

水の供給源に着目した日本における 仮想的な水輸入の内訳

DETAILED ANALYSIS ON THE VIRTUAL WATER IMPORT TO JAPAN FOCUSING ON THE ORIGIN OF WATER SUPPLY

犬塚俊之¹・新田友子²・花崎直太³・鼎信次郎⁴・沖大幹⁵
Toshiyuki Inuzuka, Tomoko Nitta, Naota Hanasaki, Shinjiro Kanae, and Taikan Oki

¹正会員 工修 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505東京都目黒区駒場4-6-1)

²学生会員 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505東京都目黒区駒場4-6-1)

³正会員 工博 国立環境研究所 (〒305-0051 茨城県つくば市小野川16-2)

⁴正会員 工博 東京大学生産技術研究所准教授 (〒153-8505東京都目黒区駒場4-6-1)

⁵正会員 工博 東京大学生産技術研究所教授 (〒153-8505東京都目黒区駒場4-6-1)

Water footprints, or the total consumed water to produce commodities, were estimated for imported food to Japan, using an integrated global water resources model that consists of a physically based hydrological module and a crop growth module. In order to analyze the sustainability of water resources, the model was enhanced to quantify four major sources: precipitation, river, reservoirs, and non-renewable groundwater. The results showed that the water footprint of Japan was 42.7km³/yr. The virtual water, or the required amount of water that is needed to produce the imported food domestically, was estimated 62.7 km³/yr. Therefore, it indicates 20.0 km³/yr of water was saved through international trades. Among the total water footprint, 7.3 km³/yr (17%) was originated irrigation water, and 2.9 km³/yr (6.8%) was non-renewable groundwater.

Key Words : *Virtual water trade, global water resources assessment*

1. はじめに

世界の淡水取水量の約7割は農業用水であると言われるように、水資源と食料生産は密接な関連性をもっている¹⁾。近年の人口増加と経済成長による食料需要の増大は、同時に水需要の増大をもたらしている。その持続可能性には高い社会的関心が集まっており、これまでも多くの水需給予測シミュレーション研究が行われてきた^{2),3)}。

これまでの研究は、流域単位でその過不足を評価するものが中心であった^{2),3)}。しかし、Allanによって提示されたヴァーチャルウォーター貿易の概念により⁴⁾、貿易の形で国境を越えて利用される水資源が注目され、その定量評価に関する研究が盛んに行われるようになった。Oki et al.は日本の食料の輸入に伴うヴァーチャルウォーター輸入量の推定を行い、その輸入量は先進国の中でも最大の約62.7km³/yrであることを示した⁵⁾。

しかし、これらの研究はいくつかの課題を抱えている。

まず、実際に生産に使われた水資源量が不明であるという点である。Oki et al.は「ヴァーチャルウォーター」を「輸入物資を自国内で生産するとしたら必要になると想定される水の量」と、対する「輸出国で実際に消費された水資源量」を「リアルウォーター」と定義し、両者を対比させることによって貿易による水資源利用の効率性の有無を評価できる、としている。しかし、現在は統計データが十分に整備されておらず、リアルウォーターを世界各国について推定するのは困難である。

また、既存のヴァーチャルウォーターの研究はその移動量の推定に留まっている場合が多い。しかし、水は時間・空間偏在性の大きい資源という特性をもつため、同じ量の水であっても、その資源としての重要性・希少性は場所・時期によって異なったものになる。すなわち、その起源が農地に降った天水なのか、灌漑でも再生可能な河川水なのか、涵養量を上回る地下水なのか等によって、その資源としての貴重さの度合いには差異があり、それらを区別せずに評価しても資源の持続可能性評価につながらないと考えられる。

