東北部で酸性雨被害が少ないのは、炭酸塩粒子による脱硫機能が大きい湿式石灰石石膏脱硫法と同じ機能を果たすためである（岩坂ら、2009)。今後は自然環境下で､酸性雨･pHが定量的にどの程度の緩和かを同定する必要がある。

黄砂表面へのシュウ酸の付着も分ってきた。エーロゾル中のカルボン酸は錨形成による金属元素を水溶性にする役割を果たす可能性が指摘された（Kawamura *et al.*, 2004)。この反応特性の解明が不可欠である。

### (4) 大気汚染物質による人間への影響

中国では石炭の使用が非常に多く、この石炭から発生する多環芳香炭化水素やニトロ多環芳香炭化水素(PAH, NPAH:Polycyclic, Nitropolycyclic aromatic hydrocarbon）の中には、幾つかの健康悪影響作用があり、以前より発癌作用と変異原性が問題であった。人間や家畜・野生動物の内分泌撹乱物質（環境ホルモン）を持つ可能性が高く、人間では呼吸で体内に入る環境ホルモンとして注目される（Kizu *et al.*, 2000)。これら物質の国内での飛散量や吸収・発病状況を早急に解明する必要がある。

その他、種々の大気汚染物質による呼吸器疾患、アレルギー疾患、化学物質過敏症・感染症の免疫学的な研究が必要である。人間の健康・病気の問題に関して多方面の精密な研究が急がれる。

### (5) 黄砂・大気汚染物質の観測ネットワークの構築

東アジアの越境大気汚染（高見、2009）によると、近年、九州北西部では高濃度のオゾンが観測され、光化学スモッグ注意報の発令が多くなった。この地域では大陸に由来した大気汚染物質の流入は約半分とされる。寒候期､特に冬･春季には北西の季節風に伴って大陸からの空気の流入が多く、大気汚染物質も輸送されるため、確実な観測情報が必要である。特に、海洋上での大気汚染質の変質があり、状況を複雑にしているが、その変質現象を正確に解明する必要がある。なお､1998 年より環境省の東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)が組織され、2001 年より酸性雨監視ネットワークが構築されて稼働し、データを蓄積中である。

中国の微小粒子（PM2.5）とその前駆物質（SOx）の排出量は増加しており、硫酸塩、硝酸塩、有機エーロゾルの越境輸送と日本国内での沈着量増加がある。微小粒子は健康や雲形成時の雲核と降雨・放射量変化による気候変化にも影響するが、大気中の挙動や組成、混合状態、健康影響等、不明な点も多く、また鉛や水銀（重金属）の飛来も懸念される。

これらの問題に対して、中国・韓国・日本が EANET 等の枠組みで活動を行い、観測データ、科学的知見を共有して共通の基盤に立って論議し、観測項目・技術・拠点の拡充を図るとともに、最先端の観測機器の導入や地上観測に加えて、航空機、船舶、人工衛星等の観測強化が必要である。

青木（2009）によると、現在観測中の $SO_2$、NOx、$O_3$、NMHC（非メタン炭化水素：Non-methane hydrogenous carbon)、雨水の酸性度、大気汚染物質の乾性沈着量、土壌や湖沼の pH の速報値を Web 速報とした EANET の拡充・推進が必要である。エーロゾル・オゾン・過酸化物のモニタリング体制に関して、①日本での取り組みの一つとして「環境省モニタリング Web 速報－そらまめ君」をアジア地域に拡大する必要がある。②フランスで公開中の Web 速報のように、アジア地域のエーロゾル・オゾン汚染予測図を作成し、Web 速報として公表する必要がある。越境汚染物質飛来の直接防止は難しいため、EANET と同様な活動を通じてオゾンと VOC（揮発性有機化合物）の越境汚染の防止のために究極的には各国が協議する組織、オゾン・VOC 発生防止ネットワークの構築が必要である。

黄砂・大気汚染物質のモニタリングでは、莫大量の観測データが収録されるが、特に観測データの解析・評価が重要である。この結果を一般社会に公表し、政策への基礎データとして有効利用する必要がある。研究成果として、論文、報告書が出たとしても、必ずしも利用されるとは限らないため、政府・国民が有効利用可能な形式にしておき、新たな高精度の予報に活かす必要がある。これを対策に結び付けば有意義であろう。

### (6) 大気汚染物質と雨水の酸性化問題に対する研究推進

近年、大気汚染、中でも酸性化が地球規模で進行しており、特に北ヨーロッパのスカンジナビア半島を中心に酸性雨で、湖沼の酸性化が極めて深刻な状況であり、黒い森林、死の湖、魚の少ない河川の増加等々、重大問題である。

一方、中国西部、韓国、台湾、日本でも、1980 年代より降水の酸性化が進み、酸性雨の増加で自然環境への悪影響が問題であるが、我が国では降水量が多いことも関与してそれほど被害が深刻ではない。しかし、今後とも乾性・湿性酸性雨は継続的に降る状況下では、この状況で推移するとは限らず、土壌や湖沼の酸性化の影響が出る状況になりつつある。従って、環境省を中心にした土壌・湖沼・河川酸性化の生物影響研究を拡充・継続させる必要がある。

我が国においては、オゾンの生成原因物質である NOx 排出量のさらなる削減はもとより、非メタン炭化水素の排出規制や VOC の人為発生源排出量抑制も必要である。我が国では最近、二酸化硫黄濃度が数 ppb になってきたため、数 ppb 以下の超微量な過酸化物が発生し始めた。また、オゾンと

