

[領域] 大気圏

[領域代表者] 岩坂泰信

[領域研究成果]

偏西風の速度は、北東アジア地域で世界最大になる。日本海を囲む国や地域は、この強い偏西風の影響下にありアジア大陸に起源を持ついろいろな大気成分が偏西風によって風下側に運ばれている。日本海は、このような大気に水蒸気を与えることによって大気質を大きく変える役割を果たしている。すなわち、偏西風の影響とともに大陸と日本列島の間が存在する海の影響を受けた大気のもとに、日本列島が存在している。このため、環日本海域は空間規模に比べて著しい多様な大気環境が共存している地域になっている。

このような自然環境に加え、人口が著しく集中し人間活動の高い地域が大陸沿岸部に存在しており、人間活動の影響もこの地域の環境を支配する大きな要因となっている。人間活動のあり様は、欧米のそれと異なり、社会制度や文化の違いを反映しており狭い空間ながら大きな地域差が存在している。

この領域では、大気圏を通して、環日本海域の環境変動を把握するために、環境計測のための技術を開発しさらにはそれらを実地に応用して環日本海域の環境変動にかかわるいくつかの知見あるいは今後の研究の展望を得てきた。以下にそれらについて述べる。

偏西風によって運ばれる大気物質とその評価

偏西風は環日本海域の環境を支配する主要な要因の一つである。木村繁男（金沢大学自然計測応用研究センター、21COE 推進員）らは、メソスケールの大気状態を重視した輸送化学モデルを開発した。環日本海域は、メソスケールの気象現象が際立って見られるところでもあり、詳細な地表面構造を考慮したこのモデルによって、汚染物質の拡散状況などの予測や評価が可能になるものと考えられる。岩坂泰信（金沢大学自然計測応用研究センター、21COE 推進員）らは、中国科学院大気物理研究所の研究グループと中国西部の砂漠地帯で、気球実験を展開し黄砂粒子が偏西風によって輸送される途中に大気汚染物質を粒子表面に沈着させている様相を実証した。今後、この観測結果は詳細な化学輸送モデルのシュミレーションと比較検討し、沈着速度や2次反応の詳細の解明に有用であろうと思われる。早川和一（金沢大学自然科学研究科、21COE リーダー）は、石川県能登半島の輪島市で長期間の大気試料のサンプリングを行ってきており、PAH や NPAH が大陸側から長距離輸送されてきていることを見出している。人の健康への影響も大きいこの種の汚染物質が長距離輸送されている事実は、注目すべき事柄であるが、一方では各種の化学物質の大気中の寿命をしっかりと評価して大陸側からの物質の輸送について精緻な検討をくわえることの必要性を示している。

環日本海域の発展状況と大気汚染の様相

早川和一は環日本海域の諸都市における PAH および NPAH の大気中の濃度変化を長期間にわたってモニタリングしてきた。中国における状況は、把握しがたい状況にはあるが、ロシアのウラジオストックや日本の各都市では改善の方向（自動車台数の増加にもかかわらず大気中濃度は減ってきている）が見られるとの結論を得ている。岩坂泰信は、北京市内で係留気球を使ったエアロゾルの組成解析を試み、一般的に日本の大都市に比べエアロゾル質量濃度が高く炭素質のもの割合が高いことや、時には極めて強い太陽放射吸収によって接地境界層の構造がそのことによって強い影響を受けていることを示した。

汚染大気質と人の健康

大気中の PAH や NPAH 濃度が、中国やロシアの都市部では日本や韓国の都市部に比べ著しく高く、人の健康への影響が懸念される。鳥羽 陽（金沢大学自然科学研究科，21COE 推進員）は、尿中の PAH 代謝物を指標にしたバイオマーカーの開発に取り組み、日本人とタイ人との PAH 曝露状態の差異について検討した。典型的に異なる生活様式を持つ日本人とタイ人との PAH 曝露量が大きく異なることを見出した。この手法を用いて、今後、系統的に環日本海域での諸地域における人の PAH 曝露量の推定を行い、今後の大気汚染対策、健康管理への配慮などにつなげてゆく。

環日本海域の植生

環日本海域は、水循環の様相が地域ごとに大きく異なるために、その結果、各地の植生には大きな差異が生じることが考えられる。そして、そのような差異が大気環境とどのようなかわりを持っているかについては、必ずしも明快に放っていない。木村繁男らは、樹林間の乱流状態の計測法の検討や地中水流向・流速計の開発をおこない、植生と大気環境とのかかわり、とりわけ地表面大気汚染物質の移動という観点から調べてきた。石川県の里山をフィールドにした調査を通して、裸地と里山では大気汚染部室の濃度分布の様相が大きく異なることを見出している。今後、系統的に環日本海域の代表的な地域で観測を行い地域差を明らかにしその差が生じる原因の検討などが求められる。

