特集「フットプリント」

解説

ウォーターフットプリントの現状と課題

沖 大幹・近藤 剛

Water Footprinting for what?

Taikan OKI and Takeshi KONDO

Synopsis:

Objective. of this article is to introduce the historical situation of water footprint in relation with virtual water trade, and to discuss about the current issues on the way of estimating water footprint and communication.

Results and Discussion. Unlike carbon footprint, the location, season, origin/source, quantity, and quality including temperature and gravity potential of water withdrawals and discharge returning the used water to natural water cycle, are relevant for impact assessment of water footprint on environment. Therefore these information should be associated with inventory of the water footprint. Expressing a single value as for water footprint by integrating these aspects should not be an easy task. Any single value of water footprint should have properties such as: 1) larger water footprint means larger environmental impacts on water, 2) water footprints can be summed up, and 3) efforts to reduce water withdrawals/consumptions and to improve the water quality of waste water can be reflected on the value of water footprint.

Conclusions. The current work showed special characteristics of water footprint compared with carbon footprint. Water footprint can be utilized for the “life cycle water risk assessment” integrated with the current and future potential risk of water resources and the sustainability in the region where the water footprint is put.

Keywords: Virtual Water Trade; Water Footprint; Water Resources

1. はじめに

ウォーターフットプリント（Water Footprint、以後WFと略す）とは、その名の通り、エコロジカルフットプリントやカーボンフットプリントにならい、普段の生活がどの程度の水、あるいは水資源に依存しているか、もしくは、水環境に影響を与えているか、を示す概念である。

次節で解説するように、まず、バーチャルウォーター貿易（virtual water trade、以後VWTと略す）という概念が普及し、食料輸入の水資源換算、というその機会費用概念が十分に理解されなかったためにより素朴な「製品を作るのに使われた水の量」という意味でWFという語が使われるようになった。そのため、WFとしてはインベントリーの数値が取り上げられることが多く、LCAの枠組みに沿って影響評価に用いられるようにはなっていない。

また、インベントリーの作成はカーボンなどと同様に可

能であるが、影響評価に際してはいわば世界のコモンスである大気中の温室効果ガスの濃度への影響を測るカーボンフットプリント（以後CFと略す）とは大きく異なり、水は地域的な循環資源であり、少し考えればわかるように、違う地域、あるいは異なる時期の水利用を単純にその量で比較するのは意味がない。しかも、同じ量の水であっても、その水源や利用形態によって、水環境への影響、水資源の持続可能性への影響は大きく異なる。

さらには、水の利用に際しては蒸発や蒸散で失われる分だけではなく、熱や水質変化といった利用、重力ポテンシャルの利用などもある上、同じ量、同じ質の水を取水したのと同じ地点に戻せば使っていないのと同じか、といった単純貯留に関しても場合によっては他の水利用者、水環境への影響が考えられる。化石燃料の酸化等によって大気中に放出された二酸化炭素量、と定義すれば良いCFとは

沖 大幹／東京大学生産技術研究所／〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1

近藤 剛／東京大学大学院工学系研究科／〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1

Taikan OKI / Institute of Industrial Science, The University of Tokyo / 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-8505

Takeshi KONDO / Faculty of Engineering, The University of Tokyo / 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-8505

異なり、かなり複雑になることが想像される。

しかしながら、カーボンの次はWFに国際的な制限がかかったり、使用権が取引されたりするようになるのではないかと、という憶測、あるいは、世界的にみれば水が貴重な資源となったり、持続可能な開発を支える鍵となっている地域があるためか、自社のWF、あるいは自社製品のWFを推計したい、というニーズが欧州を中心として高まっている。

そうした背景から、2009年より、WFの推計手法に関するISO化が始まり、現在議論が進行している最中である。本稿では、WFの背景、推計例、現状の問題点、そして、今後の展望について紹介する。

2. バーチャルウォーター貿易とウォーターフットプリント

ロンドン大学のトニーアラン教授は地政学を専門とし、中東問題について研究をしていた。彼は、この地域が非常に乾燥していて利用可能な水資源量が他の国に比べると非常に少ないにも関わらず、想定されるほどには水で困っておらず、水をめぐる熾烈な争いとはなっていないのは、食料を輸入しているからだ、と説明した。すなわち、水資源逼迫国にとっては食料の輸入は実質的に水の輸入と同じである、という意味から、これをVWTと名づけたのである(Allan, 1996)。

