



長野県と国立環境研究所は「生物多様性の推進に関する基本協定」を取り交わしました

2016年5月号 [Vol.27 No.2] 通巻第305号

第6次酸性雨全国調査に向けて

全環研酸性雨広域大気汚染調査研究部会 北海道東北支部委員
岩手県環境保健研究センター 多田敬子

地方自治体の環境研究機関（地方独立行政法人及び財団を含む。以下「地環研」という）で組織する全国環境研協議会（以下「全環研」という）では、日本を網羅する酸性雨全国調査を平成3年度から共同で実施しています。調査主体となっている酸性雨広域大気汚染調査研究部会（以下、「全環研酸性雨 ...

地上から、衛星から、陸域生態系を観測するーリモートセンシングと生態・環境モニタリングに関するアジアフラックスミニワークショップ参加報告ー

元地球環境研究センター 陸域モニタリング推進室 高度技能専門員 田中佐和子
地球環境研究センター 副センター長 三枝信子

2016年3月2日から4日にかけて、AsiaFlux mini-workshop on Remote Sensing and Ecological/Environmental Monitoring（リモートセンシングと生態・環境モニタリングに関するアジアフラックスミニワークショップ）が国立台湾大学（台北市）で開催された。AsiaFluxは、アジア地域の ...

インタビュー「地球温暖化の事典」に書けなかったこと [12] 世界のCO₂の排出量をマイナスにするネガティブエミッション技術ー2°C目標の達成を目指してー

地球環境研究センターニュース編集局

「地球温暖化の事典」（地球環境研究センター編著）の執筆者に、新たな知見や今後の展望などをインタビュー。第12回は、山形与志樹さんに、2°C目標達成に向けたネガティブエミッションについてお聞きしました。

高山帯モニタリングに関する相互協力について 長野県と国立環境研究所が基本協定を締結

地球環境研究センター 交流推進係

平成28年2月19日（金）、長野県の阿部守一知事と向井人史国立環境研究所地球環境研究センター長（住明正理事長代理）は、高山帯モニタリングに関する相互協力についての基本協定書にサインし、これを締結しました。協定の正式名称は「生物多様性の推進に関する基本協定」であり、副題として「地球 ...

酒井広平講師による「検定試験問題を解いてみよう」シリーズ [27] 地球温暖化の影響 –3R・低炭素社会検定より–

地球環境研究センターニュース編集部

3R・低炭素社会検定は、持続可能な社会の実現のため、3Rや低炭素社会に関する知識を活かして、実践行動を行う人を育てることを目的としています。【3R・低炭素社会検定 低炭素社会分野試験問題解説集「はしがき」より】 検定試験問題から出題します。

第6次酸性雨全国調査に向けて

全環研酸性雨広域大気汚染調査研究部会 北海道東北支部委員
岩手県環境保健研究センター 多田敬子

1. はじめに

地方自治体の環境研究機関（地方独立行政法人及び財団を含む。以下「地環研」という）で組織する全国環境研協議会（以下「全環研」という）では、日本を網羅する酸性雨全国調査を平成3年度から共同で実施しています。

調査主体となっている酸性雨広域大気汚染調査研究部会（以下、「全環研酸性雨部会」という）は、部会長、理事委員、全環研の5支部から選任された支部委員、地環研に所属する研究職員の有志である委員及び酸性雨調査に関する有識者、そして事務局により構成されています。

ここでは全環研酸性雨部会の活動内容及び平成28年度から始まる第6次酸性雨全国調査について紹介します。



写真1 酸性雨広域大気汚染調査研究部会平成27年度メンバー

2. 酸性雨広域大気汚染全国調査

全環研酸性雨部会の主な活動は、酸性雨全国調査の方針検討、全国調査結果の収集及び解析です。

酸性雨全国調査は、第1次調査から第5次調査まで3～6年毎に、新たな調査目的、調査項目を取り入れながら継続して実施してきており、本調査結果は国立環境研究所・地球環境研究センターの地球環境データベース（<http://db.ge.r.nies.go.jp/dataset/acidrain/ja/research.html>）等にて公開されています。

これまで、流跡線解析による広域的な汚染物質の移動の評価や各地域における乾性沈着量の評価、また、降水時開放型捕集装置の採用、ガス・粒子濃度測定手法の開発等、日本の酸性雨研究の発展に寄与してきました。特にガス・粒子濃度測定用のフィルターパック法については、本調査で開発した手法が環境省調査及び東アジア酸性雨モニタリングネットワークの標準法として採用されています。

平成21年度に始まった現在の第5次調査では、窒素成分のより高精度な沈着量の把握やバックグラウンドオゾン濃度の把握等を主眼に取り組んできており、平成26年度の調査参加機関は52機関、その調査地点数は湿性沈着調査で67地点、乾性沈着調査で46地点となっています。

このモニタリングネットワークによって、長年蓄積してきたデータからは、様々な解析結果が得られており、毎年、全環研会誌や大気環境学会などの場を通じて、広く情報を発信してきています。

3. 新しいフェーズへ～第6次調査開始

平成28年2月8日～9日、国立環境研究所において、全環研酸性雨部会の平成27年度第2回会議が開催されました。支部委員、委員、有識者及び部会事務局等27名が参加し、平成26年度酸性雨全国調査結果の取りまとめ状況や平成28年度の部会活動計画等について議事が進められました。

酸性雨全国調査は、これまでの調査で得られた知見をさらに継続的発展につなげるため、平成28年度から新しいフェーズとして、第6次調査に進みます。

本会議においては、まさに4月から始まる調査の実施要領を定めようと趣旨から手法、細部に至るまで、熱い議論が2日間にわたって繰り広げられました。



写真2,3 酸性雨部会第2回会議にて、新実施要領の制定にむけて議論する委員等

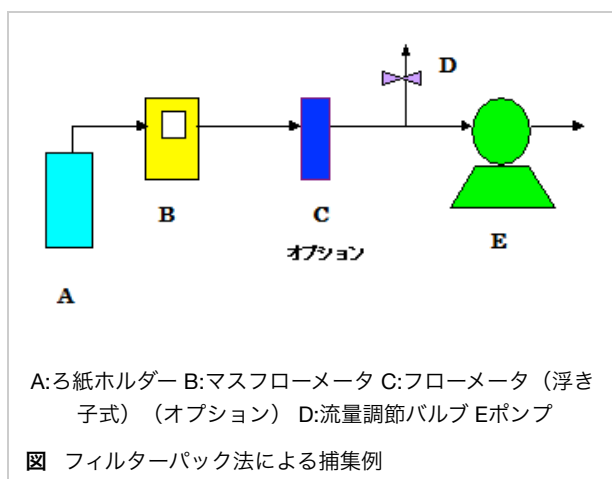
第6次調査では、フィルターパック法による乾性沈着調査において、(1) 従来の4段ろ紙法に加えて、新たに(2) 前段にインパクトを追加した5段ろ紙法、さらには(3) インパクトの追加に加えて、亜硝酸ガス捕集用のフィルタを追加した6段ろ紙法を開始します。

