

国際貿易を考慮した食料消費に関わる淡水資源需給バランスの

将来シナリオ評価

Future scenario assessment of water resource supply-demand balance related to food consumption considering international trade

○山口陽平*¹⁾、田村賢人¹⁾、吉川直樹¹⁾、橋本征二¹⁾、天野耕二¹⁾

Yohei Yamaguchi, Kento Tamura, Naoki Yoshikawa, Seiji Hashimoto, Koji Amano

1) 立命館大学

* rv0023hs@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

人類の社会活動に不可欠な食料生産には土地資源と淡水資源の双方が必要となるが、両資源は地球上に偏在する。また近年、途上国を中心とした人口増加・経済発展の進行、全球規模での気候変動が顕在化している。そのため、地域ごとの気候・地理的特性と相まって、両資源の需給不均衡による食料逼迫を生じる恐れがあり、持続可能な社会の達成が危ぶまれつつある。

世界全体の淡水資源消費に占める農業用水の割合は70%とされており¹⁾、食料生産に対する淡水資源制約は無視できない。また、淡水資源の直接的な国際貿易は困難であるため、淡水資源の不足地域では食料輸入が不可欠である。既往研究²⁾では、SRES シナリオを基にした6種類のGCMモデルにより、淡水資源消費量の将来予測が行われた。しかし、食料貿易の影響については考慮されていない。山口ら²⁾においては、国際貿易を考慮した上で、食料消費に関わる淡水資源必要量の将来シナリオ評価を行った。同研究では、Planetary Boundary との比較による需給バランスの評価も試みたが、世界全体での大まかな評価に止まっており、地域別の詳細な分析が必要である。そこで本研究では、山口ら²⁾による食料消費に関わる淡水資源必要量の修正値に基づき、各国の食料消費に関わる淡水資源需給バランスを将来シナリオ別に水ストレスで評価する。

2. 研究方法

2.1 使用データと対象設定

本研究では、評価対象年を2010-2100年とし、山口ら²⁾の対象である170か国のうち、FAO貿易収支表³⁾およびAQUASTAT⁴⁾の双方に記載された120か国を対象国とした。これは各国間での詳細な貿易収支を評価に反映させるためである。また、山口ら²⁾の方法に修正を加えた上で、将来シナリオ(SSPs)別の食料消費に関わるBlue Water必要量を集計し、本研究の淡水資源必要量として用いた(詳細はS.1節参照)。淡水資源供給可能量の推計では、AQUASTAT⁴⁾に記載された淡水資源賦存量と取水量の統計データを使用した。

2.2 淡水資源供給可能量の推計

本研究では、各対象国に関して、AQUASTAT⁴⁾に記載されたTotal Renewable Water Resourcesの項目を淡水資源賦存量 $TRWR$ [km^3]として用いた。しかし、食料消費に関わる淡水資源必要量のみを評価対象としているため、この値を淡水資源供給可能量としてそのまま用いた場合、後述する水ストレスの推計(2.3節)において過小評価を生じさせる可能性がある。そこで次式(1)により、淡水資源供給可能量 $ARWR$ [km^3]を定義した。

$$ARWR_i \equiv TRWR_i \times \frac{AWW_i}{TWW_i} \quad \dots (1)$$

ここで、添え字 i は対象国、 AWW は農業用水取水量 [km^3]、 TWW は総取水量 [km^3]を表す。両取水量に関しては、AQUASTAT⁴⁾に記載された各対象国の2012年値を基準年値(2010年)として用いた。両項目は地表水・地下水の取水に加え、再生処理水や海水淡水化の利用も含む。 AWW の当該年データが欠如する場合は、当該年前後で最も近い年度のものを代用した。

なお本研究では、淡水資源供給可能量は2100年までの将来にわたって基準年値で一定と仮定した。したがって、気候変動による淡水資源供給可能量の将来変動、および技術革新により新たに利用可能となり得る淡水資源の潜在賦存量などは考慮していない。