ちなみに、この考え方の背景には、Falkenmark (2004)らが従来から主張している、水資源賦存量が1人あたり年間1700m³あるいは1000m³に満たない国や地域は渇水年には厳しい水不足状態に陥る可能性が高い「水ストレス」下にある、という概念が背景にある。中東の乾燥した国々では、1人あたりの水資源賦存量が年間数百m³しかない地域も多いが、必要とされる年間1700m³の水資源のうち大半は食料生産用であるため、食料生産を他地域に頼るのであれば、その分の水資源は不要だ、というわけである。

この場合、生産国でどのくらいの水を用いて作られたかは輸入国にとっては問題ではない。もしその輸入した分の食料を消費国で生産していたとしたら必要であったと想定される水資源量が、生活用水や工業用水など他の用途に利用可能になる、というのがVWTの本来の概念なのである。

日本の農業工学研究所(当時)の丹治肇氏は、そうした視点を踏まえ、輸入国において食料輸入に伴い農業用水に用いられていた水資源を他の用途に転換可能な場合を「良いバーチャルウォーター(貿易)」、転換がなされず食料の輸入が水資源の有効利用につながらない場合を「悪いバーチャルウォーター(貿易)」と呼んでいる(丹治, 2002)。以後、tradeが抜けてvirtual waterだけの場合には、VWと略すことにする。

日本は食料自給率がカロリーベースで約4割程度と、大量の食料生産を海外に頼っていることもあり、主要な穀物と肉類だけで、年間627億m³に相当するVWを輸入しているが(Oki and Kanae, 2004)、これは水が足りないからというよりは肉食を支える放牧地や牧草地などの平地が足りず、いわば「バーチャル農地」を輸入しているついでに、VWも輸入している、という見方が適切である。

しかしながら、世界的には、VWの交易によって、物理的に水資源が不足していても、豊かな国は実質的には水ストレスで困ってはいないこと、また、単位水使用量あたりの生産高が高く、単位重さあたりのVW量の少ない(農業)先進国から輸出されて、逆に単位重さあたりのVW量が多い発展途上国へと輸入されることが多いので、結果として、VWの交易によって世界合計の水資源使用量は削減されたと見ることもできることがわかっている(Oki and Kanae, 2004)。

一方で、UNESCO-IHE(オランダ)に当時在籍していたArjen Hoekstra等のグループは、よりわかりやすい「(輸出国で)生産にどれだけの水が用いられたか」を基準とし、それに輸出量を掛け合わせて世界のVWT量を算定した(Hoekstra, 2003)。明らかに本来のVWTの概念とは異なるため、国際会議の場で何度かしつこくコメントをしたこともあったか、彼等はこれをwater footprintと呼び替え、その名もwww.waterfootprint.orgというウェブサイトを立て、自分たちが推計した主要食料の生育に必要な水の量(インベントリー)をWFとして宣伝しはじめた。我々のコメントだけではなく、いろいろな場での発表の際に、それはCFと同じくフットプリントだ、というコメントを受け、ネーミングのオリジナリティがAllanにあるVWよりはWFを選んだ、ということもあったのかもしれない。

Oki et al. (2003)は、そうした2つのバーチャルウォーターについて、前者(VW)をvirtually required water、後者(WF)をreally required waterと呼んで区別しようと提唱したが、後者の方が概念としてはわかりやすいため、専門家でも、VWとWFを厳密に区別しない場合も多い。さらに、UNESCO-IHEグループが、生産にあたって投入された水のうち、実際に食料に含まれて運ばれる分をreal water、それ以外をvirtual water (content)と定義して用いていることも混乱に拍車をかけている。

こうした混乱が生じた元は、VWTという言葉の曖昧さにも起因していて、オリジナルの意味では“virtual trade of water”、すなわち、食料や工業製品の交易は水の「仮想的な交易」である、というものであったところ、“trade of virtual water”、すなわち、食料や工業製品は別の視点から見ると「仮想的な水」であり、その交易はVWの貿易

である、という風に解釈されてしまったものと考えられる。Hoekstraも、VWTという言葉だけから、勝手にそう解釈して研究を始めたのだと思われる。VWではあくまでも取引を前提とした定義であるのに対し、WFでは必ずしも取引に関係なくすべての製品にLCA的な水資源負荷量のラベルが貼られていることになる。

