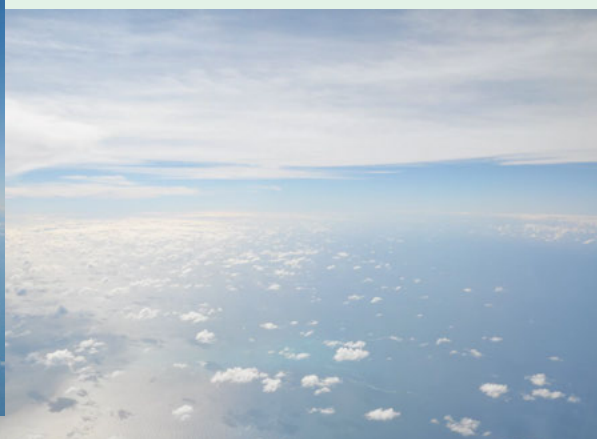


特集 大気汚染と気候変化



上2枚：太平洋上空から見下ろした雲、海面とサンゴ礁
下：沖縄県辺戸岬の観測ステーションから見上げた空

Contents

- 2 地球温暖化における大気汚染物質の役割
- 3 大気汚染と気候変化の新たな関係：地球温暖化のもうひとつの原因
- 6 エアロゾルの化学組成とその気候変動への影響
- 8 短寿命気候汚染物質：(Short-Lived Climate Pollutants: SLCPs)
- 10 持続可能社会を目指した叙述シナリオの作成：技術・産業・経済の側面
- 13 「地球環境モニタリングステーション波照間20周年記念イベント」開催報告
- 14 「第9回日韓中三カ国環境研究機関長会合(TPM9)」の開催

地球温暖化における大気汚染物質の役割

小倉 知夫

世界の地上気温が長期的に上昇傾向を示し、北半球では雪氷の面積が縮小傾向にあることは広く知られています。今年の9月には北極海の海水面積が観測史上最小記録を更新しました。これは、1980年代の平均的な海水面積の半以下に相当します。地球温暖化の兆候が以前にも増して顕著に現れていることの一例と言えるでしょう。

一方、このような気候変化が生じるにあたり、様々な要因が寄与していることについて耳にする機会は少ないかも知れません。温暖化の要因のうち人間活動に由来するものについて寄与の大きさを比較した場合、最も大きな寄与は二酸化炭素の増加から来ており、温暖化の緩和策を講ずる際にはまずこれが削減の対象となります。しかし、それ以外にもメタン、一酸化二窒素、代替フロンを含む人工ガス類や対流圏オゾンも重要な要因であり、大気中を浮遊する微粒子（エアロゾル）の寄与も決して無視できません。これらの要因の一部は、人間の健康や生態系に悪影響を及ぼす大気汚染物質でもあります。言い換えると、大気汚染と気候変化は共通した原因から生じている部分があるのです。

本号の国立環境研究所ニュースでは「大気汚染と気候変化」と題して3本の特集記事をお届けします。気候に変化をもたらす大気汚染物質とはどのようなものでしょうか。理解する上で重要なキーワードとなるのが「短寿命気候汚染物質（Short-Lived Climate Pollutants: SLCPs）」です。環境問題基礎知識（p.8-9）では、SLCPsが近年注目を集めている背景を説明し、SLCPsの削減がどのような便益をもたらすか、数値モデルで評価した結果を紹介します。一方、便益の評価の結果が、複数の数値モデル間で大きくばらつくという問題点も指摘されます。

数値モデルによる評価の信頼性を高めるには、SLCPsの濃度分布を決める様々なプロセスについて科学的な理解を深め、それをモデルの改良につなげることが重要です。重点研究プログラムの紹介（p.3-5）では、定期貨物船を用いたアジア、オセア

ニア地域のSLCPs長期観測、および衛星を用いた一酸化炭素濃度の観測について紹介します。その結果から伺われるのは、東アジアから東南アジアにかけて見られる大陸から海への季節風の吹き出しや森林火災がSLCPsの分布に影響している様子です。こうした研究により、数値モデルで使われている森林火災の排出インベントリに改良の余地があることが明らかとなってきました。

数値モデルを改良する上でもう一つ鍵となるのがエアロゾルの取り扱いです。エアロゾルは太陽光を吸収あるいは散乱するだけでなく、雲の生成にも影響することが知られています。しかし、こうした性質が地上の気温をどれだけ温めたり冷やしたりするかという定量的見積もりには大きな不確実性が残っています。研究ノート（p.6-7）では、エアロゾルが気候に影響を及ぼす様々なプロセスについて概観し、長崎県や沖縄県で国立環境研究所が実施しているエアロゾルの化学組成分析の結果を紹介します。そこから見えてくるのは、エアロゾルの化学組成や大きさ、形状によって気候へ及ぼす影響が大きく変化し得るという、複雑な実態です。このような科学的な知見を数値モデルに反映することで、気候変化の見積もりがより精密となり、ひいては高い信頼性につながることを期待されます。

人間活動に由来する温室効果ガスの中で最も気候への影響が大きいものは二酸化炭素であり、その削減が温暖化の緩和策の中で本質的であることは変わりありません。しかし、気候変動枠組み条約に基づく二酸化炭素削減がなかなか進まない現状において、SLCPsによる温暖化緩和策が魅力的な選択肢として注目されつつあることも事実です。より詳細については記事本文をご覧ください。読者の皆様にとって本号が有益な情報となることを願っております。

（おぐら ともお、地球環境研究センター
気候モデリング・解析研究室 主任研究員）

●特集 大気汚染と気候変化●

【シリーズ重点研究プログラムの紹介：「東アジア広域環境研究プログラム」から】

大気汚染と気候変化の新たな関係：地球温暖化のもうひとつの原因

谷本浩志

1. はじめに

昨年末の第17回国連気候変動枠組み条約締結国会議（COP17）における激しい交渉の様子が新聞やテレビでも報道されたように、二酸化炭素（CO₂）削減は政治的なイシューとして、今や国際政治の場で各国の利害がぶつかるテーマの一つです。CO₂削減に成功しなければどうなるか？結論は分かっていますが解決までの道筋はいまだ不透明であり、CO₂排出抑制の国際的合意は遅々として進んでいない状況にあります。

その間も、地球環境に与える人間活動の負荷は21世紀に入り拡大の一途をたどっています。世界の人口は2030年に80億人を突破すると予測され、必要となる食糧や水の量が増えるとともに、工業生産が欧米・日本からアジア・アフリカ・ラテンアメリカ等、新興国へと拡大しており、そのような状況で気候を安定に保ち、持続可能性を堅持することはきわめて重要です。新興国では産業活動等の急激な増加により大気汚染が常態化し、発生源付近での健康影響を引き起こしていますが、このような大気汚染物質が地球規模での気候変動に大きな影響を与えていることが指摘されています。

2. 大気汚染物質の気候影響

温室効果を持つ大気汚染物質はSLCPs（Short-Lived Climate Pollutants, 短寿命気候汚染物質）（本号の「環境問題基礎知識」p.8-9を参照）と呼ばれ、具体的にはブラックカーボン（すす、黒色炭素エアロゾルとも呼ばれる）、対

