

## **3.1. 黄砂モニタリング**

### **3.1.1. 黄砂問題に対するモニタリングの位置付け**

これまで黄砂現象の観察及び観測は、主に目視により行われてきた。現在も、日本の気象庁による黄砂の観測は、視程観測と目視観察を併用している。これとは別に、研究レベルでは黄砂現象の解明、予測等を目的として様々なモニタリングが行われている。

黄砂問題において、モニタリングが果たす役割としては、以下に示すことが期待されている。

#### **3.1.1.1. 黄砂現象の科学的解明**

黄砂は中国及びモンゴル等アジア大陸内陸部において空中に巻き上げられた砂塵に由来するが、発生源、粒子の性状、輸送過程での変化、地表面への落下時の様子といった点に関する科学的な情報や知見を収集整理し、黄砂現象を科学的に解明していくことが求められる。

黄砂現象をもたらす粒子の物理的性状(主に粒径分布、形状、光学特性)、化学的性状(主に鉱物組成、化学組成)及びこれらの空間分布状態の把握は、黄砂現象の判別、黄砂の全量・濃度、トレンド、東アジア地域の自然生態影響、全球的気候変動への影響等を解明するための基礎的情報となる。

#### **3.1.1.2. 長期的な変動の理解**

黄砂現象が本格的な調査研究対象として取り上げられるようになったのはそれほど昔のことではない。黄砂研究は、最近 10 年ほどの間に大きな進展を見たとはいえ、多くの研究は個人若しくは、比較的少人数のグループの研究によるものであり、必然的にこの規模で行えるプロセス研究が主体であった。それらの研究によって、黄砂現象が多面的な側面を持つ現象であり、多くのプロセスの複合した現象であることが次第に明らかにされてきた。一方で、予想されるプロセスやプロセス相互の関係は、それぞれ異なる時間スケールで変化し、従来のような手法では解明が困難な時間スケールを持つ課題が多数あることも認識されるようになってきた。

このように、数年から数十年の時間スケールを持つ現象の理解のためには、当初よりそれだけの期間、系統的に観測結果が得られるような体制(モニタリング体制)を整備しておく必要がある。

#### **3.1.1.3. 基礎データとしての予測・対策等への活用**

黄砂モニタリングでは、黄砂対策を行うに当たって必要とされる基礎情報を気象部

門・農林部門等各方面に提供することが求められる。

具体的には、黄砂粒子の物理化学的な物性値を提供することにより、黄砂輸送モデルのパラメータ設定への活用や、実測データの利用によるモデルの再現性の確認、及びモデルの質的な向上が可能になる。

また、黄砂発生源地域の地表面モニタリング(植生・土地利用など)を行うことにより、発生源モデルへの利用や、黄砂がもたらす環境影響についての分析・解明に活用することが期待できる。また、気候変動や人為的な環境攪乱に弱い地域の土地利用・土地管理に関する有用な知見も期待できる。

更に、黄砂モニタリングデータをリアルタイムで提供するネットワークの構築は、黄砂予報にとって欠くことのできない必須条件であり、そのデータの共有化は予報モデルの向上に寄与すると期待される。

#### **3.1.1.4. 黄砂発生源対策による効果の把握・評価**

黄砂発生源対策を行うに当たって、発生源対策に係る施策を実施する地域を適切に選定することは重要である。モニタリングによって実際の黄砂発生源地域を判別することにより、効果的な発生源対策が可能となる。また、発生源対策前後を通してモニタリングを行うことにより、その対策の有効性を評価することも可能になる。更に将来的には、観測された黄砂対策前後のデータを比較することにより、発生源対策の効果の程度を定量化することが期待できる。

#### **3.1.2. モニタリング手法**

モニタリングには、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。その他、遠隔計測と地上観測、あるいは非接触計測による手法と試料捕集による手法などの分類法がある。

モニタリングを行うに当たっては、手法毎の特性を踏まえ、目的に応じた手法の検討・選定が重要である。そのためには各手法の長所・欠点を把握することと併せて、新しいモニタリング手法の開発・改良を進めることも重要である。