2.3 水ストレスの推計

本研究では、次式(2)で定義した水ストレス WSI [-]により、各対象国の淡水資源需給バランスを評価した。

$$WSI_i \equiv \left\{ \sum_j WR_{i,j}(t) \right\} / ARWR_i(2010) \quad \dots (2)$$

ここで、添え字 i は対象国、 j は淡水資源必要量の対象品目(96品目)を表す。また、 t は対象年[yr]、 $WR(t)$ はSSP淡水資源必要量 [km^3]、 $ARWR(2010)$ は淡水資源供給可能量 [km^3] ($t=2010$ は基準年)を示す。

(2)式の水ストレスに対して、表1に示した3段階の判断基準により、淡水資源需給バランスを評価した。同表の判断基準は、既往文献⁵⁾を参考に設定した。

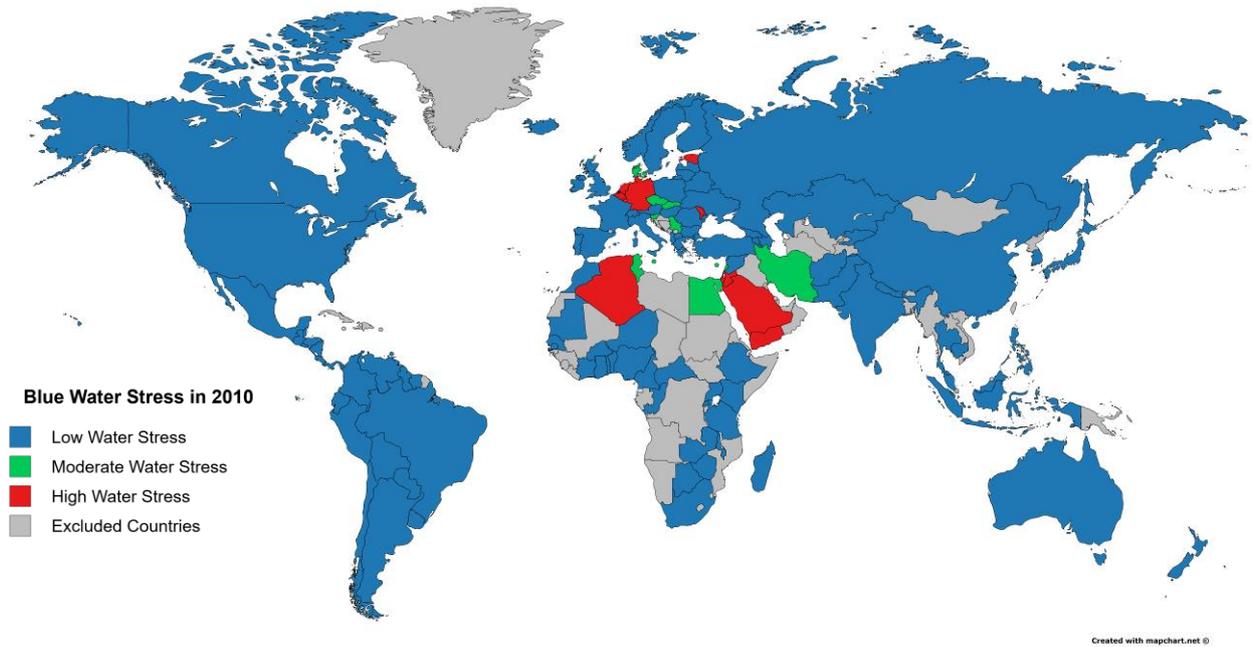


図1 水ストレスの推計結果（2010年）

表1 水ストレスの判断基準

WSI Ranges	Degrees of Water Stress
$WSI < 0.2$	Low Water Stress
$0.2 \leq WSI < 0.4$	Moderate Water Stress
$0.4 \leq WSI$	High Water Stress