流圏オゾン、メタン、一部の代替フロン類など、大気中寿命が短い物質が中心です。これらSLCPsを全て足し合わせた温室効果はCO₂にほぼ匹敵します。

最近、近未来（2030～2050年）の温暖化を抑制するとともに、北極やヒマラヤなど気候変化に対して特に脆弱な地域で氷床・氷河が融けてしまうなどの壊滅的被害を避けるためにはSLCPsの削減が有効であり、将来（2100年）の温暖化を2℃以内（2℃以下であれば、被るリスクが小さいと予想されている）に抑制するためにも、長期的なCO₂削減努力に加えてSLCPsの削減対策を行うことが効果的である、との新しい知見が発表されました。

2011年にShindellらがとりまとめた報告書では、複数の削減シナリオによる2070年までの温度上昇の予測が報告されました（図1）。今すぐCO₂規制を始めた場合、2070年には一定の効果が見られますが、2040年までは何も規制しない場合と大差がないこと

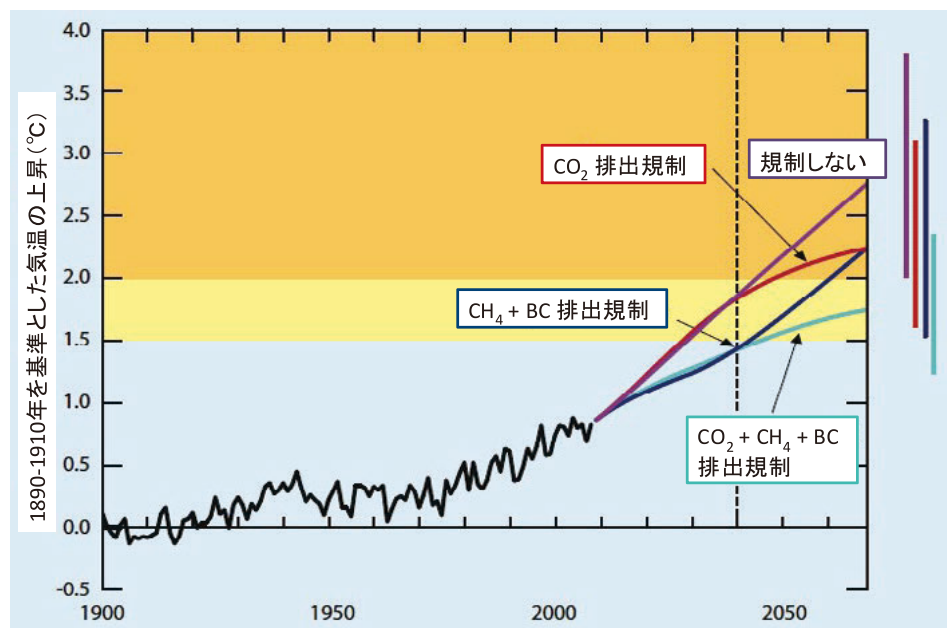


図1 メタン（CH₄）やブラックカーボン（BC）の削減（とそれによるオゾンの軽減）による温暖化軽減効果
右端の縦棒は2070年における予測値の不確実性（棒の上端と下端が、それぞれ上限と下限の目安）を示し、それぞれの色は2010～2070年の予測カーブと対応している。（UNEP/WMO Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers, 2011 を改変）

●特集 大気汚染と気候変化●

が分かります。一方、メタンとブラックカーボンの規制には即効性があり、2040年までの温度上昇を抑制するには大きな効果があります。この両者を組み合わせた場合に2070年における温度上昇を最も低く抑えられ、予測値の不確実性もまた小さくなることが分かります。

3. 定期貨物船を用いたSLCPsの長期観測

SLCPsは大気中寿命が短いために濃度分布が不均一となる特徴があり、また発生源の分布も非一様であるため、適切な対策の策定に資する科学的な知見を得るには、高い空間分解能で、かつ地域的・世界的に均一な観測を行うことが必要です。しかしながら、SLCPsの濃度分布や変動要因の把握、関連する前駆物質の発生源の分布に関する現在の知見はこれまで断片的でした。

そこで本研究では、外洋における清浄大気を観測できる日本-オセアニア航路と、アジア沿海域における地域的汚染大気を観測できる日本-東南アジア航路においてSLCPsの長期観測を行っています。二隻の特徴的な船舶航路を対比させることによって、社会経済活動、農地拡大、あるいは森林火災によるSLCPsの放出が急増している可能性がある東アジア地域からの放出量とその影響をより良く理解することを目的としています。

一例として、両航路におけるメタン、対流圏オゾン、ブラックカーボンの連続観測の結果を図2に示

します。ブラックカーボンの観測は東南アジア航路のみで行っています。オセアニア航路では、北半球から南半球にかけてスムーズな濃度勾配が観測され、良く知られている典型的な清浄大気中の濃度分布が見られました。一方、東南アジア航路においては、アジア大陸からの季節風の吹き出しに伴うと考えられる濃度増大が見られました。発生源としては、森林火災や都市汚染など何らかの燃焼起源からの影響が考えられます。詳細は解析中ですが、東南アジアでは乾季の終わりの8~10月にかけて乾燥に伴う自然火災、焼畑農業・森林皆伐等を目的とした人為火災が発生し、その後、雨期の到来によって火災が消沈するサイクルが繰り返されることが知られています。

特に、エルニーニョの年は森林火災が多発することが知られています。例えばAIRS (Atmospheric Infrared Sounder) 衛星センサーによって観測された一酸化炭素濃度を見ると、東南アジア上空で高濃度になっていることが分かり(図3)、ボルネオ島を中心として生じた大規模な自然火災がSLCPsの分布に大きく影響していることが推測されました。この地域には泥炭が豊富にありますが、現在の大気化学輸送モデルで最も広く世界中の研究者に使われている森林火災の排出インベントリであるGFEDv2 (Global Fire Emission Database version2) できさえも、火災からの放出量を過小評価していることが、我々の2011年の報告から明らかになりました。今後、東

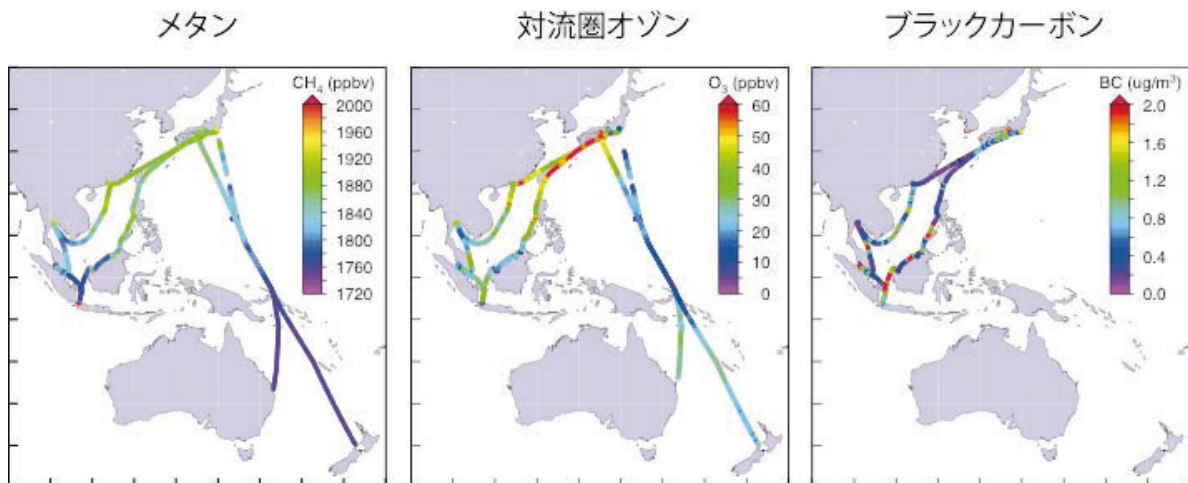


図2 2009年秋季に、日本-オセアニア航路と日本-東南アジア航路において観測されたメタン、対流圏オゾン、ブラックカーボンの濃度分布
アジア大陸からの季節風の吹き出しによる影響のため、東南アジア航路ではオセアニア航路より濃度が高くなっている。