この目的、利点は、粒径別の乾性沈着量データを得ることが出来ること、酸性雨の乾性沈着モニタリングと同時に微小粒子状物質（PM_{2.5}）の通年試料の採取および分析（水溶性成分のみ）が可能となること、並びに窒素化合物の沈着量をよりの確に把握できる可能性があることです。

委員が所属する地環研の中には、既にインパクト採用による5段ろ紙法、6段ろ紙法の実証試験が行われており、今後、データを蓄積、検証していくことで、より詳細で、かつ広域的な酸性沈着の状況把握や原因究明につなげることができると期待されます。

表 ろ紙の構成（6段ろ紙法の場合）

ろ紙	フィルターの種類	捕集成分等
1段目 (I ₀) 第6次調査新規	石英繊維ドーナツろ紙	粗大粒子のエアロゾル成分
2段目 (F ₀)	テフロンろ紙	微小粒子のエアロゾル成分
3段目 (F ₁)	ポリアミドろ紙	HNO ₃ 並びにHONO、HCl、SO ₂ およびNH ₃ ガスの一部
4段目 (F ₂)	炭酸カリウム含浸ろ紙	F1で採取されなかったHONO、HCl、SO ₂ ガスとNO ₂ の一部
5段目 (F ₂ ') 第6次調査新規	炭酸カリウム含浸ろ紙	F2で採取された妨害分の一部のNO ₂ ガス量を評価
6段目 (F ₃)	リン酸含浸ろ紙	F1で採取されなかったNH ₃ ガス



4. おわりに

平成27年度、全環研酸性雨部会北海道東北支部の支部委員となって、内容を十分に理解できず、委員、有識者の熱意溢れた議論に圧倒され続けた1年でしたが、第6次調査に移行という大きな節目に携われたことは技術面でとても勉強になり、貴重な経験にもなりました。

また、調査を実施する一担当者としても、第6次調査という新たな目標が定まり、高いモチベーションをもって業務に臨むことができます。

私の住む岩手県は、東西約122km、南北189kmと北海道に次ぐ面積を誇り、内陸部では北上高地と奥羽山脈が美しい山並みを見せ、沿岸部にはリアス式海岸で知られる陸中海岸が広がっています。その豊かな自然は季節ごとにまったく異なる表情を見せてくれます。

岩手県では、酸性雨全国調査として、盛岡と八幡平の2地点で乾性沈着調査（パッシブ法）を実施しています。そのうち、八幡平は標高830mに位置し、今の時期のサンプリングはスノーモービルに乗って移動しながら実施しています。大自然の中、澄んだ空気にふれていると「広域大気汚染」という言葉は忘れてしまいそうですが、汚染物質の実態を把握し、将来、生態系への影響を未然に防止するという観点からも、この地で信頼性の高いデータを積み上げて

いかなければと強く感じています。

今後も部会で得られた知識、交流をより深め、広い視野で大気環境汚染問題に取り組んでいきたいと考えます。

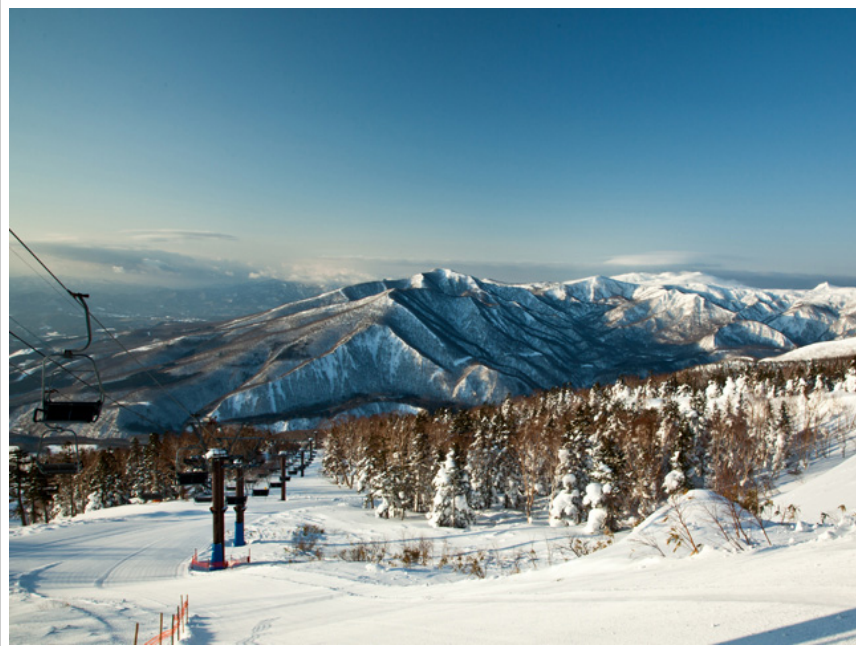


写真4 八幡平サンプリング地点より山並み（高倉山）を望む

全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会に関する過去の記事は以下からご覧いただけます。

- 山神真紀子「全環研・酸性雨広域大気汚染調査研究部会平成21年度第2回会議報告」2010年4月号
- 村野健太郎「酸性雨問題の現状と全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会の活動」2011年4月号
- 野口泉「全国環境研協議会・酸性雨広域大気汚染調査研究部会」2012年6月号
- 岩崎綾「南の島、絶景ポイントで酸性雨調査 ～全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会に参加して～」2013年4月号
- 遠藤朋美「雪にも負けず、酸性雨調査 —全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会に参加して—」2014年5月号
- 松倉祐介「これからの酸性雨調査の話をしよう —全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会事務局を務めて—」2015年4月号