なお本研究では、水ストレスの判断基準において、環境流量⁵⁾（流域生態系構造の維持に必要とされる水量）は考慮していない。

3. 結果と考察

2010年時点の水ストレスの結果を図1に示す。同図より、2010時点で高い水ストレス（High Water Stress）下にある12カ国のうち10カ国で、国内生産のみで高い水ストレスを示した。一方、他の2カ国（Luxembourg, Estonia）では、輸出が加わることで高い水ストレスを示した。これら2カ国を見ると、自国と同じEU圏内への食料輸出に伴う淡水資源必要量が各々、99%（ $16[10^6\text{m}^3]$ ）と97%（ $14[10^6\text{m}^3]$ ）を占めており、これが両国の水ストレスを強めていることが示唆された。

次に、SSP1における2050年時点の水ストレスの結果を図S1（S.2節）に示す。図1と比較すると、一部の地域で2050年の水ストレスが2100年に比べて強まっている。例えばEgyptを見ると、2050年時点の国内生産および輸出由来の淡水資源必要量は2010年比で各々、39%（ 11km^3 ）と56%（ 0.89km^3 ）増加となることが予測された。これより、同国の水ストレスを強める要因としては、国内食料需要増加に加えて輸出先の食料需要増大が相対的に大きく寄与すると考えられる。

ただし本研究では、食料生産に限定して淡水資源必

要量や淡水資源供給可能量を推計した。したがって、生活用水や工業用水を新たな推計対象に加えることにより、両図の水ストレスの結果が大きく変化する可能性があることに留意する必要がある。

4. おわりに

本研究では、将来的に変化する可能性のあるいくつかの要因を一定と仮定して淡水資源需給バランスの将来推計を行った。今後はこの点の改善が必要になると考える。なお、学会当日はシナリオ別の評価結果を報告する予定である。

5. 謝辞

本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費(S-11)の支援により実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Y. Shen, T. Oki, N. Utsumi, S. Kanae and N. Hanasaki: Hydrological Sciences Journal, 53(1), (2008), pp.11-33
- 2) 山口陽平, 田村賢人, 吉川直樹, 橋本征二, 天野耕二: 第11回 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2016), pp.100-101
- 3) FAO: FAOSTAT – Data, <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>
- 4) FAO: AQUASTAT – Main Database, <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>>
- 5) V. Smakhtin, C. Revenga and P. Döll: IWMI Reserach Report Series – Report 2, (2004), pp.1-19

Supporting Information

S.1 淡水資源需要量の推計

本研究では、山口ら²⁾の方法に修正を加えた上で、5種類の将来シナリオ (SSPs) 別に、2010-2100年までの食料消費に関わる淡水資源必要量 (SSP 淡水資源必要量) を10年ごとに96品目、170国を対象として推計した。SSPsはIPCCにより定義された社会経済シナリオであり、気候変動に対する緩和策・適応策の困難度から、SSP1 (持続可能)、SSP2 (過去の延長)、SSP3 (分断)、SSP4 (格差)、SSP5 (在来型発展) の5種類のシナリオ別に人口とGDPのデータが用意されている⁶⁾。SSP 淡水資源必要量は、上記5種類の社会経済シナリオに基づいて推計されたものであり、したがって人口とGDPを主たる説明変数とした推計値である。

3種類のWater Footprint (WF、Green: 降水由来、Blue: 地表水・地下水由来、Grey: 汚濁負荷物質に対する希釈水量) により、SSP 淡水資源必要量を推計した。WFの評価範囲としては、原料作物の栽培時における淡水消費のみを対象とした。したがって、原料作物の栽培時に使用される肥料・農薬・農業用具の製造などによ

り上流部で消費される淡水資源量、および原料作物の加工段階から最終消費段階までの各過程の淡水消費量は、すべて評価対象外とした。

SSP 淡水資源必要量に各国間の国際貿易による食料生産・消費地の乖離の影響を反映させるために、FAO食料需給表³⁾に基づいて同推計値を国内生産由来と輸入由来の2種類の食料消費内訳に配分した。このうち、輸入由来に関しては、FAO貿易収支表³⁾に基づいて可能な限りで輸入相手国別の配分を試みた。その際、国際貿易の形態としては2国間での食料輸入を想定し、輸入食料はすべて輸入相手国内で生産されるものと仮定した。各々の配分比率は、2100年までの将来にわたって基準年値で一定と仮定した。