これらの課題に対し、本研究では農業・水循環モデルによるシミュレーションを導入することで、ひとつの回答を試みた。すなわち、グローバルスケールで農業生産と水循環をシミュレートすることで、農地で実際に消費された水資源量を定量的に推定した。さらに、それを供給源別に分類し、それぞれの割合を推定した。その後、単位面積あたりの収量データなどから穀物・畜産物の水消費原単位を算出し、日本の食料輸入量のデータと組み合わせることで、日本の食料輸入に伴って各輸出国で実際に消費された水資源量と、その供給源別内訳を推定した。

なお本研究では、従来ヴァーチャルウォーターとの対比でリアルウォーターと呼ばれていた「輸出国で実際に消費された水資源量」の名称をHoekstra and Chapagainに倣い、water footprintと呼ぶこととした⁶⁾。これは、「一人の人間が持続的な生活を営むために必要な土地面積」を表す「エコロジカル・フットプリント」の概念を水資源に置き換えたもの、という意味を含んでいる。

2. 方法

(1) 全球統合水資源モデルの利用

供給源別にwater footprintを推定するために本研究ではHanasaki et al.の全球統合水資源モデルを用いた^{7,8)}。このモデルは、世界の陸地を1°×1°のグリッドに分割し、地表面に降った雨が河川に流出する陸面過程、河川の流下過程といった自然の水循環に加え、貯水池操作や農業・工業・生活などの取水といった人間活動の影響も考慮し、日単位のタイムステップで水循環をシミュレートすることができる。このモデルの特徴として、時間・空間解像度の詳細さが挙げられ、現時点で最も詳細な解析ができるモデルのひとつである。

ただし、このモデルでは農業用水の取水源として総貯水容量10億m³以上の大規模貯水池の操作を含む河川水のみを想定している。そのため、地下水や農業用ため池などの規模の小さい貯水池からの取水が無視され、乾期や乾燥地において水資源量が不足し、地域によっては取水量が水需要量を大幅に下回る結果となっている⁹⁾。

そこで、本研究では上記の問題を解決するため、モデルに新たなサブモデルを加え、新たな農業用水の取水源として総貯水量100万m³以上10億m³未満の貯水池（中貯水池と定義）を加えた。また、それでも発生する不足分については地下水から無制限に取水できることとした。全球統合水資源モデルにおいて、降水は蒸発が流出にしか分離されないため、地下水の涵養は流出に含まれていることになる。今回加えた地下水は、降水を起源とする水循環から分離された地下水ということになるので「非循環地下水」と呼ぶことにする。

表-1 貯水池の定義と本研究での扱い方

区分	大貯水池	中貯水池	小貯水池
総貯水量	10億m ³ 以上	100万m ³ 以上 10億m ³ 未満	100万m ³ 未満
世界総計値	4,140km ³	3280km ³	不明
モデル内	河川に配置 (498基)	各グリッド に配置	除外

(2) 中貯水池の定義と分布

全球統合水資源モデルでは、総貯水量10億m³以上の大貯水池については位置情報が収集可能であるため⁹⁾、これを河川上に配置している。本研究で追加した総貯水量100万m³以上10億m³未満の中貯水池については、国別の貯水量データはあるものの位置情報が不明であるうえに¹⁰⁾、登録数が40000基以上あり、空間解像度1°×1°の全球統合モデルで個別に扱うのは不可能である。そこで、中貯水池についてはグリッドごとに貯水量の総和を推定して配置することとした。なお、総貯水量100万m³未満の貯水池は小貯水池と定義し、本研究の対象からは除外した。

このモデルで利用するために、中貯水池の総貯水量の分布をグリッドごとに表したデータを作成した。世界ダム年鑑から、国ごとの中貯水池の総貯水量は入手可能であったが、国内の分布が不明であった。そこで、国別のデータをグリッドごとに分布させるために、国内の中貯水池の分布は人口の分布に比例すると仮定し、人口グリッドデータ¹¹⁾を用いて推定した（図-1）。

