

世界の水需給逼迫状況に関する最新のアセスメントと将来展望

JST（理事長 沖村憲樹）は、現在および将来の世界の水資源需給の逼迫状況に関して最新のアセスメントを取りまとめるとともに、水問題解決のために、科学的知見をアクションへと移す必要性を、東京大学生産技術研究所、総合地球環境学研究所と共同で示しました。

本研究チームは、世界の陸域水循環量に関して、人間活動の影響も取り入れた最新の推定値に基づき、21世紀を通して世界の水需給がどのように推移するかについての最新の見通しを推定しました。また、世界の水需給の逼迫は遠い将来の問題ではなく、今そこにある問題であり、科学と社会が密なコミュニケーションを行い、現時点から対応することが必要だということも示しました。

近年、国際政治の場では世界的な水需給の逼迫が主要なテーマの一つとしてよくとりあげられていますが、これまで、ほとんどの情報は欧米の研究者・機関によるものでした。本論文が本研究チームから発表されることは、国際的な水問題に対する日本からの貢献およびリーダーシップの発揮として意義深いものです。

本成果は、JST戦略的創造研究推進事業チーム型研究（CREST）「水の循環系モデリングと利用システム」研究領域（研究総括：虫明功臣（福島大学 教授）の研究テーマ「人間活動を考慮した世界水循環水資源モデル」の研究代表者・沖大幹（東京大学生産技術研究所 助教授）と、総合地球環境学研究所プロジェクト「地球規模の水循環変動ならびに世界の水問題の実態と将来展望」の研究代表者・鼎信次郎（大学共同利用機関法人人間文化研究機構総合地球環境学研究所 助教授）によって得られたものです。

本成果は米国科学雑誌「Science」の淡水資源 Special Section の冒頭で地球上の水循環と淡水資源に関する全体像を示し、後に続く水系感染症、浄水技術、アフリカ等における降水・気温予測モデルを用いた水利用・水資源開発計画策定、海水淡水化など水に関わる現代的な諸問題を理解するための基礎的知識を提供するレビュー論文として、2006年8月25日（米国東部時間）に発表されます。

<研究の背景>

2002年のヨハネスブルグ・サミットや2003年のエビアンG8^{注1}会合を始めとする近年の国際会合において、世界の水資源不足に関する問題（世界の水危機：World Water Crisis）は主要なテーマの一つとして取り上げられてきました。しかしながら、水危機の世界的な様相や、その将来の変化などに関しての科学的知見は不足しています。水資源は非常に身近な資源であるにも関わらず、そもそも「水が資源とはどういう意味か？」というような基礎的な概念なども、適切に理解されているとはいえない状況です。

<本論文の概要>

まず、自然の水循環に関し、従来の推定値にJSTのCRESTの研究によって構築されたグローバルな地表面の水・エネルギー収支に関するGSWP2^{注2}データベース等を用いて、耕地など土地被覆別の蒸発等を新たに推定して加えた、人間活動を含めた地球上の水循環に関する定量的な様相（図1）を示しました。

さらに、水資源の空間不均一性を示す代表例として世界の地表面流出量（図2A）および河川流量の分布（図2B）を図示しました。これらに対し、人間社会がどの程度水を使っているかを、各国の水資源統計に基づき、グローバルな地理情報システムを用いて推定しました。その上で、この世界的な水利用分布と自然の水循環分布を比較し、水資源不足指標（水ストレス^{注3}指標）の世界的分布（図2C）を得ました。水資源不足指標は利用可能な水資源量（水資源賦存量ともいう）に対する水資源の使用割合を示し、0に近いほど水利用が相対的に少なく水需給が緩和している状態を、1に近いほど最大利用可能な水資源量をほぼ使い切って水需給が逼迫しており、高い水ストレス下にある状態を示します。0.4以上（図2C中、濃い赤）の地域は「高い水ストレス状態」と分類され、そうした地域の総人口が何億人かということが世界的な水不足の程度を示す一つの目安とされています。