過酸化物が複合すると、植物や昆虫に激しい被害を及ぼすことが確認されつつある。揮発性物質のテルペンはオゾンと反応すると過酸化物になるため、過酸化物の生成源物質である VOC の発生抑制対策が必要である。過酸化物を考慮しないオゾン曝露実験結果では、超微量な濃度の過酸化物が共存した現在の大気中に、この結果を適用して植物影響を評価できないため、オゾンと過酸化物の複合生物影響に関する研究推進が早急に必要である。作物・植物や昆虫に及ぼすオゾンと過酸化物の影響は、国内外ともにほとんど研究例がない。今後、この超微量な過酸化物による作物被害、さらなる森林被害と昆虫種の多様性の低下が発生する可能性があり、大規模な研究を組織化する必要がある（青木、2009)。

## 4　黄砂の発生源と輸送中の健康・病気への影響

### (1)　黄砂による家畜・作物の病気への影響

#### ①　黄砂の発生源での農林牧畜業からの影響

乾燥地では家畜の過放牧による沙漠化や過耕作が問題である。家畜の糞尿は野外にまき散らされるが、乾燥地では直ぐ乾燥し、特にヒツジやヤギの糞は堅い固形物となり、そのまま、または風食等によって細かい粒子、乾燥糞塵となり黄砂とともに輸送される。当然微生物が繁殖し、特に家畜口蹄疫､豚コレラ等の空気伝染性病気の蔓延を助長する｡また、農業地域からは肥料（N、P、K等)、農薬（病虫害防除剤、除草剤）や植物残渣の有機物、農耕地で発病した作物病病原菌・ウイルス、例えばムギサビ病等も輸送される。これらは黄砂に付着して日本への輸送・伝搬が疑われており、その可能性が大きいが、特定されていないため、早急に解明が待たれる。その結果を動植物の病害対策に活かす必要がある。

#### ②　家畜・作物の病原菌の同定

黄砂付着病原菌（家畜口蹄疫、豚コレラ、ムギサビ病等）は低温、乾燥、紫外線に耐えて輸送・伝播することが推測される。その状況を早急にあらゆる方法で解明し、対策を立てる必要がある。

筑波大学では家畜への黄砂の病原菌として、ヒツジ、ヤギ等の家畜口蹄疫の研究を行い、DNA鑑定手法を確立するとともに、沖縄、福岡、つくばから採集した黄砂から､全て家畜口蹄疫の病原菌が確認されている(山田、2009；Shi *et al.*, 2009)。また、以前に採集した中国・敦煌の黄砂についても、未発表ではあるが同様に確認された。

なお、この家畜口蹄疫は日本では92年振りの2000年に北海道と宮崎県で、またムギサビ病が10数年振りに山口県と大分県で、同年に発生しており、黄砂による病原菌の飛来が原因と推測される。しかし、中国、モンゴルのどの地域からの黄砂に含まれる病原菌が病気を発生させるかの

確証はまだ得られていない。すなわち、人間・家畜・作物への病原関連の問題は確定できてなく、喫緊の課題として解明する義務がある。

さて、牛の口蹄疫が2009年末に中国で、2010年１月に８年振りに韓国で発生した。非常に危惧すべき事態であり、今後の経過が注目される。

### (2) 黄砂による人間の健康への影響

大気中の黄砂には、大気汚染物質や微生物が含まれる。このため、最近では黄砂現象を人間の健康という視点から見るようになった。発生源上空で採取した黄砂には、カビや胞子が多く付着し、病原性の日和見細菌も確認されている（岩坂、2009)。この微生物が生きた状態で長距離輸送されるのか、日本での影響はどうなのか等々、不明な点が多く解明が非常に急がれるところである。

黄砂による健康影響は発生源である中国では、呼吸器系感染症、心欠陥疾患、心筋梗塞、脳卒中の発生率が高いと新聞・テレビ等で報道されている。韓国では心欠陥疾患、呼吸器疾患の死亡率の増加や気管支喘息患者への悪影響、また台湾でも影響が出ている。日本では呼吸器への直接的影響は少ないとされるが、スギ・ヒノキ花粉症の時期と重なるため、子供の気管支喘息の増加からアレルギー過敏症患者への影響が懸念される。

黄砂が気管支肺炎や肺胞炎を起こし、アレルギー反応に重要な抗体産生を高め、花粉症や気管支喘息の悪化作用（岩坂ら、2009)、黄砂がスギ花粉症による鼻閉症状とアレルギー炎症の悪化作用（日吉ら、2006）の報告がある。黄砂の主要成分のカオリン（粘土鉱物）によるアレルギー喘息への影響調査から気管支喘息の悪化が確認された（市瀬ら、2006a;b)。そして黄砂に付着した微生物由来物質にアレルギー反応増強作用が懸念される（岩坂ら、2009)。また、筑波大学でも黄砂のアレルギー反応物質の研究が行われ（礒田、2009；山田、2009)、黄砂との関連性が指摘されてはいるが、この分野の研究例は少なく、未解明である。