2006年10月12日

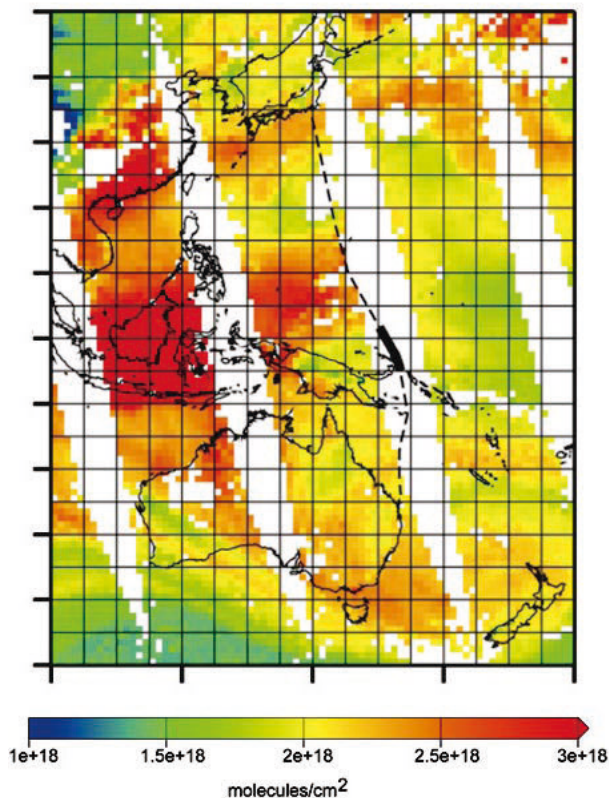


図3 AIRS (Atmospheric Infrared Sounder) 衛星センサーによって観測された東南アジアにおける対流圏—酸化炭素濃度の分布 (Nara et al., CO emissions from biomass burning in Southeast Asia in the 2006 El Niño year: Shipboard and AIRS satellite observations, Environ. Chem., 8, 213-223, 2011)

南アジアに特有なSLCPsの発生源と大気中への放出量を正確に評価するために、観測を継続するとともに解析を進めていくつもりです。

4. 二酸化炭素だけではない地球温暖化の科学と政策

SLCPsの排出削減は、CO₂対策までの「時間稼ぎ」ができる点で政策的にも重要な意味を持ちます。また、仮にCO₂削減を今すぐ始められたとしても、その効果はすぐには得られない現実もあるため、(将来世代のための温暖化抑止にはCO₂削減が必須ですが) 現役世代のための温暖化抑止にはSLCPs削減が必須です。

これを受けて、国連環境計画 (UNEP) や世界気象機関 (WMO) といった国際組織では、科学者や政策担当者が協力して2011年に報告書を発行するな

ど、行政機関や国際政治の動きが急速に活発化しています。2012年5月にはG8サミットでも取り上げられ、UNEPでは「SLCPs削減のための気候と大気浄化のコアリション (連携)」(Climate and Clean Air Coalition, CCAC) (<http://www.unep.org/ccac/>) を設立し、日本も参加を表明しました。

SLCPsは大気汚染物質でもあるため、その削減は新興国にとって取り組みやすい政策課題です。また、オゾンの前駆物質である窒素酸化物や揮発性有機化合物、ブラックカーボンの排出抑制は技術的にはさほど困難ではなく、発展途上国における普及メカニズムさえ確立すればすぐに効果が期待できます。このように、大気汚染対策と地球温暖化対策を同時に進め、大気環境の改善と地球温暖化の軽減の「一石二鳥」を狙う段階にあります。

5. 今後の展望：衛星観測の実現に向けて

本研究では、観測の空白域となっているアジア・オセアニア地域における定期貨物船を用いたSLCPs観測についてご紹介しましたが、今後は、より高い空間分解能でグローバルに均一な観測を行うことが必要となってきます。地上観測や船舶観測と相補的な観測プラットフォームとして、高度方向の情報が得られる民間航空機による観測、そして宇宙からの衛星観測も非常に有効であると考えられます。SLCPsの衛星観測を日本でも実現すべく、国内外の大気化学研究者を中心として、静止衛星センサーや国際宇宙ステーションからの観測について検討が進められています。

(たにもと ひろし、地球環境研究センター 地球大気化学研究室長)

執筆者プロフィール：

先日、5歳になった長男が「ぼく大きくなったら、パパとおなじ研究所でおしごとするー」と言うのを聞いてちょっと感動した。日本や米国よりも早く博士号を取得できるイギリスに行かせて20年後…と妄想してみるが、その頃はちょうど2030年。どんな社会になっているだろうか？



●特集 大気汚染と気候変化●

【研究ノート】

エアロゾルの化学組成とその気候変動への影響

高見 昭 憲

エアロゾルは大気中を浮遊するマイクロメータサイズの粒子です。1 μm (1 マイクロメータ) は1 mmの千分の一の長さです。おもなエアロゾルには硫酸塩、硝酸塩、有機エアロゾル、黒色炭素 (Black Carbon; BC) など直径が1 μm 程度の微小粒子と、土壌粒子 (黄砂)、海塩粒子など直径が数 μm 程度の粗大粒子があり、大気中を浮遊しています。工場や自動車あるいは砂漠や海などから直接放出されるBC、土壌粒子、海塩粒子などを一次粒子、大気中で化学反応により生成する硫酸塩、硝酸塩、二次有機エアロゾル (Secondary Organic Aerosol; SOA) などを二次粒子として区別しています。二次粒子は二酸化硫黄、窒素酸化物、揮発性有機化合物など (これをエアロゾルの前駆体と呼ぶ) が大気中で酸化されて生成します。

大気中の物質がもたらす環境への影響には大きく分けて、健康影響、生態影響、気候影響の三つが考えられます。このうち、エアロゾルが気候変動に及ぼす影響としては、直接効果と間接効果の二種類があります。(以下の直接、間接効果の説明は「エアロゾル用語集」温暖化とエアロゾル、日本エアロゾル学会編、京都大学出版会、2004年を参考にしました。) 直接効果というのは、エアロゾルの光学特性、すなわち、エアロゾルがどの程度太陽の光を吸収あるいは散乱するかで地球の放射収支に影響を及ぼすことです。硫酸塩や有機物のエアロゾルは透明であり光を散乱しますので大気も地表面も冷却します。一方で、BCは黒色であり光を吸収しますので地表面に到達する太陽光は減りますが、大気自体は加熱します。直接効果に対して間接効果もあります。大気中で水蒸気しかない清浄な状態では水滴 (雲) ができるためには相対湿度で400%という過大な飽和状態 (過飽和状態) が必要です。しかし、硫酸塩などのエアロゾルがあるところでは100%を少し超えるくらいの過飽和状態になると水滴 (雲) が生成します。これをエアロゾルが雲凝結核としての作用を持つと言います。間接効果とは、エアロゾルがある