さらに、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）のSRES^{注4}のA1, A2, B1シナリオに沿って、現在から21世紀後半にかけての世界の水需給の逼迫の推移を算定した結果を示しました（図3）。水不足の深刻さの程度は、高い水ストレス地域に住む人口によって表現されています。本推計には、人口の変化、経済の発展による水利用の変化、温暖化による河川流量の変化も考慮されており、SRESシナリオに沿って統一的に温暖化に伴う気候変化と社会変化を考慮した将来展望としては世界的にも長いものです。

本推計では、高い水ストレス状態にある人口は現在で20億人以上、21世紀後半には、シナリオにより異なるものの、およそ40億人以上となる見通しです。ただし、これは将来の「予測」と考えるべきでなく、もしこのまま社会を推移させるとしたら高い水ストレス下に置かれることになるこうした人口を少しでも減らすようにアクションをとる必要を社会に伝えるための「警鐘」と捉えるべきです。また、温暖

化問題のように将来懸念される変化への社会的適応が重要というのみならず、現在も水問題で困っている人が世界には多数存在し、それらに対する現在の対策が将来の変化に適応するためにも有効であるという点を本研究チームでは指摘しています。

また、極端な事象(数十年に一度の洪水や渇水)の変化や雪解け時期の変化などが現在のグローバルなアセスメント技術では十分に考慮できていないため、21世紀中盤から21世紀後半にかけて高い水ストレス下の人口が頭打ちになっている水需給の将来展望の解釈に関しては、必ずしもそのまま楽観的に受け入れるわけにはいきません。

<今後の展開>

個別には、人間活動を含めた形での世界の水循環の定量的な様相を示した図1は、水資源の循環状態を最新の情報に基づいて判りやすく示したもので他に類がなく、今後、世界各地の教科書などに転載、利用されることが期待されます。しかしながら、図1では、いったん取水された水がどのようにしてどの程度自然の水循環に戻っていくのかの見積もりがあいまいなままです。また、グローバルなスケールでの地下水の循環に関して明確な分離ができていません。また、窒素・磷・カリウムや土砂などが水循環と共にどの程度運ばれているのかを定量的に示すことは生態系への影響評価に不可欠ですがそうした質に関する推定もこれからの課題です。これらをグローバルに示す研究にも現在着手しており、今後の進展が期待されます。

一方、本研究も含めたこれまでの研究は、平均的な水資源量を評価の対象としてきました。たとえば、数十年に一度生じる渇水や洪水といった極端な事象や、雨季・乾季の存在などは考慮されていませんでした。ごく最近になってそうした極端現象に関する研究が進展しつつあり、洪水や渇水など水災害に関するより現実的な将来展望の結果はこれから出るものと考えられます。

最後に、これまで蓄えてきた科学的知見を実社会に生かす必要性を本論文でも強く指摘しました。科学者は社会の声に耳を傾けるべきです。これらの点は、本研究チームの研究代表者である沖が代表として取り纏めたIAHSの「今後の科学指針」^{注5}に詳しく記載されています。また、国際的には沖がリードオーサーの一人となっているIPCCの第4次報告書に何らかの形で本論文の結果が反映されて、将来の水資源に関する温暖化対策立案にも資するものと期待されます。