発生源地域においては、土地利用形態、砂塵の舞い上がり状況や移動・飛来状況についての地表面モニタリングの検討・実施が必要となる。

以下に、主なモニタリング手法の特質を示す。各モニタリング手法の詳細な計測原理、普及利用状況、特徴は表3-1に記載している。

##### **3.1.2.1. 連続計測**

今日、様々なモニタリング機器の開発により、リアルタイムでの連続測定が可能に

なっている。多くの機器は、光学的な手法により黄砂の光学特性を間接的に計測するもので、特に、観測機器から観測対象が遠く離れている手法をリモートセンシングという。リモートセンシングには自ら光源を持つ能動型と、専ら他の光源からの光学情報を観測する受動型がある。黄砂モニタリングで用いられるリモートセンシング手法にはライダー、衛星観測等がある。その他、物理化学特性を連続計測する装置も開発されている。

#### (a) ライダー（レーザーレーダー）

地上設置の能動型リモートセンシングの代表がライダー(LIDAR : Light Detection and Ranging)である(口絵 - 3)。ライダーは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、黄砂の立体的な構造や輸送状況に関する情報を提供する(口絵 - 4)。また、偏光レーザーを用いることにより、エアロゾルの非球形性を推定できる。黄砂粒子は、大気汚染物質と比べて不整形であるので、この方法で大気汚染物質との判別が可能である。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。ただし、光学的に厚い黄砂の場合には、レーザー光が地上近くで減衰してしまい、観測ができなくなることがある。

#### (b) 衛星観測

黄砂モニタリングに利用される衛星は、主に気象衛星と地球観測衛星である。気象衛星は、大気や雲の状況を観測するための衛星である。一方、地球観測衛星は、低高度の準回帰軌道から、資源探査や環境・災害を監視するなどの目的で利用されている。衛星観測は、地上から反射、放射される電磁波を受信する受動型のリモートセンシング手法で、エアロゾルの光学的性状の他、発源地表面状況を観測することもできる。この手法は、大規模黄砂現象の広がり分布を把握することに適している。他方、衛星の軌道や装置の観測視野等からモニタリング時間や距離分解能が異なってくるので、目的に応じて利用する衛星画像等のデータを選択する必要がある。

#### (c) 日射計・放射計類

日射計、放射計を利用し大気の混濁の程度の測定が行われている。太陽からの日射は大気エアロゾルによる散乱・吸収を受け、地表面日射量は減少し、天空日射は増大し大気加熱も増加する。逆に、その現象を利用してエアロゾルの光学的性質を把握することができる。また、日射量を波長別に観測することにより、エアロゾルの粒径による影響を評価できる。

#### (d) ネフェロメーター、エアロゾル吸光計

サンプリング気塊に光を当てて、その散乱断面積を測定するネフェロメーターや、反射光あるいは透過光の減衰から吸収断面積を測定するアセロメーター、吸収フォトメーターがある。これらによってエアロゾルの一次散乱アルベドを得ることもできる。

#### (e) 質量濃度計、パーティクルカウンター

大気中のエアロゾル粒子の質量濃度を連続的に測定するために、光散乱法、圧電天びん法、ベータ線吸収法、TEOM法といった様々な測定方法がある。

発生源近くでは、砂塵嵐(黄砂を含む)の粒径が大きく、0.1~0.01mmの間に中央径(質量基準)があることから、TSPを対象とした装置を用いる。日本など発生源から離れた風下側地域でのモニタリングでは、黄砂粒子の平均径が0.01mm以下であることから、PM10やSPM基準の装置でも黄砂のモニタリングに用いることができる。PM10やSPM基準の装置は、上述の測定方法の前に分級部を組み合わせたものである。分級は、粒子の持つ質量または帯電量と物理的外力を利用する衝突法、静電法、サイクロン(遠心分離)法などがある。ベータ線吸収法や天秤法を利用した装置は、分級後の粒子を一旦捕集し質量計測を行う必要があるが、光散乱法を利用した装置は検出セル内を通過する粒子の光学特性を測定するものでパーティクルカウンターなどがこれにあたる。この光散乱法では、個々の粒子による散乱光強度から粒径を求めており、球形粒子相当径として測定している。