地上から、衛星から、陸域生態系を観測する

ーリモートセンシングと生態・環境モニタリングに関するアジアフラックスミニワークショップ
参加報告ー

元地球環境研究センター 陸域モニタリング推進室 高度技能専門員 田中佐和子
地球環境研究センター 副センター長 三枝信子

2016年3月2日から4日にかけて、AsiaFlux mini-workshop on Remote Sensing and Ecological/Environmental Monitoring (リモートセンシングと生態・環境モニタリングに関するアジアフラックスミニワークショップ) が国立台湾大学(台北市)で開催された。AsiaFluxは、アジア地域の陸域生態系における物質収支や熱収支の観測・評価を行う研究者を中心とするコミュニティであり、国立環境研究所地球環境研究センターは、1999年の活動開始当初から、トレーニングコースやワークショップ等の開催支援、ウェブサイトやデータベースの管理などを事務局として行っている。今回のミニワークショップは、9つの国と地域から36名の参加者を得て(講師を含む)開催された。当センターからは6名が出席した。

現在、陸域生態系の観測には、地球観測衛星によるものもあり、可視～近赤外域における太陽放射の反射率から植物による光合成活性の指標を算出する方法、波長のより長い電波を用いて森林面積や森林バイオマスを計測する方法など、さまざまな測定手法が開発されている。一方、2009年に観測を開始した温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT; <http://www.gosat.nies.go.jp/>)により、二酸化炭素とメタンの大気中濃度が、地上観測点のない場所を含め世界で広く観測できるようになった。このため近年では、GOSATデータを含む世界各地の大気中温室効果ガス濃度のデータと大気輸送モデルを用いて、温室効果ガスの亜大陸スケール(数千km四方)での吸収・放出量を算出するための研究が進められている。AsiaFluxにはアジア諸国の陸域生態系で熱・水・温室効果ガスのフラックス観測を行う研究者が数多く参加していることから、アジアにおいて地上観測ネットワークと各種の衛星観測のコミュニティが連携を強め、さまざまな手法で観測されたデータを統合的に利用した研究の発展をめざし、本ワークショップが開催されることになった。



写真1 1日目のセッションで参加者の質問に答える三枝

ワークショップ初日、最初にAsiaFlux委員長の宮田明氏(農業環境技術研究所、日本)とワークショップ実行委員長のCheng氏(国立台湾大学、台湾)から開会挨拶と趣旨説明があり、AsiaFluxにおけるこれまでの台湾の貢献や、地上観測と衛星リモートセンシング分野における今後の連携、データ利活用の重要性が強調された。続いて、Wei氏(行政院環境保護署、台湾)をはじめとするスポンサー機関からの挨拶があり、気候変動対策の今後の道筋を検討す

る上で、温室効果ガスの循環を精度よく把握するための研究の重要性が述べられた。

続いて、国立環境研究所からGOSATによる観測の現状と今後の計画が紹介された。高木宏志（国立環境研究所、日本）は、GOSATデータを利用した全球および地域ごとの二酸化炭素収支評価の研究、野田響（国立環境研究所、日本）は、GOSATおよびその後継機となるGOSAT-2の計画について発表した。これを受け、地上観測と衛星観測の空間スケールの違いによって生じるギャップや、それらのギャップを双方のアプローチによりどのように埋める必要があるかについて議論が行われた。

次に、地上観測データを衛星データと組み合わせてスケールアップする手法について報告が行われた。インドからは、Jha氏（ISRO、インド）が、インド全土を対象に、地上観測、衛星観測データ、および陸域モデルを統合し、温室効果ガス収支を良好に推定した結果を紹介した。他にもインドの複数の研究機関から発表があり、農耕地（主に水田）や森林にフラックス観測サイトが次々と整備され、充実した観測データが蓄積されている様子が紹介された。続いて中国からは、Wang氏（中国科学院、中国）などにより、各種の植生指標を利用した炭素収支の広域評価の結果が紹介された。日本からは、井手玲子（国立環境研究所、日本）がタワーに設置した分光放射計により植生指標を高精度で求めるため、タワー自体による反射光の影響を除外できる遮蔽装置を開発し、タワーによる反射が植生指標に与える影響の評価結果を報告した。

ワークショップ2日目は、まず台湾のグループから、森林における熱収支の変化に関する研究、タワー上で自動開閉型のチャンバーを使って葉の光合成と呼吸を連続測定する方法などが紹介された。続いてマレーシアから、衛星データを利用したアブラヤシプランテーションのバイオマス推定手法の開発、香港から森林の回復状況を衛星データから詳細に求める手法、インドネシアの製紙会社からはプランテーション開発と持続可能な森林管理の利用方法について過相関法を用いた観測から研究しようとする計画の紹介があった。また、バングラデッシュからは米の生育適地を地図化する研究、フィリピンからはイネ収穫後の稲ワラの処理方法が年間の温室効果ガス排出量に与える影響について報告があった。

次に、いわゆるトップダウンアプローチ・ボトムアップアプローチ^[注]を比較検証して炭素収支の精度向上をはかる研究が紹介された。市井和仁氏（JAMSTEC、日本）は、多点での地上観測データをモデルによってスケールアップした結果とGOSATデータ等を用いたトップダウンアプローチによる結果を比較し、熱帯地域に差異が見られたことを報告した。現段階ではまだ両者の間にギャップがあるが、今後観測の空白域が狭まりデータが充実することによって信頼性が上がること、独立した複数の手法を比較検証しながら精度を上げていくことが今後の炭素収支広域評価に不可欠な手段であることが強調された。続いて、村上和隆（国立環境研究所、日本）がトップダウンアプローチの結果とモデルを用いてダウンスケールする（炭素収支空間分布の解像度を上げる）手法について研究の進捗を報告した。



ワークショップ最終日には、台北市近郊にあるフラックスサイトを見学した。2010年に観測を開始した湿原の観測サイトで、都市からアクセスが容易で、かつ自然が維持されている場所であった。以前は同じ観測サイト内で、タワ

ーと高さ5メートル付近のポールの間で観測を行っていたが、タワーは台風で倒壊したため、現在は高さ5メートル付近のポールで渦相関法による二酸化炭素フラックスの観測を行っており、近日中にメタン観測も始めるということだった。