また、日本・世界の病原ウイルス、鳥インフルエンザ、豚インフルエンザ等に関しても黄砂・ダストとの関連性を早急に解明する必要がある。

以上のように、黄砂と呼吸器関係疾患の各種病気発生、アレルギー反応について、かなりの成果情報が得られており、また新聞、テレビ等でよく報道されてはいるが、まだ科学的な証拠は十分ではない。黄砂（鉱物と微生物）による呼吸器疾患、アレルギー疾患、化学物質過敏症・感染症の免疫学的な研究が必要である。人間の健康・病気、家畜・農作物の病気問題に多方面な精密な研究が急がれる。なお、黄砂とも関連する大気中を移動する微小昆虫の影響・評価研究も必要であろう。

## ５　黄砂の海洋・気候への影響と沙漠化防止対策

### (1)　黄砂の発生源と輸送中の海洋への影響

深海底に降り積もる黄砂（植松、2009）で、黄砂の飛来前後における海洋上の水蒸気収支変動が取り上げられている。水蒸気収支とは、黄砂中の鉄分に起因する海洋プランクトンの増殖が、DMS（硫化ジメチル）の発生、ひいては大気中の水蒸気や雲の増減に影響する意味である。

①観測からの仮説：「黄砂多い年」→「海水中に溶出する鉄分量の増加」→「植物プランクトン増加」→「大気中の $CO_2$ 減少」→「寒冷化の進行」→「海水中の窒素・リン酸の消費・消滅」→「プランクトン増殖停止」→「寒冷化終焉」への流れ

②海洋への鉄分人工散布実験からの仮説：「鉄分増加」→「植物プランクトン増殖」→「大気中への DMS の放出」→「酸化されて微粒子化」→「太陽光を弱める日傘効果のある白い雲の増加」→「温暖化抑制」への流れ

現在、この仮説が大規模に検証されつつあるが、さらに加速的な研究推進が望まれる。全体の流れと各ステップ間の因果関係の強度・量的解明は黄砂の総合評価と地球環境への影響を判定する上で重要である。

### (2)　黄砂と大気汚染物質による海洋酸性化への影響

アジア大陸起源の大気降下物の約半分が太平洋に輸送され、海洋表層に微量栄養塩の可溶性鉄分を供給することで生物生産量を高めるとされる（Zhuang *et al.*, 1992)。大陸起源のダスト粒子は長距離輸送中に大きい物から落下するが、直径約４μｍが多い（Liu *et al.*, 1998)。しかし、長距離輸送中に工業地域・大都市域で人為起源のエーロゾル表面に吸着して海洋に落下する。これら人為起源の成分はダスト粒子表面を覆い、酸性化を高め、栄養塩類の溶出と海洋の一次生産を促進する（岩坂ら、2009)。従って、黄砂の酸性化が海洋の酸性化に影響することが推測されるが定量的ではない。なお、この海洋の酸性化の問題について緊急の声明（日本学術会議、2009）が提出されている。

### (3)　黄砂の発生源と輸送中の気候への影響

東アジア起源の黄砂の長距離輸送と気候（三上、2009）によると、ダストは 1990 年代以降、地球科学の発展に伴い、地球の気候関係上、重要な因子であると指摘されてきたが、その理解と定量的評価は未解明である。すなわち、気候に与える影響が大きいにも関わらず、ダストの気候影響は、大気中に浮遊するダスト粒子の日射・赤外放射の散乱・吸収に基づく放射強制力による直接効果と雲生成効果（第一種間接効果：一定雲水量で、エーロゾル増加に伴う水雲の雲粒核数増加による雲アルベド効果)、および

降水効果（第二種間接効果：雲水量増加、雲頂高度上昇、雲の長寿命化による効果）による放射強制力は、不確定性は大きいが、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）でも重要項目となっている。

一方、その直接・間接効果にも取り挙げられない過程の中で、気候に与える影響が大きいにも関わらず、未解明である黄砂・ダストを解明する必要がある。そこで、長距離輸送の実態とダストー巻雲生成過程・雪氷アルベド過程をグローバルスケールからローカルスケールまで考察している。

黄砂・ダストの気候への影響特性は、本報告書〈参考資料４〉のダストが気候系に影響を及ぼすプロセスの概要（三上、2009）に示すように、人類が直面する地球環境問題の解明上、非常に重要な内容を含んでおり、気候関連の黄砂研究推進が不可欠である。

### (4)　黄砂軽減のための沙漠化防止対策

#### ①　中国の沙漠化防止法と基本的黄砂防止対策

黄砂防止には、まず沙漠化防止が不可欠である。黄砂は古代からあり、黄土高原を造ったほどである。しかし、最近の黄砂は多くは人為的な沙漠化によって発生・増加しているため、最優先で沙漠化を防止する必要がある。沙漠化には種々の原因があるが、過放牧・過耕作・過伐採・過使用水等であり、これらの防止が不可欠である。沙漠化は基本的には人口の増加による過剰開発による自然・社会科学的問題であり、その影響は極めて広範囲に及ぶ。従って、沙漠化防止法について深くは踏み込まないが、今後の対策のために、幾つかの提示項目を記述しておく。最も有効な方法は碁盤の目（格子）状防風林と草方格であり、かつ基本的な植林が重要である。また、画期的な液体炭酸人工降雨法も有望である（真木ら、2008）。

最近、中国では沿道や黄土高原の傾斜地に植林を行い、いわゆる緑化を急速に推進している。しかし、莫大な荒地面積のため、その効果はまだ評価できないが、今後に期待されるものと推測される。そして、場所・時期に適った的確な植林による沙漠化防止が有益となる。将来に期待される重要な手段として、沙漠化防止を提示に取り込むこととする。

