

国立環境研究所公開シンポジウムにはたんさくの方が訪れました（東京会場）

2016年9月号 [Vol.27 No.6] 通巻第309号

パリ協定の実施に向けた議論が始まる～APA1、第44回補助機関会合参加報告

地球環境研究センター 地球環境データ統合解析推進室 研究員 **畠中エルザ**
 （地球環境研究センター 温室効果ガスインベントリオフィス）
 地球環境研究センター 温室効果ガスインベントリオフィス 高度技能専門員 **小坂尚史**

ビッグデータを活用した都市レジリエンス研究に向けて –12-th International Urban Planning and Environmental Association Symposium (UPE 12) 参加報告–

地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室 特別研究員 **村上大輔**
 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 **山形与志樹**

インタビュー「地球温暖化の事典」に書けなかったこと [15] より正確な生態系の炭素収支モデルを目指して–ポイントは呼吸や複雑な影響の解明–

地球環境研究センターニュース編集局

社会とともに環境課題に取り組むために –ステークホルダー対話会合の実施報告–

社会対話・協働推進オフィス 科学コミュニケーター **岩崎茜**

地球をめぐる温室効果ガス–どこでどれだけ減らせるか？–

地球環境研究センターニュース編集局

地球温暖化研究棟に新たな太陽光パネルが設置されました –建物修繕による防水工事にともなっ

地球環境研究センター 主幹 **井桁正昭**

【最近の研究成果】 暑い日と強い雨の記録更新に対する人間活動の寄与を推定

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 塩竈秀夫

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 [31] 世界の温室効果ガス排出量
ー3R・低炭素社会検定よりー

地球環境研究センターニュース編集部

パリ協定の実施に向けた議論が始まる～APA1、第44回補助機関会合参加報告

地球環境研究センター 地球環境データ統合解析推進室 研究員 畠中エルザ
(地球環境研究センター 温室効果ガスインベントリオフィス)

地球環境研究センター 温室効果ガスインベントリオフィス 高度技能専門員 小坂尚史

2016年5月16～26日に、ドイツ・ボンにおいて国連気候変動枠組条約（UNFCCC）のパリ協定特別作業部会（Ad Hoc Working Group on the Paris Agreement: APA）第1回会合、および第44回補助機関会合（科学上および技術上の助言に関する補助機関会合：SBSTA44、実施に関する補助機関会合：SBI44）が開催された。以下、政府代表団による温室効果ガスインベントリ関連の交渉について概要を報告する。APAやSBSTA、SBIの他事項に関する交渉の概要については、環境省の報道発表（<http://www.env.go.jp/press/102563.html>）等を参照されたい。

1. APAの立ち上げ

今次会合のハイライトは、パリ協定発効および第1回パリ協定締約国会合の開催に向けての準備を行う、APAを立ち上げたことだった。昨年末のCOP21で合意されたパリ協定およびその関連決定は、実施に移していくには多くの未決事項を抱えている。これらを決定する作業が必要とされており、本部会で取り扱うことになっている。

今次会合では、1回目ということもあり、議題の決定に長い時間が費やされ、当初予定の3日後の20日ようやく議題の採択に至った。その後、会合の二週目には、緩和、適応、透明性確保のためのフレームワーク、グローバルストックテイク（詳細は「政府代表団メンバーからの報告：『強制』から『誘導』へ～各国目標をめぐるパリCOPの成果」地球環境研究センターニュース2016年2・3月合併号参照）、パリ協定の実施・遵守の促進、パリ協定の発効等について、議題ごとに非公式な協議も行われ、各国のパリ協定の詳細についての理解や考え方が表明され、意見が交換された。そして、最終的には、9月末までの期限で、緩和、適応、透明性フレームワーク、グローバルストックテイクについて意見の提出を各国に招請することになった。

2. 途上国の国際協議・分析

今次会合では、途上国の緩和行動の透明性の向上のために行われる国際協議・分析（International Consultation and Analysis: ICA）の一環で、「促進的意見の共有」（Facilitative Sharing of Views）も行われた。ICAプロセスは、2010年にメキシコ・カンクンで開催されたCOP16でその実施が合意されていたもので、途上国が提出した隔年更新報告書（Biennial Update Report: BUR、温室効果ガスインベントリ等を含む、表参照）について、技術分析（Technical Analysis）が行われ、その報告書完成後、SBIの公開の場で質問やコメントを受けることになっている。これが「促進的意見の共有」と呼ばれるもので、今次会合で初の開催となった。各国からプレゼンが行われ、その他の国々がコメントするという構図は、先行して開催されていた、先進国の隔年報告書（Biennial Report: BR）に対する多国間評価とほぼ同様である（表参照）。

今次会合では、技術分析の報告書の作成が済んでいる、ブラジル、韓国、シンガポール、南アフリカ、ベトナム等、13カ国について、促進的意見の共有が行われた。

今回の「促進的意見の共有」の対象となった国々は、その多くがきちんと提出期限（2014年12月末）を守って第1回隔年更新報告書を提出していたこともあり、提出したこと自体を称賛するようなコメントが多かった。その他、どのような体制で隔年更新報告書を作成したのか、そこでの課題は何だったのか、専門的知見をどう維持しているのか、ICAの技術分析はどのように役立ったと思うか、一部途上国が温室効果ガスの排出吸収量の算定に自主的に使用している2006年IPCCガイドラインの使用経験や使用時の課題などについても、日本を含む先進国や、他の途上国から質問が投げかけられた。

途上国側は、関係する省庁等のステークホルダー間の調整や、人員の入れ替わりで知見が失われないようにコンサルタントに頼り過ぎず国内・内部の専門家を育成し体制を維持することの重要性等についてコメントした。また、ICA、とくに技術分析については、BURの改善すべき点の明確化に役立ったというコメントが複数あったと同時に、ガイドラインに不明確な点が多く技術専門家チームに解釈の余地を与える結果となったので、今後のガイドライン改訂においては注意したいといったコメントがブラジルからだされた。2006年IPCCガイドラインについては、最新の知見を反映しているガイドラインを適用するのが重要、といったコメントが先行使用した国からあった。同ガイドラインの途上国での適用は、温室効果ガスインベントリの算定の対象範囲などを先進国と揃えることを意味しており、先進国がとくに注目しているポイントである。

こうして最初のICAプロセスを一通り経た途上国も出て来たわけだが、すでに今年の年末には最初の隔年更新報告書の提出から2年を経ることになり、どれだけの国が次の隔年更新報告書の提出に対応できるのか、注目される。

なお、ICAの手続きは、COP17（2011年、南アフリカ・ダーバン）時の決定では、遅くとも2017年までに改訂することになっており、その議論の過程では、先に述べたブラジルのコメントのような事項が議論の俎上に載るだろう。また、「国際評価・審査（International Assessment and Review: IAR）プロセスの第1ラウンド（2014～2015年）の結果」というSBI議題の下、先行してプロセスが一巡して手続きの見直しに向けた議論の準備に向けて動いているIARプロセスの方も、上記ICA手続きの改訂を横目に見ながら動くと思われる。

表 隔年報告書と隔年更新報告書の概要

	先進国	途上国
名称	隔年報告書（Biennial Report、BR）	隔年更新報告書（Biennial Update Report、BUR）
内容	✓ 温室効果ガス排出量およびその経年推移に関する情報	✓ 国家温室効果ガスインベントリ
	✓ 排出削減目標	✓ 緩和行動
	✓ 目標の達成に向けた進捗状況	
	✓ 将来予測	
	✓ 資金、技術、キャパシティビルディングに関して実施した支援	✓ 資金、技術、キャパシティビルディング面のニーズおよび受けた支援
品質担保の方法	国際評価・審査（International Assessment and Review、IAR） = 技術審査（Technical Review） + 多国間評価（Multilateral Assessment）	国際協議・分析（International Consultation and Analysis、ICA） = 技術分析（Technical Analysis） + 促進的意見の共有（Facilitative Sharing of Views）

*この他、先進国においては毎年温室効果ガスインベントリを提出すること、また、先進国・途上国ともに4年に一度国別報告書を提出することが定められている。

3. 国別報告書の報告ガイドラインの改訂

今次会合では、2018年1月1日までに先進国が提出することになっている国別報告書の作成のためのガイドラインの改訂作業が概ね完了した。隔年報告書を提出するようになって以降、先進国はすでに2回提出し、少なくとも1回は技術審査や多国間評価を経ているが、その過程で明らかになった問題点を中心に改訂を行った。とくに、国別報告書と隔年報告書で報告内容が共通すべき場合に、国別報告書の報告ガイドラインと隔年報告書の報告ガイドラインとで要件に不整合があり、隔年報告書の報告ガイドラインに合わせる形で国別報告書の報告ガイドラインの改訂作業が進められた。国連公用6言語のうち、英語以外の言語で提出する場合には英訳を付すことを推奨する文言の追加に反発している国があるが、この点が決着すれば合意が成立する見込みである。

4. 最後に

筆者らが参加した中では、大型合意があったCOPの後の会合は、概ね立ち上がりが遅い印象があるが、今次会合でも、APAの議論を始めるのに時間がかかった。上述しなかったが、畠中がファシリテーターを担当した温室効果ガスインベントリに関連するSBSTA議題では、技術的に細かな内容を取り扱うため、参加を希望する人が少ないと見込んで小さい部屋を用意していたところ、実際には立ち見が出て、難儀したこともあった。

ただ、パリ協定下の透明性フレームワークの詳細ルール作成にあたっては、上述した途上国のICAやBUR、先進国のIARやBR、温室効果ガスインベントリ、国別報告書等の既存の制度から得られた経験も踏まえることになっており（「政府代表団メンバーからの報告：『強制』から『誘導』へ～各国目標をめぐるパリCOPの成果」地球環境研究センターニュース2016年2・3月合併号参照）、既存のツールを先進国・途上国共通の形態に変えていこうといった具体的な動きがある議題に関心が集まるのも当然と言えよう。今後も、APAでの大きな議論を見守りつつ、既存制度がどのように変容していくかに注目したい。会合直前の、ニューヨーク国連本部でのパリ協定の署名式では日本を含む175の国と地域が署名して、同時に15カ国が批准書を寄託しており、伊勢志摩サミットでも、G7を含めた全締約国に2016年中の発効へ向けて必要な国内措置をとるよう呼びかける文言が首脳宣言に盛り込まれた。このように、早期発効の機運が醸成されつつあることから、時間を有効に使って2018年までに透明性に関する詳細ルールの議論を進めていく必要がある。招請されている各国意見の内容を踏まえ、次のAPAでは透明性フレームワークが網羅すべき要素を明確化できれば望ましいだろう。