<参考図>

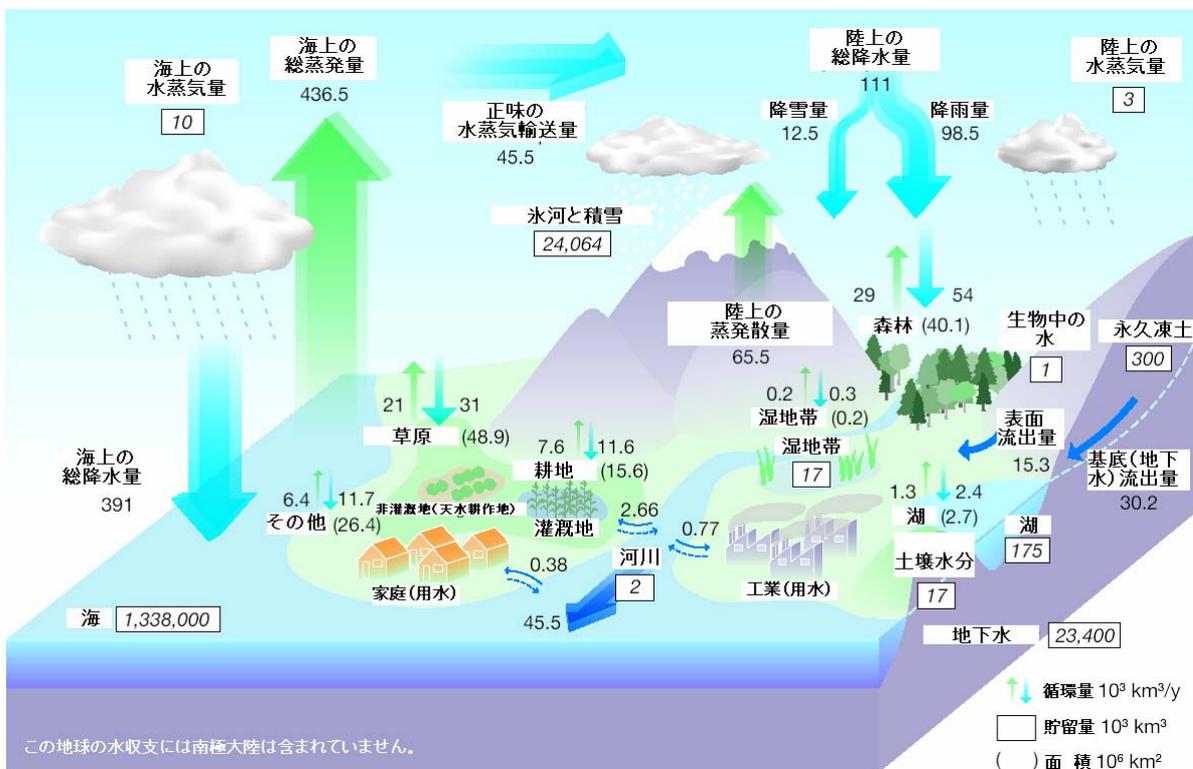


図1 人間活動の影響を考慮した世界の水循環量（フラックス）
 （単位： $1000\text{km}^3/\text{年}$ ）と貯留量（四角囲み、単位： 1000km^3 ）。
 ()内は各土地利用の面積(10^6km^2)を示す。

従来からの推定値に、JST/GRESTによって構築されたグローバルな地表面の水・エネルギー収支に関するGSWP2^{注2}データベース等を用いて耕地など土地被覆別の蒸発等を新たに推定して加えることによって構成されました。太い矢印は、全陸上・全海上からの（への）蒸発（降水）の合計値を示し、陸上の小さな矢印は、それぞれの土地利用における蒸発や降水の量を示しています。一見当たり前にも見えますが、こうした詳細な点まで定量的に記述されたグローバルな水循環・水収支の図はこれまでになく、極めて新しい図です。