3日間のミニワークショップの時間はあっという間に過ぎた。今回のワークショップでは、地上観測データに基づくボトムアップ的なスケールアップ手法、衛星観測による植生指標のより高度な利用法、全球大気輸送モデルと温室効果ガス濃度データに基づくトップダウン的地表フラックス推定手法など、さまざまな手法で算出されたアジア各地の温室効果ガス収支の結果が数多く報告されたことで、空間スケールの違いや考え方のギャップを再認識し、そのギャップをさまざまな角度から埋めていくための議論を交わすことができた。特に、いわゆる地表温室効果ガスフラックスに関するトップダウン・ボトムアップアプローチの比較検証研究については、現段階では観測データ不足をはじめとする問題を抱えているが、おそらく今後数年間で大きく進展し、広域炭素収支評価の信頼性向上に貢献することが予想された。

脚注

- 地球規模炭素循環研究におけるトップダウンアプローチ、ボトムアップアプローチ：<https://www.nies.go.jp/kanko/news/33/33-1/33-1-04.html>

都会のオアシスー国立台湾大学ー

田中佐和子

今回のワークショップの会場となった国立台湾大学は、台北市という大都会の中心部にあるにもかかわらず、キャンパス内には街路樹が並び、植物園、実験水田、庭園などがある美しい異空間であった（写真3, 4）。3月上旬のため亜熱帯の暖かさを期待していたが、今年は台湾で何十年ぶりに雪が降ったという寒い年で（日本の沖縄県でも同様であった）、朝晩は肌寒く、日本の暖冬とは逆の状態であった。一方で桜がほころぶ景色も見られ、日本のご近所である台湾で一步早い春を味わった（写真4）。



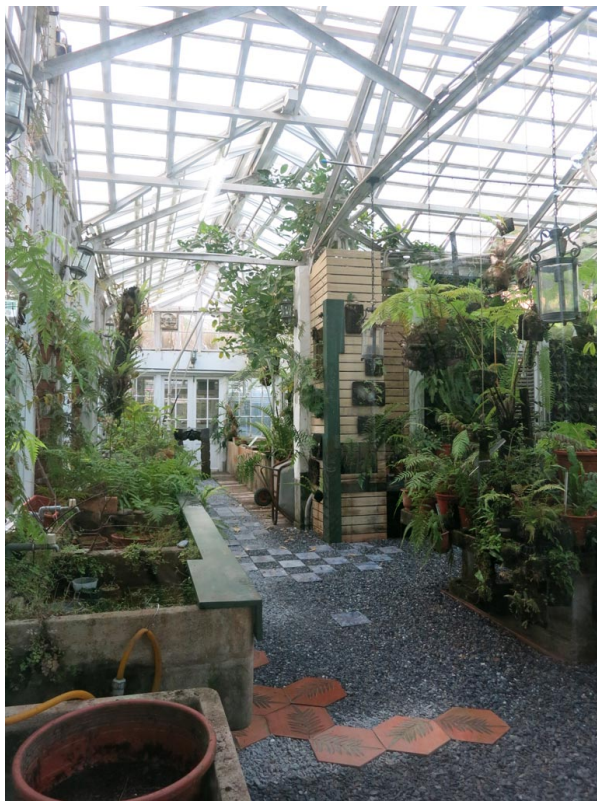


写真3, 4 キャンパス内の水田と植物園



写真5 一歩早い春



インタビュー「地球温暖化の事典」に書けなかったこと

12 世界のCO₂の排出量をマイナスにするネガティブエミッション技術-2°C目標の達成を目指して-

山形与志樹さん

地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室 主席研究員

インタビューア：広兼克憲（地球環境研究センターニュース編集局）

地球環境研究センターニュース編集局

インタビュー

「地球温暖化の事典」に書けなかったこと

[一覧ページへ▶](#)

国立環境研究所地球環境研究センター編著の「地球温暖化の事典」が平成26年3月に丸善出版から発行されました。その執筆者に、発行後新たに加わった知見や今後の展望について、さらに、自らの取り組んでいる、あるいは取り組もうとしている研究が今後どう活かされるのかなどを、地球環境研究センターニュース編集局または低炭素研究プログラム・地球環境研究センターなどの研究者がインタビューします。

第12回は、山形与志樹さんに、2°C目標達成に向けたネガティブエミッションについてお聞きしました。



「地球温暖化の事典」担当した章

8.9 森林減少の防止

次回「地球温暖化の事典」に書きたいこと

2°C目標を実現するためのネガティブエミッションの役割

目次

1. 京都議定書以降、炭素吸収源として注目されるようになった森林
2. 2°C目標達成の重要な鍵となるネガティブエミッション
3. 竹炭は優れたNE技術

4. CCSの方法の違いによる影響
5. 2°C目標は通過点
6. 2°C目標のシナリオの検証が必要
7. 2°C目標を実現するためにNEが果たす役割

京都議定書以降、炭素吸収源として注目されるようになった森林

広兼 山形さんの最近の主たる研究活動はグローバルカーボンプロジェクト（Global Carbon Project: GCP）のなかにありますね。GCPの研究では、二酸化炭素（CO₂）の吸収源、特に森林等のバイオマスに関する研究が重要な位置づけになっているように思います。吸収源に関する研究のなかで、GCPはどんなところに注目していますか。また、どうやって最新の研究知見を収集しているのでしょうか。

山形 GCPは2001年に設立されました。GCP設立の背景についてお話しします。

1997年の気候変動枠組み条約第3回締約国会議（COP3）で京都議定書が採択されました。京都議定書の3条3項と4項にあるように植林や森林経営によるCO₂の吸収をカウントしてもらえると、数値目標を達成するために森林が大きな役割を果たすことになるので、森林吸収源は、科学だけではなく政治でも取り上げられました。しかし、その取り扱いについては、2001年のCOP6再開会合まで議論が続き、同年のCOP7でやっと「マラケシュ合意」ができました。私は気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の「土地利用（LULUCF）特別報告書」のリードオーサーを務めた関係で、政府代表団の一員としてCOP1に参加し、科学的知見をどうやって国際政策に反映するかということに関与する機会がありました。ちょうどそのころ、地球環境変化の人間社会側面に関する国際研究計画（IHDP）や地球圏－生物圏国際協同研究計画（IGBP）が、自然科学と社会科学を連携した活動として、地球システム科学パートナーシップ（Earth System Science Partnership: ESSP）を立ち上げようとしていました。ESSPは政策的にも重要な課題の基本となる自然科学や社会科学的知見の総合的な研究を推進することを目的としていて、GCPは、その流れの中で、炭素循環の解明と管理に関する国際的な研究推進に総合的に取り組むことになりました。いろいろな議論の末、2004年、日本で初めて地球環境に関する国際科学会議（ICSU）の国際オフィスが国立環境研究所内に設置されました。