(3) 中貯水池、非循環地下水を考慮した取水モデル

本研究ではグリッド内の水の流れ、灌漑用水の取水ルールを以下のように設定した（図-2）。陸面過程で発生した流出はすべて、まず中貯水池に流入する。中貯水池の貯水量が総貯水量を超過した場合、その超過分が河川に流下する。灌漑農地で灌漑需要が発生したときには取水が行われる。取水は、まずは河川から行われる。ただし、河川流量のすべてが取水できるわけではなく、河川には適量の環境用水が確保される。河川からでは灌漑需要を満たせない場合は、中貯水池の貯水量から取水が行われる。中貯水池の貯水量が枯渇している場合は、非循環地下水から取水が行われる。ここでは、非循環地下水はすべてのグリッドにおいて無尽蔵に取水可能であるとし、涵養は行われなかった。また、モデル内では中貯水池をひとつの貯水池として扱っているが、実際には中貯水池は分散して設置されていて局所的に枯渇する可能性があり、モデルではそれを無視している点に注意が必要である。

以上のようにグリッド内の水の流れと灌漑用水の取水ルールを設定することで、常時灌漑需要を満たすだけの水が河川、大貯水池、中貯水池、非循環地下水のいずれかから得られることになる。

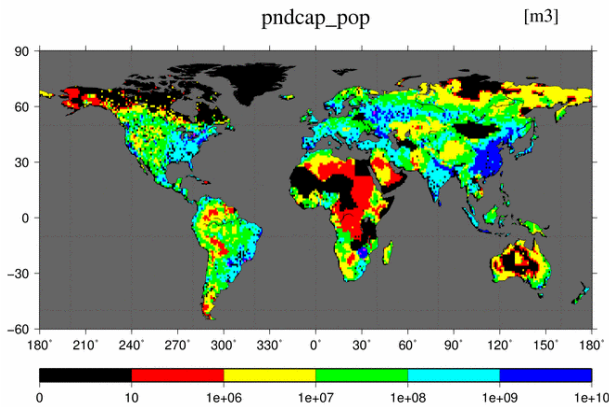


図-1 人口比で推定した中貯水池の分布

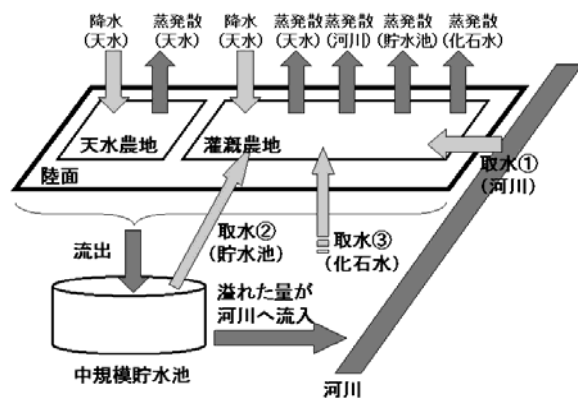


図-2 グリッド内の水の流れの概念図

(4) 本計算

上記の流出・取水スキームと中貯水池分布を全球統合水資源モデルに組み込み、全球水循環と農業生産のシミュレーションを行った。

入力データは気象データ、陸面データ、農業データに分けられる。気象データは、短波放射、長波放射、気温、比湿、気圧、風速、降雨、降雪、陸面データはアルベドと空気力学的粗度である。これらには、陸面過程モデルに関する国際プロジェクトであるThe second Global Soil Wetness Project (GSWP2)で開発された全球グリッド気象データでB1bと呼ばれるものを使用した⁷⁾。これは全球を1°×1°の空間解像度で、1986-1995年を時間解像度は3時間でカバーするデータである。