環境変化の予測

大気中の化学組成の変化を予測するために、化学輸送モデルの開発を行っている。このモデルに組み込まれる大気物質は、黄砂、PAH、NPAH およびその他の関連の化学種である。大気湿度と黄砂表面状態との関係、雲の発生・成長とリンクした形での太陽放射条件のパラメタリゼーション、海象に応じた海起源物質の大気への流入など環日本海域の環境を評価するうえで考慮すべき要素は多くあり、今後の検討・改良が望まれている。しかし、金沢大学 21COE で着目している成分に関して、モデルによる検討もある程度は出来る状態にまで進捗した。今後、発生源情報なども整備しより統合された形でのシミュレーションが望まれる。

計測技術の進歩

すでに 1-5 で触れてはいるが、21COE を進める上でいくつか特徴ある計測技術が開発されてきた。気球搭載型エアロゾルサンプラーによって自由対流圏までのエアロゾル試料が採集できるようになった。今後は、より多くに試料が採集できるよう機器の重量を増やさずに改良することが求められている。(NPAH) / (PAH) 比が発生源特定指標として従来の手法に比べてより有効であることが示された。尿中 1-ヒドロキシピレンの分析法および尿中 2-ヒドロキシフルオレンの分析法が開発された。これらを利用して人の PAH 曝露量の評価がおこなわれ、きわめて有用な手法であることが示された。地中水向・流速計が開発され実用段階に達した。今後、環日本海域の水循環の研究に活躍が期待される。また、これ以外の広い分野での利用が期待される。

[研究課題] 黄砂の大気拡散: 現地野外調査, 環日本海域の大気環境

[事業推進担当者] 岩坂泰信

[目的]

環日本海域は、強い偏西風が吹いている地域でもある。日本海の存在と編成風の存在が作り出す自然環境は、きわめて強い地域的なコントラストを作り出し日本海を囲む国々あるいは地域が非一様で特徴のある社会を作り出している大きな原因となっている。一方、この地域の人間活動の規模は著しい速度で拡大しており、それに伴って生じるさまざまな環境ストレスは急速に顕在化している。

中国大陸の乾燥地帯から巻き上がった砂塵は、偏西風の影響を受けて風下側の中国沿岸部、韓半島、日本列島へ向かって拡散しさらに太平洋へ流れ出す。その間、人間活動の盛んな場所から大気中に放出される大気汚染物質を表面に付着させさまざまな表面反応を起こしながら浮遊拡散している (Fig.1)。アジア大陸と日本列島の間を横たわっている日本海からの水蒸気はそれらの表面反応をきわめて活発にし、結果として環日本海域の大気組成 (大気汚染物質も当然含む) の生物地球化学的な物質の循環を大きく加速することになる。

本研究では、黄砂の代表的な発源地であるタクラマカン砂漠をテストフィールドにして、

- ・ 発源地の黄砂は、大気汚染物質で汚されていることは無いか
- ・ 日本国内でしばしば観測される「弱い黄砂」あるいは「バックグランド黄砂」の起源はどこで、またどのようにして発生するのか
- ・ 大気汚染で汚れた黄砂どのようにして生まれるのか
- ・ それらの黄砂は、どこへ行きどのような影響を与えるのか

などを解明するための観測を行った。

観測は、ライダーによる黄砂の垂直分布を計測するとともに、気球搭載型の光散乱式エアロゾル計測器および気球搭載型のエアロゾル採集器を用い、地上近くから上空約 10 km 付近までの黄砂の濃度分布の計測および浮遊している黄砂の直接採集をおこなった。観測拠点の設営、維持、管理、電波使用の許可、放球時のガス詰め作業などロジスティックス全般にわたって、現地の気象局の支援を受けた。

観測によって、黄砂粒子表面の過剰な硫黄化合物の存在は「自由大気圏を拡散してゆく途中に黄砂粒子表面で生じたものである」ことが実証された (Fig.2)。また、この種の表面反応には大気中の水分が強く関与していることを示唆する結果も得られ、「黄砂粒子表面の化学反応の詳細解明」が、新たなパラダイムとして浮かび上がってきた。また、日本上空の航空機観測やライダー観測によって示唆されてきた「弱い黄砂あるいはバックグランド黄砂」と呼ばれてきた現象は、タクラマカン砂漠を起源とする砂塵の流出にともなう現象であり、ゴビ砂漠や黄土高原から舞い上がった砂塵がそのような現象の原因となることは少ないことが判明した。この事実は、砂塵が高度約 5 km 以上の高度では太陽放射の強い夏の時期においても浮遊しており大気中の光化学反応と黄砂粒子が強くかかわりあう可能性を示している。「バックグランド黄砂の存在」は、今日では多くの研究者の認めるところとなり新たな黄砂像を大気化学分野から作ろうとする機運を作り出した。