#### ②　モンゴルの沙漠化防止法の問題点

近年、モンゴルでは沙漠化防止として、植林面積を増やしている。2003年のモンゴル国環境白書によると、2000年に約１万ha植林しているが、予算は0.6億円／年と少ない。2005年に「グリーンベルト計画」が公表された。これは東西総延長2,500km、幅600mの防砂林ベルトを2005～2035年に、北進する沙漠化から国土を守る計画である。沙漠化防止目的はよいとしても、沙漠化は線状で北上する訳ではなく、パッチ状に発生する特性があるため、アフリカのサヘル地域で日本政府が援助したグリーン

ベルトの効果の低い事業と同様に、費用の割には効果が低いと思われる。

防風・防砂林は、原理的には相似則としての草方格に習って、林帯幅は喩え１～２列の林列でも、上述の碁盤の目状防風林もしくは複数列の林列にする必要がある。防風林帯から木材を得る目的ではないと思われるが、どうであろうか。広範囲の防風・防砂、沙漠化防止を行う原理から外れた論理であり、効果の低い政治・行政的計画のように思われる。

## ６　黄砂・大気汚染物質に関する提示項目内容

今後、研究を推進すべき重要事項をまとめると、次の課題のとおりであろう。

①黄砂発生と中国・モンゴルの沙漠化との関連性、黄砂発生地域での砂の舞い上がり現象、黄砂輸送形態の観測・評価・解明

②黄砂発生地域からの輸送形態と日本国内および太平洋・アメリカ大陸等地球規模での輸送形態の観測的評価・解明

③黄砂と農薬・肥料・大気汚染物質の相互作用による物理・化学的変質の評価・解明

④黄砂と大気汚染物質の水蒸気・氷晶核・雲物理反応の特性解明

⑤地球温暖化・気候変動と黄砂・大気汚染物質の関連性の評価・解明

⑥黄砂による家畜・作物等の病原菌輸送現象の解明と病原菌飛来起源域の特定および黄砂付着病原菌の DNA 同定と防疫体制確立

⑦黄砂による人間への健康影響の評価・解明とその黄砂発生地域の特定および防止対策

⑧黄砂によるアレルギー疾患、花粉症等との関連性の評価とその防止対策

⑨黄砂による農業、特に畜産・水産業への正負の影響評価・解明

⑩広域海面への黄砂降下による地球規模の気象・気候への影響評価・解明

⑪黄砂・紅砂発生源地域における沙漠化防止のための基本的環境対策の強化

⑫黄砂・紅砂発生に対する格子状防風林・草方格等を用いた広域気象改変による防止対策

⑬黄砂・紅砂発生防止に対する画期的人工降雨技術等の導入による防止対策

⑭アフリカ・サハラ沙漠の紅砂発生予測と地球規模の大気循環機構への影響評価・解明

⑮オーストラリア沙漠の乾燥・塩類化と紅砂発生・輸送状況の評価解明とその防止対策

⑯越境大気汚染物質の輸送軽減のための抜本的対策技術開発と普及の推進

⑰超微量大気汚染物質のモニタリングおよび土壌・湖沼の酸性化とオゾン・過酸化物の生物影響評価・解明

⑱黄砂・紅砂と大気汚染の人文社会科学系問題に及ぼす影響の評価・解明

## おわりに

黄砂は最近、急速に科学的研究が進み、考察が加えられ発展しており、黄砂の単行本も数冊出版されている。しかし、特に黄砂に限っては、科学的発展が出遅れた傾向があったと思われる。ここに来て、相当挽回はしているが、出遅れた分、まだ十分解明されていない現象、事項が多い。それは、黄砂は非常に幅広い科学分野を包含しているからであるとも考えられる。すなわち、人文科学系から、多くは自然科学系までであり、研究すべきことは広範である。一方、大気汚染であるが、これは人為的行為の結果である。それが、黄砂と結びついて地球規模で悪影響を与え、気候変化すら起こしかねない状況を作り出している。従って、両者の相互関係を総合的に早急に解明する必要がある。

現在、黄砂・大気汚染の科学が急速に発展する正念場の時期に来ていると判断される。今、ここで手を緩めず推進すると、研究の基礎的データが得られやすい状況にあるため、一挙に研究が進むと推測される。黄砂と大気汚染の情報・技術は、科学者はもとより、為政者にとっても有益であり、その結果は間違いなく国民生活に還元されると考えられる。

黄砂・大気汚染問題を課題別分科会として短期間で検討したために、範囲・条件を絞って対応してきた。従って、広範な奥の深い課題であるため、幾つかの問題点は残るかも知れないが、それらは数年先の対応として据え置き、その時点で課題を再検討することが重要・有益であると考えられる。従って、今期に対応できない事項は、今後の展望につながるものと考えている。

最後に、本書は政府・国民に対しての報告であり、特に行政機関に関しては、国土交通省、環境省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、外務省に、また研究に関しては、大学を始め各省庁の試験研究機関に、対しての報告である。

## 〈参考文献〉

### 主要な参考文献


○岩坂泰信・西川雅高・山田丸・洪天祥、2009：「黄砂 KOSA」、古今書院、pp. 345.

○環境省、2005：「黄砂問題検討会報告書」、環境省ホームページ、http://www.env.go.jp/earth/dss/report/index.html、pp. 108.

○真木太一、2008：日本沙漠学会春季シンポジウムおよびDNA鑑定黄砂シンポジウム共催「最近の黄砂および気象・土壌環境に関するシンポジウム」、pp. 17.