#### (f) エアロゾル TOF/MS

エアロゾル粒子の化学特性を、現場でリアルタイム連続測定を行うことのできる装置がエアロゾル TOF/MS(飛行時間型質量分析計)である。この装置は、採取した大気をキャピラリーノズルによって加速し大気中のエアロゾルをレーザー光によりイオン化したのち、イオン化された粒子の化学成分種を質量分析計で計測するものである。粒径が小さくイオン化されやすい二次生成エアロゾルが主な対象であるが、黄砂のような鉱物性のエアロゾルへの利用可能性については研究段階にある。

#### (g) 視程距離計

視程距離計は、光源から赤外光を発生し、その散乱光量から視程距離を導き出す。水平方向の大気の混濁の程度を示す指標として従来から視程が用いられているが、目視による観測であったため定量性に難があった。この装置により、個人差や地形条件に影響されない視程距離の計測が可能になった。ただし、目視と違い、視程悪化の原因を判断することはできない。

### 3.1.2.2. バッチ計測

エアロゾル試料を捕集して分析をする目的で、各種サンプラーが利用されている。捕集した試料を分析することによって、ダスト濃度、粒径分布が測定できる他、電子顕微鏡による黄砂粒子の形態観察や電子プローブによる元素組成・鉱物種特定などが可能である。

#### (a) アンダーセンサンプラー

アンダーセンサンプラーは、黄砂粒子等の浮遊粒子状物質(大気エアロゾル)を、粒径別に採集するものである。エアロゾルの粒径別質量分布を測定するのに用いられるが、

得られた試料を元素分析・鉱物種測定し、粒径別ダスト組成を把握することができる。ただし、多段捕集となるため、測定精度を確保するためには各段（分級範囲別）で十分な試料量が捕集されなければならない。そのため、捕集期間が数日から1週間ほど要求されるという欠点がある。

#### (b) ハイポリウムサンプラー

ハイポリウムサンプラーは、吸引量が多く、大気中に微量に存在する黄砂等の粒子を大量に捕集するために用いられる（0.1mm程度の粒子も捕集されることからTSP用サンプラーとして広く利用）。捕集ダストを重量測定し、正確な大気中粒子濃度を算出するのに使用される他、微量成分分析、有機化合物の分析用サンプラーとして利用されている。

#### (c) ローポリウムサンプラー

黄砂等の粒子状物質のモニタリング時に、ハイポリウムサンプラーでは目詰まりを起こす可能性がある場合には、ローポリウムサンプラーが用いられる。一般的には3日間以上の連続吸引が必要であり、気象パターンの変化に対応した浮遊ダストの濃度変化を捉えることは困難である。ハイポリウムサンプラーと同じく大気中のエアロゾル濃度を算出する基準方法である他、微量化学成分組成を求める時に使用される。

#### (d) その他

上記の手法に加え、それぞれの目的に応じ種々のサンプリング手法が用いられている。

黄砂粒子が大気中に浮遊しているかどうかを知るだけの目的であれば、粘着性のテープを一定時間大気中にさらして置き、それを回収後光学顕微鏡で粘着面を観察する方法がある。降水量を測定するためには、直径15cm以上の開口部を持った円筒状のサンプラー（降下煤塵計）が使われる。

黄砂粒子を個々に観察・分析(single particle analysis)する方法では、極少量の試料で分析が可能のために、極めて小さい吸引量の、粒子の慣性衝突を利用したインパクター(impactor)が使用される。捕集面上に試薬を塗布し、粒子と特異的な反応を起こさせて、粒子の化学組成を推定することも行われている。捕集後は、光学顕微鏡や電子顕微鏡によって形状や表面状態を観察し、合わせてエネルギー分散型X線分析器によって元素組成を調べるのが最も代表的な手法である。

### 3.1.2.3. 様々なプラットフォームを活用した観測

地上ステーションにおける黄砂モニタリングの他に、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。この様なプラットフォーム利用の目的の一つは、清浄な大気状態におけるバックグラウンドモニタリングである。また、黄砂は地上に降下せず、上空を通過する割合が大きいので、地上に落下するまでに起こる化学的な変化を明らかにするためにも、上空での黄砂粒子の採集、性状の観測が必要に