また、未筆ながら、新規に選出されたAPAの共同議長のティンダル氏（ニュージーランド）、バシャーン氏（サウジアラビア）、会合後に新規に着任した、カンクン合意をまとめ上げたCOP議長、エスピノサ新事務局長の3人の女性の活躍を心よりお祈りしたい。



ビッグデータを活用した都市レジリエンス研究に向けて

— 12-th International Urban Planning and Environmental Association Symposium (UPE 12) 参加報告 —

地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室 特別研究員 村上大輔
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 山形与志樹

1. ワークショップの背景

2016年6月1～3日にリスボン大学（ポルトガル）で標記シンポジウムが開催され、山形と村上が参加しました。このシンポジウムの目的は都市・環境計画、持続可能な都市開発に関する研究者間の対話を促すとともに、持続可能な都市成長に向けた実用的な方法論・ツールの開発を支援することであり、都市、環境、その他、都市・地域科学に関係する幅広い研究者が参加しました。本年度で12回目の開催です。都市の郊外化を抑制するとともに中心市街地を活性化することで、住みやすくまた環境にやさしい都市を実現しようという、コンパクトシティの概念が初めて詳しく議論された学会としても有名です。



写真 開催地のリスボン市のトラム。リスボン市は公共交通機関が網の目のように張り巡らされており、それらを活用したコンパクトシティ化への関心が高まっています。また、リスボン市は震災や津波のリスクの高さでも知られており、災害に対するレジリエンスを高めることが喫緊の課題となっています

2. 参加者による発表

本シンポジウムでは、レジリエンスやアーバンメタボリズム（都市におけるエネルギーや水、物質等の循環を意味する概念）、生態系サービスといった都市の持続可能性に関連した数多くの研究が報告されました。具体的には上記キーコンセプトの体系化や定量化、それらの結果を踏まえた都市デザインの検討や将来成長シナリオの分析、都市計画担当者や政策決定者が方針を決定する際に貢献できるようなツールや視覚化手法の開発などです。

特に今回はkeynote speakerのSimin Davoudi氏（Newcastle Univ.）の発表に代表されるように、異常気象、エネルギー、食糧などに着目した都市レジリエンスについての報告が多く、気候変動リスクの上昇やそれに伴う諸問題への関

心が高まっていることを確認しました。また、モバイルセンシングデータや高解像度リモートセンシングデータ（例えば3次元都市モデル）といったビッグデータを活用した研究の報告も多く、近年のセンサー技術の発展が都市レジリエンスに関する研究の進展に大きく寄与しているとの印象を受けました。本学会のプログラムの詳細については、下記のウェブサイトをご覧ください。

<http://iupea2016lisbon.wix.com/upe12symposium>

3. 国立環境研究所からの参加者による発表

国環研からは山形、村上、及び共同研究者の吉田崇紘氏（筑波大学社会システムマネジメント専攻）が発表しました。まずは村上が、気温の高い日（例えば最高気温が35°C以上の日）が連続する現象である熱波のリアルタイムでの面的モニタリングに向けた、ビッグデータの活用について講演しました。本講演では次の点に着目した分析を報告しました：多種多様な時空間データ（例えばアメダスデータや衛星観測データ、人々の位置情報データ）をどのように統合すればリアルタイムな熱波状況の面的な推計が実現できるのか；推計した熱波情報をどのように一般に公開するか；アプリとの連携；街区レベルの熱波状況を解析する上での課題。その後の質疑の際には、3次元の都市構造を考慮することが必要である点や、都市デザインへの活用の可能性についての議論が行われました。

続いて「面的に推計された熱波状況と3次元都市モデルとの連携」について吉田氏から発表がありました。本発表は、熱波状況をいかに視覚化するか、建物の配置や高さがどのように熱波に影響しうかなどを検討するものであり、街区レベルでの都市の将来シナリオを検討する上での基礎となる、注目に値するものでした。

最後に山形が「3次元都市モデルを活用した都市の賢い縮退（wise shrink）に向けたシナリオ分析」について講演を行いました。山形は東京大都市圏の将来成長シナリオ（緩和シナリオ、緩和 + 適応シナリオ、現状維持シナリオ）の違いが持続可能性に関する諸要因（異常気象リスク、環境負荷、居住性等）に及ぼす影響を定量評価しました。その結果として、従来望ましいとされてきた都市のコンパクト化だけでなく緩和策とも連携させることが、東京大都市圏の都市レジリエンスを高めるうえで不可欠という興味深い知見が得られました。また、マクロ（東京大都市圏；1kmグリッドごと）を対象とした将来シナリオと、ミクロ（都心；0.5mグリッドごと）を対象とした3次元都市モデルとの連携についての新規的な分析も報告しました。

以上に加え、Perry Yang教授（Georgia Institute of Technology）と山形との国際共同研究についての報告がありました。本報告は3次元都市モデル、エネルギーモデル、及び気候モデルを連携することで、次のような都市の環境・エネルギー指数を推計・視覚化しようというものです：エネルギー消費量（建物ごと）、CO₂排出（建物ごと）、建物や路上からの眺望、路上のミクロな（例えば0.5mグリッドごとの）熱環境。対象都市は東京とニューヨークです。この報告では、異常気象リスクの高まる両都市における将来の都市設計を検討するうえでの重要課題に関連する研究提案について議論しました。

4. シンポジウムの成果と今後の計画

様々な分野の研究者間の議論から、2つの大きな研究動向を確認することができました：都市レジリエンス（特に環境とエネルギー）に対する関心が高まっていること；都市レジリエンス研究におけるビッグデータの利用が活発化していること。また我々の研究成果についての報告・意見交換と、主要共同研究者であるPerry氏との3日にわたる意見交換により、3次元都市モデル（個別建物データやミクロな土地被覆データ、人の動きデータ等を元に構築）を活用することで、例えば人々の日々の都市活動とそれに伴うエネルギー排出（建物排出 + 交通排出）や熱波リスクなどをシミュレートし、その結果をもとに都市のレジリエンスを高めるためのシナリオ分析を進めるという、同氏との共同研究の方針を固めることができました。ここで扱うシナリオは、例えば建物に対する環境認証システムを導入シナリオや、緑化推進シナリオ、建物の配置や規模を変化させるシナリオ、ロードプライシング（課金による交通量の抑制）を行うシナリオなど、多岐にわたります。

なお、今回のシンポジウムを通して得られた情報や意見は、GCPがURCM（都市と地域の炭素管理）研究を進展させて気候変動適応研究との連携を検討している都市レジリエンスに関する国際関連研究の推進に活用する予定です。

インタビュー「地球温暖化の事典」に書けなかったこと

15 より正確な生態系の炭素収支モデルを目指してーポイントは呼吸や複雑な影響の解明ー

伊藤昭彦さん

地球環境研究センター 物質循環モデリング・解析研究室 主任研究員

インタビュー：仁科一哉（地域環境研究センター 土壌環境研究室 主任研究員）

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15回は、伊藤昭彦さんに、陸域生態系モデルの開発や炭素収支の把握に重要となる土壌や生態系の呼吸量についてお聞きしました。



「地球温暖化の事典」担当した章

4.3 地球システムモデル / 6.4 呼吸とバイオマス / 6.5 陸上生物（動物、土壌微生物、ほか）

次回「地球温暖化の事典」に書きたいこと

気候工学による生態系への影響と温暖化による土壌への影響

目次

1. 幸運にも恵まれた全球陸域生態系モデルの開発

2. 呼吸モデルの高度化を目指す
3. 土壌呼吸のモデルの精度向上に何が重要か
4. 森林火災と気候変動の因果関係は？
5. 温暖化による生物生態系への影響のモデル化の難しさ
6. 生態系における適応策
7. 気候工学による生態系への影響と温暖化による土壌への影響を書きたい

幸運にも恵まれた全球陸域生態系モデルの開発

仁科 伊藤さんは、数理モデルを主な研究手法として、気候変動と生態系とのかかわりについて一貫して研究を行ってきました。この研究分野にかかわるきっかけと、その動機について教えてください。

伊藤 私は陸域生態系のコンピュータシミュレーションモデルを使って、主に地球温暖化に対する陸域生態系の応答や、それを緩和策や適応策の評価に使う研究を現在進めています。なぜそういう研究を始めたかというところ、まず、実家が山林を所有していて、子どもの頃から森林に慣れ親しんでいたということがあります。大学は、名古屋大学林学科に入学しました。将来は研究者ではなく公務員になろうと考えていたのですが、名古屋大学で思わぬ出会いがいくつかあり、今に至っています。まず、林学科には地球環境についても研究している先生がいらして、そういう人たちの影響を受けました。1997～1998年はちょうど地球温暖化に対して世間の注目が高まり始めた頃で、面白そうだなと思いました。次にモデルに興味をもったきっかけは、在学中に受けた集中講義でした。そこでは、数理生態学で著名な篠崎吉郎先生が生物の個体数やバイオマスのダイナミックな変化を、ロジスティックモデルという数理的なモデルを使ってシンプルかつ論理的に表現できることを懇切丁寧に説明され、感銘を受けました。その後、さらに運命的な出会いがありました。大学院進学時に、陸域生態系モデルの第一人者である筑波大学の及川武久先生を紹介していただきました。及川先生のもとで勉強できたのが、現在に至る最大の転機だったと思います。当時はコンピュータの能力も低く、使用できるデータも少なかったのですが、陸域生態系の炭素循環モデルを作り、現在につながる研究を始めました。



仁科 当初はサイトスケールだったと思いますが、伊藤さんは現在、全球を対象としたモデルを使っています。どういったところから大きなスケールの方に研究が移っていったのですか。また、気象学の人たちとうまく連携されていますが、気候モデルの研究者と協働し始めた経緯を教えてください。