○真木太一、2009：公開シンポジウム「黄砂および大気汚染物質の越境輸送問題」講演要旨集、日本学術会議風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会・科研費「DNA黄砂」研究会・琉球大学農学部、pp. 54.

○真木太一、2009：公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」講演要旨集、日本学術会議風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会、pp. 43.


### 引用文献


○青木正敏、2009：風送越境大気汚染とその生物影響、公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会、33～38.

○杜　明遠・真木太一、2009：中国北西部の黄砂発生気象特性と最近の黄砂観測、公開シンポジウム「黄砂および大気汚染物質の越境輸送問題」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会・DNA 黄砂研究会・琉球大学、36～43.

○Du, M., S. Yonemura, Z. Shen, Y. Shen, W. Wang and T. Maki, 2002: Wind erosion processes during dust storm in Dunhuang, China. *Sustainable Utilization of Global Soil and Water Resources, Dynamic Monitoring, Forecasting and Evaluation of Soil Erosion Watershed Management and Development Desertification Control*, **4**, 624-629.

○日吉孝子・市瀬孝道ら、2006：アレルギー学会誌、**55**(8・9)、p. 1217.

○市瀬孝道・定金香織ら、2006a：加熱黄砂と非加熱黄砂のマウス肺アレルギー炎症への影響について、第47回大気環境学会年会講演要旨集、G1348.

○市瀬孝道・定金香織ら、2006b：銀川市大気中から採取した自然黄砂と黄土高原黄砂のマウス肺アレルギー炎症増悪作用、第47回大気環境学会年会講演要旨集、G1400.

○礒田博子、2009：日本における黄砂由来口蹄疫ウイルスのDNA鑑定に関する研究、公開シンポジウム「黄砂および大気汚染物質の越境輸送問題」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会・DNA黄砂研究会、20～23.

○岩坂泰信、2009：黄砂が運ぶ物、公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会、25～32.

○Iwasaka Y., J.M. Li, Y.S. Kim, A. Matsuki, D. Trochkine, M. Yamada, D. Zhang, Z. Shen and C.S. Hong, 2008: Mass transport of background Asian dust revealed by balloon-borne measurement: dust particles transported during calm periods by westerly from Taklamakan desert. *Advanced Environ. Monitoring* (eds. by Y.J. Kim and U. Platt), Springer Verlag, 121-135.
○甲斐憲次、2009：現地観測から推定したタクラマカン砂漠のダスト総量について、公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会、17～24.
○川村知裕・原　宏、2006：日本の降水化学に対する黄砂の影響、大気環境学会誌、**41**、335-246.
○Kawamura, K., M. Kobayashi, N. Tsubonuma. M. Mochida, T. Watanabe and M. Lee, 2004: Organic and inorganic compositions of marine aerosols from East Asia: Seasonal variations of water-soluble dicarbonxylic acids, major ions, total carbon and nitrogen, and stable C and N isotopic composition. In: *Geochemical Investigation in Earth and Space Science* (eds. R.J. Hill *et al*.), The Geochemical Society, **9**, Elsevier, 243-265.
○Kizu, R., K. Ishii, J. Kobayashi, T. Hashimoto, E. Koh, M. Namiki and K. Hayakawa. 2000: Antiandrogenic effect of crude extract of C-heavy oil. *Mater. Sci. Eng*., C**12**, 97-102.
○黒崎泰典、2009：地上気象データ、衛星画像で見た黄砂、公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会、1～8.
○Kurosaki, Y. and Y. Mikami, 2002: Seasonal and regional characteristics of dust event in the Taklimakan Desert. *J. Arid Land Studies*, **11**(4), 245-252.
○Kurosaki, Y. and Y. Mikami, 2005: Regional difference in the characteristics of dust event in East Asia: relationship among dust outbreak, surface wind, and land surface condition. *J. Meteorol. Soc. Japan,* **83**A, 1-18.
○Liu, Y., L. Ren, L. Zhou, M. Zhou and Y. Gao, 1998: Numerical analyses of a dust storm and dust transportation (in Chinese). Chi. *J. Atmos. Sci*., **22**, 905-912.
○真木太一、1987：「風害と防風施設」、文永堂出版、pp. 301.
○真木太一、2000：「大気環境学」、朝倉書店、pp. 140.
○真木太一、2003：「黄砂・風送ダストー地球規模から微気象までの環境ー」および最近の特徴的黄砂現象について、沙漠研究、**13**(1)、1～6.
○真木太一・橋本康・奥島里美・三野徹・野口伸・青木正敏・礒田博子・大政謙次・後藤英司・鈴木義則・高辻正基・野並浩・橋口公一・早川誠而・村瀬治比古・山形俊男、2008：渇水対策・沙漠化防止に向けた人工降雨法の推進、日本学術会議農学基礎委員会農業生産環境工学分科会、pp. 28.
○真木太一・杜明遠、2009：中国甘粛省敦煌の黄砂特性および寧夏自治区霊武

の無灌水植林効果、公開シンポジウム「黄砂および大気汚染物質の越境輸送問題」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会・DNA 黄砂研究会・琉球大学、5～10.

○Matsuki, A., Y. Iwasaka, D. Trochkine, D. Zhang, K. Osada and T. Sakai, 2002: Horizontal mass flux of mineral dust over east Asian in the spring: Aircraft-borne measurements over Japan. *J. Arid Land Studies*, **11**(4), 337-345.