なる。

(a) 飛行機、ヘリコプター

上空の大気の性状を、水平方向に比較的短時間に把握することができる。しかし、長時間サンプリング(数日間に渡るサンプリング)ができないので、採取できる試料の量が少ないという限界がある。また、飛行速度が時速 200km 以上と速いため、黄砂などの粒子状物質を採集するには飛行速度に合わせた等速吸引サンプリングを行うなどの工夫が必要になる。更に、電源容量、作業スペース、積載可能重量等の制限から、搭載する機材には限度がある。

(b) 気球(バルーン)

飛翔型、係留型のバルーンが用いられている。飛翔型のバルーンは係留型より高高度(約 10km 程度)の上空の大気を観測することができるが、航跡をコントロールできない、回収地点に制約を受けるという欠点を持っている。ただし、バルーンに光学式パーティクルカウンターを搭載し、垂直方向にダストの分布の計測を行う場合は、計測データは電波で地上に送られてくるため、必ずしもバルーンの回収は要しない。一方、上空のダストの採取を行う場合はバルーンの回収を要するが、近年 GPS の利用によりバルーンの着地後 1 時間程度での回収ができるようになった。

(c) 船舶

大気汚染の影響の少ない状況下でのサンプリング、海洋への沈着状況の把握を目的として、観測船による洋上モニタリングが行われている。飛行機、バルーンと違い、船舶を使ったバックグラウンドモニタリングでは、電源やスペースの面での制限が少ないという利点がある。船舶と係留式バルーンを組み合わせることで、海面付近の飛沫海塩粒子の影響を受けない上空のダスト捕集ができる。一方で、船舶から出る排煙、船体回りに生じる風などの影響への配慮が常に求められる。

(d) 山岳

大気の境界面を超える山岳を利用して、自由大気のエアロゾルや黄砂の観測が行われている。航空機やバルーンを使う場合に比べ、電源装置、重量等の制限は極めて少ない。また、長時間の試料採集も容易に行うことができる。山の構造、位置、植生等による特有の局地的影響があるので、これらをどのように処理するか、目的に応じて工夫が必要である。2,000m 以上の高山(例えば、立山、乗鞍岳、富士山、ハワイのマウナロア山)が利用されている。

#### 3.1.2.4. 発生源地域の気象・地表面モニタリング

黄砂の発生源地域の気象情報や地表面情報はモデルの構築や、対策の評価に利用される。また、リモートセンシングの較正用の地上データ(Ground Truth)としても利用される。発生源地域に関する情報はダストや大気質に関わるものの他、地形、土地利用

用状況等広い範囲に渡る。

#### (a) 発生源気象モニタリング

発源地域の気象情報(温湿度、風向、風速、降雨・降雪量等)は、地表面情報等とともに、発生予報モデルのパラメータとして重要である。気象台のルーチン観測データを用いて、黄砂分布状況を把握することができるが、早期警報のためには、リアルタイムデータの公表・共有化が必要である。

#### (b) 地表面、地下水モニタリング

土壌水分、積雪量といった地表面状態を継続的にモニタリングすることにより、砂塵発生予測モデルに活用することができる。また、地勢状態・土地利用状況の長期変化と地下水位の短期的・長期的な変動を併せて追跡することは、黄砂の発生源対策に関連する基礎情報となる。

#### (c) 現地踏査、社会調査

観測装置の遠隔操作では取得できない情報については、実際に現地に出向いて調査・計測する必要がある。サンプリングを必要とする物理化学分析としては、土壌の粒径分布、土壌水分量、植生量・被覆度等などが挙げられる。また、生物種の分類、消長・優先種等の現地踏査や、家畜頭数・密度、栽培作物、地下水汲み上げ量等住民への聞き取り調査を基本とする情報も必要とされる場合がある。