VWの日本語訳としては「仮想水」が広まってしまったが、これはどちらかというと後者の意味にとられがちであるため、本来の意味からは「間接水」と呼ぶ方が適切であると考えられる。「バーチャルウォーターの父」アラン教授によれば、後者(WF)は水に関わる外部不経済を示し、より環境問題に関連するのでenvironmental virtual water(環境間接水)とでも呼んではどうか、という意見も話していた。

3. ウォーターフットプリントの推計手法

VWもWFも生産に必要な水資源の量を、生産国ベースで実際に使用された水量で考えるか、消費国で生産としたとしたら、という仮想的に考えるかの違いだけであり、インベントリーの作成方法は基本的に同じである。

具体的なVWあるいはWFの算出手法には研究者によって多少の違いがある。丹治(1998)は、Postel(1996)の数字に従い、小麦1kgの生産に水1tが必要であると、肉類については飼料用穀物が可食部1kgの生産にどの程度必要であるか、という農水省の推定値に基づいてその倍率をかけて算定している。

Hoekstra(2003)からChapagain and Hoekstra(2008)に至るUNESCO-IHEによる一連の推計では、基本的には次のように算定している。まず、FAO(国際連合食糧農業機関)が用いているPenman-Monteith法により、いわゆ

る可能蒸発散量を求め、これに穀物の高さなどの補正を考慮する係数をかけて1日あたりの蒸発散量、いわば各穀物の生育に必要な水量を定める。これに生育日数をかけて、全必要水量を求め、単位面積あたりの収量データからspecific water demand(比水需要量)、あるいは水消費原単位を求めている。

これに対し、筆者らのグループでは、一日の必要水量をイネについては15mm、その他の作物については4mmと定め、後はUNESCO-IHEと同様に生育期間と単位面積あたりの収量から水消費原単位を求めている。

LCAの枠組みをまったく意識せずに日欧で独自にインベントリー推計が沖(2003)やHoekstra(2003)、Oki and Kanae(2004)あるいは犬塚ら(2008)やChapagain and Hoekstra(2008)のように行われてきた割には、副産物がある場合には価格比で分配する、といった点は共通であり、表1に示すように、推計結果は大きくは変わらない。

表1で穀物についてUNESCO-IHEの値が小さいのは、可食部についてのみ考えているわけではなく、貿易統計に掛け合わせて用いることができるように、精米前の玄米ベースで考えているからではないかと推定される。あるいは、栽培作物からの蒸散量だけを考えていて、浸透したり流出したり蒸発したりするような、実際には圃場での栽培にとって必要な水の量を考慮していないからとも考えられる。また、日本における小麦の生産性が世界市場に輸出しているような国々に比べると半分程度であることもこの値の差の理由である。また、コメについては、蒸発で失われる分だけではなく、湛水させて雑草の生育を抑えたり、温度を一定に保ったりという分の水を利用していると考えるか否か、という違いにも起因しているものと考えられる。

表1 水消費原単位の推計値(リットル/kg)

	Hoekstra & Hung (2002)*	Chapagain & Hoekstra (2003)*	Zimmer and Renault (2003)**	Oki et al. (2003)***
コムギ	1150		1160	2000
コメ	2656		1400	3600
トウモロコシ	450		710	1900
ジャガイモ	160		105	193
ダイズ	2300		2750	2500
牛肉		15977	13500	20700
豚肉		5906	4600	5900
鶏肉		2828	4100	4500
卵		4657	2700	3200
牛乳		865	790	560
チーズ		5288		4428

* 世界平均

** ダイズはエジプトの値、それ以外はカリフォルニアに対する推計値

*** 日本に対する推計値。ジャガイモとチーズ(バルメザンチーズ)は佐藤(2003)の推計値。

ちなみに、日本における年間570億 m^3 の農業用水の9割が水田に利用されていて、それによって900万tの玄米が得られているとすると、1kgあたり5700ℓの水が玄米の生産には必要であり、白米1kgあたりに換算すると約6300ℓの水が使われている計算になり、表1の値よりも遥かに大きな値となる。これは、よく言われるように、日本の水田灌漑はイネの育成のためだけではなく、水環境の保全や、「水を運ぶため」に水が使われているため、見かけ上大きな値となってしまうからだ、とも言える。一方で、Hoekstraらオランダグループのように必要最小限の水のみをVWの算定に利用しているグループの推計値では日本国内で利用されている水資源量は約300億 m^3 となっており、必ずしも実態とはそぐわない結果となってしまう。オランダグループの推計値は第二次の世界水開発レポート(WWDR)に引用されたため、「国連の推計値」として日本国内で紹介されることもあるが、こうした問題があることに注意が必要である。