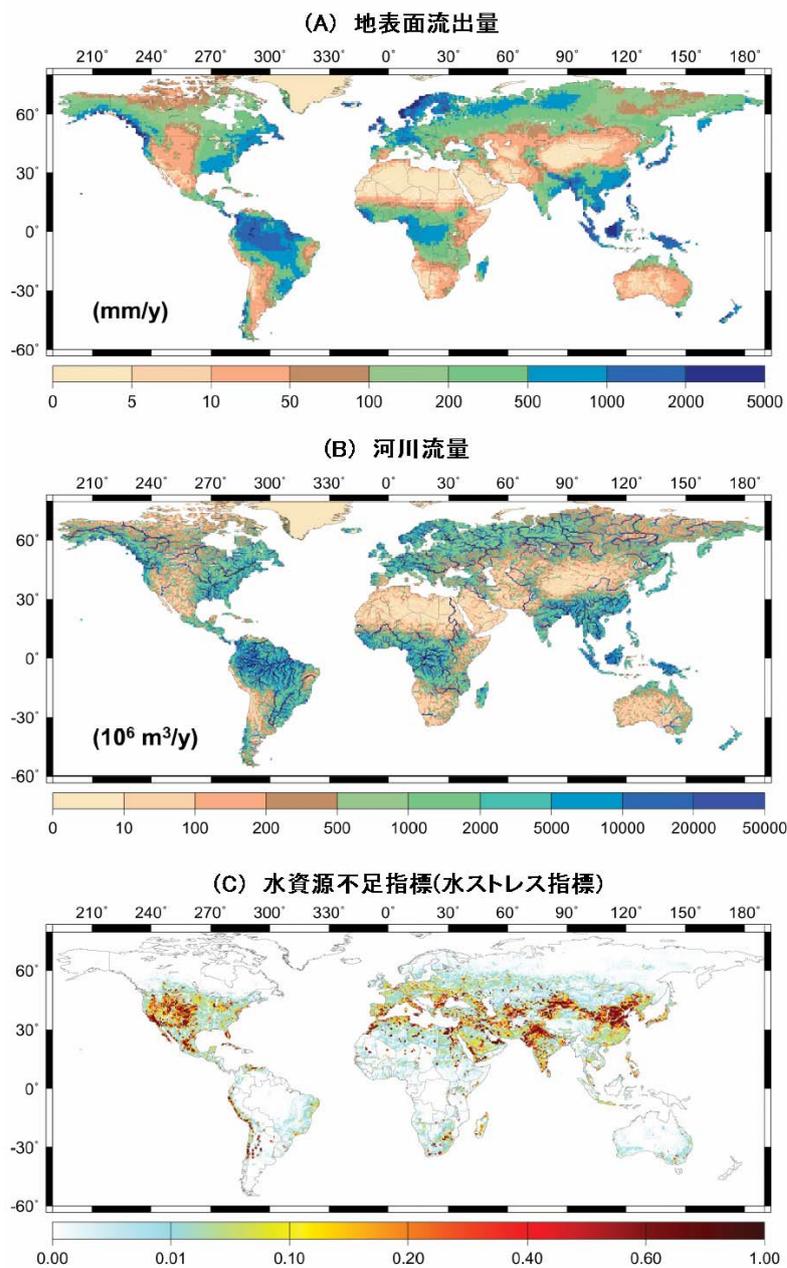


図2 世界の(A)地表面流出量(mm/年)、(B)河川流量($10^6 \text{ m}^3/\text{年}$)、
 (C)水資源不足指標(水ストレス指標)の分布

地表面流出量はその地域で蒸発せずに流出する水の量、河川流量は上流域からの水を集めて流れるいわゆる河を流れる水の量を示します。水資源不足指標(水ストレス指標)は0から1の値を取り、0に近いほど水利用が相対的に少なく水需給が緩和している状態を、1に近いほど最大利用可能な水資源量をほぼ使い切っていて水需給が逼迫しており高い水ストレス下にある状態を示します。実際には地下水の過剰利用などによって1以上となることもあり得ますが、ここではそのような値も1で示しています。ここでの水資源量は、再生可能(renewable)水資源量のことであり、化石地下水などのことは敢えて考慮していません。

