

1. 調査目的

近年、北東アジア地域（モンゴル、中国、韓国、日本等）では黄砂現象が頻発して発生しており、その影響等に対する関心が高まっている。日本への黄砂飛来状況は、その回数に年ごとに変動はあるものの上昇傾向にある。

黄砂は従来から黄河流域や既存の砂漠等から発生する自然現象としてとらえられてきたが、近年急速に拡大しつつある過放牧や農地転換などによる耕地の拡大も原因とされ、人為的影響により、その規模が拡大している環境問題として再認識されつつある。黄砂は、植物や交通機関に影響を与えるほか、呼吸器疾患等の健康影響の可能性が指摘されているが、飛来した黄砂の物理的、化学的な実態については必ずしも解明されていない。また、黄砂の飛来と同時に、中国大陸における産業活動に伴う人為的発生源からの影響も懸念される。

このため、本報告書は、わが国における黄砂エアロゾルの飛来状況を科学的に把握するとともに、わが国に飛来した黄砂の実態解明に資することを目的として、平成 20～22 年度の結果をまとめたものである。

2. 調査方法

2.1. 黄砂の飛来状況

浮遊粒子状物質（SPM）濃度と黄砂現象の関係を比較検討するために、平成 13（2001）年から平成 22（2010）年にかけて、気象台が発表している黄砂観測日について、その推移について整理した。

また、黄砂日における都道府県ごとの SPM 平均濃度、及び都道府県ごとの同平均濃度に気象台の黄砂観測日数を乗じて、各都道府県における黄砂現象を被る概略的な量的指標を示した。

更に、黄砂日を観測した都道府県での SPM 平均濃度に都道府県数を乗じて、黄砂日における規模を示す量的指標とした。

2.2. 成分分析

2.2.1. 調査期間と調査地点

黄砂における成分調査は、以下のとおり、黄砂飛来シーズンの 2 月中旬から 6 月頃までの間、日本に黄砂の飛来が予想される日に実施した。

サンプリングは、地方公共団体の協力を得て、全国 5 地点で行った。（平成 20 年度は全国 9 地点で調査を実施。）

調査地点は、図 2-1 のとおり、国設新潟巻酸性雨測定所（新潟県；以下、巻と略）、富山県環境科学センター（富山県；以下、富山と略）、国設松江大気環境測定所（島根県；以下、松江と略）、福岡県保健環境研究所（福岡県；以下、太宰府と略）、長崎県環境保健研究センター（長崎県；以下、長崎と略）の計 5 地点であり、測定地点の緯度、経度、標高を始め、気象条件、周辺の地勢・土地利用状況等を表 2-1 に示す。

農薬成分分析に係るエアロゾル捕集は、巻、富山及び松江の 3 地点において実施した。



図 2-1 調査地点配置 (5 地点)

表 2-1 黄砂調査地点一覧

地点名	長崎 (長崎県)	太宰府 (福岡県)	松江 (島根県)	富山 (富山県)	巻 (新潟県)
サプリング地点	長崎県環境保健研究センター	福岡県保健環境研究所	国設松江大気環境測定所	富山県環境科学センター	国設新潟巻酸性雨測定所
住所	長崎県大村市池田 2-1306-11	太宰府市大字向佐野 39	松江西市浜佐陀町 582-1	射水市中太閤山 17-1	新潟市西蒲区越前浜字向谷地 5597-1
緯度	32°56' 21"	33°30' 32"	35°28' 31"	36°41' 51"	37°48' 22"
経度	129°58' 40"	130°30' 09"	133°00' 45"	137°06' 10"	138°51' 21"
標高	160m	27m	5m	20m	50m
気象条件	対馬海流の影響により全体的に温暖である。冬期の降雪は年間 5 日程度であり積雪はほとんどない。	冬季には曇天が多く、また北西の季節風が多い。年数回の積雪がみられる。	曇天の日が多い。北西～西風が強い。降雪は 1 シーズンに約 10～15 日程度、積雪は多い時に 10～20cm、通常は 5cm 程度	西高東低の冬型の気圧配置で降雪・積雪。能登半島から南へ連なる山の影響で季節風がやや弱められる。	秋冬期は海からの季節風が強い。降雪・積雪
地勢・土地利用等	長崎県のほぼ中央部、琴平岳 (標高 330m) 中腹にあり、周囲約 1km は工業団地として開発され、規模は小さいが固定発生源 (ボイラー等) が 4 件ある。南西約 1km に長崎自動車道大村 IC、西方約 3km に大村湾、西方約 5km の大村湾内に空港がある。	周辺は田畑が多い。西側 230m (九州自動車道)、北東側 450m (国道 3 号線) 西側 1km 及び南東側 750m に住宅団地、南東側 2.5km に市街地、北側 16km に福岡市の中心部	0～3km : 田畑が広がり、南側に小山、宍道湖、民家が点在するが大気汚染の発生源はない。 3km 以遠 : 東に松江市街、西側に合板工場があるが、規模は小さい。	富山平野の中西部、周囲は住宅地及び農地、周辺に固定発生源なし、海岸部に火力発電所、化学工場等がある。海岸 (富山湾) より約 8km 富山市より西約 10km 南方約 1km に北陸自動車道	日本海から 1.3km の丘陵地南東～南西に松林、丘陵地の下は広大な畑地北～東は果樹園海岸沿いに国道
特記事項		建築物屋上	H14 は建築物屋上、H15 以降は測定所		
ライダー観測	サプリング地点で観測	なし	島根県保健環境科学研究所 (松江市) で観測	サプリング地点で観測	アジア大気汚染研究センター (新潟市) で観測