ことで雲の生成、分布、特性が変化し、その結果、雲の放射収支や降水のパターンが変化することで、間接的に気候への影響を及ぼすことです。

このようにエアロゾルは気候変動に大きな影響を及ぼすと考えられていますが、その影響の不確実性は大きいと考えられています。Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) の2007年の報告書では二酸化炭素は1.66 Wm^2 の正の放射強制力を持ち、その幅は1.49から1.83 Wm^2 とされていますが、エアロゾルの直接効果は-0.5 Wm^2 の負の放射強制力を持ち、その幅は-0.9から-0.1 Wm^2 とされています。エアロゾルの直接効果の数値の幅は二酸化炭素に比べて大きいです。また科学的理解のレベルは二酸化炭素では高いですが、エアロゾルの直接効果は中くらいか低いと記載されています。このようにエアロゾルは未だわからないことも多く、気候変動への影響を見積もるためには科学的な知見の集積が必要です。(放射強制力とは温室効果気体やエアロゾルの増加による放射への擾乱のことです。詳しくは、大気化学入門、D.J.ジェイコブ著、近藤豊訳、東京大学出版会、2002年、p.133を読んでください。)

エアロゾルの直接効果や間接効果にかかわる光学特性や雲凝結核としての作用は、エアロゾルの化学組成に依存すると考えられています。たとえば、BCと硫酸塩粒子が混合し1個の粒子になった場合に、光吸収性と散乱性の物質を含みますので、その粒子の光学特性がどのようになるのかを解明することが、地球の放射収支を計算するために非常に重要です。また、粒子の中では硫酸塩や酸化された有機物の粒子は親水性と考えられ、雲凝結核として作用すると考えられます。

東アジア域では経済発展に伴い、二酸化硫黄、窒素酸化物、揮発性有機化合物などエアロゾルの前駆体となる物質が多く排出されています。それら前駆体は大気中で光化学反応などにより酸化されエアロゾルになります。冬から春にかけて大陸から日本に向かって季節風が吹きますので、その風下にあたる

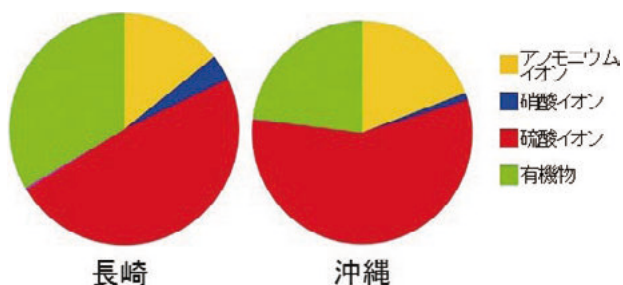


図1 エアロゾル（微小粒子）のエアロゾル質量分析計で測定した化学組成の割合

日本には大気汚染物質やエアロゾルが移流してきます。黄砂はその代表的な例です。国立環境研究所では、エアロゾルの輸送パターンや化学組成、粒子の変質と混合についての知見を得ることを目的に、長崎県や沖縄県でエアロゾルの化学組成分析を推進してきました。図1に長崎と沖縄でエアロゾル質量分析計という装置で測定した、微小粒子の典型的な化学組成の例を示します。長崎では硫酸塩、有機物、硝酸塩、アンモニウムイオンが観測され、沖縄では硫酸塩がより多く観測されています。

2007年春季には、長崎県においてSingle Particle Soot Photometer (SP2) を用いたBCの質量濃度の測定とその被覆状態の観測を行いました。SP2はBCを含む粒子にレーザー光を照射し、BCが発する白熱光の強度からBCを定量的に測定します。2007年春の長崎での観測によると、大陸から移流してくる場合にはBCの重量濃度は $0.5\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 程度でした。硫酸塩の質量濃度（ $5\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 程度）の十分の一です。SP2を用いてBCと混合している物質の割合を推定しました。BCの周りを他の物質が被覆しているとすると、大陸から移流してくる場合、粒子の直径はBCの直径の1.6倍程度であることが観測されました。被覆物質の主要成分は、エアロゾルの化学組成分析により主として硫酸塩や有機物と推定されました。さらに、BCが硫酸塩などに被覆（内部混合）していると、BCの吸収は1.5倍程度大きくなることが計算から示されました。このようにBCと硫酸塩や有機物が混合するとその光学特性が大きく変化することが、解析から明らかになりました。

2008年春季に沖縄でエアロゾルを捕集し、透析法により水溶性成分を取り除いた後で、電子顕微鏡を用いてBCの形態観察を行いました。その結果によると、小さなBC粒子が凝集しており、数百nmの凝

集体になっている様子が観察されました。ここで、1 nm（1ナノメートル）は1 μm の千分の一の長さです。凝集体の形態は球形や棒状など様々で直径500nm（=0.5 μm ）程度の大きさのBC凝集体も観測されました。このようなBCの形状も光学特性に影響を及ぼすと考えられています。

2008年春季には沖縄において、雲になるエアロゾル（雲凝結核として作用するエアロゾル）の割合も測定しました。エアロゾルの化学組成分析では、図1のように主成分は硫酸塩であり、質量濃度にして硫酸塩が約50-60%の割合を占めました。また、カルボキシル基に対応するシグナルも強く出ており水溶性であることが示唆されました。このような化学組成を持つ粒子に対して、過飽和度を変えてエアロゾルの個数に対する雲凝結核として作用するエアロゾルの個数の割合を測定しました。過飽和度0.1%（相対湿度100.1%）ではエアロゾルの直径が130nmの粒子で約50%が雲凝結核として作用していました。沖縄など遠隔地では直径が100-200nmのエアロゾルが多く観察されていますので、多くのエアロゾルが雲凝結核、すなわち雲を生成するエアロゾルとして作用すると考えられます。最近では、東アジア域でも、実際の雲を対象とした航空機観測を行い、雲の下にあるエアロゾルの個数と雲粒の個数を測定し、エアロゾルと雲の相互関係を明らかにしようとしています。

気候変動シミュレーションに不確実性をもたらす鍵となっているのがエアロゾルです。我々の観測結果に基づいて、エアロゾルの光学特性や雲凝結核としての特性が、エアロゾルの種類やその場の様々な条件に依存してどのように変化するかを解明することによって、気候変動のシミュレーションに適切なエアロゾルのモデルが導入され、より確度の高い将来予測が可能となると考えています。

（たかみ あきのり、地域環境研究センター
広域大気環境研究室長）

執筆者プロフィール：

専門は大気化学です。主にエアロゾルの化学組成をエアロゾル質量分析計で測定しています。いろいろな専門家の話を聞きながら、エアロゾルが果たす役割をうまく表現できるモデルを知りたいと思って長崎や沖縄の観測を続けています。

【環境問題基礎知識】

短寿命気候汚染物質：(Short-Lived Climate Pollutants: SLCPs)