○三上正男、2009：東アジア起源の黄砂の長距離輸送と気候インパクトについて、公開シンポジウム「黄砂および大気汚染物質の越境輸送問題」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会・DNA 黄砂研究会、30～35.

○ Mikami, M., Y. Yamada, M. Ishizuka, T. Ishimaru, W. Gao and F. Zeng, 2005: Measurement of saltation process over gobi and sand dunes in the Taklimakan desert, China, with newly developed sand particle counter. *J. Grophys. Res.*, **110**, D18S02, doi:10.1029/2004JD004688.

○日本学術会議、2009：「海洋の酸性化についての声明（IAP Statement on Ocean Acidification）」に関連しての会長談話、日本学術会議 HP（6 月 15 日）、p. 1.

○Nishikawa, M., I. Mori, Y. Di and H. Quan, 2002: Source impacts of fall-out dust in Beijing. *Proc. Internal. Aerosol Conference Taiwan*, 433-434.

○Shi, F., P. Yamada, J. Han, Y. Abe, T. Hatta, M. Du, T. Maki, K. Wakimizu, H. Yoshikoshi and H. Isoda, 2009: Detection of Foot and Mouth Disease Virus in Yellow Sands Collected in Japan by Real Time Polymerase Chain Reaction (PCR) Analysis. *J. Arid Land Studies*, **19**(3), 483-490.

○高見昭憲、2009：東アジアにおける越境大気汚染について、公開シンポジウム「黄砂および大気汚染物質の越境輸送問題」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会・DNA 黄砂研究会・琉球大学、44～50.

○田中泰宙、2009：全球モデルで見たアジアの砂漠起源のダストの役割、公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会、9～16.

○Tanaka, T.Y., Y. Kurosaki, M. Chiba, T. Matsumura, T. Nagai, A. Yamazaki, A. Uchiyama, N. Tsunematsu and K. Kai, 2005: Possible transcontinental dust transport from north Africa and the middle east to east Asia. *Atmos. Environ.*, **39**, 3901-3909.

○植松光夫、2009：深海底に降り積もる黄砂、公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会、39～40.

○鵜野伊津志、2009：黄砂地球一周約 2 週間で、読売新聞、7 月 26 日.

○Uno, I., Z. Zang, M. Chiba, Y.S. Chun, S.L.Gong, Y. Hara, E. Jung, S.S. lii, M. Liu, M. Mikami, S. Music, S. Nickovic, S. Satake, Y. Shao, Z. Song, N.Sugimoto, T. Tanaka and D.L. Westphal, 2006: Dust nidel intercomparison (DMIP) study over Asia: Overview, *J. Geohys. Res.*, **111**, D12213, doi:10.10.29/2005JD006575.

○山田パリーダ、2009：日本における黄砂由来口蹄疫ウイルスの DNA 鑑定に関する研究、公開シンポジウム「黄砂および大気汚染物質の越境輸送問題」講演要旨集、風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会・DNA 黄砂研究会、17～19.
○吉永秀一郎、1998：日本周辺における第四紀後期の広域風成塵の堆積速度、第四紀研究、**37**、205-210.
○Zhang, D., Y. Iwasaka, 2004: Size change of Asian dust particles caused by sea salt interaction: Measurements in southwestern Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L15102, 10.1029/2004GL020087.
○Zhang, D., Y. Iwasaka, G. Shi, J. Zang, A. Matsuki and D. Trochkine. 2003: Mixture state and size of Asian dust particles collected at southwestern Japan in spring 2000. *J. Geophys. Res*., **108**, 4760, 10.1029/2003JD003869.
○Zhuang, G., Z. Yi, R.A. Duce, P.R. Brown, 1992: Link between iron and sulfur cycles suggested by detection of Fe (Ⅱ) in remote marine aerosol. *Nature*, **355**(6360), 537-539.

## 〈参考資料１〉農学委員会風送大気物質問題分科会審議経過

○平成 20 年 12 月 17 日　第１回分科会
　委員長、副委員長、幹事の選出、今後の分科会の推進方向、第１回シンポジウム案の検討
　分科会委員長：真木太一、副委員長：青木正敏、幹事：礒田博子、委員：大政謙次・鈴木義則・早川誠而・宮崎　毅・山形俊男名簿確定
○平成 21 年２月 20 日　第２回分科会
　風送大気物質問題分科会の今後の推進方針、第２回シンポジウムの案の検討
　公開シンポジウム「黄砂および大気汚染物質の越境輸送問題」の開催
　（おきでんふれあいホール、沖縄県那覇市旭町）
○平成 21 年６月８日　第３回分科会
　黄砂・大気汚染関係の提言の検討、今後の推進方向
　公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」の開催
　（東京大学理学部４号館、東京都文京区本郷）
○平成 21 年７月 28 日　第４回分科会
　黄砂・大気汚染に関する提言案の検討、今後の分科会の推進方向
○平成 21 年 10 月 22 日　第５回分科会
　提言に関する各委員への依頼事項の検討、提言案の検討、サイエンスアゴラへの対応
○平成 21 年 12 月　メイル会議の開催、提言案の確認