広兼 そのような国際オフィスがつくばにできたことは画期的ですね。具体的にはどのような活動が始まったのでしょうか。

山形 つくば国際オフィスが立ち上がった当初は、GCPのもう一つの国際オフィスであるキャンベラオフィスの研究者と一緒にモデルを作り、森林が吸収したCO₂のうち、自然の吸収ではない分を分離できるのか、土壌の吸収や排出はどうやってカウントするのかなどを検討しました。自然の吸収と、人為活動による植林や森林管理による吸収を全部カウントしてしまうと、広大な森林のあるロシアやカナダなどは、温暖化対策を何もなくてもいいということになってしまいます。そこで、自然吸収の上限は何%まで認めたらいいのかという制度が国際的な交渉のテーマになりました。科学的研究が政策の合意にどれだけ影響を与えられたのか定かではありませんが、IPCC報告書に論文を載せたり、私も実際に交渉の場で、土地利用変化や森林管理活動についての追加性を考慮して、人為活動による吸収量を算定する研究知見について政策担当者といると議論させていただいた記憶があります。

広兼 その後の活動はどのように展開していったのでしょうか。地球環境研究センター（CGER）の陸域モニタリング推進室との連携はどうでしょうか。

山形 京都議定書の次の枠組みにおけるGCPの研究の焦点はREDD+（森林減少の防止による温室効果ガスの排出削減と森林管理による炭素ストックの増加）に拡大しました。京都議定書に参加した先進国にとっては植林や森林管理が重要ですが、次の枠組みには大規模な森林減少が起きているブラジルやインドネシアなどの途上国が参加することを考え、森林減少の防止を温暖化対策として認めるということが、2007年のCOP13で大きく取り上げられました。土地利用変化や森林伐採でどれだけCO₂が排出されるか、あるいは自然林の

ままでもどれだけCO₂を吸収しているのかが焦点になってきて、GCPの炭素管理研究は、CGERの熱帯林のモニタリングなどの研究と連携を深めて展開してきました。

2°C目標達成の重要な鍵となるネガティブエミッション

広兼 山形さんはバイオマス燃料の利用とそれに伴う炭素回収貯留（Bio-Energy with Carbon Capture and Storage: BECCS）を研究テーマの一つにされていますね。

山形 2015年12月のCOP21で合意したパリ協定の一番重要なメッセージは、2100年の平均気温を産業革命前と比較して2°C未満に抑える目標です。この目標を達成するためには、2070年以降、世界中のCO₂の正味の排出量がゼロになるということが必要です。背景にあるのはIPCC第5次評価報告書（AR5）のRCP2.6シナリオの計算で、実際には多くのシナリオではグローバルな正味のCO₂排出量がマイナスになっています（図1）。このマイナスは、実はネガティブエミッション（Negative Emission: NE、加藤悦史「地球環境豆知識 [27] ネガティブエミッション技術」地球環境研究センターニュース2014年4月号）によるものです。NE技術の一つにBECCSがあります。現在、世界のCO₂排出量は10Gt（ギガトン、1Gt = 10億t）以上ですが、RCP2.6のシナリオは、2100年時点でBECCSにより約3Gt吸収しているという計算になっています。今までは政策的なキャッチフレーズとして「2°C目標」と言っていたわけですが、パリ協定で国際的な合意になった以上、それを遵守して達成するための実施計画を科学的に検討しなければなりません。パリ協定合意への科学的知見の提供を目的として、目標達成の重要な鍵となっているBECCSについて、GCPは3年くらい前から議論してきました。先にお話ししたとおり、CO₂吸収源の確保や拡大はGCPの一貫したテーマでしたが、ある意味、その最新の発展版の研究がNE技術に関する研究です。BECCSにより3GtものCO₂を吸収するためには、世界中の農地の2割くらいをバイオエネルギー作物の栽培に使うことが必要になります。そうなった場合の持続可能性への影響や、食料生産との競合、水不足などの問題を中心に研究しています。

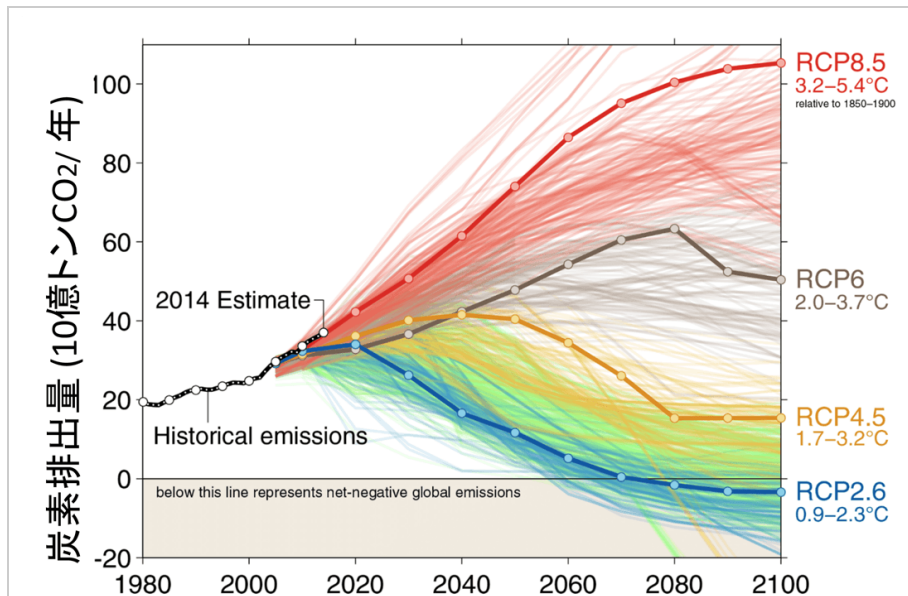


図1 2°C目標達成に必要なCO₂排出量の減少

出典：Fuss et al. (2014), Biophysical and economic limits to negative CO₂ emissions, Nature Climate Change