永島達也

1. 気候を汚染する物質？

本稿の主題である「大気汚染物質」ならぬ「気候汚染物質」という言葉には、違和感を覚えるという方もいらっしゃるのではないかと思います。大気汚染物質＝大気を汚染する物質、というアナロジーからすれば、気候汚染物質＝気候を汚染する物質、と考えたくなりますが、そもそも気候を汚染するという概念は、少なくとも我が国においてはまだ一般的なものとは言えそうもありません。SLCPs削減のため、米国を中心として今年（2012年）の2月に発足した国際パートナーシップである、Climate and Clean Air Coalition (CCAC) の定義によれば、SLCPsとは大気中での化学的な寿命が数日から数十年程度と比較的短く、気候を温暖化する作用を持つ物質とされています。この定義に合致するものとしてCCACによる取り組みの対象とされている主要な物質は、メタンと対流圏のオゾン、および、化石燃料やバイオマスを燃焼させた際に発生する煤煙の主要成分である黒色炭素粒子（ブラックカーボン）の3物質ですが、これらは確かに大気を暖め、気候を温暖化する作用を持つと同時に、人間の健康や農業、生態系に悪い影響を持つ大気汚染物質でもあります。つまりこの定義からすれば、気候汚染物質という言葉は、気候を汚染する物質という意味ではなく、大気汚染物質の中でも気候を温暖化させる特性を強く備えたものに付けられた名称と言えます。

さて近年、SLCPsの削減を通じた地球温暖化の緩和策に、大きな注目が集まっています。その背景には、SLCPsの削減策が将来の（特に今後数十年という近未来の）地球温暖化に及ぼす影響の理解が飛躍的に進み、国連環境計画（UNEP）や世界気象機関（WMO）などの国連機関によってSLCPsの削減策やその効果に関する統合的な評価報告書が作られるなど、関連する知見の集積・整理が進んでいることがあげられます。

2. SLCPsの削減による多面的な便益

二酸化炭素（CO₂）などの化学的な寿命が長い温室効果気体の削減は、地球温暖化の緩和策として、今現在も、そしてこれからも長期に亘って継続して行く必要があります。しかしながら、今後数十年という近未来における地球温暖化を効果的に抑止し、産業革命以前に比した気温の上昇幅を、変化のリスクが小さいと予想される2℃以内に抑えるためには、こうした対策だけでは不十分であり、CO₂の削減に“加えて”SLCPsの削減も行う事が有効であると、ここ最近の研究（本号の「重点研究プログラムの紹介」で解説したShindellらの研究など）で分かってきました。更に、近未来における温暖化を抑止することは、既に顕在化している地球温暖化の影響を最小に留め、その変化に適応したり、より進んだ緩和策や技術を開発したりするための時間を稼ぐという点でもとても重要です。加えて、大気汚染物質であるSLCPsの削減は、健康被害の軽減や農作物の収穫量改善などにつながり、これらに気候変化の抑止も含めた多面的な便益を生み出します。

2011年に発表されたUNEPとWMOの報告書では、SLCPsの削減によるそうした多面的な便益が、数値モデルを用いて定量的に検討されています（図1）。この図は化石燃料採掘時のメタン回収強化などのメタン排出抑制策を行った場合と、それに加えて、途上国における調理用ガストーブの利用促進などのブラックカーボン排出抑制策を行った場合の全球気温（2050年）、早期死亡者数（2030年以降）、穀物収穫量（同）を、何も対策を行わなかった場合と比較して示したものです。メタンとブラックカーボンの排出抑制策を両方とも講じた場合、2050年における全球気温の上昇量は約0.5℃（0.2-0.7℃）も抑えられ、これに加えて、主としてブラックカーボンの減少によって、心臓病や肺がんによる早期死亡者（平均寿命より早く死亡する人）の数が約240万人（70-460万人）減少し、穀物収穫量の損失が約5200万トン

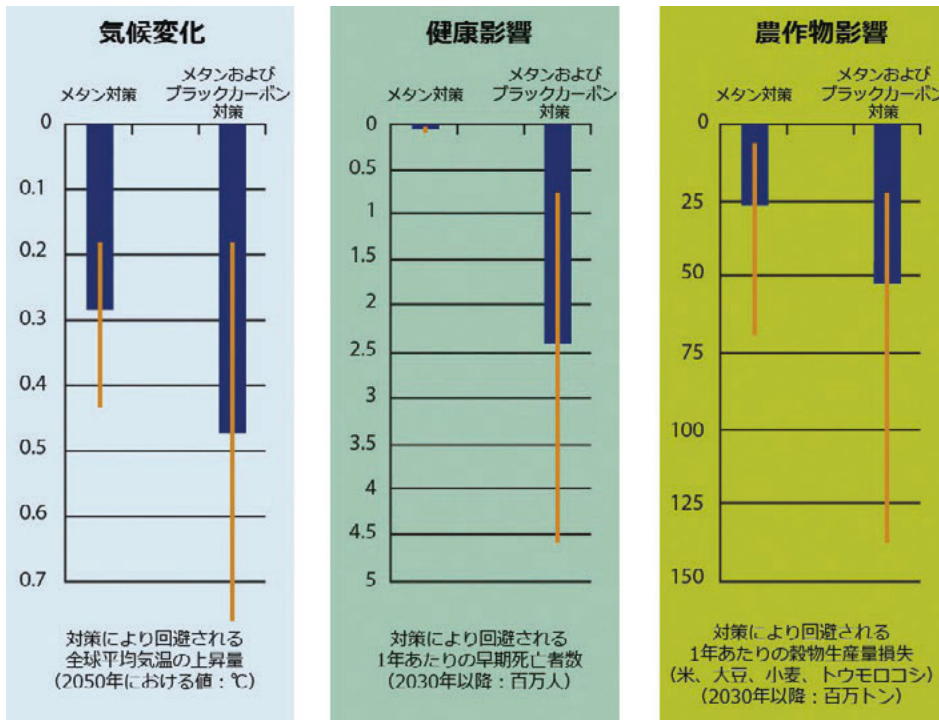


図1 メタン対策を行った場合とそれに加えてブラックカーボン対策を行った場合における全球平均気温、早期死者数、穀物収量損失の改善効果
オレンジの縦棒は評価モデルの違いによるバラツキの範囲。(UNEP/WMO Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers, 2011 から改変)

(3000-14000万トン) 減少すると評価されています。

3. SLCPs対策を進めるために

SLCPsという概念は、その誕生からまだ日が浅くまだまだ確固たるものとは言えません。例えば、本稿でSLCPsとして取り上げた対流圏オゾンは、メタンを含む炭化水素化合物などの前駆物質から大気中で生成される二次汚染物質ですが、これを削減しようとした場合、図1にあるようなメタンの排出抑制策のみでは、東アジアのような非メタン炭化水素によるオゾン生成が活発な領域では思うような便益が得られないかもしれません。このような領域ではSLCPsにそうした物質も含めるなどの修正が必要に

なってくると思われます。

多面的な便益を持つSLCPsによる地球温暖化緩和策は、気候変動枠組条約に基づく二酸化炭素(CO₂)の削減が、世界各国の利害対立からなかなか進まない状況下において、とても魅力的なオプションであることは間違いありません。ただし、個々のプロセスの科学的な理解度は、現時点で決して高いわけではなく、便益の評価に用いる数値モデルの違いによる結果のばらつきは、図1に示されているようにまだまだ非常に大きいものです。SLCPsによる地球温暖化の緩和策を大きな流れとしてゆくには、今後もプロセスの理解を深めながらモデルの改良を進め、得られる

便益の評価をよりよいものにしていく必要があるでしょう。

(ながしま たつや、地域環境研究センター
大気環境モデリング研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

2年前にもこのコーナーに原稿を書かせていただきました。今回、2年前には聞いたことも無かった用語の解説を書くことになり、世の流れの速さを改めて感じています。つい最近、年齢の二桁目の数字が増えまして、体力の衰えを多少は感じつつも、こうした研究の本質を見失わず、世の流れに惑わされないようにしたいと思っています。



