

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05342

研究課題名(和文) グローバルサプライチェーンにおける隠れた水資源フローに起因する環境リスク評価手法

研究課題名(英文) Assessment method of environmental risks associated with hidden water resource flows in global supply chains

研究代表者

本下 晶晴 (Motoshita, Masaharu)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究グループ付

研究者番号：50371084

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：2050年までに世界の40%の人口が水不足に直面すると言われる中、日本で消費する製品/サービスが作られるまでに世界のどの地域で、どれだけの水を消費しており、それによってどのような環境への影響があるのか(ウォーターフットプリント)を計算することができる手法を開発した。これにより、我々の生活を支える製品やサービスを生産するために必要とされる水資源のうち、約60%を世界の国々での水資源の利用に頼っていることが分かった。特に、こうした国々は日本に比べて水資源が不足しているため、水利用に関わる環境への影響としては日本で起こる影響の約50倍もの影響を与えていることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：According to prospect of water supply and balance, around 40% of world population will suffer from water deficit by 2050. To tackle this water crisis, we developed a method to account water volume and assess impacts on the environment along supply chain of products/services consumed in Japan (So called water footprinting). Water footprinting reveals that 60% of the total water consumption for production of products/services consumed in Japan occurs outside Japan. Besides, this high dependency results in about 50 times larger impact on the environment in other countries than those in Japan.

研究分野：環境工学、ライフサイクルアセスメント、ウォーターフットプリント、環境影響評価、持続可能性評価

キーワード：ウォーターフットプリント 水資源 サプライチェーン ライフサイクルアセスメント 国際産業連関分析

### 1. 研究開始当初の背景

世界の人口増加・生活様式の変化に伴う水需要の増加による水需給の逼迫が深刻な問題となると予想され、WMOの予測では2025年時点において水需要は95年比で約1.4倍に達する。WHOによると水不足に起因する健康被害は、その他の疾病・要因による健康被害全体の約1割を占めており極めて深刻な健康被害の要因の1つである。また、水資源の不足は人間健康だけでなく、水生生物の生息地域の減少や、陸生生物の生育阻害など生態系への影響も懸念される。特に水資源には遍在性があり、世界の中でも地域によってそのストレスの程度は異なる。一方、生産拠点のグローバル化により我が国の製品/サービスの生産には世界の様々な地域との取引を通じた原材料や部品などが使用されており、その背後には様々な地域で水が消費され、見えない水資源のフローが隠されている。こうした隠れた水資源のフローを明らかにするための研究として、ロンドン大学のAnthony Allan教授により取引関係による仮想的な水のフローを分析するVirtual waterが提唱され、また近年では製品/サービスに関わるライフサイクル全体での水消費による影響を定量化する手法としてWater Footprintが提案され国際標準規格として今年発行された。こうした動向の中で、隠れた水資源のフローを分析するための製品/サービスに関わる直接・間接の水消費量を算定するデータベースの開発も進められているが、特定の国・地域を対象としたもののみで、世界全体を対象としたデータベースはまだ開発されていない。また、水資源不足に対する脆弱性は地域によって異なるが、その影響を評価できる手法はまだ開発され始めたばかりである。特に、地域別の水資源の物理的ストレス度の評価では、絶対的な水資源賦存量の豊富さだけでなく、循環資源としての水利用可能量に対する水消費の速度も地域によるストレスを左右するが、これらを考慮した指標はまだ開発されていない。さらに、水資源消費による影響のエンドポイントとして、我々はこれまでに人間健康を対象とした評価手法を開発してきたが、Kouninaら(2013; Int. J. LCA, 18, 707-721)が指摘しているようにもう1つの重要なエンドポイントである生態系への影響については世界スケールでの評価手法は極めて少なく、その手法に対するコンセンサスもまだ得られていない。

### 2. 研究の目的

本研究では世界のサプライチェーンを通じた我が国の製品/サービスの水資源フローを可視化するデータベースを開発する。また、水消費に起因する物理的資源ストレスを通じた環境リスク影響を定量評価する世界スケールのモデルを構築する。これらを組み合わせることで我が国の製品/サービスに関わる隠れた水資源フローとその環境リスクの分析を可能とし、さらに将来の消費支出構造の変化による環境リスクの変化を時系列で予測し、