伊藤 それまで、気象学、生態学、社会学など個別の分野で研究を進めていたものを、統合したプロジェクトが必

要ということで、1990年頃、地球圏－生物圏国際協同研究計画（International Geosphere-Biosphere Programme: IGBP）が始まりました。IGBPのなかにグローバル解析、解釈及びモデリング（Global Analysis, Integration and Modelling: GAIM）という、地球システムを統合してデータ解析をしていくプロジェクトがあり、及川先生がGAIMの日本の代表者で、定期的にGAIM研究会を行っていました。その研究会は当時としては非常に学際的で、さまざまな研究分野の人が参加していて、そこへの参加を通じて気象学の研究者と知り合いになりました。当時、気象学ではすでに全球モデルが作られていましたが、生態学の方では、炭素循環がまだよく理解されていなかった（日本には）そういうモデルがありませんでした。こうした背景により、及川先生から博士号の論文テーマとして、地球全体の陸域生態系のモデルを作るという課題が与えられました。

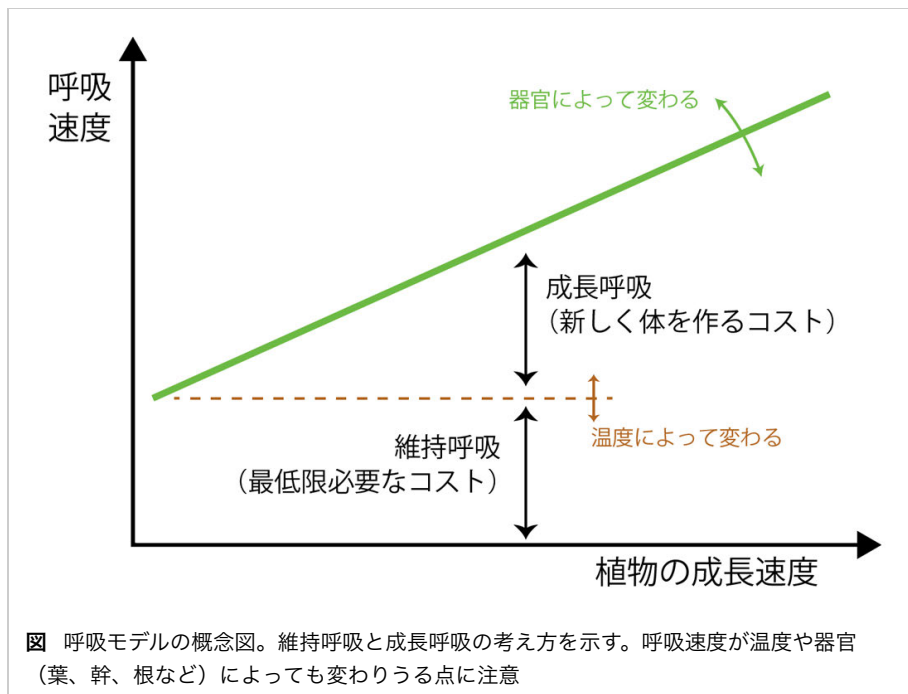
仁科 生態系モデルではいろいろなものを扱わなければなりませんし、さまざまな分野の知識が必要です。モデルを作るうえで一番大変だったのはどういうところでしたか。

伊藤 陸域でのエネルギーや水の流れという物理的なところを最初に作り、そこから生物的な部分を積み上げていきました。物理的な分野はそれまであまり勉強していなかったもので、独学でした。ですから、物理的な部分をプログラムにしていくということが最初のギャップでした。しかしそこでもまた、とても幸運なことがありました。大学内の異なる学問分野の人たちによる、ミニIGBPのような学際的プロジェクトが始まり、そのプロジェクトの助手として三枝信子さん（現地球環境研究センター副センター長）が来られ、三枝さんから微気象学について教えていただきました。そういうラッキーな面があってなんとか乗り越えられました。

呼吸モデルの高度化を目指す

仁科 “呼吸とバイオマス”の章で、呼吸が生態系のなかの炭素収支に大きな役割を果たしていると書かれています。この呼吸は成長呼吸と維持呼吸という二つに分けられることが紹介されています。成長呼吸と維持呼吸のメカニズムは1960年代には既に専門家の間にはあったものと思いますが、最近の研究の進展について教えてください。

伊藤 呼吸量は植物のサイズに必ずしも正比例して増えるのではなく、植物が成長する速さに比例して増える部分とバイオマスに比例して増える部分があるという成長解析の結果から、1970年頃に成長呼吸と維持呼吸という概念がでてきたらしいです（図）。生態系の炭素収支の微妙な量を考えるとき、植物や微生物の呼吸量をきちんとおさえなければなりません。モデルを作り始めた頃は呼吸量をどう計算していいかわからなかったのですが、再び、ラッキーなことがありました。筑波大学内の植物生理生態学の先生の研究室で呼吸を研究している大学院生がいて、相談にのってもらいました。成長呼吸、維持呼吸をモデルに組み込むことは90年代くらいから始まっていて、私もモデルに入れました。ここまではすんなりといったのですが、その先は20年くらい呼吸のよりメカニスティックなモデル化は進んでいません。原因はいくつかありますが、呼吸というプロセスそのものに難しさがあります。光合成は材料がCO₂と決まっていますが、呼吸は、糖分、アミノ酸、タンパク質、脂肪など体のなかのありとあらゆるものを使い、何を材料にしているかによって呼吸量が変わってきます。さらに呼吸は、細胞内の三つの複雑なプロセス（材料をエネルギーに変える解糖系、TCA回路、電子伝達と呼ばれる過程）で行われ、どこがネックになっているのかをなかなか決められないのです。そういう訳で成長呼吸と維持呼吸のシンプルなモデルのまま現在に至っています。これを問題視している人は多く、陸域モデルの人たちが、呼吸モデルを高度化するためのワークショップを開いて話し合っていますし、実際少しずつ進んではいます。国立環境研究所では、私もメンバーになり、生物多様性研究プログラムのなかで、呼吸のモデルの改良を進めています。



土壌呼吸のモデルの精度向上に何が重要か

仁科 陸域最大の炭素プールである土壌呼吸ですが、土が呼吸するという表現はよく考えると面白いです。呼吸というのは同化産物の異化、つまり分解そのものです。これは産業界でいうところの静脈産業にあたるかと考えていて、研究としても動脈産業にあたる光合成の様な生産的なところと比べると華やかさに欠けるように思います。ところが、それが将来のCO₂収支にとって重要なファクターであるというのは、とても興味深いことだと思っています。土壌呼吸で今どういうことがトピックになっているのでしょうか。

伊藤 陸域生態系の正味の炭素収支を決めるうえで、土壌呼吸量を把握するのは重要なことですが、光合成が決まればそれに従って呼吸量も決まるだろうといった従属的な扱いをしている人が結構います。実際には、土壌呼吸は、プロセスとして別個に扱うべきです。ところが、土中の根や微生物に関するプロセスを見ていくのは非常に難しいので、モデル化は遅れています。それどころか、モデルで計算した植物の根の呼吸量の検証はとても困難です。野外で根の量やその呼吸量を測るのは難しいので、データが少ないのです。土壌呼吸量をいくつかのモデルと比較するとばらばらの結果が出てきて、モデルの信頼性をゆるがすようなことになりかねません。どうにかして土壌モデル、それを含めた地下部のモデルの精度を上げていく必要があると思っています。

仁科 私自身もモデルを使って将来予測するような研究をするようになり、知見が少ないところは数理的なモデル化が弱いということがすぐにわかりました。

伊藤 たぶんモデルの専門家だけが頑張っても完全に解決するのは難しいでしょう。現場で土壌の研究をしている人たちにプロセスの解明をしてもらい、その結果をモデルの人たちが勉強して、モデルにとり入れていくことが重要でしょう。

森林火災と気候変動の因果関係は？

仁科 “陸上生物”の章では、気候変動が起きたときの生育地の移動・損失、季節性の変化（花の咲く時期の変化）、害虫の増加などがあげられています。『地球温暖化の事典』の中では書かれていませんが、近年、世界各地で起きている森林火災と気候変動との因果関係はどのように考えていますか。

伊藤 森林火災は攪乱と呼ばれているものの一つで、気候変動がなくても起こるプロセスです。たとえば森林に雷が落ちて、そこが起点となって火が広がっていきます。自然に起こるものが、気候変動によって頻度が高まったり、大火災が起こりやすくなったりしているかというのは簡単にはいえませんが、おそらく気候変動によって気候の振幅が大きくなると、火災の発生状況に影響する可能性はあると思います。たとえば可燃物が貯まりやすくなっているというのは、確かにあると思います。管理放棄されたところに可燃物が貯まるだけではなく、CO₂の施肥効果で森林の成長がよくなり、炭素ストックが増加し、可燃物が増えて森林火災が起こりやすくなる可能性があるでしょう。私のモデルのシミュレーションのなかにも森林火災は簡単な形で入っており、概して将来的には火災が増加する傾向になっています（写真）。



写真 アラスカ・フェアバンクス近郊の火災跡地。北方林は現在でも火災が多いが、温暖化によりさらに増加すると予想されている。焼けたトウヒが立ち枯れて残っており、地表にはヤナギランなどが生えている。2009年7月30日撮影

仁科 森林火災は、可燃物がどれくらいあるか、乾燥、干ばつがどれくらい頻発するか、この二つがキーワードになっていて、そこから確率的に燃えるか燃えないかという要素が入っていくのですが、今の予測だと増えていく可能性が高いということですね。

伊藤 今のモデルはある場所にどれくらい可燃物があるか、一年のうちどれくらいの間乾燥するかなど非常に簡単な条件で火災の起こりやすさを判定していますが、人間活動による別の影響もあるため、まだ、現在の森林火災すらきちんと再現できているという確証がありません。過去も将来もまだ不確実性が大きい感じです。

温暖化による生物生態系への影響のモデル化の難しさ

仁科 “陸上生物”の章では、多くの知見、そして不確かな知見が多いなかで原稿を執筆するにあたり、内容の取舍には苦労されたかもしれません。たとえば2011年のNature Climate Changeには、Sheridan & Bickfordに、温暖化によって哺乳類を含む陸上生物の個体サイズが小さくなるのではないかと、という内容の個別研究を集めたレビュー論文が発表されました。実は、これも呼吸にかかわる現象です。温暖化によって動物の呼吸が増加し、体サイズが小さくなる可能性を指摘しています。これは、恒温動物では、同じ種を比較すると寒いところほど体サイズが大きいという、有名なベルクマンの法則にかかわる経験的事象です。この論文の中では、生態系の中である生物の個体サイズが小さくなると、それによって間接的に他の生物に影響を及ぼすことが示唆されています。このシリーズの五箇公一さんへのインタビューの中でも触れられていましたが、生物多様性への影響をモデル化・予測することが難しいのは、このような影響の連鎖が含まれるからだと思っています。