黄砂の表面反応の速度が、大気中の水分量によって左右されるという事実は、大気化学や大気環境学から日本海の存在の重要性を示唆する結果として注目に値する。東シナ海や日本海上を東進する気塊がしばしば海面から供給される水蒸気によって大きく性質を変えることは、古くから気象学者の関心を引いてきており、「気団変質」という概念で理解され

てきた。しかし、この気団変質については、もっぱら気団の持つ降水能力との関係で理解されてきた経緯がある。ここでは、新しく「気団の化学的変質」あるいは「気団の物理化学的変質」という枠組みの中で理解しなおす必要があると思われる。このような概念の転換が必要であるという事実は、この地域の人間活動による大気環境の悪化が顕在化してきたという事実を裏付けていることにもなっている。

いわゆる「汚れた黄砂 (=大気汚染物質を表面にくっつけた黄砂)」はどこに行きどのようなインパクトを与えるのであるかは、この研究の発展として当然問われる課題である。現在、世界規模で進められている研究プロジェクト、SOLAS (Surface Ocean and Lower Atmosphere Study)では、各国がそれぞれの研究背景に基づいてナショナルプログラムを策定して SOLAS に連携・呼応した体制をとっている。筆者らのグループでは、中国のプログラム、ADOES (Asian Dust and Ocean Ecosystem)に参加し、日本海洋上で物理化学的な変質の詳細説明や洋上に落下する鉱物や関連物質の質量フラックスを解明することによって、海の生態系へのインパクトを探る研究計画に着手した。

韓国や中国では黄砂の健康影響が社会的に大きな話題となっており、科学的な説明が急がれている。我が国においても遅まきながらそのような機運が生じており、これまでの実績を生かして、黄砂とともにやってくる微生物や有機物の検出を目標とした、「次世代の黄砂研究」の準備に取り掛かっている。

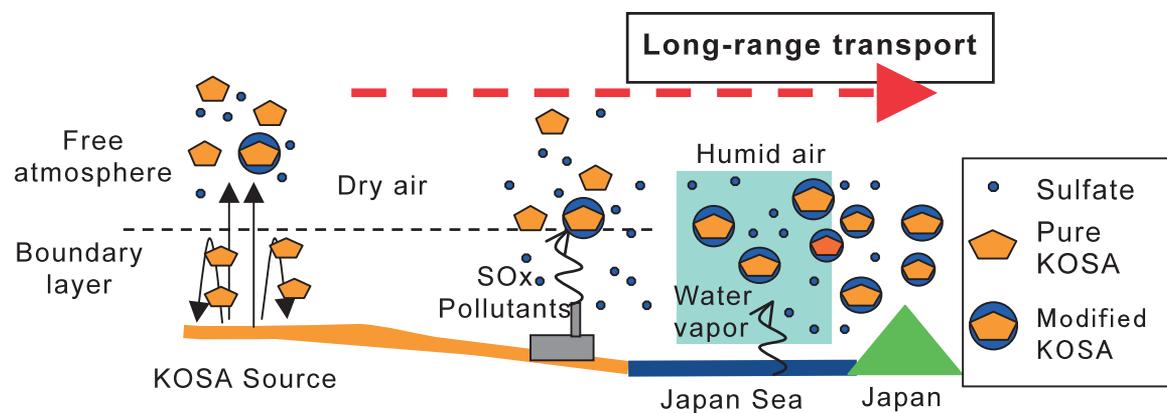


Fig. 1 Conception of modification process of KOSA particles by SOx.

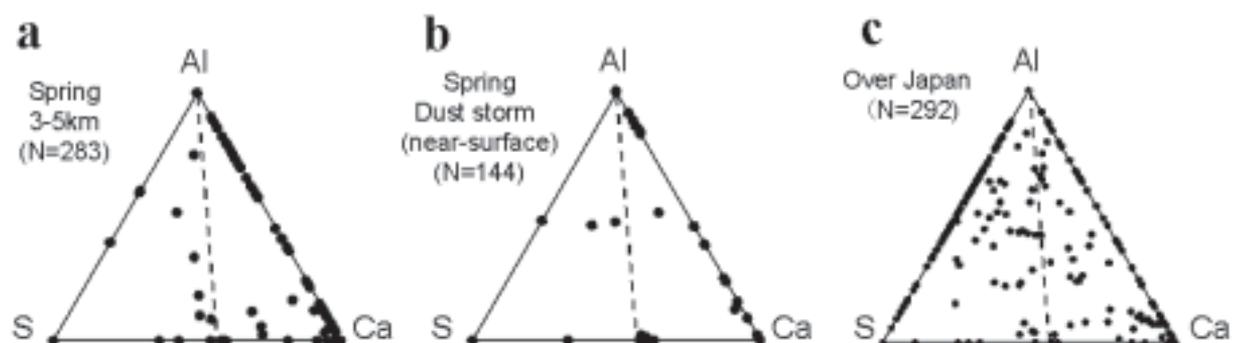


Fig. 2 Relative weight ratios of Al, S and Ca for mineral particles collected (a) in the free troposphere, (b) in the boundary layer over Dunhuang, and (c) in the free troposphere over Japan.