この図は気温上昇を抑制するIPCCのシナリオに対応する世界各国の研究モデルのばらつきを示している。2°C目標を達成するためには、2070年以降の化石燃料からのCO₂排出を正味で負にする必要があることがわかる。多くのモデルでは、大気中のCO₂を減らすため、世界規模でのNE技術の実施が想定されている。

広兼 個人的には、畑に植える作物のうち2割くらいエネルギー用の作物があってもおかしくないと思っていますが、.....。

山形 これは議論が分かれるところです。IPCC AR5のRCP2.6シナリオによる地球全体の農地面積変化予測（図

2) では、世界の農地合計は2100年まで漸増し、約20億haになります。その間も、人口は増えます。途上国は今、あまり生産性が高くないのですが、順調に経済成長して高い農業技術で生産性を上げていく、海外から輸入もできる、そうすると、人口が増加しても増やせる農地をバイオエネルギー作物向けに回せる、という仮定の下での話です。20億haの2割は5億haですから、かなり広大な面積です。この予測はまだ仮定が多すぎるので、私は5億haをバイオエネルギー作物向けにするのは難しいのではないかと考えています。しかし、個人的なエキスパートジャッジメントとして、その半分ならなんとかなるかなと。足りない分はどうしたらいいかという研究をしているところです。

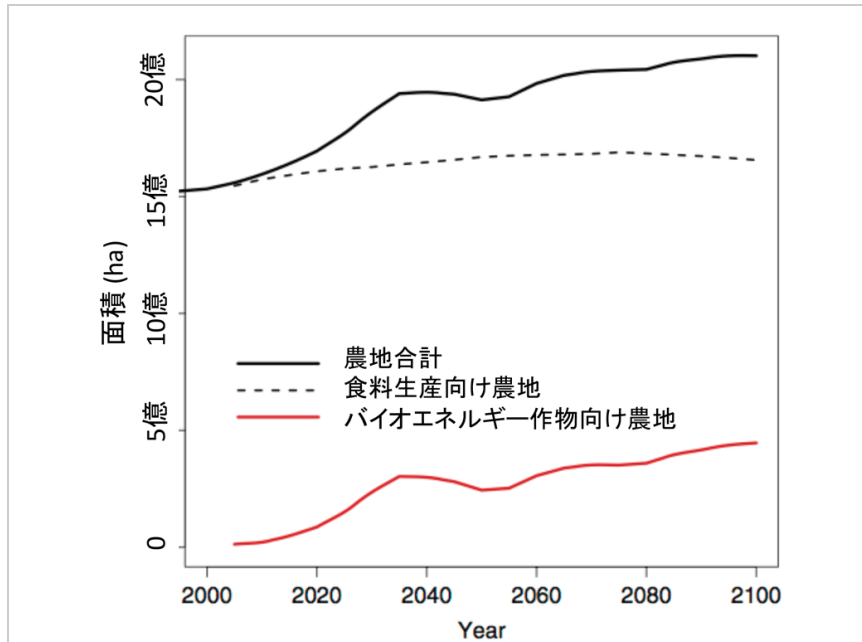


図2 地球全体の農地面積変化 (RCP2.6シナリオ)

出典：Kato & Yamagata (2014) BECCS capability of dedicated bioenergy crops under a future land-use scenario targeting net negative carbon emissions. Earth's Future
 IPCC AR5のRCP2.6シナリオは、現在地球上に存在する約15億ヘクタールの農地を2100年には約20億ヘクタールまで増やし、その増分をバイオエネルギー作物に利用することが想定されている。2°C目標を達成するための社会経済シナリオの多くでは、RCP2.6と同様のネガティブエミッション技術の利用が仮定されているが、大規模なBECCSを実現するためには、まだ多くの課題が残されている。

広兼 こんな大きなテーマを山形さん一人で、どのように取り組んでいるのでしょうか。

山形 GCPの特徴でもありますが、非常に小さい組織で予算も少ないので、国内外でネットワークを構築し、いろいろな研究分野の人と協働で進めています。国内では環境省環境研究総合推進費S-10プロジェクト「地球規模の気候変動リスク管理戦略の構築に関する総合的研究」（高橋潔「環境研究総合推進費の研究紹介 [15] 地球温暖化リスクと、私達はいかに付き合っていくのか？」地球環境研究センターニュース2014年2月号）の一つのサブテーマとして関連研究を実施させていただいています。

竹炭は優れたNE技術

広兼 ところで私は、火を燃やして煮炊きするのが趣味です。薪ストーブにも興味があります。竹はものすごく火力が強いことに驚きました。日本では竹が豊富にありますから、竹をバイオマスとして利用するというのはどうでしょうか。

山形 NE技術にはいくつかあります。BECCSが一番CO₂削減効果は大きく、ほかには、化学工学的手法で大気からCO₂を吸収する直接空気回収 (Direct Air Capture: DAC) があります。CO₂を大量に吸収できるのでDACは注目を集めていますが、地道に吸収・固定する植林は、持続可能性に貢献します。それと、土壌にCO₂を固定する方法もあります。竹炭を作って農地土壌改良材として投入するBECCS手法は、グローバルなCO₂

吸収量として大規模に実施する可能性はあまり大きくないですが、日本が長期的に持続可能な形で実施するのはとてもいいと思います。ほかのNE技術は、水を大量に使ったり食料と競合したり、技術的に進めようとするとかなりのお金やエネルギーが必要になりますが、竹炭を農地に入れると土壌改良剤でじわじわと肥料を出してくれるので、食料生産にいいし、農産物の味もおいしくなるそうです。

広兼 竹は燃やすと灰になります。灰ではだめでしょうか。

山形 灰も炭素であることは間違いありませんから養分になるでしょう。でも炭にした方が炭素として固定される量が多くなります。

広兼 山形さんのお話を聞いていて、自分は結構先進的な取り組みをしているような気がしてきました。

CCSの方法の違いによる影響

広兼 大気中のCO₂を地下に埋めると、地震が起きたらまた大気に出てきてしまうのではないかと心配があります。

山形 埋め方と埋める場所で違いが出てきます。一番安定しているといわれているのは、石油を採掘した後の空洞に埋めることです。実際、石油を採掘するときCO₂を注入して、その圧力で石油の生産効率を上げる手法が北海油田などで行われていて、実証されている技術で問題もないといわれています。