畜産物については、飼料の生産に必要な水、家畜が飲む水、そしてその他畜産に必要な水の3種類を考え、皮革やミルクなど複数の産品が得られる場合には価格に応じて投入水量を分配する、という点に関しても日蘭共通である。ただし、オランダグループは乳牛、肉牛、豚、鶏に加えてヤギや羊、馬などに関しても算定している。果実類に関しては、参照蒸発散量を定め、面積あたりに収穫できる実の量から穀物と同様に水消費原単位が求められている。東大グループでは日本について地域分類して年間の参照蒸発散量を定めているが、UNESCO-IHEでは、穀物と同様のPenman-Monteith式を用いて参照蒸発散量を国別に定め、その値を求めている。結果として、畜産物に関する両者の推計値はよく対応している。チーズについてはパルメザンチーズに関する佐藤(2003)の推計値を参考に表1に示したが、チーズの種類によって大きく異なる含水率によってこの値は大きく変わり、カマンベールだと2900ℓ/kg程度であるので、チーズとひとくくりに扱うようであれば、有効数字は1桁もない点に留意されたい。

工業用水に関して、UNESCO-IHEではグローバルな輸出入を算定するため、各国のグロスの工業用水使用量と工業分野のGDPから価格あたりのVW content(水消費原単位に相当)を求めていたが、最近では特定の製品に関するケーススタディを行っている(Aldaya and Hoekstra, 2010)。これに対して、日本では、工場で利用されている水量を積み上げる手法に、産業連関表を用いて原材料や設備機器製造などに利用された水量を算出する手法を組み合わせ、ライフサイクルアセスメント的に推計する手法が適用され、249業種について生産額あたりの取水量の総計とその取水源、利用目的、回収水量、汚濁負荷などが算定さ

れている(近藤, 2009)。

4. ウォーターフットプリントの推計にあたっての問題点

オランダのグループは、企業を巻き込み、Water Footprint Network(WFN)という組織を構成し、WF Manualを作成して、WFのISO化にあたってのde facto standardを狙っている。ここでは彼等の提案(あるいは主張)をも参照しつつ、WF推計にあたっての一般的な論点を紹介する。

まず、そもそも、「水を使って何が悪い?」という問いに対する答えが自明ではない。Oki and Kanae(2006)にもあるように、我々が利用している水の多くは循環資源であり、上手に利用すれば人類が存続しそうな数万年といった時間スケールでは使い続けることが可能である。さらに、そもそも、水が豊富な地域で節水しても、水が足りない地域で水が使えるようになるわけではなく、単に節水しさえすれば地球環境によい、というわけではない。世界のどの地域における二酸化炭素の排出も大気中の二酸化炭素濃度の増加に多かれ少なかれ寄与するだろうが、日本で節水してもアフリカで使える水が増えるわけではない。

また、同じ場所でも、雨季と乾季とでは、同じ量の水を使っても、環境や他のユーザへの影響は大きく異なる。例えば、北海道やカナダのように豊かな水資源に恵まれている地域で、雪解け水が豊富な時期に、900リットルの水を用いて作られた携帯電話と、高松やシンガポールのように水需給が逼迫している地域で、乾季の最後で水が逼迫している時期に、しかしやや少なく800リットルの水を使って作られた携帯電話とでは、前者の方が環境負荷は小さいだろう。

ここで現実的な問題は、水を安価で豊富に利用可能な地域では、上記の例のように、水資源が逼迫している地域に比べると節水をしようとする動機付けが働きにくく、結果として同じ製品の生産にあたっての水使用量が多かったり、そもそも水を大量に必要とする産業が立地したりすることである。すなわち、インベントリーで示される数値をWFとし、環境指標として利用するのは非常に不適切であり、どういう地域でどういう時期に使われた水なのか、という情報もインベントリーには含まれていなければ、環境影響評価にはつながらない。

また、WFもLCAの枠組みとして再構築されようとしている現在、言わずもがなではあるが、WFだけで環境影響の深刻さを評価してはいけない。水が切迫している場所や、時期には水を大事に使い、生態系を含めた水ユーザ間で限られた水資源を分かち合う必要があるが、豊かに水を利用可能な条件下ではむしろ水を有効に用いて、他の環境負荷を減らす方が良い場合もあるからである。

