

## 黄砂現象に関する最近の動き

### —自然現象か人為的影響か古くて新しい問題の解決に向けて—

2006年春、4年ぶりに猛威をふるい、中国では死者が出るほどの被害をもたらした黄砂だが、日本人にとっては、春一番とともに春の風物詩というのどかなイメージがある。従来、黄砂は自然現象と考えられていたが、中国等において被害が急激に拡大していることから、人為的な要因も影響しているとの指摘もあり、より詳細な現象解明が求められている。しかし、現時点では、黄砂の物理的、化学的な性質等について、必ずしも充分に解明されていない。その一方で近年、この黄砂が地球環境問題の一つとしても注目されるようになってきている。

黄砂問題は、国によって認識の程度が異なる。中国では、死者が出るほどの重大な被害が出ており、また、土地劣化や砂漠化の問題として強く認識されている。日本の場合、国民レベルでは、視程の悪化、自動車や洗濯物への付着程度であるが、研究者レベルでは、大気汚染の一種としての認識が強い。韓国は、日本と同様、国内に発生源を持たないものの、気象災害としての側面が注目されている。また、モンゴルにおいては、砂の移動が直接地域住民の生活基盤を脅かしている。

黄砂が環境や産業などに与える短期的かつ直接的な影響は比較的明らかになっているが、気候変動に関連するような長期的影響や黄砂の物質循環に関連する影響についてはまだ明らかでない部分が多い。そのため、今後、日本の黄砂問題に対する取組みとして、現象の解明、モニタリング、対策等が基本戦略として重要となってくる。

黄砂対策には、黄砂の影響を直接受けるため黄砂の発生・発達過程そのものを改変し黄砂の発生を抑制することを目的とする発生源対策と、黄砂予報や警報といった黄砂影響地域の被害を緩和することを目的とする対策とに分けて考えられる。

黄砂対策の推進のためには、日本国内では省庁間の連携を進めることが重要であるとともに、発生源対策や黄砂予報に有効なモニタリングを行うための多国間連携が必要となる。そのためには、各機関が所有する黄砂関連データの共有化を図り、黄砂モニタリングネットワークを確立し、各国の効果的な黄砂対策に資することが国際協調を促進すると考えられる。特に、黄砂発源地域の住民や地方公共団体の技術者などを対象に、黄砂問題に関する基礎的な知識の習得や普及を図ることが、黄砂対策を効果的に進める上では最も重要である。黄砂発源地域における抑制対策は喫緊の問題である。

今後、北東アジアの生産活動が活発化していくにしたがって、黄砂と社会・経済との関係が現在よりも密接になってくることが予想され、関係各国の問題として解決に当たるべく対応が求められている。

# 黄砂現象に関する最近の動き

— 自然現象か人為的影響か古くて新しい問題の解決に向けて —

山本 桂香

環境・エネルギーユニット

## 1 はじめに

日本人にとって黄砂は、春一番とともに春の風物詩というのどかなイメージがある。黄砂は、春先から初夏にかけて、東アジアを経由する低気圧の通過に伴って観測されることが多く、黄砂現象発生時には空が黄色く霞むことなどにより、一般にも広く知られている現象である。2006年の今春も日本各地で観測されたが、東京都心では4月18日に、2000年4月14日以来6年ぶりに黄砂が観測された。翌19日も続き、2日連続は1988年4月14、15日以来18年ぶりとなった（表紙カラー写真参照：NASAの地球観測衛星Aqua/Terra搭載のセンサ

MODISにより観測、宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて受信、処理）。中国では、ここ数年では最大規模の砂嵐に見舞われた日もあり、死者が出るほどの被害となっている。

近年、2000年から2002年にかけて、黄砂現象の観測回数が過去30年間の最大値を3年連続で更新したことや、これまで観測の少なかった北日本や秋口にも観測されるなど、黄砂現象への社会的な関心が高まりつつある。

一方で、大気中に浮遊する黄砂は、直接的にも間接的にも地球の気候と深く関係していることが最近の研究により明らかにされつつ

ある。黄砂現象は発生域の自然災害という側面とともに、黄砂が輸送される地域の大気環境や地球規模の気候への影響という様々な側面をもった現象であることがわかってきた<sup>1)</sup>。黄砂は従来、自然現象と考えられていたが、中国等において被害が急激に拡大していることから、人為的な要因も大きく影響しているとの指摘もあり、より詳細な現象解明が求められている。しかし、現時点では、黄砂そのものの物理的、化学的な性質等について、十分な解明はなされていない。

## 2 黄砂現象とは

黄砂は、中国大陸内陸部のタクラマカン砂漠や黄土高原、中国からモンゴルにかけて広がるゴビ砂漠などの乾燥・半乾燥地域で、風によって数千メートルの高度にまで巻き上げられた土壌・鉱物粒子が偏西風に乗って拡散し、日本をはじめ東アジア、西太平洋地域などに飛来し、大気中に浮遊あるいは降下する現象である。

大陸の乾燥・半乾燥地域から風によって大気中に舞い上げられた黄砂は、発生源地域周辺の農業生産や生活環境に重大な被害を与え

るばかりでなく、大気中に浮遊することによって、黄砂粒子を核とした雲の発生や降水過程を通して地球全体の気候に影響を及ぼしている。また、海洋へも降下して、海洋表層のプランクトンへのミネラル分の供給を通して海洋の生態系にも大きな影響を与えている<sup>2)</sup> という説もあるが、その詳細についてはまだ明確にはなっていない。

黄砂現象は、黄河流域および砂漠等から風によって砂塵が運ばれてくる「自然現象」であると理解されてきたが、近年、その頻度と

被害が甚大化しており、急速に広がりつつある過放牧や農地転換による耕地拡大なども黄砂現象の程度を左右する要因として指摘されてきている。黄砂は、単なる自然現象としてではなく、森林減少、土地の劣化、砂漠化といった人為的影響による環境問題<sup>2)</sup> としても再認識されつつある。

2 - 1

### 黄砂の定義

黄砂という単語は、日本および韓国では使われているが、中国

では一部の研究者を除いて、行政官庁および一般には使われていない<sup>4)</sup>。

図表1に示すように、日本の黄砂は、大気現象として大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂塵が飛揚し天空を覆った状況と大気現象に伴う視程の低下という現象で認識されている。韓国では大気中に浮遊する物質の濃度を基準として3段階に分類し黄砂警報等を発表しており、外出禁止が発令される場合もある。一方、中国では、「砂塵暴天気」として5段階に分類し、風の強さと視程距離による濃度が大きさの程度を表わす基準となっており、砂塵暴（嵐）被害

という認識がなされている。

2 - 2  
黄砂の発生の仕組み

黄砂の発生のメカニズムは、温帯低気圧活動に伴っており、高気圧から低気圧中心や前線帯へ向けての強風が吹いている地域で、砂塵の巻き上がりが盛んに起きることによって黄砂現象が始まる<sup>3)</sup> (図表2参照)。

黄砂現象の発生の有無や黄砂の飛散量は、強風の程度などの気象条件だけでなく、強風下にある地域の表面状態が大きな要因となる。地表面の状態とは、地形をは

じめ、地表の植生の有無、表面粗度や積雪の有無、土壌水分量、地表面の土壤粒径などであり、これらの条件によって飛散量は大きく左右される。日本の気象庁では、黄砂の発生、飛来する量は、①乾燥状況や植生、積雪など発生域の土壤の状態、②発生域における、砂塵を吹き上げる強風の有無、③偏西風の状態、の3点が主に影響するが、どの要素が優位に働くのかといった詳細なメカニズムはいまだ不明としている。