広兼 3Gtを埋めるとしたらどのくらいの場所が必要になるのでしょうか。

山形 2100年に3Gt埋めるというのは、それまで埋め続けるということですから、トータルで150Gtくらいになるといわれています。そういわれてもピンとこないかもしれませんが、風呂桶1杯が1トンくらいですから、1500億の風呂桶分、あるいは大まかに計算すると毎年富士山ぐらいの重さのCO₂を21世紀中に50個地中に埋める量に相当します。

広兼 これはちょっと想像がつきにくいですね。

山形 海に沈めるという案もありました。圧力をかけて冷やすとCO₂はシャーベットみたいになります。それを海に入れると比重が海水より重いので、海底にCO₂湖を作るという案があり、ハワイ沖で実験しようとしたら反対運動が起こり、実験ができませんでした。これが一番安定しない埋め方と埋める場所です。CO₂をむき出しで海底に埋めて湖を作ると当然拡散してきますから、生態系に影響が出ます。この2つが一番安定しているものと危ういものの代表で、さらにその中間にあたるものが相当数あり、全部で1000Gtくらい吸収できるので、実際に150Gtくらいは吸収可能ではないかということなのです。

2°C目標は通過点

広兼 この研究には、実に幅広い専門性が求められていることがよくわかりました。これまでお話しされた以外でGCPの新しい取り組みはありますか。

山形 2100年までの目標が注目を集めていますが、実はもっと重要なのが2100年以降です。2100年までに温度上昇を2°Cに抑えられても、その後排出が続いてしまえば必ず温度は上昇します。ですから、2°C目標は通過点で、来世紀以降、温度上昇は0°C、つまり産業革命以前に戻していくことも考えなければいけません。そうすると、長期的な炭素管理が重要になり、NEの技術開発を真剣に検討する必要があると思っています。



広兼 比較対象となる値として産業革命前の平均気温が使われますが、産業革命前の温度が今の60億人を支えるのにふさわしい温度なのでしょうか。もう少し暖かい方がいいのかもという気がします。

山形 暖かいけれど、海面が10m上昇してもいいかということです。10m海面上昇すると東京では皇居の前までが海になってしまいますから、すべてのインフラを整備し直さなくてはなりません。

広兼 海面が上がると住む場所が狭まってしまいますからよくないと思いますが、温度上昇を0°Cに戻すと寒くなり、植物の生産性は低くなるのではないのでしょうか。

山形 確かに、温暖化の影響には、プラスもマイナスもありますから、トレードオフを考える必要があります。私は縄文時代の遺跡分布に興味があり、貝塚の分布などを調べたりしていますが、縄文時代の日本の中心は八ヶ岳の近辺にあったという説があります。縄文時代はとても温暖で海面が今より10mくらい高かった時期です。そういう風に考えると、超長期（数百年程度）では、人間の側が例えば都市の場所を変えて適応するのか、気候変動の影響を抑えるように最後まで努力をするのかという選択があると思います。

2°C目標のシナリオの検証が必要

広兼 GCPの最近の研究（バイオCCSなどの二酸化炭素除去技術にはまだ多くの制約があることが国際共同研究により判明—国際合意の2°C目標達成には、今すぐ積極的な排出削減が不可欠—）が、先日Nature Climate Changeに掲載されました（報道発表 <http://www.nies.go.jp/whatsnew/2015/20151208/20151208.html>）。この内容のどこが新しいのか、ちょっとわかりにくいです。IPCC AR5に載っていることをそのまま書いているように見えてしまいました。ことが複雑であるがゆえに、素人的にはわかりにくいということがGCPの研究にはあるような気がします。

山形 多くのGCPに参加している海外の研究者の論文は、IPCCで引用されていますし、実際にはIPCCの執筆者にもなっていますので、IPCCに似ているところがあります。IPCCとの大きな違いは、IPCCでは過去に出た論文をレビューして報告書にしますが、IPCCでは不足している知見について、われわれGCPではいろいろと検討を進めて新しい論文も書きます。また自分たちが現在研究している最新の研究情報をGCPの独自の視点で整理して、その論点にそった形でまとめています。IPCC AR5に書かれた2°C目標のシナリオは、持続可能性に影響する具体的な土地利用や炭素循環フィードバックを評価できるモデルを用いずに国際マクロ経済モデルで検討されているため、われわれにはそのアセスメントの仕方に懸念がありました。また、2100年の大気中CO₂換算濃度レベルに対応するIPCC排出シナリオをグラフにすると、世界の研究モデルのばらつきが大きいことがわかりました（図1）。全世界をたった20くらいの地域と国に分けて単純化されたモデルでシナリオを検討しているため、たくさんの仮定を前提にしています。パリ協定が採択され、2°C目標が

国際条約になったわけですから、それを実施することを考えるためには、もう少し詳細な要素と地域的な土地属性の違いを考慮したアセスメントが必要だと考えています。

広兼 もうちょっと踏み込んで検証した方がいいということですね。このインタビューのシリーズで高橋潔さんが、モデルが少なければ確信度が上がるかもしれませんが、研究成果が増えると信頼度が下がることがあると、非常におもしろいことをお話しされていました。

山形 モデルが複雑化してくるとデータも多くなります。モデルは目標設定まではとても重要ですが、その後、実施計画を作るときは、地上での実験などを踏まえて、現場の状況にあったものを作成しなければいけないと思います。

2°C目標を実現するためにNEが果たす役割

広兼 次回、『地球温暖化の事典』を執筆するとしたら、書きたい内容はありますか。

山形 今でしたらパリ協定を受けて、2°C目標を実現するためにはNEがどういう役割を果たすのかということを書いたらいいかなと思います。NEの具体的な技術についても紹介したいと思います。さきほど話題になった竹炭だけでも一つの章が書けるかもしれませんね。