2.2.2. エアロゾル捕集方法ⁱ

本調査では、黄砂の飛来が予想される日において、基本的に24時間単位の2日間連続で、以下の3方法で大気中のエアロゾル等を捕集した。

- 1) ハイボリウムサンプラー (HV)
浮遊粉じん濃度、エアロゾル中の金属成分の分析等を主な目的とする。
- 2) 二段型ローボリウムサンプラー (LV)
粗大粒子及び微小粒子の二段に分級したエアロゾルのイオン成分の分析等を主な目的とする。
- 3) ハイボリウムサンプラー (ポリウレタンフォーム及び活性炭繊維フェルトをろ紙の後段に装着したもの)
ガス状を含めた農薬成分の捕集を主な目的とする。

エアロゾル捕集実施要領

ア. ハイボリウムサンプラー (HV)

- 1) 石英ろ紙 (Pallflex 2500QAT-UP) を550°Cで10分間加熱処理した後に秤量する。
- 2) ハイボリウムサンプラーの流量設定は、約1,000L/分程度とし、所定時間エアロゾルを捕集する(気圧、気温補正はしない)。
- 3) サンプルング終了後、速やかにろ紙を実験室に持ち帰り、1昼夜清浄な室内(湿度50±5%)に放置した後、秤量する。
- 4) 試料の保存に際しては、試料の捕集面を内側で合わせ2つ折りにし、清浄な和紙(半紙)で包み、その上を更にアルミ箔で覆い、それをビニール袋に入れて密閉する。保存場所は冷蔵庫内など5°C冷暗所である。
- 5) 分析等に際しては、低温宅配便にて所定の機関へ送付する。
- 6) ブランクは、トラベルブランクとする。

イ. 二段型ローボリウムサンプラー (LV)

- 1) 石英ろ紙 (Pallflex 2500QAT-UP) を550°Cで10分間加熱処理した後に秤量する。
- 2) 二段型ローボリウムサンプラー(分離粒径は2.5μm)の流量設定は20L/分とし、所定時間エアロゾルを捕集する。
- 3) サンプルング終了後、速やかにろ紙を実験室に持ち帰り、1昼夜清浄な室内(湿度50±5%)に放置した後、秤量する。
- 4) 試料の保存に際しては、あらかじめ紙製ワイパーで拭いたペトリスライド((独)国立環境研究所指定の容器、47mm、ミリポア社製)にろ紙を入れ、更に、粗大粒子を捕集したろ紙が入ったペトリスライドと微小粒子を捕集したペトリスライド2個を1組にして、ファスナー付きビニール袋に入れる。保存場所は冷蔵庫内など5°C冷暗所である。
- 5) 分析等に際しては、低温宅配便にて所定の機関へ送付する。
- 6) ブランクは、トラベルブランクとする。

ウ. ハイボリウムサンプラー(農薬成分分析用:ポリウレタンフォーム及び活性炭繊維フェルトをろ紙の後段に装着)

採取方法は「化学物質環境実態調査実施の手引き(平成20年度版)」(平成21年3月、環境省総合環境政策局環境安全課)に準拠する。

- 1) 洗浄後、それぞれ専用のステンレス製の容器に保存されている石英ろ紙、ポリウレタンフォーム及び活性炭素繊維フェルトを使用する。なお、これらの捕集材はサンプルング直前まで開封せず、冷蔵保存する。

ⁱ エアロゾル捕集方法は、調査年度により異なる。

- 2) ハイボリウムサンプラー（POPs 試料採取用）の流量設定は 700L/分を基準とし、エアロゾルを捕集する。
- 3) サンプリング終了後、速やかにろ紙、ポリウレタンフォーム及び活性炭素繊維フェルトを実験室に持ち帰る。
- 4) ろ紙は捕集面を内側に合わせ 2 つ折りにし、アルミ箔で包み、専用のマイラーバッグに入れ、ポリウレタンフォーム及び活性炭素繊維フェルトは、サンプリング前の保存時に包んでいたアルミ箔で包み、専用のステンレス製容器に移し替える。
なお、捕集後のろ紙、ポリウレタンフォーム及び活性炭素繊維フェルトについては速やかに密封することを最優先とし、秤量は行わない。
- 5) 冷蔵庫内など 5°C 冷暗所にて保存する。
- 6) 分析に際しては、低温宅配便にて所定の分析機関へ 1 週間以内に送付する。
- 7) ブランクは、トラベルブランクとする。