北東アジアを起源とする黄砂粒子は、いったん大気中に舞い上がると、偏西風により輸送され、比較的大きな粒子(直径10 $\mu$ m以上)

図表1 各国の「黄砂」の定義

■中国

視程	「黄砂」が見られる天気の呼称	用語	備考：(http://www.weathercn.com/room/shuyu.jsp) (中国国家気象局「地面気象観測の手引き(2003)」)
10km以下	砂塵天気 砂塵暴天気	浮塵	大気中に浮遊している砂粒子あるいは土壌粒子で、水平視程を10km以下にさせる天気現象
1～10km		揚砂	風により地表砂塵が巻き上げられ、大気が混濁し、水平視程が1～10kmになる天気現象(別称：高吹砂塵)
1km以下		砂塵暴(嵐)	風により地表砂塵が大量に巻き上げられ、大気がかなり混濁し、水平視程が1km以下になる天気現象
500m以下		強砂塵暴(嵐)	大風(強い風)により地表砂塵が巻き上げられ、大気が非常に混濁し、水平視程が500m以下になる天気現象 (参考：大風は一般に風力8級(瞬間風速17.2m/s)以上)
50m以下		極強砂塵暴(嵐)	狂風(非常に強い風)により地表砂塵が大量に巻き上げられ、大気が非常に混濁し、水平視程が50m以下になる天気現象 (参考：狂風は一般に風力10級(瞬間風速24.5m/s)以上)

■韓国

粒径、濃度	「黄砂」が見られる天気の呼称	用語	備考：(韓国気象庁2002、Chu2004)
1～1000 $\mu$ m	ホンサ(黄砂)	砂	無風あるいは弱い風による一様な空中分布
1～10 $\mu$ m		ダスト、黄砂	粒径10 $\mu$ m：数時間～数日間浮遊 粒径1 $\mu$ m：数年間浮遊
		黄砂	主として春季に、アジア大陸のパダインジャラン、テンゲル、ムウス、フンジャンダーク、ケルチン、ゴビ地域及び黄土高原を含む乾燥・半乾燥地域から、砂塵が浮遊・降下し視程・大気質に影響を与える現象 目視の視程観測によって、レベル0、レベル1、レベル2の3段階 予報に当たっては黄砂濃度を利用。今後2時間にわたって時間平均が300 $\mu$ g/m <sup>3</sup> を超えると予想される場合には黄砂注意報を、500 $\mu$ g/m <sup>3</sup> を超える場合には黄砂警報を、1000 $\mu$ g/m <sup>3</sup> を超える場合には警告を出している

■日本

粒径・視程	「黄砂」が見られる天気の呼称	用語	備考：(気象庁2002)
	黄砂	黄砂	主として、大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂塵が空中に飛揚し天空一面を覆い、徐々に降下する現象。甚だしいときは天空が黄かっ色となり、太陽が著しく光輝を失い、雪面は色づき、地物の面には砂じんが積もったりすることもある。視程10km以下で気象台や測候所が目視により判断

参考文献<sup>3,4)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

は重力により速やかに落下するが、小さな粒子（直径数 $\mu\text{m}$ 以下）は上空の風に運ばれ遠くまで輸送される。東アジアで発生した黄砂は、北太平洋を横断し、北米大陸まで輸送されていることが、地球観測衛星から観測されており、さらに、北大西洋を越え、ヨーロッパアルプスまで達した事例も報告されている<sup>1)</sup>。

同様な現象は、土壌粒子が舞い上がる条件さえそろえば世界中の何処でも発生する可能性がある<sup>1)</sup>。黄砂と同様の現象は、世界の多くの地域で観察されており、特に大きな砂漠の周辺で見られる。世界には砂塵の多発地帯が4つあると言われており、中央アジ

ア、北米、アフリカ中部とオーストラリアである<sup>5)</sup>。なかでもアフリカのサハラ砂漠から南イタリアに吹く乾熱風「シロッコ」は大規模なもので、サハラの細粒物質を地中海地域に運び、赤い雨を降らせ、地中海沿岸一帯の赤土（テラロッサ）の母材になっている<sup>3)</sup>。

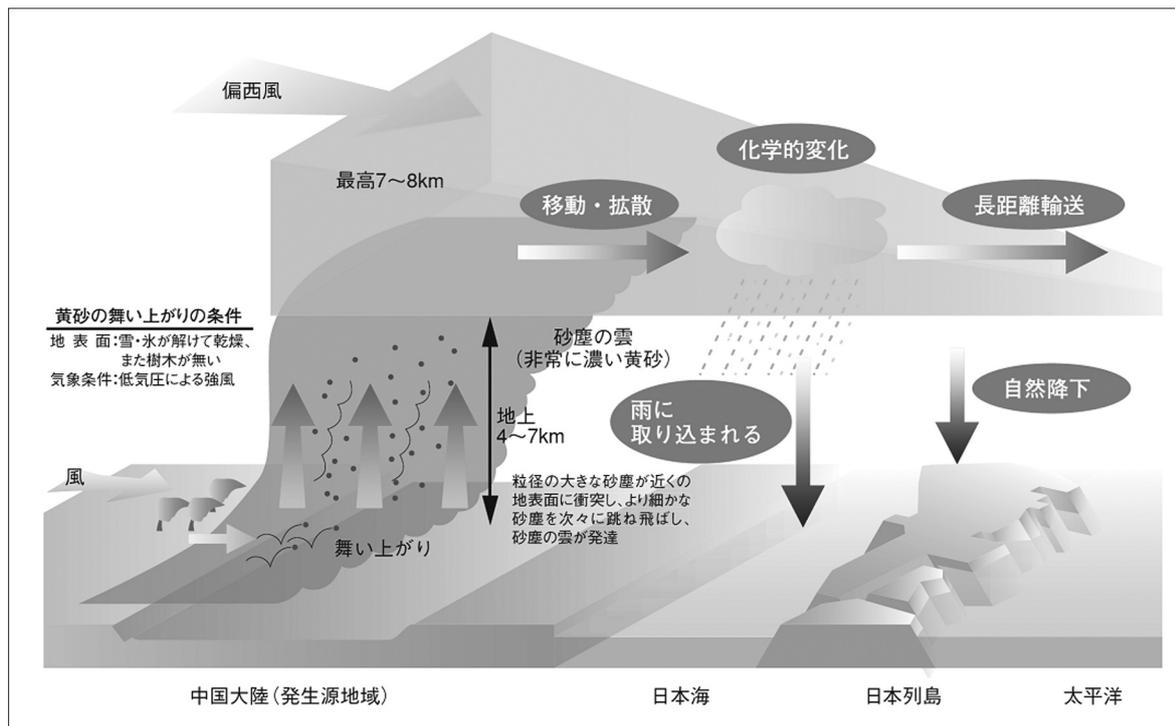
2 - 3

黄砂粒子の性質

大気中の黄砂粒子は、その多くは単純な鉱物粒子だけから成るのではなく、粘土鉱物の構成粒子が相互に凝集したもの、あるいは石英や長石などの粒度の粗い粒子の表面に粘土鉱物が付着した粒子から成るとされている<sup>3)</sup>。