伊藤 生態系は食物連鎖がありますので、その影響を全部入れてモデル化するのはとても難しいですし、まず、理解するだけでもかなりやっかいなことです。陸域生態系のモデルの研究者は世界に何十人もいますが、植物以外のものを組み込むというのはなかなかできていません。ただし、実験的には少しずつ知見が集まりつつあります。野外でCO₂濃度を高めてそのなかで植物を育てるFACE（Free Air CO₂ Enrichment）実験の例があります。FACE実験では、CO₂濃度が上がるので植物の成長はよくなるのですが、根からの栄養塩の吸収が追いつかないため、窒素濃度が下がってしまいます。つまり栄養価が低くなってしまいますので、それを食べる昆虫の幼虫は今までと同じ量を食べても栄養がとれなくなり、成長が悪くなるらしいです。そうすると動物にも影響が及んでいきます。それらをモデルに組み込んで再現できるかという、なかなか難しいです。自然界で起こっていることをまず見て、知見を積み上げていかないとできないと思います。

仁科 気候変動だけではなく、生態系にとってはCO₂濃度が上がるだけでいろいろなリスクがあります。

伊藤 CO₂濃度が上がると、植物は光合成しやすくなるため、今度は気孔を閉じ気味にして蒸散で失われる水分をセーブしようとしてます。蒸散が減ると失われる気化熱の量も少なくなるので植物が暖まりやすくなります。また、FACEのなかで育てた植物にはやたらと昆虫がつくようになったという話を聞いたこともあります。このように、思いもよらないことが生態系のなかで起こる可能性があります。

生態系における適応策

仁科 “陸上生物”の章の最後に適応策とリスク管理についてまとめられていますが、生態系はとても大きいですし、扱いの難しさから、積極的に対策を講じるというより、どうしても受け身になってしまいます。生態系においてすでに実践されているような適応策があれば教えて下さい。

伊藤 生態系は非常に広大なので、適応策を講じることが現実的なのか、あるいはコストに見合うことなのかと私は懐疑的ですが、適応策について調べてみると、例がないわけではないです。カナダなどで、気候変動に即した林業をして、温暖化してもこれまでと同じように育ち木材がとれることを目指す研究はされているようです。また、温暖化すると標高が高い方に生物が移っていきます。それがスムーズにいけば、自然界で適応できたことになるのですが、実際には道路や都市、山があったりして、生物の移動が妨げられます。それを、生物が移動できるよう回廊（コリドー）を造るというのがあります。しかしこれは、副次的な問題が生じるようです。人間の手によって生物を移動させてしまうと、それは外来種の侵入と同じことになってしまい、元あるところの生物多様性を乱してしまうことになりかねません。



仁科 ほかの研究分野の方と一緒に仕事をすると、適応というのは研究的にも行政的にも気候変動のなかでは重要な位置を占めているのに、生態系側からはなかなか話題に入っていきません。どうするべきなのかなという

ことをいつも考えて研究しています。

伊藤 適応は、私が想像していたよりももっと範囲が広いみたいで、ゲリラ豪雨のような極端現象に対する対策も適応に含まれるようです。その例にならえば、先ほど出た森林火災増加への対策なども適応といえるかもしれません。

仁科 これまでお話を聞いていて、生態系は不確実性が大きいというのが難しい点ですが、研究としては不確実性を縮めていくことと、不確実性があるなかでも何か訴えていかなければいけないというところがあると思いました。

気候工学による生態系への影響と温暖化による土壌への影響を書きたい

仁科 最後に、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。

伊藤 執筆当時にはなかった話題がいくつかあります。一つは、気候工学（ジオエンジニアリング）という、人為的な方法による気候変動の抑制です。私自身は気候工学の研究を専門的に行っているわけではありませんが、気候工学を実施したときの生態系への影響をモデルで評価しました。その他にもバイオ燃料の利用など、今までとは違う温暖化対策をしたときの影響も入れられればいいかなと思います。もう一つは、温暖化による土壌へのさまざまな影響です。とくに、永久凍土が融けたらどうなるかといったところも書けたらいいと思います。

*このインタビューは2016年7月5日に行われました。

*次回は塩竈秀夫さん（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）に永島達也さん（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）がインタビューします。

社会とともに環境課題に取り組むために

—ステークホルダー対話会合の実施報告—

社会対話・協働推進オフィス 科学コミュニケーター 岩崎茜

1. はじめに

国立国環研究所（以下、国環研）の活動に関わっていたり興味を持って下さる様々な「ステークホルダー」*の方々
と対話を行う会合が、社会対話・協働推進オフィス（以下、対話オフィス）の主催で6月24日（金）に行われまし
た。国環研の公開シンポジウム（東京）に合わせて開かれたもので、ステークホルダーの方々には研究発表を聞いて
いただいたのち、研究活動や環境問題について、研究者らとの意見交換に参加していただきました。

お招きしたステークホルダーは次のの方々です。

嵐田亮氏（株式会社ユーグレナ研究開発部バイオ燃料開発課長）

枝廣淳子氏（東京都市大学環境学部教授、幸せ経済社会研究所所長）

小杉隆氏（NPO法人国際環境政策研究所理事長）

辻村希望氏（岩波書店『科学』編集部・自然科学書籍編集部）

則武祐二氏（株式会社リコー経済社会研究所主席研究員）

本稿では、ステークホルダーの皆様から頂いたご意見や、議論を通して見えてきた課題について、一部を整理して報
告します。



写真1 5名のステークホルダー（写真奥の横並び）と国環研が意見交換を行った

* 今回は、「国環研の研究活動の利用者、協力者、関係者、興味を持ってくださるの方々」をステークホルダーと定義
しました。

** 公開シンポジウムの発表内容はこちらのサイトでご覧いただけます。 <http://www.nies.go.jp/event/sympo/2016/program.html>

2. 対話会合の目的

対話オフィスは、社会との双方向的な対話や協働を推進することを目的に、本年度より新たに国環研に設置されました。活動方針の一つに、新たな対話機会の創出として、社会の様々な立場の方々との意見交換を行うことが挙げられています。単なる情報発信にとどまらず、社会との双方向のコミュニケーションを通して、多様な視点や発想から国環研が学び、得られた知見を研究活動に活かしていくこととともに、社会との相互信頼関係を醸成することを目指しています。

今回の対話会合には、企業やメディア、NPOなど社会の様々な主体を代表して5名をお招きしました。いずれもお仕事を通して環境研究や環境問題に関心の深い方ばかりで、公開シンポジウムでの発表内容に関する専門的な指摘や、国環研にこれから期待する研究など、多くの有益な意見が交わされました。

会合では対話オフィスの江守正多代表がモデレーターをつとめ、国環研から理事長や理事のほかシンポジウムの発表者など約15人が参加しました。



写真2 ステークホルダーからの意見に応じる住理事長（中央右）

3. 公開シンポジウムはどうあるべきか

対話会合では、平日にもかかわらず公開シンポジウムに500人規模の聴衆を集めたことに評価の声があったものの、国環研としてどういう人たちに来てほしいと考えているのか、また実際にどのような聴衆が来ているのかという視点から、まず公開シンポジウムのあり方に関する質問がありました。

国環研を代表して住明正理事長が以下のように答えました。

住：社会のdecision making（意思決定）にかかわるような人に来ていただきたいというのが基本です。公開シンポジウムを平日に開催しているのもその意図があり、会社や学校の行事として来ていただきたい。ところが、学生さんが、この時間帯に授業として来られるのか、という問題もあります。

より多くの参加者やもっと若い層を集めるには適切な広報も必要であり、動画サイトなどインターネットを活用した宣伝を考えるべきではないかという意見もありました。

壇上に立った発表者からも、シンポジウムのあり方に対する声が聞かれました。

三枝信子（地球環境研究センター）：今回は、国環研が過去5年間、このような研究をやりましたと言いたいシンポジウムになっていると思いました。シンポジウムでは、こちらから何を発信して、どのような人に聞いてもらい、どうフィードバックを受けるのが重要です。たとえば、どんなことを知りたい人がいるのかを国環研側が察知して、それに向けて構成していく方が面白かったのではないかと思います。

もともと今回のシンポジウムは、昨年度までの5年間（第三期中期計画）の研究成果を報告することが目的となって

おり、地球温暖化から生物多様性、福島原発事故に伴う問題など、国環研内の様々な重要課題を幅広く扱いました。それゆえに、「研究成果発表会」という意味合いを少なからず帯びていたと言えます。今後は、テーマの絞り方や、双方向性の取り入れ方など、公開シンポジウムのあり方自体を検討していく必要があることが見えてきました。

個々の発表については、単なる研究発表にとどまらず、研究者の個人的な感情が織り込まれると心により響く、という感想が岩波書店の辻村氏らから寄せられました。

辻村氏：もっと面白さですとか、本音に関する部分をフランクにお伝えいただくと、聴衆としては心に響くものがあるのではないかと思います。シンポジウムでは、あまり概念的なことばかり紹介されるよりも、聴衆としては多少難しくても、もう少し具体的な方が面白いだろうなと思いました。バランスは難しいと思いますが。

一方で発表者からは、多くの聴衆を前に個人の思いを伝えることの難しさが語られました。

大原利真（福島支部）：福島に絡むような動向を説明するということになる、躊躇すべきことが多々あり、どこまで本音を言っているのか。個人の思いと組織の思いと環境省の思いと、色々な思いが微妙に異なる、あるいは大きく異なるということが多々あり、これをシンポジウムみたいな場でどういう形で説明していけばいいのかというのは、すごく難しいと思っています。