農業データは作付け種分布、灌漑農地面積、二期作作付け率について全球データを整備した^{12),13),14)}。利用した作付種分布データは18種の作物について、それぞれ全球0.5°×0.5°のグリッド上の作付面積率が示されたものであるが、計算を単純化するため、各グリッドで最も作付面積の多い作物が一樣に植わっていると仮定した。このため、栽培面積が大きい作物は作付面積が過大評価に、小さい作物はゼロになってしまうという特徴があり、注意が必要である。植え付け日については、全球統合水資源モデルの一部である農業プロセスモデルを用いたシミュレーションの結果を使用した⁸⁾。これは、解析対象となる作物に関して、植え付け日を1月1日から12月31日まで順に変えてシミュレーションを行い、最も収量の大きかった日をその作物植え付け日として推定するものである。

計算は以下のように実施した。まず1986年のデータをモデルに繰り返し与えて、土壌水分、河道内貯留量、大規模貯水池と中貯水池の貯水量を平衡状態にした。次に、1986年から1995年までの10年分について計算を実施した。最後に、グリッド別に得られた取水源別の水消費量を国別、作物別に整備した。

(5) water footprintの推定

本研究では考察対象とする食料を、穀物5種（大麦、トウモロコシ、米、大豆、小麦）と畜産物3種（牛肉、豚肉、鶏肉）とした。まず以下の式により、2000年の日本の穀物のwater footprintを算出した。

$$water\ footprint = \frac{CWS}{Y} \cdot \frac{p \cdot c}{r} \cdot TRD \quad (1)$$

ここで、CWSは単位面積あたりの水消費量(m³/m²)でシミュレーション結果のうち1995年のものを用いた。Yは単位面積あたりの収量(kg/m²)であり、モデルの出力の一つであるが、次節に記す理由から本稿では統計値を利用した。CWSをYで除することで単位重量あたりの水消費量(水消費原単位: m³/kg)が求まる。ただし、これは生産時の形態における水消費原単位であり、water footprintを求めるためには貿易時の形態における水消費原単位に置き換える必要がある。pは価格比、cは含有率、rは歩留まり率を表す。例として大豆を挙げる。大豆は加工の段階で大豆ミールと大豆油に分けられる。このときに大豆の生産に使われた水資源も配分されると考えるが、その配分比はそれぞれの単位重量あたりの価格の比に基づくとして仮定する。この比が価格比pであり、大豆ミールでは0.65、大豆油では0.35としている。次に、原料大豆の水消費原単位を大豆製品の水消費原単位に変えるため、歩留まりrで除する。すなわち、大豆1kgから大豆ミール0.76kgが採れるため、大豆1kgあたりの水消費量を1とすると大豆ミール1kgあたりの水消費量は1/0.76となる。また、大豆ミールからは醤油が製造されるが、醤油の形態で貿易される大豆の水消費原単位は、醤油の貿易量に醤油中の大豆含有率c=0.17を掛けたものとなる。

次に以下の式より畜産物のwater footprintを算出した。

$$water\ footprint = UWS \cdot p \cdot c / r \cdot TRD \quad (2)$$

ここで、UWSは単位重量の畜産物を生産するために使われた水消費量(m³/kg)であり、以下のように算出される。まず、穀物の水消費原単位と飼料の原料配合比から、飼料の水消費原単位を算出する。次に、畜産物のライフ

表-2 全球のグリーンウォーターとブルーウォーター

単位: km ³ /yr	本研究	Molden (2007)	Falkenmark and Rockström (2006)
農地からの蒸発散量	7650	7130	6800
天水農地のGW	5080	4910	5000
灌漑農地のGW	1220	650	
灌漑農地のBW	1350	1570	1800

サイクルから1頭あたりの飼料投入量を算出し、飼料として与えられた水消費量を算出する。これに清掃などの畜産用水投入分を足し、最後に出荷時重量で除する。

これら3つのパラメータを、FAOSTAT¹⁵⁾の貿易品項目のうち大麦、トウモロコシ、米、大豆、小麦、牛肉、豚肉、鶏肉を原料とする82の項目について設定した。pには財務省貿易統計から求めた各品目の単位重量あたりの価格を用いた。c、rは食品の一般的な加工プロセスを推定して求めた¹⁶⁾。TRDは貿易量(kg)であり、FAOSTATの2000年の統計値を用いた。