日本上空に飛来する黄砂粒子の鉱物組成を調べると、主要鉱物として、石英や長石などの造岩鉱物や、雲母（イライト）、緑泥石、カオリナイトなどの粘土鉱物が多く含まれている。日本まで到達する黄砂の粒径の分布は、直径 $4\mu\text{m}$ 付近にピークを持っている<sup>2)</sup>。また、黄砂粒子の化学成分分析からは、土壌起源ではないと考えられるアンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ )、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ )、硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) なども検出され、黄砂粒子が輸送途中で人為起源の大気汚染物質を取り込んでいる可能性<sup>2)</sup>も指摘されている。粒子表面は、極めて複雑なプロセスで形成されていると考えられるが、その多くは未解明である。

図表2 黄砂発生メカニズム



環境省「黄砂パンフレット」<sup>2)</sup>より抜粋

3 黄砂現象の影響

3 - 1 黄砂現象の発生頻度

黄砂は、年間を通して日本列島

に飛来しているが、一般的に3月～5月に多く観測される。

日本において、1967年から2006年5月31日までの目視による黄砂の観測回数の経年変化を見

ると（図表3参照）、1991年以降の観測回数は少なかったが、2000年～2002年には急激に増加している。日本全国の103地点での黄砂観測のべ日数の経年変化をみ

ると、1980年代後半まで年間300日を超えることは少なかったが、1988年以降は頻繁に300日を超えており、2000年～2002年の3年間は669日、759日、1,132日と特に多くなっている。今年も、5月末時点で既に600日を超えており、観測日数も40日を超えている。

黄砂発生頻度の変動のメカニズムについては、積雪、土壌水分、植生などの地表面条件の変化や大規模な大気循環場の変動など様々な視点からの研究がなされているが、現時点まではっきりとしたことはわかっていない<sup>1)</sup>。

3 - 2

黄砂現象に対する主な原因

中国北部で2006年の今春、黄砂現象が頻繁に発生した原因として中国国家林業局では以下を挙げている<sup>6)</sup>。①内蒙古自治区中部や新疆ウイグル自治区といった中国北部の砂漠地帯の多くの地域で、春先の気温が例年より1～2℃高かった。このため凍った土の融解が例年より早く、土壌から水分が一気に蒸発した。②昨年冬から今

用語説明

注1

観測のべ日数：国内の各観測点で黄砂を観測した日数の合計（同じ日に5地点で観測した場合は5増える）。

観測日数：国内の各観測点で黄砂を観測した日付の合計（複数地点で観測がある場合も1日と数える）

年春にかけ、中国北部の砂漠地帯の大半の地区で降水量が例年より3～8割減少し、過去50年で2番目に雨が少なかった。このため表土が乾燥し、土壌に含まれる水分が減った。③例年より強いシベリア寒気が頻繁に砂漠地帯を通過し、また、モンゴル付近で発生した低気圧の影響で大量の砂が巻き上がり砂嵐が頻発した。すなわち中国では、天気の変化が主な原因とされている。

従来から、発生源地域のゴビ（中国およびモンゴルの砂礫砂漠）、黄土高原、河西回廊などの半乾燥地では冬季に降雨が少ないこと、および冬から早春まで植生がないこと<sup>3)</sup>が、土壌粒子の舞い上がりやすい条件とされている。黄砂が頻発する要因は、未だ多くの未解明な点があるものの、可能性とし

ては、中国北西部での過耕作、過放牧、過揚水による土地の劣化との関連性が考えられる。

3 - 3

黄砂がもたらす被害の大きさ

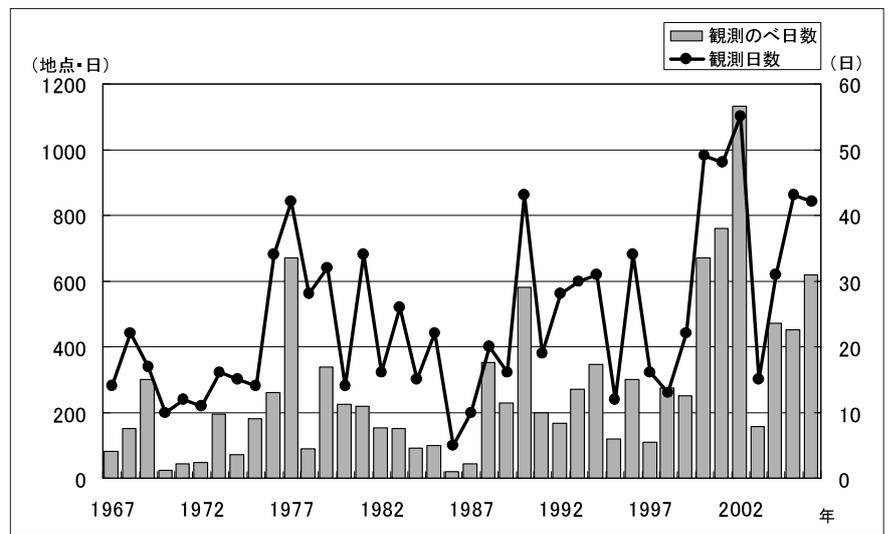
黄砂問題は、影響を受ける北東アジア地域の国々での共通した課題であるが、発生源からの距離が近いほど、その被害は大きい（図表4参照）。

①中国における砂塵暴天気がもたらす被害の事例

国内に発生域を抱える中国では、降塵現象というよりも強風を伴った砂塵嵐という気象災害として認識されている（図表1参照）。

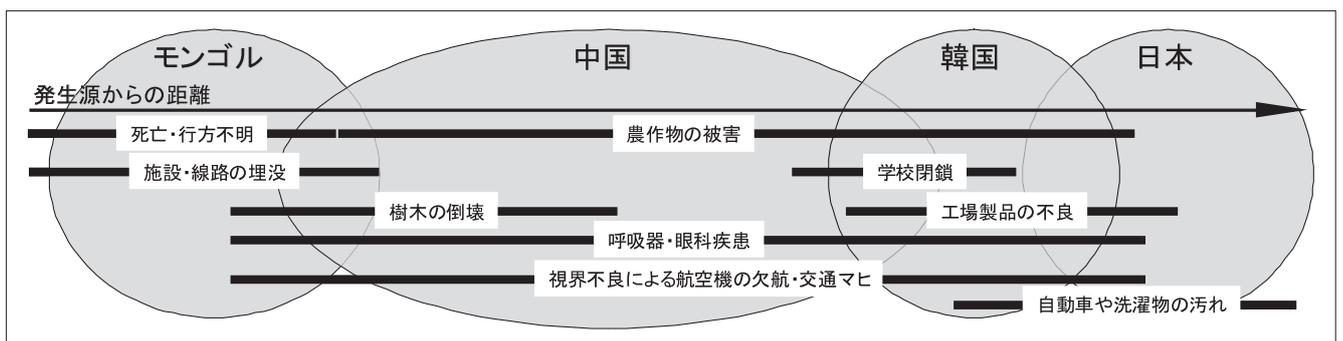
近年では、1993年5月、中国北西部に発生した砂塵嵐が、人や家

図表3 年別黄砂観測のべ日数および黄砂観測日数<sup>注1)</sup>



2006年5月31日現在の国内103地点での統計  
気象庁観測データを基に科学技術動向研究センターにて作成

図表4 各国の黄砂の被害状況



参考文献<sup>2)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

畜に対する被害としては最大であった。このときの被害の多くが、家屋の倒壊、線路の埋没、電柱や樹木の倒壊、耕地・果樹園の埋没といった農作物への被害などであった。

この砂塵嵐は、新疆ウイグル、甘肅、内モンゴル、寧夏の計4省・自治区、74市・盟に甚大な被害を与えた。甘肅省では瞬間最大風速34m/sを記録し、砂塵の壁は300mの高さに達し視程はほぼ0mとなった。この砂塵嵐により、交通・通信網が麻痺し、断水や停電が発生し、住宅・施設の崩壊・倒壊、農耕地への砂の堆積などがあった。中国林業省の当時の調査によると、この砂塵嵐により85人が死亡、264人が負傷し、373千haの農作物が被害を受け、12万頭の家畜が死亡・行方不明となった。これらの直接被害額は5.6億元（約73億円：1元＝13円として）と見積もられている。直接的被害に加え、砂丘が1～8m移動し、農地や牧草地に侵入してきた。さらに、吹き上げられた砂塵により周辺住民の健康影響もあったものと推定されている<sup>3)</sup>。