松橋啓介（社会環境システム研究センター）：大きなシンポジウムで話をするときには、自分の個人的な感覚についての話をしている、国環研の答えとしての言質を取られるのではないかとこのことを感じてしまいます。また、ビデオでずっと残るのだと考えると、発言に気をつけなければならないということもあって、ステージ上で考えをまとめて上手に答えるためにはトレーニングが必要だと思いました。

研究者の個人的な思いや回答が、国環研の意向だと取られる可能性もあり、大勢を前にして個人の考えを伝えるのは相応の経験や覚悟が必要だということが分かりました。

4. 環境とビジネス

シンポジウム実行委員長の向井人史・地球環境センター長からは、年を追うごとにシンポジウムの参加者が徐々に減ってきており、ひと昔に比べると環境への社会の関心度が低下しているのではないかとこの印象が語られました。その要因の一つとして、企業が収益を上げることばかり考えるあまり余裕がなくなり、環境問題に意識を持ちにくくなっている風潮があると住理事長は指摘しました。

実際、リコー社の則武氏によれば、環境に関するシンポジウムで現役の環境部署の人を見かける機会が少なくなっているそうです。

則武氏：企業の環境部門がレベルダウンしている一つの理由として私が感じるのは、CSR（Corporate Social Responsibility）の略。「企業の社会的責任」と訳される）部門の中に環境が入ってしまい、企業としては環境問題が社会貢献の一つとして、体裁がとれるようにやっていたらいいというスタンスになってしまったことです。実際に、CSRという観点でいくと、お金もかけられないし、人もそこまで入れられません。

則武氏は経済社会研究所という企業内研究所において、経営層に対して内部から環境問題について発信をする立場です。最近では、環境問題など社会における課題の解決に関わっていくことがビジネスチャンスになるということを提案してきているといいますし、実際に昨年末にパリ協定が合意されたのはビジネス界が動いたことが大きな要因とされています。しかし、脱炭素をビジネス機会ととらえた海外企業からはCEO（最高経営責任者）がCOP21にこぞって参加していたのに対して、日本のビジネス界の反応が薄かったことも、則武氏は問題として指摘しました。

環境とビジネスという観点から、藻の一種であるミドリムシを利用して環境問題への貢献を目指しているのがベンチャー企業のユーグレナ社です。研究員の嵐田氏は、ミドリムシから油を搾ってジェット燃料を作る研究に7年間携わってきました。しかし、実用化に向けてハードルも多く、現段階では環境の課題解決に大きな貢献ができていないというジレンマがあるそうです。

嵐田氏：将来的にCO₂の排出量削減などを目指して研究開発を進めていますが、既存の技術の組み合わせによる試算では、バイオ燃料を化石燃料と置き換えることによるCO₂排出削減量より、バイオ燃料を作る過程で排出したCO₂の量の方が大きくなってしまいます。CO₂排出削減ができたとしても、膨大な量のバイオ燃料を製造しなければ温室効

果ガス削減への貢献はまだ難しいと考えています。将来的に「当社は地球環境の改善に貢献しています」とさらに言えるようにと、私たちは研究を進めております。

嵐田氏からは、2050年までに温室効果ガスを80%削減するという国の目標に対して、どんな技術が有効なのか、最新技術はどうなっているのか、もっと具体的な話を公開シンポジウムで聞きたかったという要望もありました。

環境への意識の薄れは出版界も同様。岩波書店の辻村氏からは、環境関係の本は「“やばい”くらいに面白い」ものでないと売れ行きはなかなか厳しいのではないかというシビアな見通しも伝えられました。

会合では、なぜ日本では、政府レベルも企業レベルも市民レベルも、これだけ環境問題への取り組みが進んでいないのか、という研究も国環研はした方がいいのではないかという提案も出ていました。

5. 社会との連携や対話に向けて

元衆議院議員で50年以上にわたり政治家として環境政策に取り組んできた小杉氏は、地球温暖化問題について、温室効果ガスの削減のためには社会の連携が必要だと指摘しました。

小杉氏：国際会議ではよく、トヨタのプリウスを例に出して、環境と経済というのは決して矛盾しないと言うのです。そういうふうには社会全体を持っていかないとなかなか動かないと思うのです。政（政治）、官（官公庁）、経（経済界）、そして皆さんのような学（研究）、市民NPOやNGO、これらがみんな一体にならないと目標は達成できません。それぞれに限界があるわけですが、それを補うような輪を作る。そのつなぎ役をはたすのが、今日のような場だと思います。

連携ということに関連して、発表した研究者から、地域の個別の問題と国や世界レベルの目標との間に大きなギャップがあり、その橋渡しをするのが難しいという意見もありました。

角谷拓（生物・生態系環境研究センター）：生物多様性の分野には個別の問題がたくさんあって、結局地元の市民団体やNGOが頑張って、何とか実現しようとするのが大事です。けれども、そういった問題をたとえば愛知目標のような国際目標につなげていくには大きなギャップがあって、そこを橋渡しできたら理想的なのですが。

生物多様性に限らず、たとえば気候変動にも、個々の取り組みと全体の目標とのギャップという問題は存在します。個人レベルの行動が社会全体を動かすような力につながっていかない、という問題もまた同様です。

田崎智宏（資源循環・廃棄物研究センター）：いままでの環境教育では、問題の情報を与えて、個人レベルの行動を促すということが強調されていて、それを集団の力にしていくという教育はあまりされていない。個人の行動をいかに集団の力にして蓄えていくのか、ということが対話でやろうとしていることの一つなんだろうと思います。

対話や協働の重要性は多くの研究者に共通に認識されているものの、専門分野や研究コミュニティの垣根を越えて、いかに社会と対話をしていくかというのは、実際にはまだ難しい課題でもあります。

鈴木規之（環境リスク・健康研究センター）：市民との対話は大事であると思っていますのですが、私どもが話をするのと皆さん、難しいとおっしゃるんです。一方で私たち自身がある程度上手に説明を行い、他方で市民の方にも近づいてきてもらわないと分からないのではないかと思いますので、その接点を作れないかということを私は常に思っているところがあります。市民の方々の思い、感じ方を、私たちの研究の方法にどうやって結びつけるかということを考えていきたいと思っています。

6. 環境問題の“死の谷”

小杉氏からは、研究データが海外で多く引用されていることを引き合いに、研究所のこれまでの活動に評価を頂きました。これに対して原澤英夫理事が次のようにコメントしました。

原澤：国際的にも、色々なデータは国環研オリジナルで結構出しています。しかし、データを発信するだけで精一杯なところがありまして、それを使ってどうするかというのは、たぶん次の実践とか実証とか、そういうところの工夫が必要になってくると思います。

枝廣氏からは、よい研究があることに加えて、科学的な知見や提案をもってどのように社会を変える力にしていけるか、研究者の役割について問題提起がありました。

枝廣氏：科学から政策につなげるというところにすごく大きなギャップがある気がしています。早く手を打った方がいいとわかっているのに政策にならないというギャップ。もう一つは、政策になってもそれがなかなか実践されていないというところ。科学から政策、政策から実践という間に二つの“死の谷”があるのではないかと。それをどう乗り越えるかということも、おそらく国環研の研究課題ではないかと思っています。

枝廣氏は有機農業を例に出し、海外では広まっているのに対して、日本では個々の取り組みはあるものの、実践が進まない現状を指摘。国が働きかけをしても、法律（有機農業の推進に関する法律）を作っても、実践レベルではなかなか普及しないという、その原因がどこにあるのか疑問を呈していました。

小杉氏は、医療分野でも基礎研究から実用化までに遅れが生じる日本の現状を紹介したうえで、国環研の基礎的な研究が社会に反映されるよう、すなわち先述の“死の谷”をなくす努力をするためにはどうしたらいいのか、今回の対話会合をその第一歩として今後も引き続き取り組んでほしいと期待を寄せました。

7. おわりに

ステークホルダーの方々との対話によって、国環研が取り組むべき研究や果たすべき役割について、多くの示唆を得ることができました。

最後に、モデレーターの江守が会合を振り返ってまとめました。

江守：社会の色々な価値とか政治的なポジションとか、そういうものから我々の研究が切り離されて、客観的に科学だけしていればいい、ということではなくなってきている。そのことは国環研の多くの研究者の中に考えとして認識されはじめているのではないかと思います。社会の価値と向き合う国環研、ということこれから考える活動を始めていきたいと思いました。

研究成果をもって、誰とどのように手を携え、社会をどう変えていこうとするのか。社会に開かれた研究活動を進めていくためには、様々な主体の声を聞き、社会が抱える課題を多角的にとらえ、それらを研究に反映させていく継続的な取り組みが重要です。対話オフィスが立ち上がったことを機に今後そうした活動を進めていくための、大事な一歩といえる対話会合になりました。

地球をめぐる温室効果ガス—どこでどれだけ減らせるか？—

三枝信子さん

地球環境研究センター 副センター長

地球環境研究センターニュース編集部



2009年1月に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」による観測で、全大気平均の二酸化炭素（CO₂）濃度は、2015年の終わり頃、月平均がとうとう400ppmを超え、また、一年に約2.5ppmというこれまでにない速さで増加し続けていることがわかってきました。

「地球をめぐる温室効果ガス—どこでどれだけ減らせるか？—」という問いに、“ここでこれだけ減らせます！”という具体的な答は、今はありません。この答は、今から私たちが世界の人たちと明確な計画をもち、温室効果ガス削減策を忠実に実行し、そして地球規模でその削減策が有効に機能しているかを検証し、さらに必要に応じて計画を改定していく、この新しいサイクルで向かっていくことができるものと考えます。私たちは今、地球規模で新しい計画をもつことになりました。そして新しいサイクルを回し始めたところです。