水資源に関わる環境リスクの中長期的な予防的管理に資する手法の開発を目指す。

### 3. 研究の方法

世界のサプライチェーンにおける水資源フロー分析のため、日本および世界230カ国における製品/サービスの生産における直接水消費量を算定する。製品/サービスの生産における間接的水消費も考慮するために世界連関型産業連関分析手法を援用して、水資源消費データベースを開発する。水消費による環境リスクとして、水資源の賦存量・消費量・循環利用可能資源量を基に物理的な水資源ストレス指標を作成し、水不足と一次生産、生物種数情報の関連付けによる生物種の絶滅リスク評価モデルと共に、これまでに開発した人間健康リスクと合わせて環境リスク評価指標を作成する。製品/サービスに関わる水資源消費に伴う環境リスク管理への活用として、属性別消費支出分析、人口・世帯構成予測データに基づいた家庭消費による水資源消費に関わる環境リスクの時系列変化を分析・予測する。

### 4. 研究成果

まず国産の全製品/サービスの生産に投入されている水資源量およびそのうち蒸発、原料化、汚水として失われる割合を算定し、直接的な水資源消費量の推定を行った。国産の製品/サービスについて産業連関表の403部門に対応した水資源消費減単位を作成し、直接消費量に加えて、各製品/サービスの生産に関わる投入原材料やエネルギーなどに関わる間接的な水消費量を含む原単位データベースを作成した。また、日本への輸入材料、製品、サービスに関わる水消費量の算定と水資源の物理的ストレス指標の開発を行った。世界230カ国における製品・サービスの生産に投入される水資源量とその消費割合を算定し、日本の産業連関表との連結のため57部門への集約を行った。これらを元に日本を含む230カ国における全製品・サービスの生産に関わる直接水消費量データを基に、国際産業連関分析モデルGLIOを用いて世界連関型の水資源消費原単位データベースを構築した。このデータベースを元に、日本の家計消費に起因するサプライチェーン全体での水消費量を算定した結果、直接消費である上水道や簡易水道だけでなく、食料品の消費など間接的な水消費量が多く、その大部分は海外に依存していることが明らかとなった(図1)。また、その



図1 日本の家計消費に起因する品目別水消費量

国別内訳を見ると、日本での水消費量は約38%に留まっており、全体の需要の約62%は海外における水消費に依存している構造が明らかとなった（図2）。

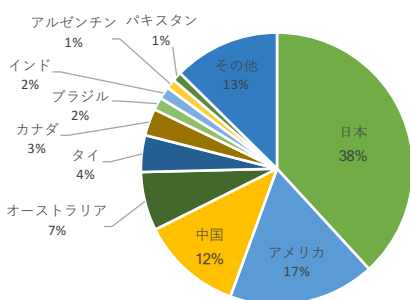


図2 日本の家計消費由来の水消費量の国別内訳

また、水消費に伴う影響は同じ水量であっても各国や地域によりその影響は異なる。そこで、世界各国における水資源消費に伴う環境リスクの評価係数リストを作成した。水資源消費に関する物理的ストレス指標として基盤となる需要としての環境用水量および人間生活への基礎需要を定量化することで正味の利用可能水量を算定し、正味の利用可能水量の豊富さと水需要との比率で競合状態を表現する2つの指標を物理的ストレス指標として開発した。水ストレス指標についても世界全域を流域スケールでカバーしており、国レベルに集約することで前述の水消費原単位データベースとの連結ができるものとなっている（図3）。

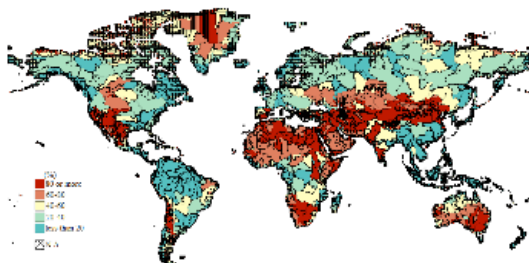


図3 単位量の水消費による水ストレスの分布

水消費による影響として、水資源枯渇のリスクを評価するストレス指標だけでなく、世界全体を対象として約11,000の流域レベルで生活用水や農業用水不足に伴う健康被害の評価係数を開発した（図4）。評価係数は年平均