### ②韓国における黄砂の被害の事例

発生域に近い韓国では、黄砂現象の発生により大気中の浮遊粒子状物質の濃度がしばしば環境基準値を超え、黄砂現象は深刻な大気環境問題として認識されている<sup>1)</sup>。特に、2002年の大飛来時には、社会経済面に甚大な被害が報告された。ソウルでは2002年3月にPM10<sup>注2)</sup>の濃度が2,266 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を記録し、黄砂を原因として幼稚園、小中学校、高等学校計4,949校に開校以来はじめて、休校令が出された。また、視程の悪化により航空機が102便欠航し、精密機器工場は操業を見合わせ、病院では、呼吸器科、皮膚科、眼科に通院する患者が急増した。この2002年の黄砂により、韓国

図表5 黄砂の影響

分野	具体例
産業	工場の空調（特に精密機械）
輸送	視程の低下による運輸・交通（特に航空機）の輸送量低下ないしは一時的中止。道路が埋まる。水道・排水・給水設備への被害
学校	時には休校も（通学の安全確保や健康への配慮）
健康	呼吸困難による死亡や健康被害
建築	建物の埋没や倒壊、破損。送電線などへの被害
農業	羊などの家畜の死亡（オリに入れられているために逃げることができない。あるいは、建物が崩壊したときに下敷きになる） 果樹園、畑などへの被害。ビニールハウスへの被害
社会生活	室内空調の必要（外の空気が汚れているために室内の空気の浄化） 照明の必要（昼間でも薄暗くなるために）
景観	独特の景観の出現。季節感
海洋	プランクトンへの栄養塩、ミネラルの供給
酸性雨	中和作用
地球温暖化	温暖化を加速するか寒冷化を促すか、場合による（研究がすすめられている）

参考文献<sup>4)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

では黄砂問題についての関心が一気に高まることとなり、黄砂に対応する法整備も行われた<sup>3)</sup>。

### ③日本における黄砂の被害の事例

日本における黄砂による被害は、浮遊粒子状物質による大気汚染、視程の悪化による飛行機の運行障害、自動車や洗濯物への黄砂粒子の付着などが主なものである<sup>3)</sup>。これまでのところ、農畜産物への被害報告は無いとされている。しかし最近では、農作物への被害も懸念されつつあり、黄砂は酸性雨を中和する可能性がある一方で、大気汚染物質を吸着し、輸送する媒体になっているとの指摘も出てきた。

3 - 4

## 黄砂に対する最近の関心

黄砂の環境影響は、規模の拡大や社会の進展とともに多様化している（図表5参照）。科学の発展に伴って最近注目されるようになったものもある。例えば、人の健康への影響等は、かつてはほとんど関心を集めなかったが、黄砂規模が拡大し、人口の多い都市域にも到達するようになり問題が表面

### ■用語説明■

注2

PM10：大気中に浮遊している粒子状物質のうち直径が10 $\mu\text{m}$ 以下の粒子状物質の総量を示す言葉で、大気汚染、大気環境などの分野で広く使われている用語

化してきた<sup>3)</sup>。中国や韓国では人への健康影響が出始めていることもあって、関心が高まり研究が始まっているのに対して、日本では一般的に関心が低い。

### (1)黄砂の健康への影響

中国の医療専門家は、砂塵は人体の呼吸器系統に対して、最大の危害を与えるものであると報告している。砂塵粒子の鉱物成分のほか、砂塵の中に細菌、菌類、化学汚染物質などを含んでいる可能性があり、砂塵の中の微小粒子は肺の組織に侵入し、特に免疫力が弱い人は影響を受けやすい<sup>3)</sup>こともわかってきた。

また、韓国では、1995年～1998年の3月～5月の3ヶ月について、ソウルで黄砂が観測された期間と観測されなかった期間のヒトの死亡率を調べた結果、65歳以上の高齢者の死亡率が、黄砂が観測

された期間に増加し、特に心臓血管系疾患および気管支疾患が原因の死亡率が高くなったという疫学調査報告がある<sup>3)</sup>。

日本では黄砂による健康影響について疫学的調査報告や研究成果は少ない。しかし最近、マウスの気管内に黄砂を投与し、その病理学的な影響を調べた研究によると、黄砂は肺気道炎症を悪化させる傾向がある<sup>3)</sup>という報告がなされた。さらに、黄砂が花粉症や気管支ぜんそくなどのアレルギー症状を悪化させるといったこともマウス実験で確認され、健康への影響が注目され始めている。日本では黄砂の粒子が韓国と比べて細かいため肺に入りやすく、微量でも吸い込むと悪化する可能性が考えられる。

**(2)黄砂と酸性雨問題との関係**

黄砂が大気中の硫黄酸化物(SOx)や窒素酸化物(NOx)を吸着する可能性は以前から考えられていた<sup>4)</sup>。最近、中国から日本に飛来する黄砂粒子が、窒素酸化物や硫黄酸化物など酸性雨の原因となる大気汚染物質を多く吸着していることが観測により明らかにされつつある。あらかじめ中国大陸で採取した黄砂には、酸性雨の原因物質は含まれていないことがわかっており、中国から日本に飛来する途中で黄砂粒子が工場の煙や車の排ガスなど大気中の硫黄化合物と何らかの反応を起こして、酸性雨の原因となる汚染物質を吸着し、中和作用が働いている可能性が高い。つまり、この吸着作用により黄砂中のアルカリ成分が、酸性雨原因物質を中和し、環境への影響を緩和する役割を果たしているというポジティブな見方もある。

**(3)黄砂と海洋微生物生態との関係**

黄砂は、太平洋へのミネラル・栄養塩の供給という効果を持つ<sup>3)</sup>

という報告がある。黄砂粒子には鉄分をはじめ必須微量元素が含まれているため、海洋表面に降下した黄砂は、海洋表層の植物プランクトンの栄養塩として働き、プランクトンの増殖をコントロールする因子となりうる。海洋表層の植物プランクトンは、大気と海洋の間の炭素循環を担う主要な要素であり、またプランクトンから発生するDMS(ジメチルサルファイド)は海洋上の雲の形成に関係している。このように海洋に降下する黄砂は、間接的に放射強制力の変動に大きな役割を果たしているとも考えられている。こうした関係を明らかにするため、国際的な研究計画(SOLAS: Surface Ocean - Lower Atmosphere Study)も開始され、黄砂が海洋への栄養塩供給を通じて気候系に与える影響の評価が進められつつある<sup>1)</sup>。