### **3.1.3. 適切なモニタリングネットワークの整備に向けた今後の戦略**

今後、予報及び発生源対策に有効なモニタリングを行うためには、分野横断的な取り組みや多国間連携が必要となる。そのため、様々なデータのネットワーク化による情報の共有化がますます重要となる。黄砂モニタリング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・配備と、これらから得られる情報のリアルタイム共有化技術の開発を戦略的に進めることが必要となる。また、長期の観測点を設け、リモートセンシングデータと現地データを有効にリンクさせる工夫が必要である。

#### **3.1.3.1. 整備に必要な基礎的研究の推進**

現在、黄砂の捉え方は国によって異なっており、黄砂の発生状況やその規模の表現の仕方は様々である。従って、第一に黄砂として把握すべき事象の内容についての共通理解を国際的に確立し、共通の科学的認識に基づいたデータ交換が可能となるようにすることが求められる。また、黄砂に関する基礎的データ(黄砂粒子の形状・光学的情報等)を収集し、黄砂研究や対策のための情報を相互提供し、関連する各国専門家委員会において概念の共有化を早急に図る必要がある。

黄砂の尺度・判定に当たっては、目視観測のみに頼らず共通尺度としてモニタリン

グ機器の導入を考える必要がある。また、ネットワーク観測によるデータのリアルタイム共有化を同時に図ることも重要である。そのような機器開発研究や、共通言語としてのデータ収録・転送システムの開発研究が推進されなければならない。

黄砂の発生・長距離輸送のメカニズム解明のみならず、発生予測や輸送予測を目的としたモデルの開発を推進する必要がある。また、モデルの精度及び改良のために必要な観測項目、観測地点選定についても、分野横断的な技術的検討を早急に進める必要がある。

更に、黄砂の全球的影響評価、発生量の長期変動機構、黄砂発生低減化対策と結びつくような総合的研究も推進する必要がある。

### 3.1.3.2. 有効なモニタリング手法の選定と適地への配備

特に北東アジア地域に焦点を当てた、モニタリングネットワークの整備を推進する必要がある。そのために、モニタリング手法、サンプリング時間間隔、ネットワークサイズ等を考慮した、モニタリング地点の適切な配置が求められる。ネットワーク整備に当たっては、連続的かつ同一基準による長期モニタリングの体制整備が必要とされる。

モニタリングネットワーク整備に当たっては、リアルタイム連続計測機器、リモートセンシング計測情報が有効である。輸送される全黄砂をリアルタイムに連続観測できるモニタリング機器はライダーだけであるが、エアロゾル濃度の定量性に難点がある。また、濃度の高い場合には、レーザー光が地表近くで減衰してしまう等の欠点もある。一方、PM10/SPM 用連続濃度観測計(質量濃度計)は、観測地点周辺大気中の粒径 10 $\mu$ m 以下のエアロゾル濃度を定量的に観測できるが、上空を通過する黄砂を観測できないこと、大気汚染系エアロゾルとの区分ができないという欠点がある。衛星リモートセンシング情報は、典型的な大規模な黄砂を面的に捉えることができ視覚的に理解しやすい情報であり、気象衛星を用いた場合、1時間毎の黄砂の輸送状況を知ることができる。しかし、雲がある場合は観測が不可能であり、また濃度情報、人間生活に密接に関係する地上付近情報が得にくいという欠点がある。このように、各モニタリング手法には限界があり、それらを単独で用いるのではなく併用することによって、黄砂予報に役立つリアルタイムモニタリング情報となる。また、各観測点における風向・風速等気象要素情報と組み合わせることにより、黄砂輸送進路予報モデルへの活用が期待される。

### 3.1.3.3. 地上モニタリングネットワークのリアルタイム共有化

黄砂予報体制の確立が、北東アジア地域において共通の社会的ニーズとなっている。そのためには、今後ネットワーク化・情報の共有の加速化に伴って、ほぼリアルタイムでの入手が可能になるモニタリングデータの収録・配信を目的とする共有化体制を敷くことが重要である。データの配信スピードについても、ネットワーク地点の選定や、要求される黄砂予報のレベルと関連しており、多国間での検討すべき重要な課題であ