さらには、同じ量の水であっても、それが地下水や河川水、あるいはダム貯水池によって確保された水と雨水とでは環境への負荷は大きく違うため、取水源の情報もインベントリーには不可欠である。これまでの食料に関するWFやVWの推計ではgreen waterと呼ばれる雨水起源の水も、河や湖などの表流水や地下水からわざわざ取水して灌漑に用いられるblue waterと呼ばれる水も区別せず単にその合計がインベントリーとして示されていた。最近では、穀物成育モデルやダム貯水池操作モデルなども組み込まれた全球統合水資源モデルを用い、世界の各地域で、雨水、河川水からの灌漑水、非循環型の地下水からの灌漑水をどれだけ使って主要穀物が生産されているかを推計し、WFの取水源の内訳をも明らかにした研究（犬塚ら、2008; Hanasaki et al., 2010）も現れ始めている。

そもそも何をもって使用した水の量とするのか、という点も、研究者によって考え方はばらばらである。統計的に利用しやすいのは取水量であるが、一部は浸透したりして自然の水循環に戻り、一部は蒸発して大気中に失われ、一部は人工的に元の取水源などに戻される。Hoekstra等は蒸発したり、他の流域に排水されたり、製品の中に含まれて運ばれたりして、元の流域から他に行った水を消費量と定義し、これをWF算出の基本としている。

しかし、この方式だと、灌漑ロス、すなわち、取水後、作物によって蒸散される分に加えて、灌漑水路で浸透する水は消費ベースで推計されるWFでは加算されないことになる。しかし、いずれは自然の水循環を通じて地下水や表流水として同じ流域内のどこかの地点では利用可能になるにせよ、その場所で本来利用可能であった水を使えなくする、という意味では灌漑ロスも水を使っている、と考えたほうが良いのではないだろうか。あるいは、下流の取水量分が権利化されているとすると、その分については上流で確保しておかなければならない、という意味では上流での取水を制限することになるので、他のユーザの利用可能性を制限しているという意味では水を使っていることになる。そもそも、灌漑ロスを減らす努力がWF削減に結びつかないとなると、環境影響負荷軽減のための測定指標としてのWFの有効性がやや失われてしまう。Hoekstra方式だと、作物によるWFを減らすには、灌漑ロスを減らすのではなく、より蒸発散量が少なくすむ穀物への転換を進めるしかないことになってしまう。ついでに言えば、作物による蒸散以外に耕作地表面からの蒸発も蒸発散全体の1割程度はあるのが普通であるが、これは作物がなくとも蒸発するであろう分なのに、WFに含めて考える、というUNESCO-IHE方式は一貫性にやや欠ける。

工場などでの水利用の場合も、まったく同じ地点に戻るわけでない限り、取水点から復流（放流）地点までの区間

ではその分の水は利用できないため、これを使っていないとみなすのは乱暴である。一方で、他の流域に排水されたとしても、今度はその流域で利用可能となるので、その分はマイナスのWFとして推計しても良いだろう。

いずれにせよ、どういう場所から取水するか、に加えて、どういう場所に排水するか、という情報も、WFの環境影響評価には必要となる。

取水したのと同じ量の水を取水源のごく近傍に還流しているとしても、温度も含めた水質が、その用途としては何らか劣化しているはずである。そうでなければ、排水せず、そのまま再び利用すれば良いからである。従って、そうした温度も含めた水質劣化、エントロピー増大といった良いが、も、水利用としてWFに組み込む必要がある。Hoekstra等は、環境基準にまで希釈するのに必要な水の量をgray waterと名づけ、green water、blue waterに単純に加算してWFの総計とすることを提案している。そうした換算法はひとつのアイディアとして考えられるが、排水先の条件によって同じ水質汚濁量でも環境影響は違うだろうし、雨水、灌漑水といった、実際に取水している量と、希釈に必要な量という環境影響を想定した量を同列に扱っても良いかどうかは議論が必要であろう。

そういう水の持つポテンシャルの利用には水力発電のように重力エネルギーの利用もある。Hoekstra等のWFでは考慮されていないが、ISOのWFに関するworking groupであるTC 207/SC 5/WG 8のChairであるSebastien Humbert等は影響評価も含めたLCA手法の提案を試みている。

カーボンフットプリントと同様、インベントリー段階でのカットオフの問題に加えて、様々な水源から、いろいろな地域でいろいろな時期に取水され使われて排水される水について、その量と質や温度など、多岐に渡る項目をどのようにわかりやすく伝えるか、という点も技術的な課題である。単一の数字としてWFを統合、消費者とコミュニケーションしたい、というニーズは高く、インベントリーの数字で代用してよいことにしよう、という圧力も高いが、それでは適切な環境指標としては取り扱えない、という認識も高く、今後の予断を許さないところである。