3. 検証

この論文で解析するモデル出力は①灌漑地に投入された水量(天水と灌漑水、およびその内訳)、②非灌漑地に投入された水量(天水のみ)、③灌漑地からの収量、④非灌漑地からの収量である。ここで灌漑水量についてはすでに検討が行われており⁸⁾、本論文では割愛する。まず灌漑地および非灌漑地の天水はグリーンウォーターとも呼ばれ、いくつかの先行研究があるので検証する。次に本研究では灌漑水を河川水、中貯水池、非循環地下水に分割したが、このうち、非循環地下水について検証する。最後に灌漑地と非灌漑地の収量について検証する。

(1) グリーンウォーター

農地から蒸発する天水起源の水はグリーンウォーター(GW)、灌漑起源の水はブルーウォーター(BW)と呼ばれている¹⁷⁾。表-2に本研究と先行研究で推定された全球のGWを示す。ここで本研究の天水農地の収穫面積は全球860×10⁶haとし¹⁸⁾、先行研究に合わせるため、GWは1年間の、BWは灌漑期間中の値を示している。本研究の結果はMoldenの先行研究¹⁸⁾とよく一致する。ただし、灌漑農地からの蒸発散量はかなり大きい。またFalkenmark and Rockströmの先行研究に比べてGWは大きく、BWは小さく見積もられる。先行研究のGW推定値は、作物収量と水利用効率(単位収量を得るために農地に投入される水量)の文献値を収集して求められており¹⁷⁾、本研究では推定の手法が大きく異なるため、より詳細な地域別の検討をする必要があるが、現在そのような研究成果が出版されていないので、今後の課題とする。

表-3 国別の地下水投入量

単位: km ³ /yr	本研究	WRI (1999)
インド	129.3	169.1
アメリカ	78.8	68.4
パキスタン	47.3	54.0
メキシコ	12.3	16.0
バングラデシュ	6.6	9.4
サウジアラビア	6.0	13.0

表-4 オガララ地区での単位面積あたりの非循環地下水投入量

単位: mm/yr	本研究	USDA (2002)	面積 km ²
トウモロコシ	369	331	36.02
小麦	408	247	6.33
綿花	434	255	5.55

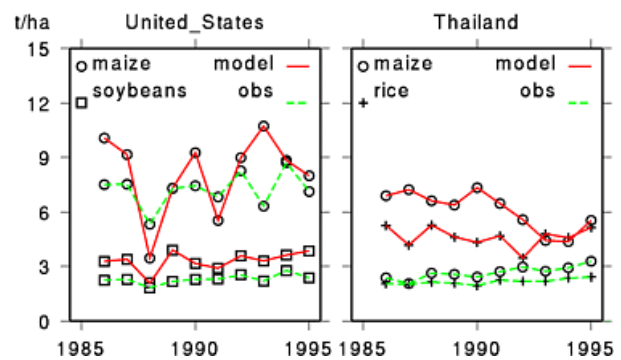


図-3 モデルで出力された単位面積あたり収量。
左図: アメリカ合衆国、右図: タイ

(2) 非循環地下水量

農業用水として投入された非循環地下水量を検証するために、本研究とWRIの統計データ¹⁹⁾を比較した結果を表-3に示す。非循環地下水の投入量が少ない地域では若干ばらつきが見られるものの、非循環地下水投入量の多いアメリカ合衆国、パキスタンでは本研究の結果と統計値がよく一致している。インド等で小さく見積もられているのは、統計値には涵養のある地下水の量も含まれているためだと考えられる。