*このインタビューは2016年3月3日に行われました。

高山帯モニタリングに関する相互協力について

長野県と国立環境研究所が基本協定を締結

地球環境研究センター 交流推進係

平成28年2月19日（金）、長野県の阿部守一知事と向井人史国立環境研究所地球環境研究センター長（住明正理事長代理）は、高山帯モニタリングに関する相互協力についての基本協定書にサインし、これを締結しました。協定の正式名称は「生物多様性の推進に関する基本協定」であり、副題として「地球温暖化による脆弱な生態系への影響検知のための高山帯モニタリングに関する相互協力」というタイトルが付いています。両者は、今後、長野県内の高山帯への定点カメラ設置について一層の協力を進めることになりました。



長野県は日本アルプスなど日本屈指の豊かな山岳環境を有しています。国立環境研究所の高山帯モニタリングサイトも県内に10か所以上設置されており、今後、地球温暖化の影響を把握するための重要サイトとして、さらに対象地点を拡大していく方針をもっていました。

これまでも国立環境研究所は長野県環境保全研究所等を通じて、高山帯モニタリングの実施で協力関係にありましたが、平成27年10月に小熊宏之環境計測研究センター主任研究員と井桁正昭地球環境研究センター主幹ら関係者が長野県庁にモニタリングの進捗状況をご報告した際、中島恵理副知事はじめ関係者の皆様から強い御関心を頂き、今後の積極的な協力の打診がありました。その後、トントンと話が進み、わずか数か月の間に、研究所と県のトップが協定に合意して協力を強化することになりました。

これを機に、平成28年度に長野県内に新たに8か所の新しいモニタリングサイトが設置される予定です。高山帯モニタリングを実施するには定点カメラを設置する必要がありますが、モニタリングに適した山岳は国立公園内にあることが多く、カメラの設置には自然公園法等の許認可手続きが必要になります。この手続きでは、現地事情に詳しい長野県との協力が設置を円滑に行いたい研究所にとっても非常にプラスになります。また、つくばでは知り得ないモニタリングに適切なカメラ設置場所などは、観測地に精通している長野県担当者の助言が有効です。新しい場所にカメラを設置するとなると非常に厳しい規制への一からの対応が求められますが、既存の山小屋の中などであれば自然改変が少ないため手続き等も少なく済み、速やかな観測が可能で、このような設置ポイントに関する情報は県の担当者が精通しています。

一方、長野県内の高山帯でカメラ設置とそれによる詳細な観測が実現すれば、地球温暖化の影響把握に加えて、登山者の安全確保、観光資源への市民の関心の向上等、副次的な相乗効果が期待できるため、長野県としても大きなメリットとなります。

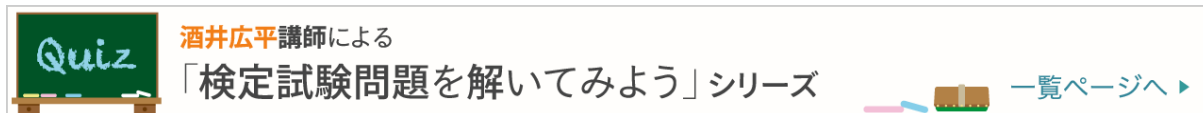
長野県と国立環境研究所の双方にメリットを生む高山帯モニタリングですが、さらに今年から8月11日が「山の日」として国民の祝日になります。つまり、国民の山岳への関心がこれまでより高まるので、多くの山岳を県内に有する長野県は山の安全、観光、そして環境保全にこれまで以上に力を入れています。今年8月には「山の日」制定を記念して、上高地で大きなイベントが予定されていますし、10月には大町市でライチョウサミットと称する会合が開催されます。これらのイベントに対して長野県と国立環境研究所が連携してモニタリングの取り組みを紹介しようという企画も進んでおり、ますます高山帯への関心が高まる一年になりそうです。

酒井広平講師による「検定試験問題を解いてみよう」シリーズ

27 地球温暖化の影響

—3R・低炭素社会検定より—

地球環境研究センターニュース編集局



3R・低炭素社会検定は、持続可能な社会の実現のため、3Rや低炭素社会に関する知識を活かして、実践行動を行う人を育てることを目的としています。【3R・低炭素社会検定 低炭素社会分野試験問題解説集「はしがき」より】
検定試験問題から出題します。

問79

北極海の海氷面積は、毎年9月に最小となる。2012年は海氷の面積が観測史上もっと小さくなった。1980年代の海氷面積と比べた表現で、最も適切なものはどれか？

- ① 約5%減
- ② 約10%減
- ③ 約20%減
- ④ 約50%減

上級レベル

正答率 16%

ヒント

問題の正答率が低いように、かなり驚きのデータが出ています。

答えと解説

答え：④

北極海の海氷面積の年最小値のデータは気象庁のウェブサイトで確認することができます。1980年代の年最小値の多くは700～750万km²でした。その値は1979年以降、減少傾向にあります。とりわけ、2012年は336万km²と80年代の約半分となり、観測史上最も小さくなった年となりました。

*正答率は第6回3R・低炭素社会検定受験者のものです

問80

IPCC第5次報告書では、気候変動による将来的リスクについて、8つの分野について予測をしている。その説明として、最も不適切なものはどれか？

- ① 海面上昇、沿岸での高潮被害などによるリスク
- ② 極端な気象現象によるインフラ等の機能停止のリスク
- ③ 水資源不足と農業生産減少による農村部の生計及び所得損失のリスク

中級レベル

正答率 77%

都市部の気温上昇による都市の人口減少のリスク

④

ヒント

飲料水や灌漑用水の不足による半乾燥地域の農村部における所得損失の可能性についても示されています。

答えと解説

答え：④

IPCC第5次報告書では、気候変動による将来的リスクについて、下記の8つの分野について予測をしています。(1) 海面上昇、沿岸での高潮被害などによるリスク、(2) 大都市への洪水におおる被害、(3) 極端な気象現象によるインフラ等の機能停止、(4) 熱波による死亡・疾病、(5) 気温上昇、干ばつ等による食料への影響、(6) 水資源不足と農業生産減少による影響、(7) 海洋生態系の損失、(8) 陸波及び内水生態系がもたらすサービスの損失。

「都市部の気温上昇による都市の人口減少のリスク」については予測されていません。

*正答率は第7回3R・低炭素社会検定受験者のものです

出典：3R・低炭素社会検定 (<http://www.3r-teitanso.jp>) 低炭素社会分野試験問題解説集