【シリーズ先導研究プログラムの紹介：「持続可能社会転換方策研究プログラム」から】

持続可能社会を目指した叙述シナリオの作成： 技術・産業・経済の側面

村山麻衣

私たちの2050年の社会は、どのようになるでしょうか。将来を確実に予測することは不可能ですが、将来シナリオとして、起こりうる将来のあり様をさまざまに想定することができます。将来シナリオを想定することは、社会の目指す方向を指し示し、議論を喚起させることによって、実現のための戦略を考案していくことに役立ちます。シナリオには、構成としてのストーリーを物語る質的な側面と、そのストーリーを数字で支える量的な側面とがあります。『持続可能社会転換方策研究プログラム』のプロジェクト「将来シナリオと持続可能社会」では、人々が実現したい持続可能な社会の姿を明確にし、そこにいたる道筋、および課題となる環境問題の特定や解決をストーリーとして示すとともに、社会・経済モデルによる定量化を通じて不確実性や整合性を確認し、実現可能な具体的な将来像を提示することを目指しています。数字は、社会をモデル化した計算式で算出されますが、どのような目的で何を計るかは、社会の骨組みにあたるストーリー次第です。ストーリーを作成し、それを言葉で示した将来像のことを叙述シナリオと呼びます。今回は、2050年の日本の将来像を作成するための枠組みと、技術・産業・経済の側面に関するグループ・インタビューの結果から描く叙述シナリオについてご紹介します。

社会の発展の目標に立ち返る

将来の様子を描く手法として、シナリオ・プランニングという方法があります。この方法は、企業の戦略立案のために開発されたものですが、それを、より良い社会を目指す公共政策的な性質を持つ国という単位における社会の将来シナリオを描くために応用します。日本は戦後、市場経済により革新的な技術が一般的な生活場面に普及し、消費が大規模に増加した高度成長期を迎え、順調に成長するGDPと「便利な暮らし」や「豊かさ」とが重なる時代を経験してきました。人口も増加していった時代です。

しかし、1990年代からは、GDP年変化率+1%の低成長になっています。そして、今後の日本は人口減少の社会になります。これまで多くの場合、発展の目標としてGDP成長が採用されてきましたが、さまざまな状況が変化し、より良い社会のための発展の目標が何か改めて問うことが重要になります。本研究の特徴は、そもそも社会は何を目指すことがより良い暮らしに繋がるかという発展の目標に立ち返り、GDP成長に代わる発展目標を検討している点です。

極端シナリオではなく、実現可能なシナリオ

まず、シナリオのストーリーラインを作るために、社会の動向に影響を与える力となるドライビング・フォースを抽出します。今回は、2050年の日本が何で食べていけるかについて検討するため、国立環境研究所の2006年ビジョン特研ワークショップにおいて挙げられた項目のうち、技術革新・普及、経済活動、および産業動向について重点的に取り上げました。抽出したドライビング・フォースのトレンドを捉える手法では、産業転換を考えにくい仕組みになってしまいます。また、環境と経済を両立する潮流を取り入れないシナリオは現実的ではありません。そこで、本研究では、環境や持続可能性を鑑みた価値観や技術、国際情勢等の潮流を含む社会経済活動のドライビング・フォースを検討することに改良しました。極端なシナリオではなく、発展の目標の持ち方の違いによって将来像が変わることを示すため、実現可能なシナリオでシナリオのタイプを描き分けることにしました。

四つの発展目標をバランスよく

次に、描き分けるシナリオのタイプを設定します。四つの目標群を決め、それぞれをどれほど重視するかに応じて、二つの基準シナリオを定めました。一つは、経済（GDP）成長を重視したシナリオ、もう

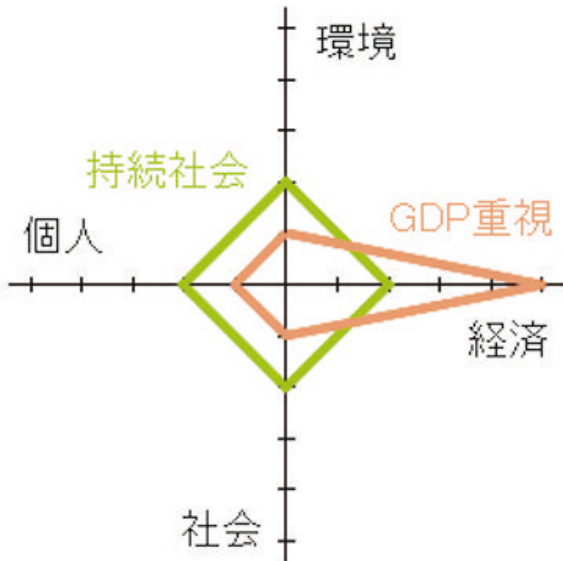


図1 四つの目標群に対する二つの基準シナリオの設定：
経済重視シナリオと持続可能社会シナリオ

一方は、経済だけではなく、社会、個人、環境もバランスよくみたシナリオです（図1参照）。四つの目標群のラベルは、文献レビューにより、さまざまに考えられる発展の目標に関する指標や項目を分類する枠組みとして抽出しました。これらは、ハーマン・ディリー（1989）による四段階のピラミッドの枠組みと、それを東西南北の四方向になぞらえて応用したドネーラ・メドウズ（1998）のものからできた“コンパス指針”、すなわち、自然（N:North for Nature）、経済（E:East for Economy）、社会（S:South for Society）、および人々の満足な状態（W:West for the Well-being of people）という四つの指針を基にし

たものです。これらを基に、自然に関しては、環境の側面を、人々の満足な状態に関しては、個人の側面を捉えることにしました。

グループ・インタビューの設定

産業の側面から日本の将来の営みに関して要点を把握するため、産業界に造詣が深く、現場のしがらみを離れた立場にいる横断型基幹科学技術研究団体連合のメンバーの研究者・産業界OBの方々6名に、2011年10月28日、国立環境研究所から4人がグループ・インタビューをしました。議論が特定の方向に引っ張られるバイアスを認識するため、2グループに分け、GDP成長を目指す場合に、わが国は何を基幹産業として（食べて）いくか、持続可能な発展を目指す場合には、その社会のイメージと技術、産業、経済は何か、両ケースの共通事項および異なる事項は何かについて議論しました。

出力された叙述シナリオの要点

グループ・インタビューから出てきた要点から、現状の社会情勢は大きく見ると、経済重視から持続可能社会の方向に転換する可能性があるといえます。つまり、ハードなモノづくりをしてきた時代から、知恵を加えたソフトなインフラシステムやシステムとしての技術、付加価値のあるサービス、デザイン、半歩先の需要を捉えることを目指す兆しがあるといえます（図2の青矢印）。ただし、発展の目

		経済(GDP)重視シナリオ	持続可能社会シナリオ
社会・経済活動	技術革新・普及	海外展開による海外モデルの還流 素材技術 浸透膜 建材 炭素繊維	匠の世界 技術の継承
	産業動向	地域や都市で包括的に考えた事業・技術(水道、鉄道、電力) 都市づくりの技術による産業 ニッチ産業を多数もつ モノ(ハード)づくり +知恵	長期ビジョンでローカルと共に社会インフラ構築 風土を生かしながらの産業化
	経済活動	市場原理 現地化 コスト競争 ボリュームゾーン獲得 ベンチャー的価値観	地域の農業 地域の医療 生活ニーズの充足 地域ニーズの充足 ワークライフバランスの柔軟性 足るを知る価値観
		システム技術 サービス(価値) インフラシステム(ソフト)	デザイン 半歩先