**〈参考資料２〉**

## 公開シンポジウム「黄砂および大気汚染物質の越境輸送問題」プログラム

**１．主　催**：日本学術会議農学委員会風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会・科研費「DNA 黄砂」研究会・琉球大学農学部

**２．日　時**：2009 年 2 月 20 日（金）10:00～17:00

**３．場　所**：おきでんふれあいホール（沖縄県那覇市旭町）

**４．開催趣旨**：

黄砂の発生が 2000 年以降、非常に多くなっている。その黄砂が、また近年工業地域からの大気汚染物質が、中国大陸から韓国、日本等に越境輸送される現象が増加している。空気が清浄とされる長崎県五島列島では光化学オキシダントが、また沖縄県本島でも水銀の濃度が上昇するなどの観測結果が報告されている。これら黄砂を含む風送大気物質の輸送問題について、最新の情報を収集するとともに、シンポジウムにおいて活発に論議して提言資料の参考としたい。

**５．プログラム：**

**第Ⅰ部**　（10:00～12:00）

日本学術会議農学委員会風送大気物質問題分科会シンポジウム・科研費「DNA 黄砂」研究会シンポジウム

開会挨拶　真木　太一（日本学術会議会員・風送大気物質問題分科会委員長、琉球大学農学部）

座長：礒田　博子（日本学術会議連携会員、筑波大学北アフリカ研究センター）

（１）黄砂粒子の最表面状態

八田珠郎・越後拓也・根本清子（国際農林水産業研究センター）・礒田博子・山田パリーダ（筑波大学）・杜　明遠（農業環境技術研究所）・真木太一（琉球大学）

（２）中国甘粛省敦煌の黄砂特性および寧夏自治区霊武の無潅水植林効果

真木太一（琉球大学農学部）・杜　明遠（農業環境技術研究所）

（３）中国ゴビ砂漠付近の砂塵嵐と九州地方の黄砂について

早川誠而（日本学術会議連携会員、山口大学名誉教授）・山本直子（鳥取大学連合農学研究科）

座長：八田珠郎（国際農林水産業研究センター）

（４）日本における黄砂由来口蹄疫ウィルスの DNA 鑑定に関する研究

山田パリーダ（筑波大学北アフリカ研究センター）

（５）黄砂の発生における病原菌及びアレルゲン物質の移送に関する研究

礒田博子（日本学術会議連携会員、筑波大学北アフリカ研究センター）

**第Ⅱ部**　（13:00～17:00）

日本学術会議農学委員会風送大気物質問題分科会シンポジウム・日本沙漠学会冬季シンポジウム

開会挨拶　真木　太一（日本学術会議会員・風送大気物質問題分科会委員長、琉球大学農学部）

座長：青木正敏（日本学術会議連携会員、東京農工大学大学院共生科学技術研究院）

（６）沖縄の黄砂
　　栽　吉信（沖縄気象台）

（７）東アジア起源の黄砂の長距離輸送と気候インパクトについて
　　三上正男（気象庁気象研究所）

座長：早川誠而（日本学術会議連携会員、山口大学名誉教授）

（８）中国北西部の黄砂発生気象特性と最近の黄砂観測
　　杜　明遠（農業環境技術研究所）・真木太一（琉球大学農学部）

（９）東アジアにおける越境大気汚染について
　　高見昭憲（国立環境研究所）

**総合討論**

座長：鈴木義則（日本学術会議連携会員、九州大学名誉教授）

（10）風送大気物質問題分科会の提言に向けた推進方向と展望
　　真木太一（琉球大学農学部）

**総合討論総括**

　　鈴木　義則（日本学術会議連携会員、九州大学名誉教授）

閉会挨拶　真木　太一（日本学術会議会員・風送大気物質問題分科会委員長、琉球大学農学部）

**〈参考資料３〉**

## 公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」

**１．主　催**：日本学術会議農学委員会風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会（夏季シンポジウム）

**２．日　時**：2009 年 6 月 8 日（月）13:00～17:00

**３．場　所**：東京大学理学部 4 号館 2 階（1220 号室）（東京都文京区本郷）

**４．開催趣旨**：

近年、日本では黄砂・ダスト・汚染物質の飛来が多くなっている。その黄砂・ダストが中国の沙漠・農業地域から、また大気汚染物質が中国の工業地域から韓国や日本等に越境輸送される現象が増加している。今年も、九州・四国から全国的に黄砂飛来の観測状況が報告されている。これら黄砂・ダストや大気汚染物質は日本を越えて、さらには新たに日本から太平洋を越えてアメリカ・カナダへと地球規模で輸送され、あるいはサハラ沙漠のダストはヨーロッパに輸送され、やがてはアジア大陸へと地球規模で輸送されている。これらの黄砂・ダスト・大気汚染による風送大気物質の輸送問題について、最新の情報を収集するとともに、公開シンポジウムにおいて活発に論議することによって、政府・国民に提言を行うための貴重な情報・資料としたい。

**５．プログラム**：

開会挨拶　真木　太一（日本学術会議会員 風送大気物質問題分科会委員長、筑波大学 北アフリカ研究センター、九州大学名誉教授）

座長：山形俊男（日本学術会議連携会員、東京大学）

（１）地上気象データ、衛星画像で見た黄砂
　　黒崎　泰典（鳥取大学乾燥地研究センター）

（２）全球モデルで見たアジアの砂漠起源のダストの役割
　　田中　泰宙（気象庁 気象研究所 環境・応用気象研究部）

（３）現地観測から推定したタクラマカン砂漠のダスト総量について
　　甲斐　憲次（名古屋大学 大学院環境学研究科）

座長：大政謙次（日本学術会議連携会員、東京大学）

（４）黄砂が運ぶもの
　　岩坂　泰信（金沢大学フロンティアサイエンス機構）

（５）風送越境大気汚染とその生物影響
　　青木　正敏（日本学術会議連携会員、東京農工大学）

（６）深海底に降り積もる黄砂
　　植松　光夫（日本学術会議特任連携会員、東京大学海洋研究所）

閉会挨拶　鈴木　義則（日本学術会議連携会員、九州大学名誉教授）

## 〈参考資料４〉

### ダストー気候系のプロセス概要

本報告書の第５章２節における､｢ダストが気候系に影響を及ぼすプロセスの概要（三上、2009)」の詳細を以下に示す。これらは、人類が直面する地球環境問題の解明と対策上、非常に重要な内容を含んでいる。なお、以下で、①は関与する気候スケール（グローバル、ローカル)、②は影響の過程、③は影響の程度（文献）を表す。｢不明」は未解明事項である。