る。また、リアルタイム共有の必要がないが、黄砂輸送機構解明や対策に必要な大気質成分データ、土地利用状況データ、社会環境的データなどの共有化体制の確立も望まれる。

#### **3.1.3.4. 発生源地域の気象・地表面情報の適切な収集**

発生源地域の情報は、黄砂発生・輸送モデルのパラメータ及び衛星観測の較正用データとして重要である。発生源地域の地表面モニタリングにおいては、現地踏査と並んで衛星リモートセンシングによる積雪状況や植生状況など、土地表面情報データを精査するための現地踏査ポイントネットワークの選定も望まれる。黄砂の予報を行うに当たっては、発生源地域における常時監視体制を構築し、砂塵情報を速やかに伝達する必要がある。その他、連続測定・監視の必要はないが、過放牧による草原面積の減少や、新たな開墾による農耕地の実態把握を継続的に行っていく必要がある。発生源地域における時系列的なデータの蓄積は、黄砂の影響、黄砂対策の効果を評価するための基礎データとして重要である。また、砂漠化問題と黄砂問題の関連性を明らかにする際にも貴重な情報となる。

表 3 - 1 黄砂モニタリング手法の概要

	連続計測 光学特性観測	
手法	ライダー	衛星観測
測定対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・他起源エアロゾルも同時計測。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エアロゾルの光学的厚さ、アルベド、土地被覆状況(NDVI)等。</li> </ul>
計測原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Light detection and ranging の略。レーザーと同様の機能を持つが、電磁波の代わりにレーザー光を用いるため、空中の微粒子によって散乱を受ける。</li> <li>・粒子状物質の後方散乱係数より、その高度分布を観測。</li> <li>・複数の波長を用いることにより、大粒子と小粒子の区別が可能。</li> <li>・偏光レーザー光を利用し、偏光解消度を測定することにより粒子の非球形性を推定できる。</li> <li>・黄砂粒子はその他のエアロゾルと比べて不整形であること、粒径が大きいことを利用して、人為汚染系エアロゾルとの区別が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・受動型リモートセンシングの代表例。</li> <li>・地球上から反射・放射される電磁波を受信する。</li> <li>・衛星搭載ライダーのように能動型リモートセンシング手法もある。</li> <li>・赤道上の静止衛星、極軌道衛星が利用可能。</li> </ul>
普及・利用状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・黄砂輸送の大気動態の把握を目的として、(独)国立環境研究所が開発・設置したライダーが札幌、仙台、つくば、長崎、五島列島で稼働中。また、環境省が同型の装置を富山及び松江に設置済み。国外では、中国北京、合肥、フフホト、韓国スウォンにて稼働中。リアルタイムネットワーク化され、データはネット上に公開されている。</li> <li>・中国砂漠地域上空のダスト鉛直分布を観測する目的で、通信総合研究所が寧夏回族自治区の沙坡頭に設置。</li> <li>・黄砂の長距離輸送メカニズムを解析する目的で、名古屋大学が敦煌及び新疆ウイグル自治区アクスに設置。</li> <li>・気象庁が大船渡市綾里に定常観測として、また気象研究所がつくば、那覇に研究観測として設置。</li> <li>・韓国気象庁が、韓国国内に3地点及び中国大連に設置している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地球観測衛星：LANDSAT,NOAA(米)、ADEOS, ADEOS-II (日)、ERS(欧)、METEOR(露)</li> <li>・気象衛星： ひまわり(日)他</li> <li>・NASA TERRA, AQUA, ESA ENVISAT</li> </ul>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長所：黄砂の高度分布を連続観測できる。操作が容易で無人化可能。リモートセンシングの施設・機器としては比較的安価である。昼夜を問わず飛来する黄砂を全て感知できる。日本のライダーの技術の水準は高く、研究者数も多い。</li> <li>・欠点・改善点：ライダー計測値と濃度との関係がまだ定性的である。雲や濃いダストストーム飛来時の計測に難がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長所：広い範囲の観測が可能。測定器の設置が困難な場所も測定できる。</li> <li>・欠点・改善点：観測された受信波から所要の物理量の推定技術が必要。精度の面で直接測定に劣る。雲の下は観測できない。陸域のダスト分布の把握は開発途上である。</li> </ul>