図2 二つの基準シナリオの要点

標をどちらに選ぶかにより、経済重視から持続可能社会の方向への推移の時期を異なるものとする事で二つのタイプのシナリオに分岐されるということが出来ます(図2の赤矢印および緑矢印)。

経済重視シナリオ(図2の左側のシナリオ)では、GDP成長を促す大量生産の需要が見込めるボリュームゾーンを獲得して儲けるために海外へ展開することに力が入られ、海外展開による海外モデルの日本への還流によって日本の技術力を維持します。一方、モノは市場原理によるコスト競争が激しいので、如何にニッチ産業を多数持つかが重視され、世界の需要を日本が独占できるような市場規模の製品を日本が担当しています。ベンチャー的価値観によって、技術革新による素材技術の市場を開拓する等の急成長分野を見出しています。

持続社会シナリオ(図2の右側のシナリオ)では、知恵や文化の伝承を生かした匠の世界の技術を継承することに重きを置くことで、社会インフラや産業も地域の風土を生かしたものが優先され、地域社会に密着した農業や医療サービス、多様性への対応が重視された生活・地域ニーズが充足しています。足るを知る価値観によって、住環境やワークライフバランスを顧み、適切な質と量に見合った暮らしをしています。

まとめと今後の課題

本研究は、GDPに代わる発展目標による、生きがいのある健康な暮らしや伝統的な知恵や文化を生かす魅力的な社会経済シナリオを検討しました。従来の両極端シナリオによる環境政策や持続可能社会の優位さを示すものではなく、目指す社会像とそのための活力に関する叙述シナリオの作成から、実現可能な好ましい社会像として持続可能な社会のシナリオを提示できました。今後の研究では、国際情勢やライフスタイルの面から叙述シナリオを改訂するとともに、具体的なモデル化の方法を検討することが課題となります。

(むらやま まい、社会環境システム研究センター
環境都市システム研究室)

執筆者プロフィール:

環境問題は環境問題だけで対処できるのではなく、長期的に俯瞰的にどんな暮らしのできる社会を目指すかを考えてこそ、包括的に取り上げることができるものだと思います。



【行事報告】

「地球環境モニタリングステーション波照間 20周年記念イベント」開催報告

地球環境研究センター 町田敏暢、笹川基樹

今年地球環境モニタリングステーション波照間（波照間ステーション）の竣工から20年という節目の年となることから、地元の沖縄県八重山地方の方々に国立環境研究所（国環研）の活動を理解していただくとともに環境問題への関心を高めていただくことを目的として石垣島と波照間島において記念イベントを開催しました。

2012年11月10日には石垣島において、「地球環境モニタリングステーション波照間20周年シンポジウム—八重山から地球環境の変動をとらえる—」と題したシンポジウムを実施しました。シンポジウムでは5件の口頭発表を行いました。前半の3件は国環研の向井人史、遠嶋康徳、横内陽子の各氏から波照間ステーションで捉えた地球規模での大気変動と波照間ならではの大気の特徴についての紹介があり（写真1）、後半の2件では石垣島地方気象台の中川慎治台長から八重山地方の気候変動、国環研の山野博哉氏から八重山地方のサンゴの状況と近年における変化といった地元の方々に身近な環境問題についての発表がありました。また、ポスター発表は国環研の他に環境省国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター、石垣島地方気象台、沖縄県、竹富町、西表島エコリズム協会の各機関から八重山のサンゴ保護の実情や漂流ゴミの対策、自治体の環境への取り組みなど地元における環境活動についての発表がありました。シンポジウムには関係者も合わせて約60名の参加があり、翌日の地元紙の1面で報道されるなど、これまで波照間島以外ではほとんど知られていなかった国環研の研究活動について石垣島を中心とする八重山地方の方々に知っていただく良い機会となりました。

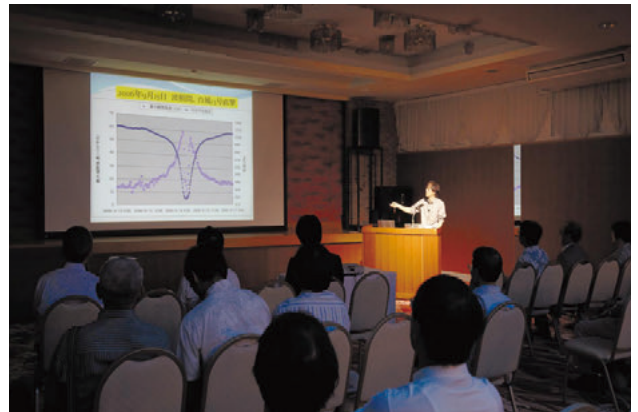


写真1 シンポジウムの様子

波照間島では一般公開に先立って11月11日に島の住民の方々と意見交換会を実施しました。意見交換会では20年間の波照間ステーションの歴史を紹介するとともに、これまでお世話になった島民の皆さん、沖縄電力波照間事業所ならびに現地管理人の3名の方に感謝状を贈呈しました。

波照間ステーションの一般公開は11月12日に実施しました。波照間島は周囲15 kmほどの小さな島ですが、島民の皆さんにとって島の先端にあるステーションは気軽に行ける場所ではありません。今回の公開では島の中心にある公民館（はてるまふれあいセンター）にサテライト会場を設けてポスターの展示等を行うとともに、



写真2 ステーション一般公開の様子

公民館とステーションの間で無料シャトルバスを運行しました。波照間ステーションでは観測装置ならびに観測成果の紹介（写真2）や観測タワーの見学を行いました。シャトルバスの効果もあって約100名の方に来ていただき、「いい経験だった」「こんなところがあるなんて初めて知った」などの意見が聞かれました。翌日にはNHKのニュースで取り上げられるなどの報道効果もあり、これまで波照間島の皆さんにとって「存在は知っているけど中で何をやっているのかは知らなかった」波照間ステーションを身近に感じていただけたのではないかと思います。

【行事報告】

「第9回日韓中三カ国環境研究機関長会合（TPM9）」の開催

企画部国際室 清水英幸、近藤美則

第9回日韓中三カ国環境研究機関長会合（TPM9）が、平成24年11月12～15日に、韓国平昌（Pyeongchang）で開催されました。TPMは、国立環境研究所（NIES、日本）、国立環境科学院（NIER、韓国）、中国環境科学研究院（CRAES、中国）が、東アジアの環境問題を中心に研究協力するための枠組みです。今回はNIERが主催、CRAESとNIESが共催という形で開催されました。

12日のTPM9本会議では、NIERの朴錫淳（PARK Seok Soon）院長が開催挨拶を、CRAESの孟偉（MENG Wei）院長および大垣理事長がキーノートスピーチを行いました。何方も、今後TPMの枠組みによる3研究機関の協力はさらに重要となることを強調しました。大垣理事長は東日本大震災から学んだ研究の不連続な変化への対応と継続性の両者の重要性についても言及しました。各研究機関のTPM8以降の活動概況に関しては、NIESから徳田企画部長が各センターの研究活動状況などを紹介しました。また、各機関のトピックでは、NIESから原澤社会環境システム研究センター長がアジア太平洋統合モデル（AIM）を用いた研究活動を紹介しました。