①グローバル、②大気中ダストの日射・赤外放射の吸収散乱による放射強制力直接効果､③地表面アルベドに依存､全球では-0.1±0.2W/m$^2$ (Mikami *et al.*, 2006)

①グローバル、②第一種、第二種間接効果へのダストの寄与、③-0.7W/m$^2$ (エーロゾル全体、第一種)、第二種は不明(Nakajima *et al.*, 2003; Takemura *et al.*, 2005)

①グローバル、②自由大気上層のダストの氷晶核活性化による巻雲生成→放射強制力効果、③不明(Cantrell and Heymsfield, 2005; Ansmann *et al.*, 2008)

①ローカル､②雪氷面に沈着したダストのアルベド効果､③全球で+0.2℃ (試算)、ダストー雪氷ー生物過程は不明（青木・田中、2008)

①ローカル、②ダストによる地上風速、降水量の減少、③-8%(風速), -2～-5%(降水量)(Jacobson and Kaufman, 2006)

①グローバル、②海洋表面に沈着したダストの栄養塩ー生物効果による $CO_2$ 吸収および海洋表面に沈着したダストの栄養塩ー生物効果による DMS-CCN 生成、③不明

注） DMS(硫化ジメチル：Dimethyl sulfide)、CCN（雲凝結核：Cloud condensation nuclei)

①ローカル、②ダストの氷河への沈着による内陸閉鎖水系への影響、③不明(Mikami *et al.*, 2006)

①ローカル、②過放牧・農地の不適切管理に伴うダスト発生量の増加、③人為起源が全体の 10%以下(Tagen *et al.*, 2004)

①ローカル、②沙漠化および植生・土壌水分の減少によるダスト発生量の増加、③不明

①ローカル、②気候場(気候指数)の変化に伴うダスト発生量の変化、③不明(Hara *et a*l., 2006; Gong *et al.*, 2006)

①グローバル②氷期の気候変化に伴うダスト発生量・分布の変化、③現在の1.9～2.4倍（モデル、全球）(Mahowald *et al.*, 2006; 竹村ら、2008)

①グローバル、②氷期のダスト発生量・分布変化による気候インパクト、③-0.02W/m$^2$（大気上端)、-0.43W/m$^2$（地表面）(竹村ら、2008)

以上は、地球環境問題の解明と対策において、非常に重要な気候関連の影響事項であり、強力に推進すべき研究課題である。

ダスト－気候系関係の引用文献


1) Mikami, M., *et al*., 2006: Aeolian dust experiment on climate impact: An overview of Japan-China joint project ADEC, *Global Planetary Change*, **52**, 142-172, doi:10.1016/j.gloplacha.2006.03.001.

2) Nakajima, T., *et al*., 2003: Significance of direct and indirect radiative forcings of aerosols in the East China Sea region, *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8658, doi:10.1029/2002JD003261.

3) Takemura, T., *et al*., 2005: Simulation of climate response to aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model, *J. Geophys. Res.*, **110**, D02202, doi:10.1029/2004JD005029.

4) Cantrell, W. and Heymsfield, A., 2005: Production of ice in tropospheric clouds, BAMS, 795-807.

5) Ansmann, A., *et al*., 2008: Influence of Saharan dust on cloud glaciation in southern Morocco during the Saharan Mineral Dust Experiment, *J. Geophys. Res.*, **113**, D04210, doi:10.1029/2007JD008785.

6）青木輝夫・田中泰宙、2008：大気エーロゾルの沈着が積雪アルベドに与える影響、天気、**55**(7)、538-547.

7) Jacobson, M. Z., and Y. J. Kaufman, 2006: Wind reduction by aerosol particles, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L24814, doi:10.1029/2006GL027838.

8) Tagen, I. *et al*., 2004: Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L05105, doi:10.1029/2003GL019216.

9) Hara, Y. *et a*l., 2006: Long-term variation of Asian dust and related climate factors, *Atmos. Environ.*, **40**, 6730-6740.

10) Gong, S.L., *et al*., 2006: A Simulated Climatology of Asian Dust Aerosol and Its Trans-Pacific Transport. Part II: Interannual Variability and Climate Connections, *J. Climate*, **19**, 104-122.

11) Mahowald, N.M., *et al*., 2006: Change in atmospheric mineral aerosols in response to climate: Last glacial period, preindustrial, modern, and doubled carbon dioxide climates, *J. Geophys. Res.*, **111**, D10202, doi:10.1029/2005JD006653.

12）竹村俊彦ら、2008：最終氷期極大期におけるエアロゾルの分布及び気候影響に関するシミュレーション、日本気象学会 2008 年春季大会予稿集、219.