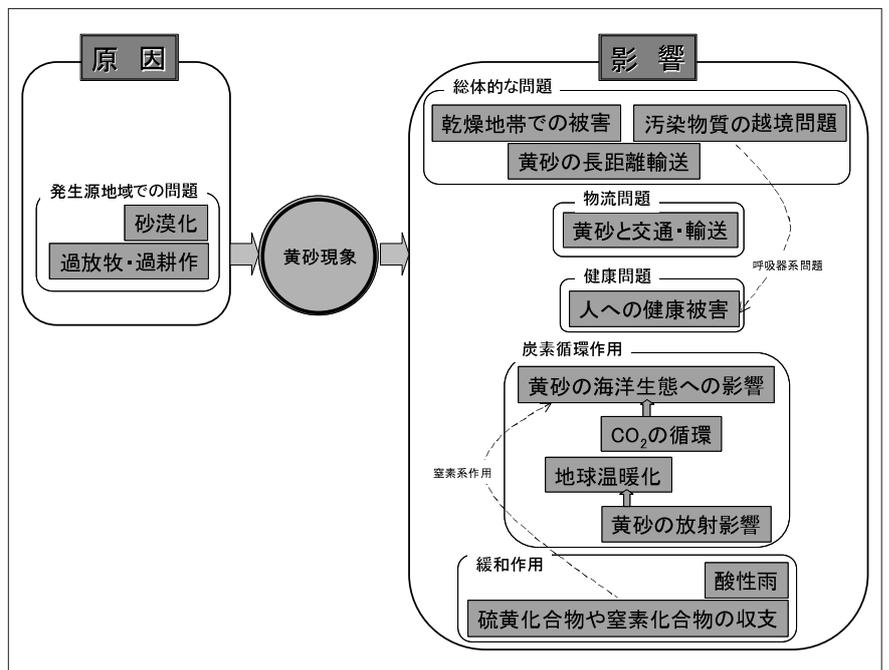
**(4)地球規模の環境問題との関係**

黄砂は近年、地球環境問題の一つとして注目を集めるようになってきている。地球環境問題として取り上げられるようになった理由としては、黄砂粒子が太陽光

を散乱したり吸収したりする効果が、地球の気温に影響を及ぼす重要な要因の一つではないかと考えられるようになってきたためである。黄砂が太陽放射に与える影響は、地球の環境や気候を揺るがすほどのものなのか正確なことはわかっていない<sup>4)</sup>。しかし、黄砂現象は地球環境問題と、様々なプロセスを通して関連しているのではないかと考えられている(図表6参照)。

例えば、大気中の黄砂粒子は、日射と赤外放射の吸収と散乱過程を通して、地球の大気を加熱あるいは冷却する効果(放射強制力直接効果)がある。また、大気上層の黄砂粒子が氷晶核となり絹雲の生成に関係することや、長距離輸送される黄砂粒子の人為起源粒子との混合により雲の雲核となる役割(放射強制力間接効果)が注目され始めている。加熱と冷却のどちらになるかは、大気中の黄砂の粒径ごとの鉛直分布、黄砂粒子の光学特性(散乱と吸収の特性)、あるいは地表面のアルベド(反射率)などによって決まる<sup>1)</sup>と考えられている。しかし現時点では、

図表6 地球環境問題における黄砂



参考文献<sup>4)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

黄砂が全体として地球温暖化を加速するのか、逆に地球を寒冷化させる効果を持つのかははっきりしていない。

黄砂の原因は未解明な点が多くあるが、中国北西部の土地の劣化との関連性も指摘されている。近年、大陸の中国北西部では、少雨と高温が原因で急速に砂漠化が進んでおり、これを発生源として、

大規模な黄砂現象が起きやすくなっているのではないかと考えられている。このため、黄砂は単なる季節的な気象現象から、森林減少、土地の劣化、砂漠化といった環境問題<sup>3)</sup>の一つであるとの認識が日本でも高まっている。

特に、2006年の日本への大量飛来原因の一つは、中国内陸部の高温少雨ではないかと考えられて

いる。気象庁によると、中国東部や中央アジアでは3月の平均気温が平年に比べて高く異常高温となり、高気圧に覆われ晴れて降水量も少なかった。中国内陸部が乾燥している上に、2006年は偏西風の蛇行により日本に黄砂が降りやすい条件となっていたためと見られる。

## 4 黄砂現象への対策

4-1

### 黄砂の社会問題化

黄砂問題は、影響を受ける国々では共通の課題であるものの、国によって認識の程度は異なる。中国では、死者が出るほどの重大な被害が出ており、また、土地劣化や砂漠化の問題として強く認識されている。日本の場合、国民レベルでは、視程の悪化、自動車や洗濯物への付着程度であるが、研究者レベルでは、大気汚染の一種としての認識が強い。韓国は、日本と同様、国内に発生源を持たないものの、黄砂の捉え方は日本とは異なり、特に2002年の大飛来時に大きな経済損失を蒙った経験から、黄砂の気象災害としての側面が注目されている。また、モンゴルにおいては、砂の移動が直接地域住民の生活基盤を脅かしている。このように、各国で異なった社会問題が発生している。

4-2

### 黄砂対策

黄砂対策は、発生源地域における対策と影響地域における対策<sup>3)</sup>とに分けて考えられる。

発生源地域は、黄砂が発生する地域とその周辺で、黄砂など

による直接的な影響を受ける地域であり、中国内陸部とモンゴルが対象である。さらに、発生源地域は、発生防止対策が実施可能な地域（人為的影響によって環境が劣化した地域）と、技術的、経済的に見て対策の実施可能性が低い地域（乾燥・極乾燥気候の砂漠地帯）とに分けられる<sup>3)</sup>。

一方、影響地域は、発生源からは距離があるものの黄砂の影響を受け、その影響は中長期的な気候や環境の変化を通して顕在化すると考えられる地域であり、日本、韓国、中国沿岸部が主な対象地域である<sup>3)</sup>。

また、黄砂対策には、短期的な対策である予報・警報と、長期的な対策である発生源地域の生態系の保全などが考えられる。制御・予防しようとする対象（風速、土壤水分、植被率等）、目的により、効果的な対策は大きく異なる<sup>3)</sup>。そのため、優先度を考慮して短期・中長期的に行うべき対策内容を判断し、計画的に進めていくことが重要である。

#### (1)発生源地域での対策

発生源地域においては、まず、砂塵の舞い上がりを減らすために、黄砂の発生を抑制する植生保全や土地利用の変更など、長期的な観点から実施される対策が重要

である。中国では、現在、黄砂の主な発生源と考えられている地域で、技術による対策と、自然の生態系を保護し樹木や草などの植生の自然な回復を促すことで、砂地を覆う植物を保護する。さらに、燃料として薪の行き過ぎた伐採、放牧、開墾を厳しく禁止する法執行を強化する<sup>7)</sup>。といった対策が取られている。

発生源地域での具体的対策を図表7にまとめる。

一方、黄砂現象は、砂漠化が進む以前の太古からの気象現象として発生していたとされており、地球の大気候区分における砂漠から発生する黄砂に対する防除手段は無い。したがって、黄砂対策を実施する発生源地域とは、乾燥気候の砂漠周辺で新たに土壤の劣化や植生の減少によって飛砂の発生源となっている地域および砂漠化が進行している地域である。黄砂現象は、必ずしも砂漠化のみが発生要因ではないため、全ての対策が応用可能とは限らない。しかし、砂漠化と黄砂の因果関係はまだ未解明な点が多いため、今後、黄砂の発生源対策を検討するに当たって、まずは、これまで砂漠化対策として行われてきた手法が基本となるものと考えられる。