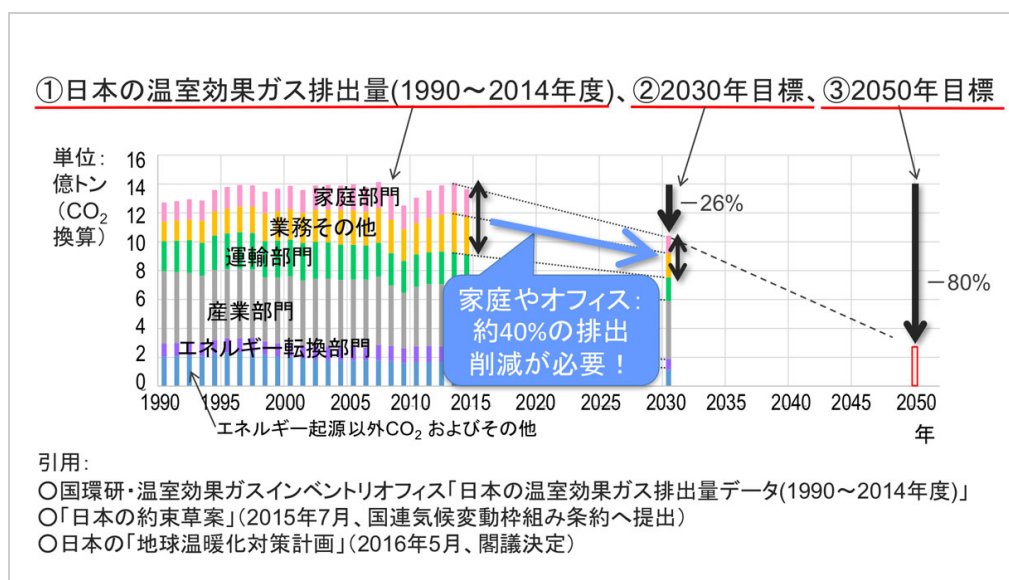
1. パリ協定とは？

2015年11月から12月にかけて国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）がパリで開催され、2020年以降の温暖化対策の国際的枠組みである「パリ協定」（ウェブサイト ココが知りたいパリ協定 <http://www.cger.nies.go.jp/ja/cop21/> を参照）が採択されました。「パリ協定」の重要な点は、途上国を含むすべての国の参加であること、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2°C未満に抑えるという明確な目標が設定されたことです。2°C未満に抑えるために、今世紀後半に温室効果ガスの実質的な排出量をゼロにまでもっていく必要があります。

2. 実質的な排出量ゼロとは？

実質的な排出量ゼロとはどういうことか？ どうやってそこまでもっていくのか？ ということについて、日本の計画と世界の取り組みをいくつか紹介したいと思います。

COP21に先立ち、2015年7月、日本は2030年度までに2013年度に比べて人為的な温室効果ガス排出量を26%削減するという約束草案を国連に提出しました。



この図を見ると、大きな課題は、現在も増加を続けている家庭やオフィスからの排出量を2030年度までの約15年間で、およそ40%削減しなくてはならないということです（注：2030年度時点での発電のためのエネルギー源として、約束草案に記載された割合（再生可能エネルギー約2割、原子力約2割、石炭・石油・天然ガス約6割）に基づいた場合）。

もし2030年度に26%削減を実現できたとしても、さらに難しい課題がその次にあります。2050年までに80%削減、今世紀後半に実質的な排出量ゼロ、という課題を達成するためには、さまざまな技術改良や技術開発、インフラの改革を進めていかなければならないと思います。世界で実施されている取り組みのうち、CO₂回収貯留（Carbon dioxide capture and storage: CCS）について説明します。CCSは発電所や工場などの施設から排出されるCO₂を回収して、地中などに貯留する技術です。世界で15件ほど（2015年時点）の大規模なCCSプロジェクトの運転が始まっています。日本では2007年に法整備が整ったため、海底下貯留が実施可能となりました。しかし、私たちが目指すべきは、できるだけ化石燃料を使わなくてもいい社会をつくることです。石油・天然ガスの掘削や火力発電所でCO₂が出てくるというのを前提にした技術であるCCSは、そこに至るまでに必要とされる技術というべきかと思っています。

大気中に存在するCO₂を積極的に除去する技術についても研究が進んでいます。たとえば、植物起源のエネルギー燃焼とCCSとの組み合わせ、また、大規模植林を行い、定期的に木材資源を回収し、木造建築物のなかにCO₂を長期間貯蔵する方法、直接化学的に回収する方法などがあります。最近の研究で、バイオマスエネルギーとCCSの組み合わせや、大規模植林を地球規模で行ったらどのくらいCO₂を削減できるかという検討が少しずつ進んでいます。ただその見積もりは大きな幅をもっているようです。しかしながら実質的な排出量ゼロという目標は極めて厳しいもので、さまざまな技術を検討し、これからの可能性を探っていくことが重要だと思います。

現在、大気中のCO₂濃度がかなりのスピードで上がっているため、地球の表面の約7割を占める海は、CO₂を正味で吸収しています。陸上植生も大気中のCO₂濃度の上昇により光合成の効率が上がる効果もあり、過去に比べればCO₂の吸収が増えています。このように、海と陸域の自然吸収は現在やや増加していますが、これは、一時的なものであると予想されます。私たちの努力がうまくいって将来大気中のCO₂濃度が安定に向かえば、自然吸収量の増加は収まってくると思われます。

人為的排出量を削減していく過程で、さまざまな問題が想定できます。たとえば、これから「パリ協定」にしたがって世界各国は人為的な排出量の削減について報告を出すことになっています。その報告の精度は国によってばらつきがあるでしょう。ですから、何らかの方法で削減量を検証する必要があります。また、大規模な植林やバイオ燃料作物をたくさん栽培して吸収源を強化しても、突発的な森林火災や、将来の気候変化で雨が少なくなり干ばつを起こす可能性のある地域では、せっかく植えた植物が大量に枯れてしまい、大規模な排出源を作ってしまうこともあるわけです。永久凍土が予想より早く融けて、地中に埋まっていた温室効果ガスが想定していた以上にたくさん放出されるということも十分に考えられます。海についても、海流の循環が変わることで、現在の自然吸収の速度が弱まること

もあり得ます。こうしたことは自然界では十分に起こる可能性があると考えておく必要があるかと思ひます。このような観点からも、将来にわたって地球全体の温室効果ガスの吸収量・排出量を監視することが必要です。

3. 地球全体の吸収量・排出量を求める –空から地表から、吸収・排出源の変化を検出–

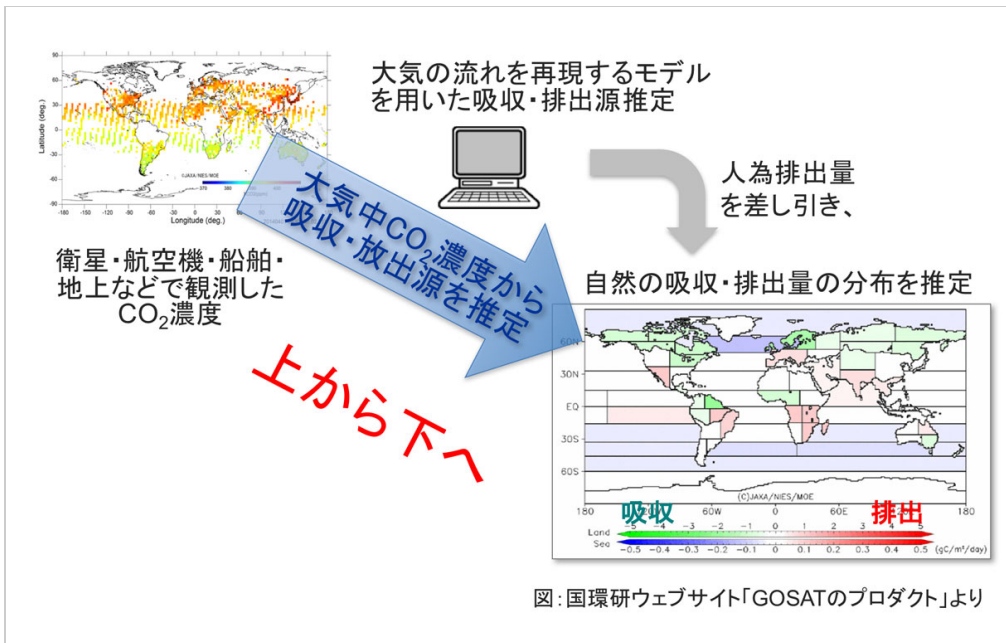
(1) ボトムアップ的アプローチとトップダウン的アプローチ

地球環境研究センターでは、地球全体の温室効果ガスの吸収量・排出量を観測データから求める研究を実施しています。ここでは2つの異なる方法を紹介したいと思います。

一つは、ボトムアップ的アプローチです。これは、現場の観測データを積み上げて広域化し、そこから地球全体の自然吸収量・排出量を求める方法です。陸域であれば、世界各地の森林・草原・農耕地などに気象観測用のタワーを建て、微気象学的方法により風や濃度を詳細に測ることにより、30分ごとにCO₂吸収量・排出量を測定しています。このような陸域の観測点は、現在世界に500以上あり、ネットワークを作ってデータを流通させ、そのデータは吸排出量を計算する数値モデルの改良などに利用されています。アジアでも100を超える観測点があります。地球環境研究センターはアジアの事務局をつとめており、観測の精度を上げるために、毎年技術者を養成するトレーニングコースを開催したり、研究発表する場を作ったり、データベースを構築して、人材育成と情報の共有に努めたりしています。地球環境研究センターのなかで海での観測をするグループは、太平洋やオセアニアを行き交う大型の貨物船にさまざまな実験機器を積み込んで、海と大気の間で交換される温室効果ガスを正確に求める研究をしています。こうしたたくさんの現場観測データと、衛星画像、モデルなどを用いて、地域スケール、地球スケールの吸収量・排出量を評価していくのが、ボトムアップ的アプローチです。