[研究課題]環日本海域諸国の多環芳香族炭化水素及びニトロ多環芳香族炭化水素による大気汚染
[事業推進担当者]早川和一

[目的]

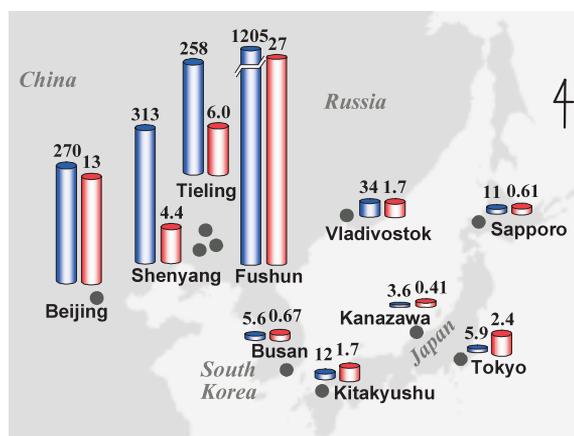
日本海を囲む4カ国(日本, 中国, 韓国, ロシア)の一次エネルギー消費量は世界の26%余に達するが, その主要エネルギーの種類は石油(日本, 韓国), 石炭(中国), 天然ガス(ロシア)と, 国により大きく異なる。これら化石燃料の使用は, CO₂だけでなく種々の有害物質を生成・放出する。環日本海域は世界で最も急速に大気汚染が悪化する地域の一つであるが, その内容は上述のエネルギー事情だけでなく, 交通や産業の状況によっても大きく異なる。化石燃料が燃焼するとき, 煤と一緒に極微量の多環芳香族炭化水素(polycyclic aromatic hydrocarbon; PAH)も生成する。さらにPAHは空気中の窒素と反応してニトロ多環芳香族炭化水素(nitropolycyclic aromatic hydrocarbon; NPAH)も生成する。これらPAH, NPAHは, ベンゾ[a]ピレン(BaP)や1,8-ジニトロピレン(1,8-DNP)のような発がん性物質だけでなく, 内分泌かく乱作用を示すものがあることも明らかになり, 人為的環境汚染の進行を示す有用な指標物質であることから, 既に著者はこれらの超高感度分析法を開発し, その環境汚染の実態を明らかにしてきた。これを踏まえて, 本課題研究では上記4カ国の国際共同研究体制を組んで, 環日本海域のPAH, NPAH大気汚染の解析に取り組み, 以下の研究成果を得た。なお, PAH, NPAHのヒト曝露及び内分泌かく乱作用に関する研究成果は, それぞれ鳥羽 陽及び木津良一が別に報告する。

[研究成果]

- (1) PAH, NPAHの発生源特性: 石油や石炭, 薪等の燃焼はPAH, NPAHの主要排出源である。PAH濃度はディーゼル粉塵より石炭燃焼粉塵の方が高いが, NPAH濃度はディーゼル粉塵の方が高い。組成が異なる主原因は燃焼温度の違いである。即ち, 燃焼温度が高いほど完全燃焼しやすいが, ニトロ化反応が進むので[NPAH]/[PAH]比は大きくなる。ディーゼルエンジンと石炭ストーブ, 薪ストーブの燃焼温度は, それぞれ2700°C程度, 1100°C程度, 500-600°Cであり, [NPAH]/[PAH]比もこの順番に小さくなった。[NPAH]/[PAH]比は, これまでに報告されているPAH同士の組成比より値の変化が大きく, 発生源特定の指標としてより有効なことがわかった。
- (2) PAH, NPAH汚染の環日本海域の国際比較: わが国の主要都市大気のPAH, NPAH汚染の主要因は, [NPAH]/[PAH]比から自動車, 特に粉塵排出量が多いディーゼル車であった。一方, 国際共同調査により, 大気中のPAH濃度は瀋陽, 鉄嶺, 撫順, 北京(中国)やウラジオストク(ロシア)の方が東京, 札幌, 金沢, 北九州(日本)や釜山(韓国)より22~340倍も高く, NPAH濃度は1.8~66倍高いことが初めて明らかになった(Fig. 1)。この違いは, 中国やロシア沿海州地方では家庭や工場, 発電所等多くの施設で石炭が燃焼されるが, 排煙処理設備の普及が遅れているために大量の粉塵が大気中に放出されるためと考えられた。上述のように, 石炭の燃焼時に発生する粉塵には多量のPAHが含まれるが, 燃焼温度が低いためにNPAHは少ない。特に中国では, 冬季の暖房設備における石炭の使用が都市大気中の粉塵量を増加させ, PAH濃度を著しく上昇させていることがわかった。大気中PAH, NPAHの発生源が国によって異なる事実は, 有効な防止対策も異なることを意味している。
- (3) 環日本海域のPAH, NPAH汚染の推移: わが国の上記4都市の大気中PAH, NPAH濃度について, 2004年(今回)を1997年の値を比較するといずれも減少しており, その理由として, ディーゼル車の台数の減少と排ガス対策の効果が考えられた。一方,