次に、アメリカ合衆国のオガララ地区で作物別に非循環地下水投入量を検証した。この地域はアメリカで灌漑に利用される地下水の約30%が汲み上げられている。計算結果とUSDAの統計データ²⁰⁾を比較した結果を表-4に示す。トウモロコシについては誤差が小さかったものの、全般的に過大評価の傾向があり、特に小麦と綿花で顕著である。モデルでは栽培期間中の土壌水分を一定に保つように灌漑されるが、今後、より現実の灌漑情報を踏まえて灌漑方法を変更する必要があるかもしれない。

(3) 収量

推定された収量の妥当性を検討するため、FAOSTATの統計データと計算結果の比較を行った。単位面積あた

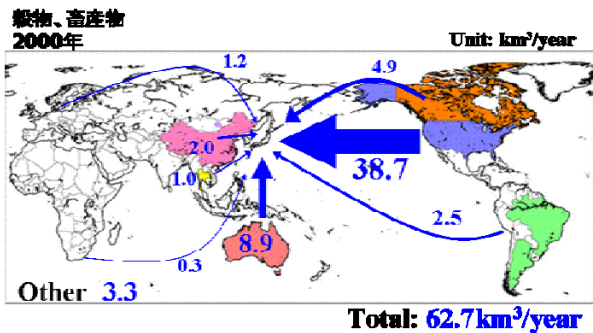


図-4 日本のヴァーチャルウォーター輸入量
(Okii et al., 2003より抜粋)

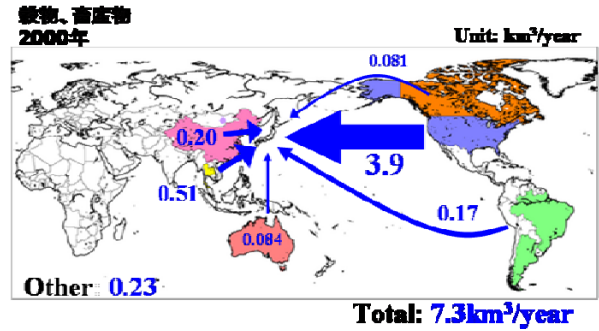


図-6 日本の灌漑用水起源のwater footprint

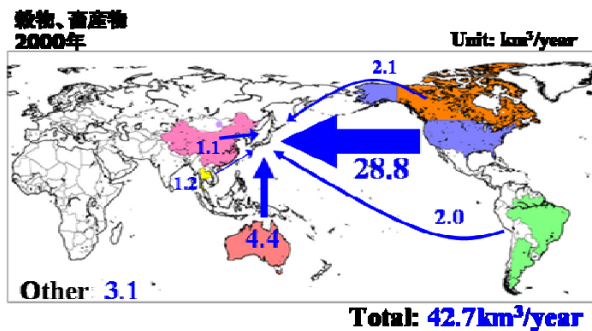


図-5 本研究で推定した日本のwater footprint

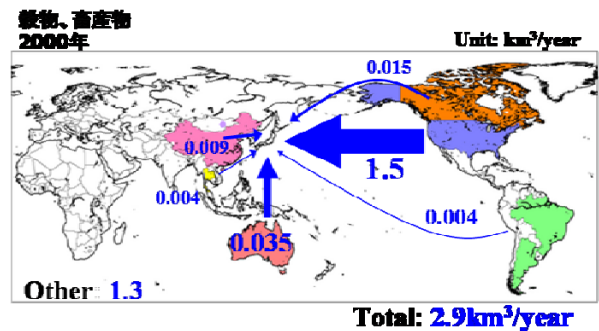


図-7 日本の非循環地下水起源のwater footprint

りの収量を比較した結果の一部を図-3に示す。相関係数はアメリカのトウモロコシで0.57、大豆では0.66となり、先進国では収量、またその年々変動ともよく一致することが分かる。しかしながら、タイなどの発展途上国では収量とその年々変動にかなりの差が認められた（相関係数はトウモロコシ-0.70、米0.23）。これは現在のモデルが高収量種の作付けと十分な農業技術を仮定しているため、途上国の現実と乖離してしまっているからである。このため、现阶段でモデルの結果を使うのは適当ではないと判断し、収量は統計値を用いることとした。