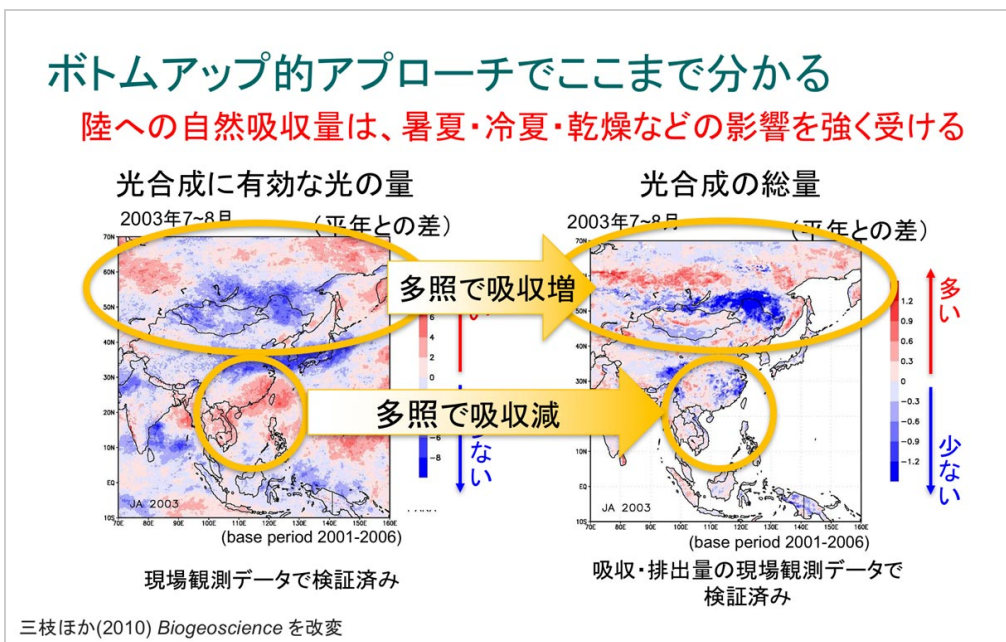
もう一つはトップダウン的アプローチです。これは人工衛星や航空機、あるいは地上の観測点で地球上の大気中CO₂濃度を測定し、そのデータから、大気の流れを再現する数値モデルを用いて、地球表面のどこでどれだけ吸収・排出があったかを逆算して推定する方法です。この方法では自然と人為起源の吸収量・排出量の分離ができませんので、人為起源の排出量は各国のエネルギー消費などの統計データから求めて、大気の流れを再現する数値モデルを用いた推定値から差し引き、自然の吸収量・排出量の分布を推定しています。これでボトムアップ的アプローチと一対一の比較ができるようになります。しかし、トップダウン的アプローチだけでは具体的な吸排出減を特定できる詳細な分布を導くことはできません。現時点では世界を64の領域に分けた計算であれば可能ですが、あまり細かい空間分解能で結果を出すことができません。ですから、モデル開発チームは、大陸スケール、国スケールの自然と人為起源の吸収量・排出量の推定ができるよう努力しています。



(2) ボトムアップ的アプローチとトップダウン的アプローチからここまでわかる

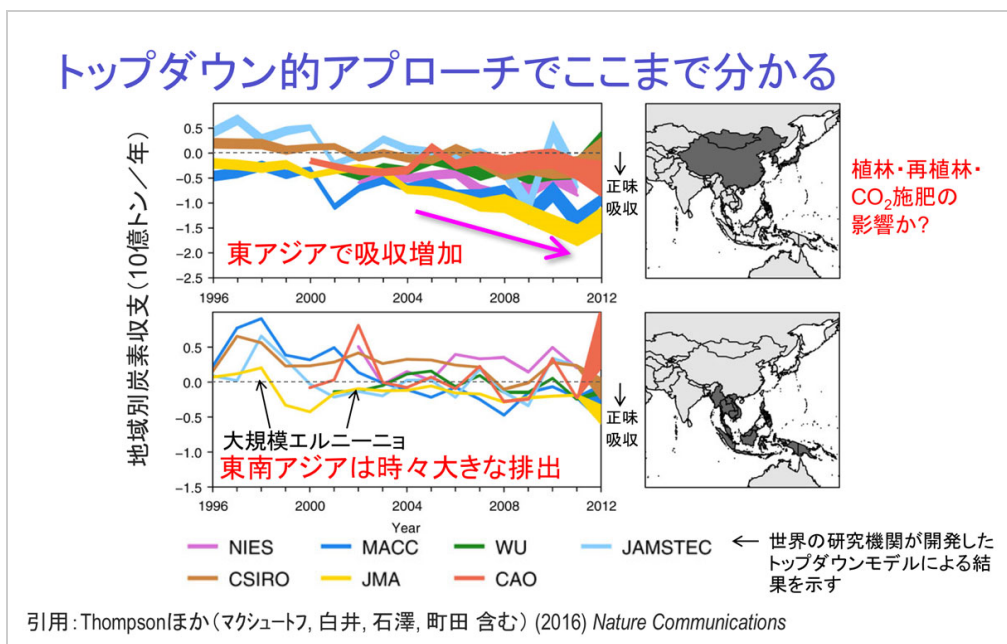
ボトムアップ的アプローチ、トップダウン的アプローチによって、地球上の温室効果ガスの動きがどこまでわかるようになったのかを説明します。

まずボトムアップ的アプローチで求めたものを紹介します。陸上における自然吸収量は毎年どこでも同じというわけではありません。猛暑、冷夏、雨の量など、さまざまな気象要素の影響を受けます。たとえば、日本より高緯度の涼しい気候帯では、平年より光の量が多かった夏に光合成の総量も増え、光の量が少なかった夏には光合成の総量も減るという変動があります。ところが、緯度の低い気温の高い地域では、光の量が平年より多い夏、天気がよかった夏にかえって光合成の総量が少ないという結果が出ています。これは、夏に雨が少なく天気がよかったので乾燥ストレスが強く、光合成が減ってしまったためです。このように年によりまた場所によって変化する気象要素の影響を強く受けるのが陸域の特徴で、こうしたことが、ボトムアップ的アプローチによって、以前に比べて時間的にも空間的にもきめ細かく把握できるようになりました。また、世界の海洋について、国際的に構築が進められているデータベースに基づいて海全体の自然吸収量を積算したところ、2000年を過ぎてから海全体の自然吸収量が増えていることがわかりました。これは地球全体で大気中のCO₂濃度の上昇が進んでいるため、海が大気からCO₂を吸収しやすくなっているためというのが、大きな理由の一つです。ボトムアップ的アプローチからここまでわかるようになりました。



トップダウン的アプローチではどのようなことがわかるようになったかという一例を紹介します。全球の陸域の吸収

量は大きな年々変動しながら、海と同じように2000年代半ば以降正味の吸収が増えているという結果が得られています (Le Quéré et al., 2015)。大気中のCO₂濃度が増えているので、光合成の効率が上がっていること(施肥効果)が一つの原因ですが、逆にときどき吸収量がほとんどゼロに近いところまで減ってしまうことがあります。これは1998年、2003年といった地球規模で大規模なエルニーニョが発生した年と一致しています。では、エルニーニョの年に何が起きているのでしょうか？2015年にも強いエルニーニョが発生しました。その結果、東南アジアの熱帯雨林地帯、とくにインドネシアなどで森林火災が多発し、同年中に日本の年間の人為排出量を上回るような膨大なCO₂が大気中に排出されたと言われていました。私たちが一所懸命人為起源の排出量を削減しようとしているのに、それを大きく上回るような量が森林火災で排出されてしまうとがっかりさせられますが、地球の自然の力は大きく、私たちの予想できない変化を起こすこともあるということです。私たちは、こうした変化をできるだけ早く察知して、それに対応できる幅を広げることが重要だと思います。トップダウン的アプローチでは、世界の主要な機関で開発された複数のモデルの結果を統合的に解析することで、モデル由来の誤差の影響を抑える努力がなされています。最近の成果によると、東アジアでは植林・再植林などの影響で、CO₂の吸収量が増加しているらしいことがわかるなど、地域別の吸収量・排出量分布がある程度まで推定できるようになりました (Thompson et al., 2016)。今後さらに時間的にも空間的にもきめ細かな吸収量・排出量分布の推定ができるようになるだろうと考えています。



4. 今後の展望と課題

「パリ協定」が採択され、今世紀後半に温室効果ガスの実質的な排出量をゼロにまでもっていくという明確な目標を全世界の人々が共有することになりました。その目標を達成するために、地球規模のさまざまな観測を通して、国別の排出量の検証を進めるとともに、私たちが予想しない自然の吸収量・排出量の変化を早く検出し、気候を安定化できる社会をつくることに貢献していきたいと思っています。

＊国立環境研究所公開シンポジウム2016「守るべき未来と『環境』の今～地球・生物・循環・安全・社会の半歩先を語ろう～」(2016年6月24日)より

引用文献

- Saigusa et al. (2010) Impact of meteorological anomalies in the 2003 summer on Gross Primary Productivity in East Asia. *Biogeosciences*, 7, 641-655.
- Le Quéré et al. (2015) Global Carbon Budget 2015. *Earth System Science Data*, DOI:10.5194/essd-7-349-2015.
- Thompson et al. (2016) Top-down assessment of the Asian carbon budget since the mid 1990s. *Nature Communications*, 7, 10724, doi:10.1038/ncomms10724.

地球温暖化研究棟に新たな太陽光パネルが設置されました

—建物修繕による防水工事とともに—

地球環境研究センター 主幹 井桁正昭

ここ国立環境研究所地球環境研究センターがある地球温暖化研究棟（4,900m²、3階建て、RC構造）は平成13年3月に竣工されました。当時は、当研究所が環境省の附属等機関から独立行政法人となる大きな転換期でした。その新たな出発と同時にできたこの建物は、国土交通省官庁営繕部で推進する「環境負荷低減に配慮した官庁施設」として地球環境配慮型設計に基づいて建設され、様々な先端技術が盛り込まれております。たとえば、自然の光や風を最大限活用する機能として、窓面等建物開口部においては、一定の温度になるとガラスが白濁し、夏季の強い日射を遮断する白濁ガラスや、複層ガラスの内側に特殊な金属膜を設けたLow-e複層ガラスの導入、自然の風を取り込み、廊下の換気穴などを通じて空気を流し、最後は屋上の排煙窓から排出する屋内通風、ベランダには直射日射を遮断するルーバー型庇の設置、太陽光高反射塗料を使用した外壁等、光と風と熱を制御する様々な地球環境保全手法を擁しています。

この建物を利用して、環境省地球環境研究推進費の「環境低減型オフィスビルにおける地球・地域環境負荷低減効果の検証」が採択され、共同研究プロジェクトとして3カ年間実施されました。

<https://www.env.go.jp/earth/suishinhi/wise/j/J03B5600.htm>

竣工当時、建物の屋上には、熱収支の改善のための屋上緑化と太陽光発電システムがありましたが、外来の樹木等が侵入して屋上植栽部に根が深く張られてしまい、棟全体の屋根としての屋上防水に支障が生じるおそれも出てきたことから、屋上に設置されていた屋上緑化と効率が悪くなった太陽発電システムを取り除き、防水工事を施した後、新たな太陽光パネルを設置いたしました。