ウラジオストクの 2005 年（今回）を 1999 年と比較すると、自動車台数の急増にも拘らず PAH 濃度は減少し、NPAH 濃度は僅かに減少傾向が認められた。このようにわが国とロシアでは過去 6、7 年の間に、PAH、NPAH の大気汚染は改善傾向が認められたが、汚染が著しく、その発生源もわが国と異なる中国については、残念ながら今回の調査が最初で過去のデータはない。今後、健康影響に関する疫学調査を含め、本環境調査の継続が重要である。

- (4) PAH、NPAH の長距離輸送：既に、中国で石炭燃焼時に発生した硫黄酸化物(SOx)の飛来による酸性雨雪や、タクラマカン砂漠や黄土高原で発生した黄砂の飛来がわが国で観測されている。この事実は、石炭燃焼で発生する粉塵や PAH、NPAH も同様に長距離輸送されて日本海を渡ることを予想させる。そこで、地元発生源の影響を受けないわが国日本海側に位置する石川県能登半島の先端（輪島）で 1 年間にわたって大気浮遊粉塵を連続捕集し、含まれる PAH、NPAH を分析した結果、これらの大気中濃度が、中国の暖房使用許可期間（10 月中旬～4 月中旬）に一致して上昇していることが初めて観測された（Fig. 2）。しかも、この時期の大気中 PAH、NPAH 組成は瀋陽の冬季の大気中組成に近似し、後方流跡線解析の結果、輪島で捕集したこの時期の大気の輸送軌跡は、瀋陽が位置する中国東北部を集中して通過していることがわかった。これらの事実から、中国大陸で発生した PAH、NPAH がわが国に長距離輸送されていることが初めて明らかになった。
- (5) 環日本海域の PAH、NPAH 動態予測：以上の PAH、NPAH の発生源特性の解析と環日本海域における長期大気観測の結果、この地域における PAH、NPAH の大気動態シミュレーションが可能になった。本手法は、大気輸送中の PAH、NPAH と SOx、黄砂等との反応や海洋への付加見積の他、環日本海域諸国のエネルギー事情や産業構造の変化、交通の発達、汚染防止対策の強化等に伴って、この地域の大気環境の今後を予測する手段としても活用が期待できる。

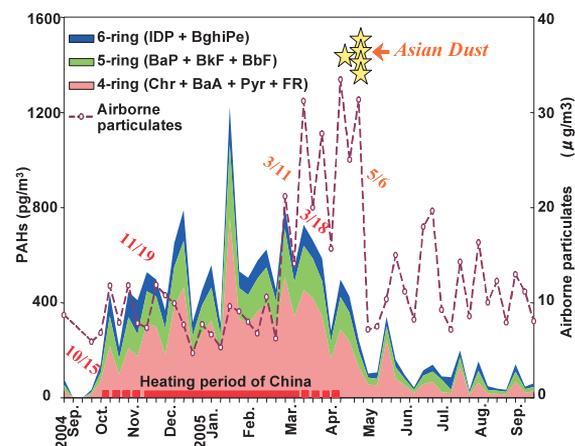


Unit : pmol m⁻³

[PAHs] = [Pyrene] + [Benz[a]anthracene] + [Chrysene] + [Benzo[b]fluoranthene] + [Benzo[k]fluoranthene] + [Benzo[a]pyrene]

[NPAHs] = [1,3-Dinitropyrene] + [1,6-Dinitropyrene] + [1,8-Dinitropyrene] + [9-Nitroanthracene] + [1-Nitropyrene] + [2-Nitrofluoranthene] + [2-Nitropyrene] + [6-Nitrochrysene] + [7-Nitrobenz[a]anthracene] + [6-Nitrobenzo[a]pyrene] + [3-Nitroperylene]

Fig. 1 Annual average concentrations of PAHs and NPAHs at Pan-Japan Sea cities



Chr, Chrysene; BaA, Benz[a]anthracene; Pyr, Pyrene; FR, Fluoranthene; BaP, Benzo[a]pyrene; BkF, Benzo[k]fluoranthene; BbF, Benzo[b]fluoranthene; IDP, Indeno[1,2,3-cd]pyrene; BghiPe, Benzo[ghi]perylene;