表3 - 1 黄砂モニタリング手法の概要(続き)

	連続計測		
	光学特性観測	物理特性計測	
手法	日射計、放射計類	ネフェロメーター、エアロゾル吸光計	質量濃度計、パーティクルカウンター
測定対象	・太陽からの日射量。地表面・大気中からの赤外線放射量。	・ダストの方位別散乱状況。 ・ダストの吸収係数。	・エアロゾルの質量濃度・粒径分布。
計測原理	・ダストによるミー散乱が増大すると、太陽からの地表面日射量は減少し、天空日射量は増加する。また、波長別に測定することにより散乱体の粒径による影響を評価できる。 ・太陽からの前方散乱光を観測することにより、大気の混濁度を計測する。	・チャンパー内に導入されたエアロゾルに、レーザー光を用いて散乱光の位相分布を測定する。 ・特定波長における透過光の減衰割合を計測する。	・ポンプで試料空気を装置内に送り込む吸引式が主である。 ・光散乱法は、粒子群に光を照射し、反射、屈折、吸収、減衰などの散乱現象により引き起こされる散乱光強度から相対的なエアロゾル濃度を測定する。信号の強さにより粒子の粒径を、頻度により濃度が得られる。 ・ベータ線吸収法は放射性元素であるPm-147またはC-14などを線源とし、フィルター上に捕集された粒子による線の減衰量から質量濃度を求める。 ・レーザー式は発信子と受光部の間隔を通過する粒子により遮光された面積を計測する。 ・TEOMタイプ(フィルター振動法)は、振動素子式マイクロ天秤を用いて、フィルターカートリッジに粒子が捕集されると周波数が変化する性質を利用する。
普及・利用状況	・サン・スカイラジオメーター、サンフォトメーター、波長別放射計など多種多様の機器が利用されている。 ・黄砂発生源地域の植生の調査解析や黄砂発生メカニズムの解明など、それぞれの研究テーマの必要性に応じて、放射伝達計算に用いられてきた。その結果、発生源の地表成分の解析などに役立つ貴重なデータが収集されてきた。	・環境大気中のダスト濃度分析方法としてはあまり普及していない(ポーラーネフェロメーターは市販品が無い)。	・光散乱式、ベータ線吸収式が広く普及。 ・東アジア酸性雨モニタリングネットワークで稼動中。黄砂時の明確なピークが観測されている。
特徴	・長所：自動観測、データ配信が可能である。	・長所：後方散乱の強さは、リモートセンシングやライダーデータの解析に有益な情報を提供する。 ・欠点・改善点：粒子の化学的性状は計測できない。黄砂とその他のダストとの区別は不可能。	・長所：ダストの粒径・濃度を正確に測定できる。 ・欠点・改善点：粒子の化学的性状は計測できない。黄砂とその他のダストとの区別は不可能。

表3 - 1 黄砂モニタリング手法の概要(続き)

	連続計測		
	化学特性計測	視程観測	
手法	エアロゾル TOF/MS アナライザー	視程距離計	
測定対象	・エアロゾル中のイオン化できる化学成分	・視程(地表付近の大気の混濁の程度)。	
計測原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大気をそのまま装置内に導入し、エアロゾル粒径の計測と化学成分種の測定を同時に行う。</li> <li>・大気をキャピラリーノズルから高速噴射し、その中に含まれている粒子にレーザー光を照射する。粒子中の正負イオン化した成分種を飛行時間型質量分析部で質量別フラクションを検出する。</li> <li>・TOFはTime of Flightの略。</li> </ul>	・光源から赤外光を発生し、その散乱光から距離を算出する。	
普及・利用状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・PM2.5の人為起源系粒子中の化学成分種をリアルタイム計測するために開発された装置である。常時監視装置というよりも、研究レベルでの限定使用の域を脱していない。</li> <li>・研究所レベルでは日本で数台所有されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一般には水平方向の距離でその方向に見える空を背景とした物体が、肉眼で見える距離を示す。</li> <li>・前方散乱型、後方散乱型、透過型などあり。</li> </ul>	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長所：現場でリアルタイムで化学成分が分析できる唯一の装置。</li> <li>・欠点・改善点：現状では、定性的な分析までで定量性が無い。黄砂のような鉱物性粒子利用できるかは未知数。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長所：気象観測施設で広く利用されている、空港、道路の管理者など連続的に視程情報を必要とする組織で広く利用されている。</li> <li>・欠点・改善点：向ける方向により異なった値となる、視程悪化の原因は特定できない。</li> </ul>	