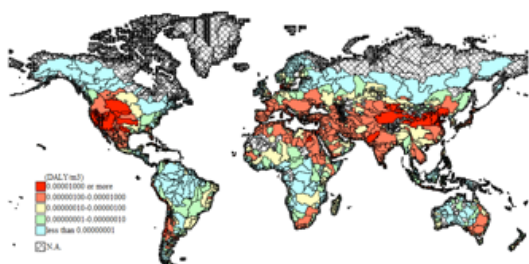


図4 単位量の水消費に伴う栄養失調被害の分布

均だけでなく月別の評価係数を作成し、流域レベルだけでなく国レベルに集約した評価係数も開発した。

これらの評価係数、水資源データベースを基に日本の消費活動に関わる水資源消費による環境リスクの分析を行い、人口動態予測データを用いて消費活動に伴う環境リスクの時系列分析を行った。これにより食料消費に起因する水資源消費による環境リスクが高く、その低減に向けて食品ロスの削減等の対策の効果について定量的に明らかにすることができた。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

①Masaharu Motoshita, Yuya Ono, Matthias Finkbeiner, Atsushi Inaba, The effect of land use on availability of Japanese freshwater resources and its significance for water footprinting, Sustainability, 8(1), 86 (online journal), 2016, doi:10.3390/su8010086

②Anne-Marie Boulay, Jane Bare, Lorenzo Benini, Markus Berger, Michael J Lathuillière, Alessandro Manzardo, Manuele Margni, Masaharu Motoshita, Montserrat Núñez, Amandine Valerie Pastor, Bradley Ridoutt, Taikan Oki, Sebastien Worbe, Stephan Pfister, The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE), The International Journal of Life Cycle Assessment, 23(2), 368-378, 2018, doi:10.1007/s11367-017-1333-8

〔学会発表〕（計 7 件）

①Anne-Marie Boulay, Jane Bare, Lorenzo Benini, Markus Berger, Cecile Bulle, Michael Lathuilliere, Alessandro Manzardo, Manuele Margni, Masaharu Motoshita, Monserrat Nunez, Taikan Oki, Bradley Ridoutt, Sebastien Worbe, Stephan Pfister, The WULCA consensus for water scarcity footprints: Assessing impacts of water consumption based on human and ecosystem demands, SETAC Europe 26<sup>th</sup> Annual Meeting, 2016

②Masaharu Motoshita, Matthias Finkbeiner, Jun Nakatani, Atsushi Inaba, Assessing the depth of impacts in supply chains for sustainability management in organizations, EcoBalance 2016, 2016

③ Anne-Marie Boulay, Stephan Pfister, Masaharu Motoshita, 合意形成に基づいた水利用による影響評価モデルの開発、第12回日本LCA学会研究発表会、2017

④ 佐々木貴央、本下晶晴、南斉規介、橋本征二、家計消費とプラネタリー・バウンダリー：淡水利用について、第12回日本LCA学会研究発表会、2017

⑤ 本下晶晴、Stephan Pfister、佐々木貴央、南斉規介、橋本征二、Matthias Finkbeiner、日本の家計消費に起因するウォーターフットプリント、第45回環境システム研究論文発表会、2017

⑥ 佐々木貴央、本下晶晴、南斉規介、橋本征二、食品ロスに関わる淡水消費量の推計、第45回環境システム研究論文発表会、2017

⑦ Anne-Marie Boulay, Jane Bare, Lorenzo Benini, Markus Berger, Michael J. Lathuilliere, Alessandro Manzardo, Manuele Margni, Masaharu Motoshita, Montserrat Nunez, Amadine Valerie Pastor, Bradley Ridoutt, Taikan Oki, Sebastien Worbe, Stephan Pfister, An international consensus on scarcity for the assessment of water footprints, 2017 Joint Conference ISIE and ISSST, 2017

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織  
(1) 研究代表者

本下 晶晴 (MOTOSHITA, Masaharu)  
国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・グループ付  
研究者番号：50371084

(2) 研究分担者  
( )

研究者番号：

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号：

(4) 研究協力者  
南斉 規介 (NANSAI, Keisuke)  
小野 雄也 (ONO, Yuya)  
Stephan Pfister (PFISTER, Stephan)  
Markus Berger (BERGER Markus)  
Matthias Finkbeiner (FINKBEINER, Matthias)  
Anne-Marie Boulay (BOULAY, Anne-Marie)