

nature café 科学の夕べ 第2回



「グローバルな水循環と世界の水資源 ～科学と技術と社会～」 レポート

主催：NPG ネイチャー アジア・パシフィック
共催：ブリティッシュ・カウンシル
協賛：伊藤忠商事株式会社
協力：サイエンス映像学会

水文学研究者と水問題に詳しい ジャーナリストが世界の水循環を語る

第2回 Nature Café は、「グローバルな水循環と世界の水資源 ～科学と技術と社会～」をテーマに、2008年11月8日（土）、ブリティッシュ・カウンシル（東京）にて開催されました。

今回は、日本を代表する水文学研究者である、東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門教授の沖大幹氏、世界の水供給や保健衛生の国際協力などを取材してきた科学・環境ジャーナリストの佐藤年緒氏、そして Nature の気象科学エディター、Michael White 氏の3氏をパネリストとして迎えました。司会進行は前回に引き続き、サイエンスライターで早稲田大学大学院政治経済学術院客員教授の青山聖子氏です。

最初に、「水文学 (hydrology)」「水ストレス」「IPCC (気候変動に関する政府間パネル)」「国連ミレニアム開発目標」という水問題に関する4つのキーワードについて、パネリストが解説した後、各パネリストが10分間のプレゼンテーションを行いました。

沖氏は、波長2センチメートルのマイクロ波を発信する衛星搭載降雨レーダーを使い、地表面からの反射データより世界の土壤水分を測る自身の研究を紹介し、同じ年の同じ地域でも2月と8月では土壤水分の分布が変わるようすを紹介しました。また、「世界人口の5分の1が、1人当たり1日20リットルの水を居住地から1キロメートル以内で確保できず、水汲みに時間を費やすた

め、経済的にも大きな損失があります。さらに不衛生な水によって、年間200万人の乳幼児が死亡しています」と話しました。さらに、IPCCやほかのデータから、20世紀には起こらなかったような豪雨が増えるという予測に触れ、「ただ、工場の稼働や交通量の増減に起因して降雨量に週周期が現れるなど、雨の変化はすべて地球温暖化によるものとは限らない」と結びました。

White氏は、グローバルな水問題は、気体や液体、固体といったあらゆる水の状態が関係し、植物や土壌、人間の活動の影響が大きいため複雑であると述べました。また、IPCCのデータから今後、北極や南極が湿潤に傾いたり、南半球で雨が増えたりするなど、地域差が大きくなることを解説しました。「水を使う人間活動のほうが気候変動よりも影響が大きく、農業生産などにおける水の利用やそのマネジメントが重要になるでしょう」と語りました。

佐藤氏は、今年の夏も日本各地で発生した予測困難な集中豪雨、いわゆる「ゲリラ豪雨」についていくつかのケースを紹介しました。いずれも都市気象の局地性を反映しており、近くに高層ビルが建っているなどの背景があると指摘しました。また、下水道作業員の死亡事故が起きたところも、昔は河川であったことも考慮すると、歴史的にも水に弱い土地であるとも述べました。

さらに佐藤氏は、日本の山岳地域、例えば富山県での積雪の減少のデータから、東京への水供給が必要期に減る可能性があることを説明しました。そして水問題の課題と目標として、見えなくなっている水の循環と生態系を足元から見つめ、森、川、都市（里）、

海のつながりを回復すること、安全でおいしい食の自給とエネルギーの自立をめざす必要性を指摘しました。最後に、途上国で女性の労働改善によるエンパワーメントなどを挙げ、「科学者、政治家、市民が力を合わせて、国内と国際社会での持続可能な未来をめざすべき」と締めくくりました。

世界と日本の水の問題に関して

活発な質疑応答を展開

続いて、パネリストと参加者との間でディスカッションが行われました。ここでは、主な質疑応答をご紹介します。

Q 発展途上国の水問題の現状は？ 日本ができることは何でしょうか。

A 沖氏:安全な飲み水がないことがいちばんの問題です。これは、乾燥地で物理的に水がないというより、水資源を確保して供給する社会インフラがないことが大きいのです。水質悪化も下水道の未整備の影響があります。ヒ素汚染に関しては技術的には解決可能と聞いていますが、ヒ素がない水とヒ素が多い分離物ができたとき、分離物の高濃度のヒ素をどう処理するか、その経済負担が問題になります。発展途上国の水問題は経済問題と密接にかかわっています。