2.2.3. 分析項目ⁱⁱ

試料については、捕集したエアロゾルの重量（浮遊粉じん濃度）を測定したほか、金属成分 1 項目、イオン成分 5 項目、農薬成分 9 項目（異性体を含めると 17 種類）を分析した。本調査の分析項目を表 2-2 に示す。

表 2-2 分析項目

分類	対象物質	分析方法
金属	アルミニウム(Al) 鉄(Fe)	ICP 質量分析法
イオン	硝酸イオン(NO ₃ ⁻) 硫酸イオン(SO ₄ ²⁻) ナトリウムイオン(Na ⁺) カルシウムイオン(Ca ²⁺) アンモニウムイオン(NH ₄ ⁺)	イオンクロマトグラフ法
農薬	ジクロルボス α-HCH β-HCH γ-HCH δ-HCH ダイアジノン クロロタロニル フェントロチオン クロルピリホス プロチオホス エンドリン o,p'-DDE p,p'-DDE o,p'-DDD p,p'-DDD o,p'-DDT p,p'-DDT	高分解能ガスクロマトグラフ 質量分析法 (HRGC/HRMS)

ⁱⁱ分析項目は、調査年度により異なる。

2.3. 黄砂の特徴と分類

黄砂現象を総合的に捉えるため、平成 20～22 年度の各黄砂事例を対象に、黄砂観測地点、気象概況（天気図・大陸における砂塵嵐の発生）、SPM 濃度全国分布、後方流跡線、CFORS (Chemical weather F0Recasting System) の予測結果、ライダー観測結果、PM_{2.5}/SPM 比、硫酸イオン濃度経時変化などを併せて考察した。

黄砂観測地点は、気象台が黄砂を観測したと発表した地点を示した。また、黄砂現象の規模の相対的な比較の目安とするために、黄砂を観測した都道府県の全測定局の SPM 濃度日平均値を平均した値に、観測した都道府県数を乗じた積算値（以下「黄砂規模」）を算出した。

気象概況（天気図）は、気象庁のホームページから天気図と天気概況を引用した。また、世界気象資料を基に、東アジアでの砂塵嵐の発生について地図上に表示した。気象コード 33, 34, 35 を Severe duststorm、30, 31, 32 を Slight duststorm、07, 08, 09 を dust として分類した。

SPM 濃度全国分布は、全国で行われている常時監視局の SPM 測定データから地域的に高濃度になっている時間の値を地図上に示した。

後方流跡線は、アメリカ NOAA のホームページにより表示できる HYSPLIT を使用した。計算の起点は、SPM 濃度が高くなった時間、地点を考慮して決め、概ね後方 72 時間とした。出発高度は、SPM 濃度との関連を評価するため地表面に近い 500m としたⁱⁱⁱ。

CFORS は、九州大学応用力学研究所の鶴野らによって開発された化学物質輸送領域数値モデルである。本報告書内の図は、国立環境研究所で定常運用を行っているバージョン (RIAM/NIES-CFORS) による黄砂イベント当時に予測された黄砂等土壌性ダストと硫酸塩の高度 0～1km における平均重量濃度の推定分布を表示している。

ライダー観測結果は、国立環境研究所公開のライダー観測結果でみることができる。国立環境研究所ではライダー観測結果から消散係数を算出し、そのデータと画像を公開している。画像は 1 ヶ月毎に非球形粒子（黄砂）と球形粒子（大気汚染性エアロゾル）の消散係数の大きさが高度 6km まで示されている。これは、黄砂モニタリングのため 532nm の偏光解消度を利用して、非球形の黄砂と球形の大気汚染性エアロゾルを分離して、それぞれの散乱への寄与を推定したものである。数値データとして示されている消散係数 (/m) は、光が物質に衝突し物質への吸収や散乱によって単位長さ当たりに消失する割合を示したものである。この非球形粒子の消散係数（以下、「黄砂消散係数」）のうち、下層である 150m～270m のデータを 1 時間毎に平均したものを経時変化グラフとして示した。さらに、下層での黄砂消散係数と SPM 時間値を経時変化グラフで表し、その類似性を検討した。必要に応じて、球形粒子の係数（以下「球形消散係数」）についても同様の検討を行った。

硫酸イオン等の大気汚染物質の飛来を観察するために、硫酸イオンの 1 時間値を随時使用した。硫酸イオンの 1 時間値は、福岡県が太宰府市（福岡県保健環境研究所）で測定しているデータを提供いただいた（機種：SPA 5020i Thermo Fisher Scientific 社）。

PM_{2.5}・SPM 濃度及び PM_{2.5}/SPM 比の経時変化をグラフで表し、粗大粒子と微小粒子の比をみることで、黄砂の影響を観察した。PM_{2.5} 濃度は、環境省が全国 15 カ所で測定しているものを使用した。（機種：TEOM 1400a 又は 1405-DF Thermo Fisher Scientific 社）。

ⁱⁱⁱ表示した計算結果のうち、地表付近のみを経由する流跡線については、解析に用いなかった。