午後から、TPMに関連する研究活動のレビューと今後の研究協力に関し、8つの重点研究分野について各機関が報告しました。NIESは、本セッションの冒頭に討議のポイントを示すとともに、各分野の成果と今後の要望について発表しました。討議の結果、分野毎に研究協力を一層推進するための主担当機関を決めました。NIESは「アジアの大気汚染」、「都市環境とエコシティ」および「気候変動」分野の主担当となりました。翌13日には共同コミュニケが纏められ、大垣理事長と朴院長、孟院長が署名しました。

TPMの一環として開催された国際ワークショップの今回のテーマは「都市環境とエコシティ」および「気候変動の影響と適応」で、13日の午前と午後に、一般にも公開して開催されました。これらの分野ではNIESの研究は進んでおり、前者では珠坪室長と藤田室長が、後者では藤野主任研究員と高橋主任研究員が研究成果を発表しました。会場には韓国江陵市の環境関係者らも参加し、様々な角度から熱心な討論が行われました。

14日と15日には、江陵市のエコシティプロジェクトである慶浦湖の再生や、ソウル市に飲料用水を供給する八堂湖を管理するNIERの漢江環境研究センター、NIERのカーボンゼロ棟や自動車試験棟、さらにはソウルの首都圏埋立地管理会社（廃棄物処理施設）などを訪問しました。韓国の環境研究など最先端の活動が担当研究者らによって説明され、参加者との間で具体的な内容についてディスカッションがなされました。

東アジアは21世紀の複雑な環境問題・環境研究のフロンティアであり、TPMは他のアジア諸国も含めたより広い国際的活動にも目を向ける時期かもしれないと、議論に参加しながら考えました（本会合の詳細は後日国立環境研究所ホームページに掲載されます）。なお、次回の会合（TPM10）は、2013年秋に中国・南京においてCRAESの主催で開催される予定です。



共同コミュニケ署名式



国際ワークショップ参加者一同

表彰

受賞者氏名：山本隆広、花崎直太、高橋潔、肱岡靖明、申龍熙

受賞年月日：2012年9月14日

賞の名称：地球環境論文賞（土木学会地球環境委員会）

受賞対象：地球温暖化による世界の水資源影響評価とその適応策に関する一考察（*Journals of the Japan Society of Civil Engineers G (Environment)*, 67(5), 1-8, 2011）

受賞者からひとこと：このたび、土木学会論文集G（環境）に投稿した「地球温暖化による世界の水資源影響評価とその適応策に関する一考察」という論文に対し、土木学会地球環境委員会より地球環境論文賞を頂きました。この研究は2010年度に国立環境研究所の特別研究員だった山本隆広（現長岡工業高等専門学校助教）が中心になって行いました。雨季には水が得られるものの、乾季には水が不足する地域が世界には多くあり、水資源に関する深刻な問題の原因になっています。この問題が、地球温暖化によってどのような影響を受けるか、また、それに対してどのような適応策を取り得るのかについて報告しました。まず、全球水資源モデルH08を利用し、将来の世界の河川流量と水利用を日単位でコンピュータシミュレーションし、水がいつ、どこで、どれくらい不足するのか推計しました。ここで、季節的な水不足を解消するための基本的な方法として、雨季の水を乾季まで貯めることが挙げられます。いくつかの想定の下で、地球温暖化によって悪化した水不足を現在気候と同程度に軽減するために必要な追加的な貯水能力を試算したところ、世界全体で29～41 km³程度が必要だと示されました。温暖化の適応策は多数あり、今後さまざまなオプションについて検討を続けていきたいと思っております。

受賞者氏名：大垣眞一郎

受賞年月日：2012年9月16日

賞の名称：IWA Outstanding Service Award 2012

受賞対象：活動業績

受賞者からひとこと：IWA Outstanding Service Awardは、International Water Association（IWA, 国際水学会）の活動への貢献に対して与えられるものです。IWAは水に関するすべての分野の専門家の学会で、130ヶ国以上にわたる研究者や産業人の個人会員約5000名ならびに法人会員約500社から構成されています。私のIWA副会長としての活動、アジア太平洋IWA会議の主催、水中病原微生物専門家研究グループへの貢献などを評価していただいたものと理解しております。

受賞者氏名：稲葉陸太、高田光康、多島良、滝上英孝、寺園淳、山本貴士、佐野和美、大迫政浩

受賞年月日：2012年10月23日

賞の名称：第23回廃棄物資源循環学会 優秀ポスター賞（廃棄物資源循環学会）

受賞対象：つくば市で発生した竜巻による災害廃棄物とその処理（第23回廃棄物資源循環学会研究発表会, 第23回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 197-198, 2012）

受賞者からひとこと：私たちは、2012年10月22日から24日まで仙台国際センター（宮城県・仙台市）で開催された第23回廃棄物資源循環学会研究発表会にて「つくば市で発生した竜巻による災害廃棄物とその処理」と題したポスター発表を行い、優秀ポスター賞を受賞しました。2012年5月6日に強い竜巻がつくば市北部で発生し、日本の竜巻としては大規模の被害をもたらしました。私たちは、発生直後から被災現場や災害廃棄物の仮置場を調査し、つくば市の廃棄物関連部署のご担当に対しては東日本大震災の経験をふまえた情報を提供しつつ、双方向的な議論も継続的に行ってきました。これらの調査と議論から得られた情報を整理し、被災地・仮置場・竜巻経路の位置関係、災害廃棄物の量と内訳、現状の災害廃棄物の処理方法について、できるだけ明快に伝わるようポスターを作成しました。そういった地道な調査や工夫が評価されたとすれば大変嬉しく思います。今回の受賞を励みに、現場を重視した資源循環・廃棄物管理の研究と、明快な成果発信の工夫を続けていきたいと思っております。

新刊紹介

NIES Annual report 2012 AE-18-2012

本英文年報は海外の研究者や行政担当者などを対象に、独立行政法人国立環境研究所の調査・研究の現状を紹介することを目的として年1回発行されています。本号は、2011年度から5年間の第3期中期計画の初年度にあたる2011年度の活動情報が取りまとめられています。第3期中期計画では、8つの研究分野ごとに設置された研究センターのもとで、10の重点・先導研究プログラム、および環境研究の基盤整備事業が実施されており、その活動概要等を分かりやすく記述しています。また、2011年3月におきた東日本大震災からの復旧・復興に向けて、各分野で行っている放射性物質・災害に関する研究活動等についても記載しています。

(編集委員会委員長 竹中明夫)



編集後記

これからの季節、太平洋側では澄んだ青空の広がる日が多くなります。晴れ渡った空は気持ちのよいものですが、大陸からの季節風の強まりとともに汚染物質の輸送の影響も大きくなる季節です。大気汚染の問題が、公害から越境大気汚染、更には今号の特集で取り上げられたように地球規模、また気候影響にまで発展してきています。その背景には、人間活動の高まりもありますが、かつては見えなかった現象を捉える観測技術や知

見の向上があります。目に見えないものを意識することはなかなか難しいものですが、その影響が目に見えてきてからでは取り返しのつかない状況になっているとも限りません。そうならぬよう、見えないものを可視化し示していくことは、研究者の責務の1つなのだと感じます。そして、このニュースが少しでもその役を果たしていればと願っています。

(A.H.)

国立環境研究所ニュース Vol.31 No.5 (平成24年12月発行)

編集 国立環境研究所 ニュース編集小委員会

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2

TEL : 029-850-2343 (環境情報部情報企画室)

E-mail : pub@nies.go.jp

無断転載を禁じます

リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可

本冊子は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料【アラック】のみを用いて作製しています。