図表7 発生源地域での主な対策

対策	項目	内容
土地被覆状況の改善・復旧	再植林・植草	劣化した土地の再植林・植草を通した裸地の減少
	耕作作物の変更	春の耕起による地表面軟弱化の防止(多年生作物の栽培等)
風による侵食・砂の移動の緩和	防風林帯の形成	防風効果の高い樹種を適正な間隔で植樹
	草方格	麦わらなどを格子状に砂中に差し込む草方格による地表面風速の減退
	砂丘の固定	ほふく性の植物による砂丘の移動の抑制
人為的な影響の緩和	土地の囲い込み	劣化した土地をフェンスで囲い込み、家畜・人間の草地への立ち入り制限(禁牧)による植性回復
	伐採・開墾の禁止、家畜頭数の制限	法制度的な伐採・開墾の禁止
	エネルギーの有効利用、新エネルギーの採用等	燃料としての木材の伐採を防止するための、かまどの熱効率・住宅の断熱効率の改善
	生態移民	劣化した土地からの移転補助
土地の環境容量の改善	施肥	家畜の堆肥などの施肥による土地の生産力向上
	水管理、節水技術	水管理や節水技術の導入による水の効率的な利用
	人工降雨	降雨量を増加

参考文献<sup>2, 3)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

(2)影響地域での対策

影響地域では、黄砂による被害を低減させることが目的となる。まず、黄砂の予報や警報を行うことが重要であり、国によって情報の内容は異なる。現在日本では「黄砂情報」、韓国では「黄砂予報」、中国では「砂塵暴天気予報」がそれぞれ出されている。

①中国の砂塵暴天気予報<sup>3)</sup>

砂塵暴天気予報は、現在は衛星からの画像により砂塵の動きを観測することによって行っている。このため、翌日の予報のみを行っている状況である。現在、中国の砂塵天気予報は、予報の精度や期間により、現状と警報、極短期予報と警報、短期予報と警報、中期予報、季節予想の5種類より成る。

②韓国の黄砂予報<sup>3)</sup>

2002年4月から黄砂予報を実施している。黄砂予報を行うために、韓国気象局が黄砂発源地域

上空のダストと気象衛星の映像を分析し、水平分布を監視している。これに加え空気の流れの予測と気圧配置を基に、韓国上空への黄砂の通過や黄砂の沈着を予測している。予報では、韓国環境部と韓国気象局がモニタリングしている10 $\mu$ m以下の粒子状物質濃度の連続測定データを、リアルタイム(5分間隔)で共有できるデータ転送システムを通して利用し、韓国気象局にある気象情報システム上の黄砂予報・警報システムを用いている(図表1参照)。

③日本の黄砂情報

気象庁では、2004年1月から黄砂に関する情報の発表を開始した。黄砂現象によって交通機関などへの影響が予測される場合や、広い範囲で日常生活に影響を及ぼすことが予想される場合には、「黄砂に関する気象情報」などの各種気象情報で発表している<sup>1)</sup>。また、気象庁ホームページ<sup>8)</sup>上に日本周

辺の黄砂現象の観測地点の分布図(黄砂観測実況図)と予測モデルによる黄砂分布の予測図(黄砂予測図)を掲載している。



4-3 黄砂のモニタリングネットワーク

黄砂の発生をいち早くとらえ、その発達状況や移動状況を把握するために、中国大陸北西部から日本列島に至る広い範囲で、国際的な黄砂モニタリングネットワークの整備が始められている。具体的には、10 $\mu$ m以下の粒子状物質濃度、視程(目視可能距離)、およびライダーといった3種類の測定機器を適切に配置し、観測データを関係機関に送ることにより黄砂を確実に、また正確にモニタリングする<sup>2)</sup>ことが重要視されている。

黄砂の発生・輸送は、地域の気象、地勢・地質、土地利用などの複合的な要因によるものであり、その発生メカニズムや輸送プロセスに関する研究が現在進められている<sup>3)</sup>。しかし、現状では個々の黄砂現象の発源地域を正確に特定することすら困難である。そこでまず、黄砂発源地域および黄砂輸送ルートにおける、大気、地表、植生、人間活動などに関するモニタリングデータ<sup>3)</sup>を収集整理する必要がある。また、黄砂現象をもたらす粒子の物理的性状(粒径分布、粒子の形状、表面構造等)や化学的性状(化学組成、鉱物組成、吸着・付着した物質等)<sup>3)</sup>の分析を進め、より多くのデータを収集する必要がある。

研究手法としては、大きく分けて以下の2点が考えられる。

①黄砂モニタリング

現在、黄砂現象の解明および今後の予測を目的として様々なモニ

タリング手法がある。具体的には、リモートセンシングのような連続計測と、黄砂粒子を実際にサンプリングした後、計測・分析するバッチ計測がある。連続計測では主として光学特性や物理的性状が、バッチ計測では主として化学的性状が把握できる<sup>3)</sup> (図表8参照)。

黄砂モニタリングで用いられるリモートセンシングにはライダーと衛星観測等がある。

ライダー (LIDAR: Light Detection And Ranging) は、電磁波の代わりにレーザー光を用いたレーダーで、上空を通過する黄砂を地上で計測が可能なりモートセンシング機器の一種である。地上から放射したレーザー光が空中の微粒子によって散乱される状況を観測するもので、黄砂の垂直方向の濃度分布や、その時間的な変化を知ることができ、黄砂の立体的な構造や輸送状況に関する情報を提供する。また、偏光レーザーを用いる

ことにより、黄砂粒子の形状と一般の大気汚染物質との判別が可能となる。ライダーは、雲や濃い砂塵がある場合を除き、対流圏内の観測点上空を通過する全ての黄砂を、リアルタイムに無人で連続観測できる特徴がある<sup>2)</sup>。

地上ステーションにおける黄砂モニタリングのほかに、飛行機やヘリコプター、気球 (バルーン)、船舶、山岳といった様々なプラットフォームを用いた黄砂モニタリングが行われている。また、黄砂の発生源地域の気象情報や地表面情報として、発生源気象モニタリング、地表面や地下水モニタリングが行われており、これらに加えて、現地調査や社会調査も行われている。

## ②黄砂輸送モデル

黄砂の発生・輸送を予測し、黄砂の飛来を予報するためには、黄砂輸送モデルによるシミュレーション

が必要となる。近年、黄砂現象は自然現象であると同時に、人為的な影響も受けてその発生頻度が増加していると言われている。そのような複合要因を判別するためにも、黄砂輸送モデルは有益な情報である。黄砂の飛来に関する輸送モデルは、基本的に気象モデルと発生源モデル、移流拡散モデル (場合により沈着モデル) から成っている<sup>3)</sup>。結果は、気象情報に利用されるほか、発生源の推定や将来の気候変動への影響の予測などの目的にも利用されている。

主な黄砂輸送モデルとしては、気象研究所の黄砂輸送モデル (MASINGAR: Model of Aerosol Species in the Global Atmosphere) と九州大学の黄砂輸送モデルなどがある。