A 佐藤氏:ヒ素の除去などには世界の NGO がそれぞれ個別にかかわっていますが、例えば、ヒ素中毒になった人を医療がバックアップするというような別分野からの連動や、NGO と国との間に協力がなく、援助が「点」になっています。NGO どうし、あるいは NGO と国との連携の取り組みが大事だと思います。

Q 世界各地の局地的な豪雨や水害による水のグローバルな環境への影響は？ 豪雨があると地球温暖化の影響と報道されているように思われますが、地球温暖化は豪雨や水害と関係していますか。

A White 氏:地球温暖化の水問題への影響については判断が困難です。温度が上がると、海からの水の蒸発が増えます。そして、二酸化炭素の排出によって雲ができやすくなり、雨が降ります。二酸化炭素を雲が吸収し、太陽光が反射します。地球温暖化と豪雨や水害は相互作用がありますが、今後何が起きるかははっきりとはいえません。

A 沖氏:気温が上がると大気中に含まれる水蒸気が増えるため、10分間で30～40ミリメートルというような、短時間でのゲリラ豪雨が夏に全国で増えると予想されています。1日中降る、大河川に洪水をもたらすような雨は、日本では台風で起こります。地球温暖化によって台風は大型になり、風も雨も強くなるおそれがあるという研究結果がありますが、国際的には合議できていません。マスメディアもゲリラ豪雨は温暖化の影響とは報道していませんし、専門家もそうはっていないと思います。聞き流しているとそう聞こえるかもしれませんが、エンターテインメントとぎりぎりで報道がなされている部分もありますし。

A フロアの国立環境研究所地球環境研究センター・温暖化リスク評価研究室長の江守正多氏:ある年にある場所でゲリラ豪雨があり、マスメディアに「地球温暖化の影響か」と聞かれたら、「科学的にはわかりません」と答えます。ひとつひとつのイベントは偶然にも起こるのでわからないのです。「既に地球温暖化による影響である確率は高くなっているかもしれないし、これからもその確率は高くなります」とは話しますが。

水はエネルギーや食料の問題とも

深く関連している

5分間の休憩の後も、水の観測方法や海水の淡水化技術、またそれらの技術の社会への応用に関する質問が続きました。

Q 地球観測の技術はどこまで進んでいますか。また、地球温暖化のデータ分析にどの程度貢献していますか。

A 沖氏:JAXA（宇宙航空研究開発機構）とNASA（米国立航空宇宙局）が、1997年に熱帯降雨観測衛星の試験衛星1基を共同で打ち上げており、この衛星で降雨量を直接測れるようになりました。地上約400キロメートル上から波長約2センチメートルの電波を出し、位相操作で電氣的にビームを振り、雨粒からの反射を調べます。ただ、まだ観測頻度が低く、また、雨にも空間的ばらつきや時間的な変化が大きく、全世界の測定はできません。一方、雨を直接測るではありませんが、2014年をめぐりに、海上での雨粒からのマイクロ波の放射と吸収、散乱を測定することで、雨のグローバルな分布を推定する計画が国際共同研究で進んでいます。降雨量は年変動が大きく、気候モデルによるシミュレーションにも大きな差があります。雲の画像からの降雨量を予測する「ひまわり」のような気象観測衛星が使われるようになって30年、熱帯降雨観測衛星が10年で、まだまだ自然変動なのか地球温暖化の影響なのかはわかりません。また、地上の雨量計による観測ネットワークは先進国に多く、発展途上国での気象観測データは少ないため、宇宙からの観測によって補っています。

A 佐藤氏:さまざまな観測衛星のデータは蓄積されていますが、利用があまり進んでいません。日本ではリモートセンシング（人工衛星などによる遠隔からの観測）の研究者には喜ばれていますが、発展途上国では台風の進路予測や警戒警報などにも用いられていない現状です。データの利用方法やその制度づくりが新しい課題になっており、この部分にも日本の貢献が必要です。

Q ゲリラ豪雨の測定法はありますか。

A 沖氏:ゲリラ豪雨は、隣の雨量計だと観測できないくらいの程度の範囲で降ります。地上のレーダーのデータからは推計できますが、リモートセンシングのデータは、雨と雪が交じる、豪雨など雨のタイプなどで推計値が変わるため、雨量計に合わせて補正します。現在、日本では地域気象観測システム「アメダス」（Automated Meteorological Data Acquisition