Fig. 2 Time course of atmospheric PAH and particulate concentrations at Wajima cities

[研究課題]多環芳香族炭化水素類の人体曝露評価法の開発

[事業推進担当者]鳥羽 陽

[目的]

がん（悪性新生物）は日本人の死因中最も多いものの一つである。肺がんは各種がんの中で最も顕著に増加しており、喫煙と共に大気汚染が肺がん発生因子の一つとみなされている。都市の大気浮遊粒子や自動車排気ガス中の粒子状物質には、発がん性のある多環芳香族炭化水素(polycyclic aromatic hydrocarbon; PAH)類が含まれており、肺がんの増加との関連性が指摘されている。これまで PAH の曝露評価を行うことを目的として、大気粉塵やガスのある地点（自動車の通行量の多い地点等）にサンプラーを設置し、捕集された大気（粉塵）中に含まれる PAH の量から、ヒトへの曝露量が推測されてきた。しかしながら、実際には我々人間は、多くの時間を室内で過ごし、また喫煙など生活習慣も異なり、さらには生体内での吸収、分布、排泄にも個人差があることから、上記の従来法だけでは十分な曝露評価を行うことができない。そこで本研究では、より正確な個人曝露量を評価するために尿中 PAH 代謝物を指標とするバイオマーカーを開発することを目的とした。さらに開発したマーカーを用いたアジア諸地域住民の曝露データを得ることに成功した。

[研究成果]

- (1) 尿中 1-ヒドロキシピレン(1-OHP)の分析法開発：ピレンは PAH の中で環境中濃度が高く、ヒトへの曝露量も高いことから、ヒト尿中 1-OHP の HPLC-蛍光分析法が開発されて以来、PAH 曝露のバイオマーカーとして多くの知見が報告されてきた。その定量には標準添加法が一般に用いられるが、1 検体につき 2 回以上測定する必要がある、分析に時間を要する。そこで著者らは重水素化 1-OHP を内部標準物質として使用する方法を開発することに成功した。内部標準物質である重水素化 1-OHP と被検体との分離は ODS カラムでは不可能であったが、フェノール性化合物を強く保持するアルキルアミド型逆相カラムにより 1-OHP とその重水素化体とが良好に分離($R_s=1.45$)された。被検体とその重水素化体との保持時間が近く、物理的特性が極めて近いことから、1-OHP- d_9 が優れた内部標準物質であることが証明され、内部標準法による 1-OHP の定量がはじめて可能になった。
- (2) 尿中 2-ヒドロキシフルオレン(2-OHF)の分析法開発：尿中 1-OHP が PAH 曝露に対するバイオマーカーとして定着しているが、一方でピレンの代謝物だけをもってすべての PAH の曝露評価をすることを疑問視する意見もあり、より多くの PAH の代謝物を同時に測定するマルチバイオマーカーの考え方が広まりつつある。著者らは、PAH の 1 種のフルオレンに着目した。フルオレンは、環境中でガス相に分布する代表的な PAH であり、特にタバコ煙中にナフタレンに次いで高濃度に存在する成分である。そこでフルオレンの主要な尿中代謝物である 2-ヒドロキシフルオレン(2-OHF)の蛍光検出-HPLC 法による分析法を開発し、新たな PAH 曝露バイオマーカーを確立した。分析システムには、分離特性の異なる 2 つのカラムを組み合わせるカラムスイッチングシステムを構築し、2-OHF と内部標準物質である重水素化 2-OHF (2-OHF- d_9)は、まず ODS カラム（前処理用）において尿試料に由来する夾雑ピークと粗分離され、カラムスイッチングを経てさらにアルキルアミド型逆相カラムにおいて 2-OHF と

2-OHF- d_9 とが良好に分離($R_s=1.4$)させることに成功した。従来の GC-MS 法と同等の感度が得られ、かつ煩雑な誘導体化をすることなく分析が可能となった。