4. 結果

(1) 日本のwater footprint

2000年の日本のwater footprintは図-5のとおりである。図-4のヴァーチャルウォーター輸入量と比べて減っている。これは主に、水消費原単位の値が異なることに起因している。

表-5 ヴァーチャルウォーター(VW)とwater footprint(wf)

	原単位 (VW) m ³ /t	原単位 (w.f.) m ³ /t	VW 輸 入量 km ³	w.f. km ³
トウモ ロコシ	900	658	14	10.3
小麦	1600	1666	5.1	5.3
牛肉	8800	5482	6.4	3.6

表-5はアメリカから日本へ向かう主な品目のヴァーチャルウォーター輸入量とwater footprintを比較したものである。原単位（VW）は日本を対象に、統計ベースで推定された必要水量と単位収量を掛けて算出した値であり、VW輸入量の計算に用いられる。ただし、トウモロコシに関しては日本での生産がほとんど行われていないため、世界平均の単位収量を用いた水消費原単位の推定を行っている。一方、本研究で算出した原単位（wf）はモデル出力の水消費量に統計ベースの単位収量を掛けたものであり、water footprintの計算に用いられる。表によると、トウモロコシと牛肉で水消費原単位が小さくなっており、この差がヴァーチャルウォーター輸入量とwater footprintの違いに反映されている。この差の理由としては、トウモロコシに関してはアメリカの単位収量が世界平均のそれより大きいこと、牛肉に関してはアメリカの方が放牧生産の割合が高く、畜舎生産と比較して飼料に投入される水の量が少なくて済むことが挙げられる。

(2) 供給源別のヴァーチャルウォーター輸入量

図-5の仮想的な水の輸入量に供給源別の比率を掛け、灌漑用水起源のwater footprintを表したものが図-6、さらにその中から非循環地下水起源のwater footprintのみを取り出したのが図-7である。これらの結果から、日本の仮想的な水の輸入量のうち、灌漑用水の占める割合は約17%であり、そのうち約40%が非循環地下水（water footprint全体に占める割合は約6.8

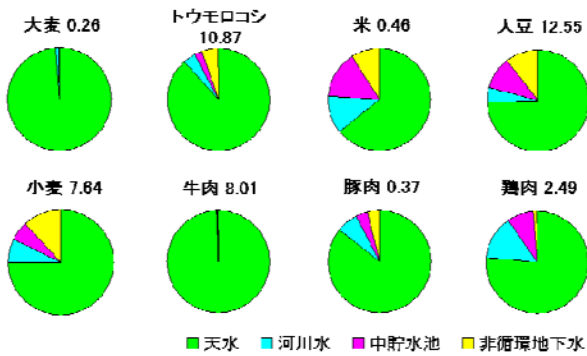


図-8 作物別にみた日本の供給源別ヴァーチャルウォーター輸入量 (2000年, 単位: km³/yr)

%)であることがわかった。主要な輸入相手国に注目してみると、絶対量では灌漑用水、非循環地下水ともアメリカに最も大きく依存している。

また、図-8は日本のwater footprintの供給源別内訳を作物ごとにみたものである。これによると、天水の割合が高いのは大麦と牛肉である。特に牛肉の天水起源割合が高いのは、放牧牛の餌となる牧草の水供給源はすべて天水であるとしているためである。灌漑用水の割合が高いのは、大豆、小麦である。

5. まとめ

全球統合水資源モデルに中貯水池、非循環地下水からの取水プロセスを追加した。その結果、灌漑取水量の結果が改善され、より再現性の高い水資源循環シミュレーションが実現した。また、全球統合水資源モデルの出力を用いて、「供給源別」の日本のヴァーチャルウォーター輸入量を推定した。その結果、約17%程度が灌漑用水、約6.8%が非循環地下水起源であることが示された。