System) を約 1300 地点で運用していますが、30 年前は約 200 地点だけでした。そのため、当時のデータには取りこぼしがあったかもしれません。ただし、「アメダス」が整備されてゲリラ豪雨の観測が増えたということでもありません。気象庁がもつ東京・大手町の明治時代からの時間雨量のデータによると、1960 年代には、全球の年降水量が多かったのと同様に、東京でもいわゆる「ゲリラ豪雨」が増えていました。豪雨に対する地球温暖化の影響は、21 世紀後半からみえてくると思います。

Q 地下水の測定は可能でしょうか。

A 沖氏：地下水そのものは電波が届かないので、リモートセンシングは無理ですが、2002 年に米国とドイツによって重力場を測定するために 2 つの衛星からなる「GRACE」衛星ミッションが開始され、陸地の水を推計しています。重力場は水の移動で変化し、重力場が強いと 2 つの衛星の間が開くため、その距離を精密に測定すると、陸地の地下水や雪、土壌水分など陸水全体の増減が推測できます。ただ、まだ 500 キロメートル四方のスケールでデータが粗いのですが、NASA では地下水、土壌、川や湖、貯水池をデータ上で分離する研究が進んでいます。今後の技術の進歩によって、地下水についてわかるようになるかもしれません。

A White 氏：「GRACE」では水の表層温度なども測定できます。ただし、地下水の動きは、ローカルレベルでは井戸水の高さの変化でみるほうが正確です。井戸、地上のレーダー、衛星のデータを組み合わせてみるべきでしょう。

Q バイオマスの利用が増えると水や肥料の消費が増え、水の汚染も進むといわれていますが、その点はいかがでしょう。

A 佐藤氏：エネルギー問題と水問題は表裏一体で、エネルギーを作るときに水を使うし、発電後の排熱は海に流します。また食料も日本では世界から輸入し、それが糞尿になり、汚泥として処理されます。そして汚泥が、強い雨のとき、下水処理できずにそのまま東京湾に流れると、窒素とリンによって富栄養化が進みます。東京都の下水道では窒素をなくすためにバクテリアなどに食べさせており、そこに酸素を送るだけで東京の電力消費量の全体の 1 パーセントを使っています。水を考えるときにエコロジー、生態系を考え直して、トータルでエネルギーを減らすにはどうするかを考えたいですね。

A 沖氏：バイオ燃料用のトウモロコシ栽培は肥料によるメキシコ湾の汚染を加速するとして、米国で研究されています。マレーシアのパームオイルは食用のものをディーゼルガソリンにするので、今までと変わらないでしょう。ブラジルでは、バイオエタノールの生産のために草原をサトウキビ畑に変えています。肥料とか水質はあまり懸念されていないようです。

Q 東京で起こるゲリラ豪雨は熱帯のスコールと同じものでしょうか。そうだとすれば、熱帯の都市と同様の対策を取ればいいのではないのでしょうか。

A 沖氏：自然現象が同じといえるかどうかはむずかしいところです。関東より南の地域の 8 月の短時間豪雨に関しては、熱帯とあまり変わりません。ただ、熱帯直下のスコールでは寒気が関係しませんが、日本の今年のゲリラ豪雨では寒気が入ることで気圧が不安定になっていました。緯度 20 度ほどのタイではチベットから寒気が入りますし、タイの雨がスコールだとすれば日本もスコールといえるかもしれません。日本は緯度からみれば乾燥地になりそうですが、アジアモンスーンがあるので雨が降ります。1 年間に 1600 ミリメートルの降雨量は世界の陸地平均の 2 倍で、同じ降雨量があるのはシアトルと熱帯くらいです。熱帯の都市では、豪雨ですぐに冠水が起きます。日本では鹿児島で 200 ミリメートルの雨が降っても土砂崩れや洪水は起こりにくいのですが、北海道で同様の雨が降るとこれまでそのような雨を経験していないので、起こり得ます。気温同様、降雨量も変化することで問題が起きるのです。

Q 今日の 3 人のお話では水と食料、エネルギーを一体で考えるというのが共通のキーワードだったように思います。持続可能な開発には、こういった科学技術が貢献し、どのようにマネジメントすればいいのでしょうか。

A White 氏：発展途上国では、先進国で可能な技術をそのままもっていくのではなく、地域社会において機能する、シンプルな技術にフォーカスするべきでしょう。また、水の供給などで NGO などが参加した後のフォローをどうするかが大事です。