- (3) 日本人とタイ人における尿中 1-OHP と 2-OHF 濃度比較：これまでに開発したバイオマーカー(1-OHP と 2-OHF)の PAH 曝露評価法としての有用性を検討するために日本とタイにおいて被験者から尿試料を捕集し、尿中 1-OHP と 2-OHF を測定した。尿試料は、職業曝露のない金沢市在住の喫煙者 10 名(10-50 本/日)及び非喫煙者 7 名、さらにタイ・チェンマイ市在住喫煙者 7 名(10-20 本/日)及び非喫煙者 6 名から捕集した。尿試料(10 mL)に内部標準物質として 2-OHF- d_9 と 1-OHP- d_9 を加え濃縮とクリーンアップを行った後 1-OHP 及び 2-OHF を確立した 2 つの蛍光検出-HPLC システムを用いて測定した。測定後、定量値としての尿中代謝物濃度は、尿中のクレアチニン単位量あたりの濃度として算出した(Table 1)。日本人に関して、1-OHP よりも 2-OHF で喫煙者と非喫煙者間で有意差が大きく、2-OHF と 1-OHP の濃度比(2-OHF/1-OHP)も喫煙者が非喫煙者よりも大きかった。これは、喫煙によるフルオレンの曝露量がピレンよりも高いことを示し、2-OHF がタバコ煙曝露を 1-OHP よりも強く反映するバイオマーカーであることが明らかとなった。一方、タイ人に関しては著しく高い濃度の 1-OHP が観察され、職業曝露のない被験者であるにもかかわらず、欧米の職業曝露を受けた労働者に匹敵する尿中濃度であった。タイ・チェンマイの大気中 PAH 濃度は東京より高く、肺癌による年齢調整死亡率がタイの中で最も高い地域であり、尿中 PAH 代謝物から予測される個人曝露量からもこの地域での PAH 曝露量が他の都市と比べて著しく高いことが示唆された。このように、尿中代謝物をバイオマーカーとする PAH 曝露評価法は PAH による健康影響を考える上で非常に有効である。わが国の職業曝露のない健康人の尿中 PAH 代謝物濃度レベルは、欧米の先進国のそれと同等であるが、他のアジア諸国に関するデータはほとんど報告されていない。著者等の結果が示すように、今後アジア諸地域における深刻な屋外大気、若しくは室内空気汚染の影響に基づく PAH 曝露の実態を調査する必要がある。本研究において開発されたバイオマーカーは PAH 曝露診断ツールとしての利用が期待できる。

Table 1 Urinary concentrations of 2-OHF and 1-OHP ($\mu\text{mol/mol creatinine}$) in Japanese and Thai subjects

Characteristic	Smokers		Non-smokers		Ratio (Smoker/Non-smoker)	
	Japanese	Thai	Japanese	Thai	Japanese	Thai
Number (Male)	10 (10)	7 (5)	7 (4)	6 (3)		
Age, Mean (Range)	48 (23-69)	54 (32-76)	33 (22-51)	34 (26-47)		
2-OHF, Mean \pm S.D.	0.26 \pm 0.16**	0.75 \pm 0.15***	0.04 \pm 0.02	0.22 \pm 0.15	6.5	3.4
CV (%)	61.5	20	50	68		
Range	0.06 - 0.51	0.50 - 1.01	0.01 - 0.06	0.05 - 0.46		
1-OHP, Mean \pm S.D.	0.12 \pm 0.13	3.03 \pm 1.91*	0.06 \pm 0.08	0.91 \pm 0.59	2.0	3.3
CV (%)	108	63	133	65		
Range	0.02 - 0.45	1.00 - 5.76	0.01 - 0.22	0.20 - 1.72		
Ratio (2-OHF/1-OHP)	2.2	0.25	0.67	0.24		

* Significantly different from non-smoker ($P < 0.05$); ** Significantly different from non-smoker ($P < 0.01$); *** Significantly different from non-smoker ($P < 0.001$)

[研究課題] 汚染流体の動態解析—メソスケール大気汚染輸送数値モデルの開発と地下水流動計測プローブの開発

[事業推進担当者] 木村繁男

[目的]

大陸起源の汚染物質の対流圏・成層圏を通しての長距離輸送が、酸性雨などとなりわれわれに深刻な影響をもたらしていることが良く知られている。これらの汚染物質の日本列島への到達量は、日本海を囲む4カ国（日本、中国、韓国、ロシア）の著しい経済発展と人口増加により、さらに深刻になるものと考えられる。

① メソスケール大気中の汚染物質空間分布数値予測手法の開発：

これまで行なわれてきた長距離輸送についての数値解析では、通常 100km 程度の解像度により計算され、そのため地形効果などの地表面の影響は考慮することが出来なかった。そのため、主に地表で観測される黄砂や大気浮遊塵などの汚染物質の量が、大気中を輸送される汚染物質の濃度をどの程度反映しているかについてはまだ十分に解明が進んでいない。したがってこの研究ではこれまで未解明であったメソスケール規模の汚染物質の空間的分布（50～100km の領域内での汚染物質の空間分布）を数値的に予測する手法の開発を主な目的とした。例えば、朝鮮半島や日本列島の背稜山脈を越える時、長距離輸送される黄砂などの汚染物質が大気中でどのような空間分布（水平方向と鉛直方向）を取るのかについての知見は地表面での観測結果をより精確に評価する上で必要不可欠である。