なお、山口ら²⁾の推計方法では、食料消費内訳の配分比率の設定において、国内生産・輸入・輸出との間にダブルカウントが生じていた。そのため、本研究ではこの部分を修正した上でSSP 淡水資源必要量を集計し、このうちBlue Water 必要量を本研究の淡水資源必要量として使用した。

S.2 水ストレスの推計結果 (SSP1、2050年)

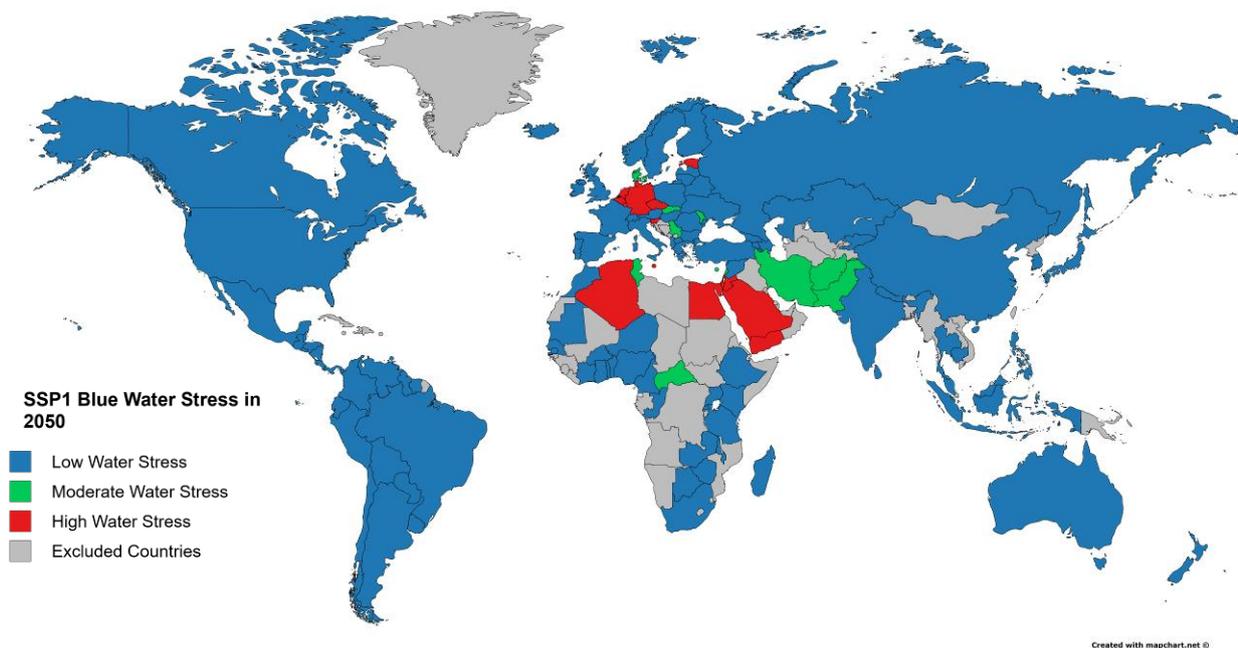


図 S1 水ストレスの推計結果 (SSP1、2050年)

S.3 参考文献 (Support Information)

- 6) B. C. O'Neill, E. Kriegler, K. Riahi, K. L. Ebi, S. Hallegatte, T. R. Carter, R. Mathur and D. P. van Vuuren: Climatic Change, 122, (2014), pp.387-400
- 7) IIASA: SSP Database – Version 1.1, <<https://secure.iiasa.ac.at/web-apps/ene/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=about>>