なお、本研究における灌漑用水や非循環地下水という区分は全球統合水資源モデルの中での区分であり、必ずしも実際の灌漑用水や非循環地下水の消費量に直結するものではない。しかし、今回の結果は水資源の消費量のうちの持続不可能な割合を表していると考えることができ、推定として一定の意味をもつと考えられる。

日本の食料輸入の5%以上が持続不可能な水資源に依存している可能性を示した今回の結果により、世界の水問題に対して日本が無関係のものではないという事がより具体的に示されたといえる。

謝辞：本研究は科研費研究課題(19106008)「世界の水資源の持続可能性評価のための統合型水循環モデルの構築」(代表：沖大幹)の成果の一部である。

参考文献

- 1) Shiklomanov, I. A.: Appraisal and assessment of world water resources, *Water Int.*, Vol.25, pp.11-32, 2000.
- 2) Alcamo, J., Florke, M. and Marker, M.: Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes, *Hydrolog. Sci. J.*, Vol.52, pp.247-275,

- 2007.
- 3) Oki, T. and Kanae, S.: Global hydrological cycles and world water resources, *Science*, Vol.313, pp.1068-1072, 2006.
- 4) Allan, J. A.: Policy responses to the closure of water resources: Regional and global issues, in: *Water policy: Allocation and management in practice*, Howsam, P. eds, Taylor & Francis, pp.3-12, 1996.
- 5) Oki, T., Sato, M., Kawamura, A., Miyake, M., Kanae, S., and Musiaka, K.: Virtual water trade to Japan and in the world, *Virtual Water Trade*, The International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, pp.221-235, 2003
- 6) Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K.: Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resour Manage*, 21, 35-48, 2007
- 7) Hanasaki, N., Kanae, S., Oki, T., Masuda, K., Motoya, K. and Tanaka, K.: An integrated model for assessment of global water resources. Part 1: Input meteorological forcing and natural hydrological cycle modules, submitted to *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, 2007a.
- 8) Hanasaki, N., Kanae, S., Oki, T. and Shirakawa, N.: An integrated model for assessment of global water resources. Part 2: Anthropogenic activities modules and assessments, submitted to *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, 2007b.
- 9) Hanasaki, N., Kanae, S. and Oki, T.: A reservoir operation scheme for global river routing models, *J. Hydrol.*, Vol.327, pp.22-41, 2006.
- 10) International Commission on Large Dams (ICOLD): World Register of Dams, ICOLD, Paris, 1998.
- 11) Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), International Food Policy Research Institute (IFPRI), and World Resources Institute (WRI): Gridded Population of the World (GPW), Version 2, CIESIN, Columbia University, Palisades, NY; , 2000.
- 12) Leff, B., Ramankutty, N. and Foley, J. A.: Geographic distribution of major crops across the world, *Global Biogeochem. Cy.*, Vol.18, Gb1009, 2004.
- 13) Döll, P. and Siebert, S.: A digital global map of irrigated areas, *ICID J.*, Vol.49, 55-66, 2000.
- 14) Döll, P. and Siebert, S.: Global modeling of irrigation water requirements, *Water Resour. Res.*, Vol.38, 1037, 2002.
- 15) FAOSTAT: <http://faostat.fao.org/>, 2007.
- 16) 田村真八郎, 五十嵐脩編: 丸善食品総合辞典, 丸善, 2005
- 17) Falkenmark, M. and Rockström, J.: *Balancing water for humans and nature*, Earthscan, London., 2004.
- 18) Molden, D.: *Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture*, Earthscan, London, 2007.
- 19) World Resources Institute (WRI): *World Resources 1998-99*, Oxford University Press, New York, 1998.
- 20) US Department of Agriculture (USDA): 2002 Census of agriculture, Farm and Irrigation Survey, Vol.3-1, 2003.

(2007. 9. 30受付)