A 佐藤氏：科学技術をどういう場面でどう適応するか、社会条件を専門家が考える必要があります。水の循環を技術者ひとりひとりが足元から考えることが大切です。また、地域の歴史をたどることで、水の流れや適切な活用方法がわかります。歴史や文化を学ぶことも重要です。

A 沖氏：確かに水とエネルギーと食料の問題は一体です。個々の技術としては、例えば、小水力発電という 1 メートルほどの水の落差でも発電できる技術、センサーで感知して作物に必要な量だけ水を入れる節水農業の技術、海水淡水化の技術などが注目されます。水が少なくてすむ遺伝子組み換え食品は食べる人の気持ち、生態系を守ることとの間での調整が必要です。マネジメントでは、水のモニタリングの情報共有が必要となるでしょう。地球温暖化、ダム建設、都市化などの局面で、あらかじめいろいろな代替案による影響をシミュレーションして想定されるメリット、デメリットに関する情報を共有し、選択肢を決めるのです。これは、日本や米国でできるようになってきていますが、発展途上国でも使えるようにすべきですね。一部の科学者の間では「水問題を解決するツールはそろっているのに、後は投資をするだけ」という声もありますが、まだまだ技術の発展も必要です。ローテク、古典的な技術も、最新技術でサポートされるとより信頼性が上がります。そこに夢をもちたいと考えています。 ■



Michael White

Associate Editor, *Nature*

The availability of fresh water to support human society and ecosystem function is strongly influenced by the distribution and subsequent transport of precipitation through ground or surface water and evaporation and transpiration. Central factors controlling the amount and timing of precipitation include the global water cycle, local weather events, and human influence on the climate system.

The Nature Café, held on 8 November 2008 at the British Council in Tokyo, Japan, explored these and other issues. During the informal presentation and discussion, the panelists and audience discussed a wide range of water-related topics. Several key themes emerged, which are discussed below and in the following sections of this document: the global and local aspects of water, the past and future changes in precipitation, the interaction between human society and water, and the role of technology in understanding and managing water problems.

Global and local aspects of water

Water and precipitation can be considered from both global and local points of view. Globally, it is correct to say that the tropics are wet, deserts are dry, and that many parts of the world experience seasonal switches between wet and dry. Yet the changes that are most important to human society occur at the local scale. For example, in Japan, the occurrence of guerilla rainfall may be as important as the long-term changes in mean rainfall. Similarly, the extent and timing of local drought is critical for many pastoral or agricultural societies. Thus when thinking about water availability and precipitation, it is important to understand the global patterns of mean precipitation, but it is equally crucial to measure and predict local phenomenon.

Past and future changes in precipitation

Water availability and precipitation, especially at the important local level, are challenging topics to understand and to measure or model with computer simulations. Unlike temperature, precipitation exists irregularly, both in space and time, and the formation of

clouds and precipitation is a complex physical process occurring through multiple pathways. As a result, the historical variability of precipitation and likely future changes are rather uncertain. Over the 20th century, depending on which dataset is used, different ideas of precipitation variability emerge. Similarly, the general circulation models, or GCMs, that are used to estimate future changes in precipitation, often do not agree at present. Likely changes will include increased precipitation in polar latitudes and an increase in extreme precipitation.

Human society and water

While it is true that future levels of precipitation and water availability due to climate change are less certain than estimates of temperature increase, human management of water resources can help with adaptation and mitigation, perhaps more so than in the case of temperature change. Some of the possible management changes include better management of seasonally available water, improvement in irrigation practices, and an increased focus on "green water", i.e. water within the soil and plant systems, as opposed to the increasingly scarce "blue water" available in lakes, rivers, and streams. Overall, the need to strengthen the ability of local institutions to manage and respond to water stress was identified as an important long-term goal.

Role of technology

The advent of advanced measuring tools, such as space- and ground-based radar remote sensing platforms capable of monitoring precipitation and surface water content, as well as state-of-the-art water cycle models developed in Japan (among other countries), is enhancing our ability to measure precipitation and water availability. But inevitably, remote sensing has technical problems and the panel emphasized the continued importance of simple technologies, such as rain gauges for measuring precipitation. The panel also stressed the need to understand individual socio-cultural environments when planning and implementing technological solutions to local water resource problems. ■