MASINGAR は、気象研究所と気象庁で共同開発された全球モデル (MRI/JMA98) に黄砂の放出、輸送、消失過程を組み込んでおり、

図表8 主な黄砂モニタリング手法の概要

		手 法	測定対象
連続計測	光学特性観測	ライダー	●黄砂の高度分布: 黄砂現象の立体的な構造や輸送状況に関する大気動態情報を提供。 ●他起源エアロゾルも同時計測。
		衛星観測	●エアロゾルの光学的厚さ、アルベド、土地被覆状況 (NDVI) 等。
		日射計、放射計類	●太陽からの日射量。地表面・大気中からの赤外線放射量。
		ネフェロメーター、エアロゾル吸光計	●ダストの方位別散乱状況。 ●ダストの吸収係数。
	物理特性計測	質量濃度計、パーティクルカウンター	●エアロゾルの質量濃度・粒径分布。
	化学特性計測	エアロゾル TOF/MS アナライザー	●エアロゾル中のイオン化できる化学成分。
	視程観測	視程距離計	●視程 (地表付近の大気の混濁の程度)。
バッチ計測	サンプリング観測	アンダーセンサンプラー	●ダスト量、粒径分布。 ●捕集試料は、元素分析・鉍物種測定に使用。 ●直接電子顕微鏡で観察し、粒子の形態を観察。
		ハイボリウムサンプラー	●ダスト量。微量物質を分析下限値以上にサンプリングする場合に用いられる。 ●捕集試料は、元素分析・鉍物種測定に使用。 ●直接電子顕微鏡で観察し、粒子の形態を観察。
		ローボリウムサンプラー	●ダスト量。浮遊ダスト量の長時間平均値を調査するために用いられる。 ●捕集試料は、元素分析・鉍物種測定に使用。 ●直接電子顕微鏡で観察し、粒子の形態を観察。
		個々の粒子観測のための各種インパクター	●ダスト粒子の形状・表面状態・サイズ。 ●化学組成 ●鉍物組成
目視観測		気象官署のルーチン観測	●黄砂発生の有無。黄砂の大きさ・強さ。

参考文献<sup>3)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

モデルの水平解像度は約 110km、鉛直解像度は 30 層（地表～約 23km）で、粒径 0.1 $\mu$ m～10 $\mu$ m の黄砂を 10 段階に分割している。これらの成果を活用して、2004 年 1 月から気象庁の黄砂現象に関する情報提供に利用されている<sup>1)</sup>。

一方、九州大学で構築された黄砂飛来の予測モデルは、気象モデルに地域気象モデル (RAMS: 米国コロラド州立大学) などを用いて開発されている。そのため、鉛直方向の格子間隔が細かく、大気境界層を詳細に扱うことが可能なため、大気汚染等の予測で広く用いられている<sup>3)</sup>。

4 - 4

## 黄砂対策のための国内外の体制づくりと基盤整備

### (1) 日本国内における体制・基盤

現在、環境省はじめ気象庁、農林水産省、林野庁など関係する省庁による様々な施策が実施されているほか、様々な研究所や大学において、黄砂に関するモニタリング、モデル、発生源対策等をテーマにした研究が進められている。

黄砂問題に関する各種施策について、関係省庁の緊密な連携を図り、これを着実に推進するために 2005 年 2 月に黄砂対策に関する関係省庁連絡会議が設置された<sup>3)</sup>。連絡会議は、外務省、文部科学省、農林水産省、林野庁、気象庁、環境省で構成されている。現在、環境省は黄砂現象の実態解明のための調査を、気象庁では黄砂に関する気象情報の発表を行っている。また、農林水産省は、持続的な農業・農村開発を通じた黄砂発生源対策に関する基礎調査を、林野庁は発生源地域の植生劣化や回復に関する調査をそれぞれ実施している<sup>3)</sup>。今後は、黄砂の気象・気候学的な研究や発生源地域の土地の劣化調査、黄砂粒子の化学組成・鉱物組成に関する研究、

黄砂粒子表面の反応に関する研究といった様々な研究を行っている、日本国内の各研究所や大学と、より有機的な協力・連携を持つ必要がある。

### (2) 国際協力体制

黄砂は、国境を超えた環境問題であることから、効果的な調査・対策を実施するためには、中国、韓国、モンゴルといった関係各国や国際機関との協力、協調が重要である。特に、日本国内は黄砂発生源地域ではないため、発生源情報の収集や対策の実施に関しては、国際連携による共同作業が不可欠である。

#### ① ADB-GEF 黄砂対策プロジェクト

2003 年から 2005 年 3 月にかけて、ADB-GEF 黄砂対策プロジェクトが実施された。これは、地球環境ファシリテーター (GEF) における予備的調査の一つとして、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 国際機関と日本、中国、韓国、モンゴルの 4 ヶ国により行われた共同プロジェクトである<sup>2)</sup>。GEF および ADB の資金を活用し、黄砂関連情報の収集評価や黄砂対策マスタープランが作成された。このプロジェクトには、GEF の中規模プロジェクトから 50 万ドル、ADB の技術協力資金から 50 万ドルの計 100 万ドルが準備された<sup>3)</sup>。

#### ② 日中韓三ヶ国環境大臣会合<sup>3)</sup>

2001 年 4 月に東京で開催された第 3 回日中韓三ヶ国環境大臣会合 (TEMM) において、黄砂についての解決策を見出すために、系統的な研究協力を推進することについて認識が共有され、第 4 回会合 (2002 年 4 月ソウル) において、三ヶ国が協力して黄砂モニタリ

ングの強化や国際機関との連携強化を図ることが合意されている。さらに、第 5 回会合 (2003 年 12 月北京) では、黄砂対策に向けての地域協力の重要性を再認識し、具体的な取組みについては、ADB-GEF 黄砂対策プロジェクトの成果を適切に踏まえるべきとの認識を共有した。特に、黄砂のモニタリングおよび早期警報システムについては、できるだけ早期に関係各国において検討することが必要とされた。2004 年 12 月 (第 6 回会合) には、日中韓三ヶ国の環境大臣にモンゴル自然環境大臣および ADB-GEF 黄砂対策プロジェクトを実施している 4 国際機関を加え、関係 4 ヶ国間による初の黄砂問題に関する閣僚級会合が東京で行なわれた。黄砂に関する技術的問題を検討するための、専門家のネットワークの立ち上げが必要であるとの見解を共有した。

#### ③ 二国間協力<sup>3)</sup>

1996 年から日中友好環境保全センターと日本の独立行政法人国立環境研究所との協力プロジェクトが実施され、砂漠地帯・乾燥地帯での現地調査、黄砂標準試料の作成、黄砂の粒径分布、モニタリングネットワークの構想、黄砂計測方法等の研究を行った。現在も、黄砂の輸送経路、輸送方式および黄砂発生量、特定地域の大気中の粒子状物質濃度への黄砂の寄与率、黄砂防止に関する提案作りなどの研究が続けられている。

また、2000 年より日中共同 ADEC (Aeolian Dust Experiment on Climate impact) プロジェクトが、風送ダスト<sup>注 3)</sup>の気候への影響を調査する目的で実施された。日本側は気象研究所が中心となり、中

### ■ 用語説明 ■

注 3

風送ダスト：大気中に浮遊し、輸送される粒子状物質

国側は中国科学院傘下の研究所が中心となって研究協力が行われた。地球規模のスケールのダストモデルを用いて、風送ダストの大気中への供給量、大気中での三次元的分布、地表面に沈着するダスト量などを予測し、放射強制力の直接効果を評価した。