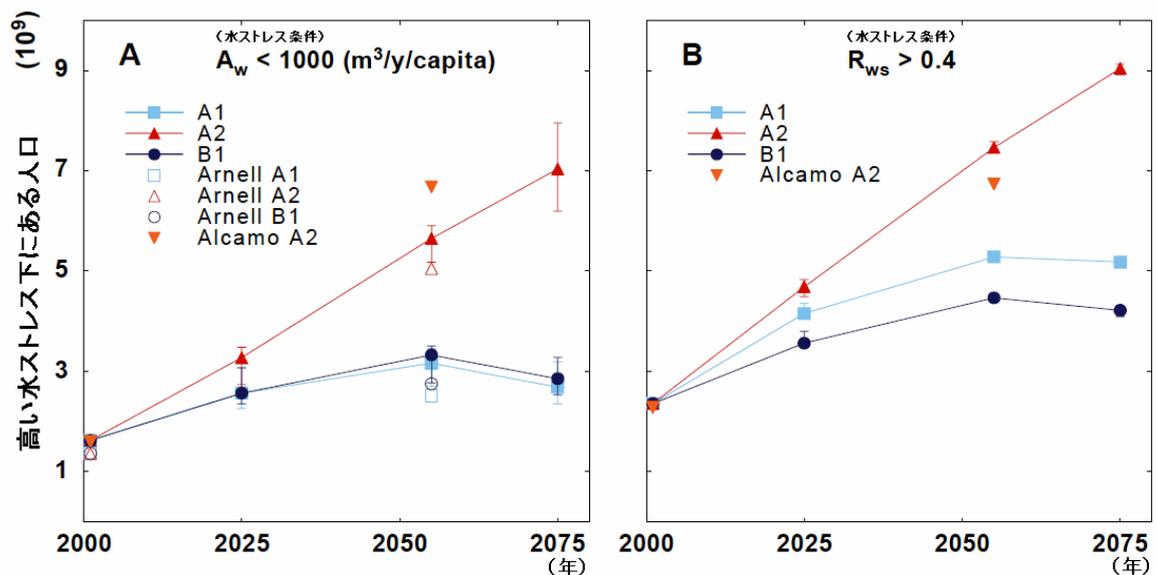


図3 21世紀の「高い水ストレス」状態下にある世界人口の推移。

将来の世界水需給逼迫の推移を示すために、「高い水ストレス」状態下の人口の将来見通しを図化したものです。左の図3Aは人口一人当たりの最大利用可能水資源量が1000(m³/年)以下となる人口、右の図3Bは前ページ図2Cに対応する水資源不足指標（水ストレス指標）が0.4以上となる人口の推移を示しています。絶対値は異なりますが、今後の変化の傾向に関する相違はありません。

本推計は、IPCCの最新公式シナリオであるSRESシナリオに基づいて計算されたもので、人口の増加、経済の発展による水利用の変化、温暖化による河川流量の変化も考慮されています。実線は我々の算定結果であり、実線外の△や□の単独マークで示されているのは海外での類似推計の結果です。

図3Aの指標、図3Bの指標とも世界規模の水資源アセスメントでは良く用いられています。

<用語解説>

注1) エビアン G8:

先進8カ国は、ヨハネスブルグでの目標の実施に焦点をあわせ、2003年7月のG8サミット（フランス、エビアン）において、持続可能な開発のための科学技術の役割が確認されました。議長報告に引き続いて水に関する合意文書が採択され、また、持続的発展のための科学技術に関する合意文書でも淡水に関するグローバルな水モニタリングが取り上げられているなど、淡水資源の問題にも議論の重点が置かれていました。

注2) GSWP2:

第2次全球土壌水分プロジェクト(Global Soil Wetness Project 2)の略でアメリカのP. A. Dirmeyer(Center for Ocean, Land and Atmosphere)と東大の沖大幹がco-chairを務める世界気候研究計画(World Research Climate Programme: WCRP)下の研究プロジェクトです。世界の陸域の水・エネルギー循環と水・エネルギー収支、特に土壌水分や蒸発量、流出量等を、人工衛星データ等と物理的数値シミュレーションモデルを用いることによって、これまでになく精度良く推定することを目的としています。イギリス気象局のハドレーセンターやアメリカ航空宇宙局など気候変動研究に携わる世界の主要機関が数多く参加しています。推定値の取り纏めを行うデータセンターは東京大学生産技術研究所が当該CRESTの研究課題遂行の一環として引き受けました。

データセンターは、<http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp:8080/gswp2/>。

参考文献: Paul A. Dirmeyer, Xiang Gao, Mei Zhao, Zhichang Guo, Taikan Oki, and Naota Hanasaki, The Second Global Soil Wetness Project (GSWP-2): Multi-Model Analysis and Implications for our Perception of the Land Surface, *Bull., Amer. Meteo. Soc.*, in print, 2006.