表3 - 1 黄砂モニタリング手法の概要(続き)

	バッチ計測 サンプリング観測				目視観測
手法	アンダーセンサンプラー	ハイボリウムサンプラー	ローボリウムサンプラー	個々の粒子観測のための各種インパクト	気象官署のルーチン観測
測定対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダスト量、粒径分布。</li> <li>・捕集試料は、元素分析・鉱物種測定に使用。</li> <li>・直接電子顕微鏡で観察し、粒子の形態を観察。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・捕集試料は、元素分析・鉱物種測定に使用。</li> <li>・直接電子顕微鏡で観察し、粒子の形態を観察。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・捕集試料は、元素分析・鉱物種測定に使用。</li> <li>・直接電子顕微鏡で観察し、粒子の形態を観察。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダスト粒子の形状・表面状態・サイズ。</li> <li>・化学組成</li> <li>・鉱物組成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・黄砂発生の有無。黄砂の大きさ・強さ。</li> </ul>
計測原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・吸引装置により大気を導入し、多段ふるいにより捕捉ダストを分級する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掃除機と同程度の吸引量で、ろ紙上に粉塵を捕集。捕集前後の重量差を計量し、粉塵量を得る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・毎分流量 20L 程度の吸引ろ過装置で、ろ紙上に粉塵を捕集。捕集前後の重量差を計量し、粉塵量を得る。捕集口に、PM10 分級器を付ける場合がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・粒子の慣性衝突による捕集。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・視程距離、瞬間風速により強度を分類(中国)。</li> <li>・目視データは黄砂予報には利用していない(韓国)。</li> <li>・目視により黄砂現象を確認した場合、「大気現象の記事」として記録する(日本)。</li> </ul>
普及・利用状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・粒径別に浮遊粒子状物質を捕捉する手法として広く普及。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微量の浮遊粒子状物質を捕捉する手法として広く普及。TSP 測定に使用される他、試料中の微量成分濃度を測定する場合に使用。連続観測法の重量濃度基準方法としても使用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・PM10 あるいはSPM(浮遊粒子状物質)の捕集法として広く普及。試料中の微量元素を測定する場合に使用。連続観測法の重量濃度基準方法としても使用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・浮遊粒子状物質の形状観察に広く使われている。</li> <li>・日本の研究は、電子顕微鏡が広く普及しているため、世界的に評価が高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各国が独自の基準で観測。</li> <li>・観測地点数が多い。</li> </ul>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長所：粒子重量及び化学組成成分の粒径分布を得ることができる。</li> <li>・欠点・改善点：捕集期間が長い、捕集後の分析負荷が大きい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長所：粉塵中の微量有機化合物の測定に使用。重量濃度基準法である。</li> <li>・欠点・改善点：捕集ろ紙に制限があり、不純物含有量の非常に少ないろ紙が無い。音が大きい。装置が大きく、消費電力も大きい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長所：重量濃度基準法である。不純物含有量の低いろ紙が使用でき、超微量分析も可。</li> <li>・欠点・改善点：重量分析に必要なサンプリングに長時間(数日～1週間)かかる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長所：個々の粒子の観察を行うので、粒子の混合状態が分かる。短時間の採集で分析が可能である。</li> <li>・欠点：観察を行う際に電子顕微鏡を使う場合、高真空の下に試料を置くため、試料を傷めることになる。粒子の代表性確保が難しい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長所：測定機器が不要。過去の観測データの蓄積がある。</li> <li>・欠点・改善点：定量性に欠ける。国によって黄砂分類・定義が異なる。</li> </ul>