モンゴルと日本の間では、日本の独立行政法人国立環境研究所が中心となって、モンゴル自然環境省の気象観測所に対し、ライダーによる黄砂観測のための協力を行っている。

また、韓国と中国との間では、黄砂の共同観測として、中国国内

に黄砂観測ステーションやモニタリング地点を設置し、韓国に観測データの提供が行われている。また、韓国の支援による中国西部における植林や草原の再生活動といった植林プロジェクトが進められている。

## 5 今後の黄砂対策への取組み

黄砂が環境や産業などに与える短期的かつ直接的な影響は比較的明らかになっているが、気候変動に関連するような長期的影響や黄砂の物質循環に関連する環境科学的影響（酸性雨の中和や栄養塩類の輸送等）についてはまだ明らかな部分が多い。特に、他の現象との複合効果・影響（黄砂粒子が大気汚染物質を吸着し輸送する現象等）についてはほとんど解明されていない<sup>3)</sup>。そのため、今後、日本の黄砂問題に対する取組みとして、現象の解明、モニタリング、対策等が基本戦略として重要となってくる。

### (1)黄砂対策のための国内外の

#### 連携・協力体制の構築と基盤整備

黄砂対策の効率的な推進のためには、まず、日本国内では、省庁間の連携を進めることが重要である。特に、2005年2月に設置された、前述の黄砂対策に関する関係省庁連絡会議の機能を充実させていくことが必要である。一方、黄砂に関する研究は、大学などの研究機関で取組まれてきたが、それらの知見がまだ政策に十分に活かされていない。行政側から黄砂研究を行っている研究機関へのアプローチの一つとして、行政ニーズの明確な提示が必要である。さらに、研究者側からの技術的アドバイスや国際協力促進に有用な知見を、行政機関にいち早くインプットできる協調体制を構築すること

も不可欠である<sup>3)</sup>。今後、行政と研究機関との情報交換を頻繁に行い、緊密な連携を取ることが必要である。

黄砂は、越境環境問題であることから、関係各国の協調・協力も不可欠である。特に、発生源対策および黄砂予報に有効なモニタリングを行うためには、多国間連携が必要となる。各機関が所有している黄砂関連データの共有化を図り、黄砂モニタリングネットワークを確立し、各国の効果的な黄砂対策に資することが国際協調を促進すると考えられる。さらに、ネットワークの整備に当たっては、モニタリング機器の選定、配備や、得られる情報のリアルタイムでの共有化技術の開発を戦略的に進めることが必要である<sup>3)</sup>。

その一方で、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET)<sup>9)</sup> や地球観測ネットワーク<sup>10)</sup> など、黄砂対策と相互に関連する可能性のある既存の取組みや枠組みと、相補的にかつ重複を避けた形で、それぞれが効果的に事業を進めていけるような連携を考えていくことも重要である。

黄砂関係の人的な交流や人材の育成などは、現状、国によって大きく異なっている。まずは、各国の能力向上が必要である。特に、黄砂発生源地域の住民や地方公共団体の技術者などを対象に、黄砂問題に関する基礎的な知識の習得や普及を図ることが、黄砂対策を

効果的に進める上では最も重要である。しかし、発生源対策を行うには、発源地域の判別、対策効果の経済的評価、土地劣化を防止する社会形態や産業構造など、多方面からのアプローチが必要となる。このため、専門家から現地住民まで多くの関係者の協同・協力が不可欠であり、国際的な人的交流が極めて重要になる。

### (2)効率的な調査・研究の推進

黄砂対策は、直接的・間接的効果を定量的に把握することが容易ではないため、科学的に未解明な部分が多い。特に、黄砂現象はリアルタイムでの情報収集が重要であり、必要とされる情報は、気象データ、地表面データ、化学組成等多岐に渡り、その情報の収集、所有も複数の機関にまたがっている。そのため、各国の研究機関が個別に所有している黄砂関連データの共有化や共同研究などによって、効果的な黄砂対策を図っていくことが重要である。また、黄砂対策には、目的に応じて、短期的・一時的な対策と、長期的・恒常的な対策が考えられる。対策手法の選定に当たっては、それぞれの土地の条件に適合したものが求められる。特に、黄砂発源地域における抑制対策は喫緊の問題であり、早急な対応が必要である。

### (3)社会・経済の視点からの検討

短期的・中期的には、農地への

被害など発生源地域および影響地域での一次的な影響とその対策に注力される傾向が強いが、一次的な影響がどのような二次的・副次的な影響を惹起するかについても注目すべきである。今後、北東アジアの生産活動が活発化していくにしたがって、黄砂現象と社会・経済との関係が現在よりも密接になってくることが予想される。そのため、黄砂現象による経済活動や生産活動への影響評価に目を向けていく必要がある。近年、半導体産業のように高度の清浄環境を必要とする工場施設において、黄砂発生時期に不良品率の増加やフィルターが目詰まりなどが発生している<sup>3)</sup>。また、韓国などでは精密機器工場の操業を止めざるをえないような事態も出てきている。一方、黄砂と気候変動との関係では、長距離移動を行う微細粒子が気候に及ぼす影響も考えられている。今後の取組みとしては、まずは気候、環境、健康影響、産業等にカテゴリーを明確に分け、次にこれらの複合影響や複合対策効果などを評価・検討していくことが

必要である。

## 謝 辞

本稿をまとめるに当たり、金沢大学 工学部土木建築工学科 自然計測応用研究センターの岩坂泰信教授、気象庁 地球環境・海洋部 環境気象管理官付の本田耕平調査官のご意見を参考にさせていただきました。ここに深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 気象庁 (2005) : 「近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—」 (通称: 異常気象レポート 2005) : [http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/climate\\_change/2005/index2.html](http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/climate_change/2005/index2.html)
- 2) 環境省「黄砂パンフレット」: <http://www.env.go.jp/earth/dss/pamph/pdf/full.pdf>
- 3) 黄砂問題検討会 (2005) : 「黄砂問題検討会報告書」: <http://www.env.go.jp/earth/dss/report/02/index.html>
- 4) 岩坂泰信 (2006) : 「黄砂 その

- 謎を追う」紀伊國屋書店
- 5) チャイナネット (2006) : 今年の黄砂はなぜ深刻か(2) 表土の露出減少を 2006年4月19日: <http://www.china.com.cn/japanese/233231.htm>
- 6) チャイナネット (2006) : 今年の黄砂はなぜ深刻か(1) 冬場の干ばつ、砂漠化 2006年4月19日: <http://www.china.com.cn/japanese/233224.htm>
- 7) チャイナネット (2006) : 今年の黄砂はなぜ深刻か(3) 生態保全と貧困対策を 2006年4月20日: <http://www.china.com.cn/japanese/233982.htm>
- 8) 気象庁・黄砂情報ページ: <http://www.jma.go.jp/jp/kosa/index.html>
- 9) 福島宏和 (2005) : 「東アジアにおける大気汚染物質モニタリングについて—アジアの環境先進国としての我が国の展開—」 科学技術動向 No.52
- 10) 辻野照久 (2005) : 「利用ニーズ主導の統合された地球観測システムの構築」 科学技術動向 No.54

## 執 筆 者



環境・エネルギーユニット  
山本 桂香  
科学技術動向研究センター  
<http://www.nistep.go.jp>

●  
行政機関や企業の地球環境問題に関する取組みに従事。気候変動に伴う影響検出の研究も実施。現在気候変動に伴う科学技術政策に関心がある。品川区環境活動推進会議委員。その縁から環境問題を通じたサイエンスコミュニケーションにも興味を持つ。