注3) 水ストレス

ストレスという言葉は、ここでは需給が逼迫して緊張している様子を示しています。実際には水資源賦存量は季節、年による変動が大きく、また、十分な貯留施設が整備されていない限り洪水などの際の水を含めて水資源賦存量を100%使用することは通常現実的には無理であるため、水利用が水資源賦存量の40%を超えていると高い水ストレス下にある、と判断されます。

注4) IPCC と SRES:

IPCC(Intergovernmental Panel for Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル)の、2007年に出版される予定の第4次評価報告書では、主たる将来の社会シナリオとしてSRES(Special Report on Emissions Scenarios)を採用しています。

ただ SRES は単一のシナリオの呼称ではなく、様々なシナリオの総称であり、代表的なものでもいくつかあります。それらの中で、特に有名な A1, A2, B1 シナリオを本研究では採用しました。SRES において、A-B 軸は A が経済発展重視で B が環境と経済の調和重視を示し、1-2 軸は 1 がグローバル化を、2 が地域主義化を示します。それらの組み合わせにより、A1 は高度成長型社会を、B1 は持続的発展型社会を、A2 は多元化社会を将来像として描いており、A2 では 21 世紀を通じて人口が増加し続けるのに対し、A1 や B1 では 21 世紀半ばにピークに達した後に減少し始めると推定されており、また逆に経済成長は A1 や B1 の方が急速で、A2 では緩やかなため、水資源効率の向上が A1 や B1 の方が A2 よりも勝り、結果として水需給は A2 シナリオで最も逼迫する結果となっています。

注 5) IAHS と、その「今後の科学指針」:

IAHS は、International Association of Hydrological Sciences (国際水文学科学連合) のことです。2000 年に、20 年後の水文学科学(hydrology)の「あるべき姿」とそこに至る道筋を取りまとめるワーキンググループ「Hydrology2020」を組織し、“Oki, Valeo, and Heal (Eds.), Hydrology 2020: An Integrating Science to Meet World Water Challenges, IAHS Publication vol.300, 190 + xxxii pp, 2006.”として発表するに至りました。ワーキンググループの座長は本研究チームの研究代表者である沖でした。

<論文名>

「Global Hydrological Cycles and World Water Resources」

(地球の水循環と世界の水資源)

著者：沖 大幹、鼎 信次郎

<研究領域等>

この研究テーマが含まれる研究領域、研究期間は以下のとおりです。

戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 (CREST)

研究領域： 「水の循環系モデリングと利用システム」

(研究総括：虫明 功臣 福島大学 教授)

研究課題名： 「人間活動を考慮した世界水循環水資源モデル」

研究代表者： 沖 大幹 東京大学生産技術研究所 助教授

研究期間： 平成13年～平成18年

<お問い合わせ先>

沖 大幹 (おき たいかん)、鼎 信次郎 (かなえ しんじろう)

東京大学 生産技術研究所

〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1

TEL: 03-5452-6382, FAX: 03-5452-6383

E-mail: taikan@iis.u-tokyo.ac.jp kanae@iis.u-tokyo.ac.jp

Web: <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Info/Press200608/>

佐藤 雅裕 (さとう まさひろ)

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造事業本部

研究推進部 研究第一課

〒332-0012 埼玉県川口市本町4丁目1番8号

TEL: 048-226-5635, FAX: 048-226-1164

E-mail: crest@jst.go.jp