5. おわりに

いろいろな場で議論をしてみると、本稿で紹介したWFに対する見方は、多くの研究者、専門家の間で共有されているという手ごたえがあり、少なくとも、インベントリーレベルでは、取水、排水に関わる時期、地域、水源、量と質に関する情報を収集すべきである、ということにはなりそうである。

唯一の数字としてWFを表現するのは非常に困難である

と現状では考えられ、低排出ガス車マークの様に、星の数で水への環境影響を相対評価するような形式が無難であろう。しかし、それでは、水の量としてのWFの実感が湧きにくくなる、という欠点がある。

WF推計の目的をどう設定するかにもよるが、どんな形でとりまとめるにせよ、下記の条件が満たされないWFだと、実際には役に立たず、利用されることはないのではないだろうか。

- a) WFの大きいほうが環境負荷は高く、小さいほうが環境負荷は小さい、という風に比べられること。あるいは、別の地域や時期のWF同士の比較は無意味であることを常に周知すること。
- b) WF同士で加算減算できること。あるいは、特定の条件でしか加減算できないことを常に周知すること。
- c) 取水量や消費量を減らす節水努力、排水水質を良くしようとする努力などが反映されること。

WFという概念があるからには、オフセット、あるいは水ニュートラルという概念も提案されており、企業が関心を払っているのもそうした動きを睨んでのことである。

しかし、WFに、どこかという水か、という情報が付帯しているとなると、製品単位あたりの水使用量としてのラベリング以外に、企業活動、あるいは個人、国や組織が、どこかという水にどの程度依存しているか、という把握にもWFを用いることができる。場所ごとの水資源の逼迫度、将来展望を推計することができれば、それらのentityの水に関する包括的なリスクアセスメントにWFをつなげることができるのである。いわば、Life cycle water risk assessmentの一部として、WFを使うことが可能となるのであり、手法が洗練され、インベントリーが充実してツールが揃うに従って、そうした用途も増えていくものと想定される。

謝辞

本稿は、日本学術振興会科学研究費補助金 (S) 19106008の成果に基づいている

(平成21年5月6日受付)

参考文献

- Aldaya, M.M., Hoekstra, A.Y. (2010) : Agricultural Systems, 103(6), 351-360
- Allan, J.A. (1996) : "Policy responses to the closure of water resources", Water Policy: Allocation and Management in Practice, P. Howsam, R. Carter, Chapman and Hall, London, 228-234
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2003) : "Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock

and livestock products", Value of Water Research Report Series, No.13, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, 49-76

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2008) : The global component of freshwater demand and supply: An assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products, Water International, 33(1), 19-32

Falkenmark, M., Rockström, J. (2004) : Balancing water for humans and nature, Earthscan, London, 248

Hanasaki Naota, Inuzuka Toshiyuki, Kanae Shinjiro, Oki Taikan, (2010) : Journal of Hydrology, 384, 232-244

Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q. (2002) : 'Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade', Value of Water Research Series No. 11, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, 116

Hoekstra, A.Y. (2003) : Virtual water: An introduction, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, 13-23

犬塚俊之, 新田友子, 花崎直太, 鼎信次郎, 沖大幹 (2008) : 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, 水工学論文集, 52, 367-372

近藤剛 (2009) : 工業製品のWater Life Cycle Assessment, 東京大学工学部社会基盤学科卒業論文

沖大幹 (2003) : "地球をめぐる水と水をめぐる人々", 有斐閣選書 水をめぐる人と自然—日本と世界の現場から—, 嘉田由紀子編著, 有斐閣, 東京, 199-230

Oki, T., Sato, M., Kawamura, A., Miyake, M., Kanae, S., Musiake, K. (2003) : Virtual water trade to Japan and in the world, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, 221-235

Oki, T., Kanae, S. (2004) : Virtual water trade and world water resources, Water Science & Technology, 49 (7), 203-209

Oki T., Kanae, S. (2006) : Science, 313 (5790), 1068-1072

Postel, S.L., Daily, G.C., Ehrlich, P.R. (1996) : Science, 271, 785-788

丹治肇 (1998) : 水文・水資源学会誌, 11(7), 757-767

丹治肇 (2002) : 第6回水資源に関するシンポジウム論文集, 東京, 25-30

Zimmer, D., Renault, D. (2003) : Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, 93-107