写真1 今回設置した太陽光パネル。モジュールの形が四角くなっています。以前のモジュールは円形でした



写真2 屋上緑化していた部分（写真左側）にも太陽光パネルを設置しました

以前の太陽光パネルは1枚当たり出力50w、それが180枚あり、最大9kwの発電が可能でしたが、今回の設置では1枚当たり出力265wのパネルを以前の1.4倍の246枚設置することにより、約7.2倍の最大65Kw以上の出力を得ることが可能となりました。設置面積の拡大と技術開発による製品の変換効率の向上に伴い、太陽光発電システムで発電された電力は、この地球温暖化研究棟の各種電気設備に利用され、再生可能エネルギーとして大いに貢献しています。

当時はまだ普及していなかった太陽光発電をはじめとした再生可能エネルギー施設は、今では家庭や企業、公共施設や大小規模施設等、生活の様々な場面で見かけるようになりました。それら設置の促進や拡充を図るため、国や地方公共団体からの補助金や助成金制度も充実してきており、日本では太陽光パネル設置は当たり前になりつつありますが、設置された後の当該施設の維持管理に伴う費用負担が問題だと考えます。この度は建物改修の一環で太陽光発電システムも改修することができましたが、設置するのと同様、施設を維持、管理し続けること、また施設とともに環境配慮に対する意識を継続することは、大変難しいことであることがわかりました。現実的には直面する家計や設備投資など維持管理に関する費用捻出が一番の問題になっているのではないかと思います、それにより環境配慮に対する意識を断念せざるを得ないことになるのではないかと懸念しております。我々はずい、新しいもの目を向けがちです。研究とは少々離れますが、世間一般において環境に配慮する取り組みを陳腐化させず、人々に力強く意識してもらい、持続可能な社会を実現するための行動を継続してもらうための方策もまた肝要なのではないか思います。

【最近の研究成果】

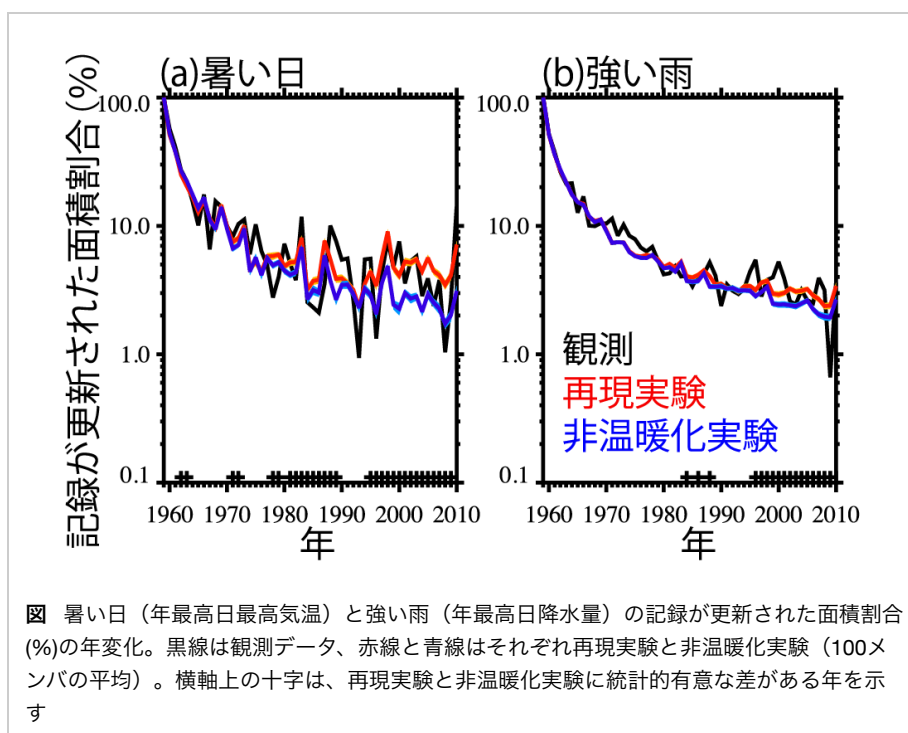
暑い日と強い雨の記録更新に対する人間活動の寄与を推定

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 塩竈秀夫

毎年、世界のどこかで観測記録を更新する猛暑、豪雨等の極端な気象現象が発生している。我々は、人間活動の影響による気候変動として、暑い日（年最高日最高気温）と強い雨（年最高日降水量）の記録が更新される確率が変化しているのかどうかを調べた。

1951–2010年の観測された海面水温と海氷、温室効果ガス濃度増加等を大気気候モデルに与え、過去の気候変動の再現実験を100回（100メンバ）計算した。さらに、海面水温から長期温暖化成分を除き、温室効果ガス濃度等の外部強制因子を固定した非温暖化実験も100メンバ実行した^[1]。

両実験と観測データ^[2]において、「世界で観測データが十分にある地域のうち記録が更新されたのは何%か」の時間変化を比較した（図）。解析の始点である1959年においては、全てが新記録になる。その後、データが蓄積されるほど前年までの全データを上回る新記録は発生しにくくなるので、時間の経過とともに面積割合は低下していく。再現実験は、観測された面積割合の時間変化をよく現している。一方、非温暖化実験では、記録更新面積の低下速度が再現実験より速い。1990年代半ば以降は、連続して再現実験と非温暖化実験に統計的有意な差が生じている。これらの結果から、人間活動によって暑い日と強い雨の記録が更新される可能性が上がっていたと評価された。



脚注

1. この実験データは、Database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF) (<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/>)として公表している。
2. Donat, M. G., and co-authors, 2013: Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 2098–2118 (<http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadex2/>)

Attributing Historical Changes in Probabilities of Record-Breaking Daily Temperature and Precipitation Extreme Events

著者 : Shiogama H., Y. Imada, M. Mori, R. Mizuta, D. Stone, K. Yoshida, O. Arakawa, M. Ikeda, C. Takahashi, M. Arai, M. Ishii, M. Watanabe and M. Kimoto

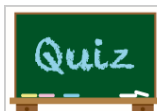
掲載誌 : SOLA, 2016, 12, 225–231, doi:10.2151/sola.2016-045.

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

31 世界の温室効果ガス排出量

－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



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



[一覧ページへ▶](#)

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92

次の文章の【A】～【C】の国名の組み合わせとして適切なものは次のうちどれか？

中級レベル

正答率 78%

世界のエネルギー起源CO₂排出量は、2007年に【A】が【B】を抜き、【A】が世界第1位の排出国、【B】が世界第2位の排出国となった。また、2009年に【C】がロシアを抜き、世界第3位の排出国となった。

- ① 【A】 アメリカ 【B】 中国 【C】 日本
- ② 【A】 アメリカ 【B】 中国 【C】 インド
- ③ 【A】 中国 【B】 アメリカ 【C】 日本
- ④ 【A】 中国 【B】 アメリカ 【C】 インド

ヒント

【A】と【C】は人口が多く、近年、経済成長が著しい新興国です。

答えと解説

答え：④

国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）が、世界各国のエネルギー起源CO₂排出量を取りまとめ、発表しています。IEAの発表によると、2006年まで排出量1位の国はアメリカでしたが、2007年に中国がアメリカを抜き、世界1位の排出国となりました。その後、中国とアメリカの排出量の差は拡大しています。また、2009年にはインドがロシアを抜き、世界第3位の排出国となりました。2011年現在、国別のエネルギー起源CO₂排出量は中国、アメリカ、インド、ロシア、日本の順となっています。

問93

次の文章の【A】、【B】にそれぞれ当てはまる数値と語句の組み合わせとして、最も適切なものはどれか？

中級レベル

正答率 68%

IPCC第5次評価報告書によると、世界の人為的活動による温室効果ガス排出量は、2000年から2010年までは年率約【A】%で増加し、とりわけ【B】による排出が増えている。

- ① 【A】 10 【B】 CH₄とN₂O
- ② 【A】 2 【B】 化石燃料・工業プロセス
- ③ 【A】 0.2 【B】 森林減少・土地利用変化
- ④ 【A】 0.02 【B】 Fガス類

ヒント

エネルギー需要の増大によるエネルギー起源CO₂排出量の増加が影響を与えています。

答えと解説

答え：②

IPCC第5次評価報告書によると、世界の人為的活動による温室効果ガス排出量は、2000年から2010年までは年率約2.2%で増加し、とりわけ化石燃料・工業プロセスによる排出が増えています。

なお、化石燃料・工業プロセスによるCO₂排出量は世界の温室効果ガス排出量の65%を占めています。

*正答率は第7回3R・低炭素社会検定受験者のものです

問94

IPCC第5次評価報告書では、地球温暖化の将来予測シナリオが発表された。そこで示された、気温上昇を2.0°C未満（1850～1900年基準）に抑える*ために必要な取り組みに関する記述として、最も適切なものはどれか？

上級レベル

正答率 20%

*高い蓋然性で21世紀中の気温上昇を2.0°C未満（1850～1900年基準）に抑える場合

- ① 2100年における大気中の温室効果ガス濃度をCO₂換算で550ppm程度に抑える必要がある
- ② 2050年の温室効果ガス排出量を2010年に比べ、約2～3割削減する必要がある
- ③ 2050年で低炭素エネルギーの割合を30%程度にする必要がある
- ④ 2100年において温室効果ガス排出量をマイナスにすることが求められる可能性がある

ヒント

2.0°C未満に抑えるには、長期的にかなり大胆な削減が必要になってきます。

答えと解説

答え：④

21世紀中の気温上昇を高い蓋然性で2.0°C未満（1850～1900年基準）に抑えるためには、2100年時点の温

室効果ガス濃度をCO₂換算で450ppm程度以下にしなければならず、これは2050年排出量では、2010年比41～72%削減、2100年排出量では78～118%削減に相当します。なお、118%削減とは、排出量を100%削減した上に、さらに18%に当たる量を吸収すること（排出量をマイナスにすること）を意味し、CCS付きバイオマスエネルギーの利用や森林等吸収源対策が挙げられます。

* 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

世界の温室効果ガス排出量については、「地球をめぐる温室効果ガス—どこでどれだけ減らせるか?—」でも紹介しています。