② 樹林中での乱流拡散係数の計測：

森林（緑地）や里山の存在は人間にとって豊かな自然と生活をはぐくむためのもっとも基本的かつ不可欠な要素である。また、長距離輸送されてきた大気中の汚染物質の地表付近における沈着や拡散に大きな影響を与える。樹木で覆われた空間は裸地に比べると大気の流動状態が大きく異なり、地表面における汚染物質濃度に与える影響はきわめて大きい。したがって、種々の森林や樹木で覆われた空間での大気の流れを観測し、特に汚染物質の大気中拡散を予測する上で不可欠となる渦拡散係数を同定することが必要となる。

③ 地下水流向・流速計の開発：

陸水のなかでもなかなか目にすることが出来ないのが地下水である。しかしながら地下水は地球上の真水の 98% を占めているきわめて重要な水資源である。このため地下水の利用と保全是日本だけでなく人類共通の重要な課題である。日本海で蒸発した水は日本海沿岸に雪や雨として降り注ぎ、最終的には地下水となり日本海に再び帰ってゆく。このような地下水の流動についての情報は、日本海沿岸地区での地下水の利用と保全の上で必要不可欠となる。これまで地下水の流動調査は複数の調査井の掘削が必要であり、多大な費用と時間が必要とした。このような困難を克服する為、本研究では単一の調査井のみで簡便に地下水の流向・流速を現位置で計測する測器の開発を行う。

[研究成果]

① メソスケール大気中の汚染物質空間分布数値予測手法の開発：

大気中を輸送される汚染物質の空間分布を、ブズネスク近似による数値モデルにより予測する手法を開発した。これにより、50～100km 範囲の大気中汚染物質の空間分布を精確に計算することができるようになった。本手法により、地表での観測結果と大気上空における汚染濃度について、より明確な情報が得られるようになった。図 1 は計算の一例である。高度 1 km で輸送される汚染物質が標高 900m の山脈を越えた後、おろし風

に乗って地表付近に降下する様子が捉えられている。

② 樹林中での乱流拡散係数の計測：

金沢大学角間キャンパスの里山で大気中の渦拡散係数を測定した(図2)。その結果、冬期(落葉期)とそれ以外の時期で桁違う拡散係数が計測された。春から秋にかけては概ね $0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ 程度であるのに対し、冬期では $1 \text{ m}^2/\text{s}$ 程度であった(図3)。この値はオープンスペースでの値とほぼ同じである。そのほか内灘町の防風林でも計測しほぼ同様の結果を得た。これらの拡散係数の値は数値計算におけるパラメータを決定する上で重要である。

③ 地下水流向・流速計の開発：

熱量法を用いた計測プローブの開発に成功した。10cm/day から 100m/day までの広範囲の流速が計測可能である。千里浜海岸、金沢市四十万の金沢大学教育学部演習農園跡地、手取川流域等で観測を実施し、地下水の流動を捉えることに成功している。本計測プローブの実用化も進んでおり、既に 60 セットを各種研究機関や土木コンサルタント会社が購入している。

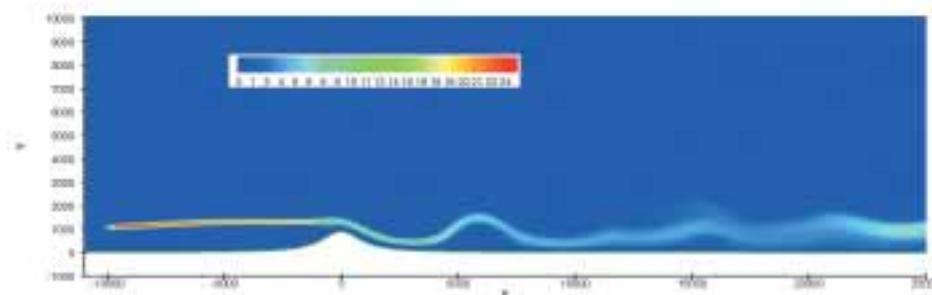


図1. 山脈の背後で汚染物質の鉛直方向濃度分布が変化する例(数値計算)



図2. 角間里山内の観測タワー

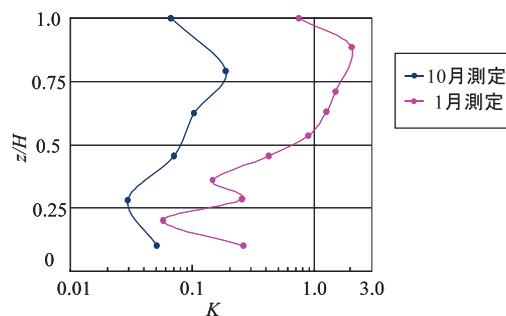


図3. 角間里山で計測された乱流拡散係数 (K の単位は m^2/s)



図4. 開発した単一調査孔を用いる地下水流向・流速計