

気候変動による世界の水資源量変化と社会的影響に関する研究

Study on the amount change of water resources and social influence in the world by a climate change

中央大学理工学部 特任教授 大平一典

Chuo University, Department of Science and Engineering, Specially appointed professor, Kazunori ODAIRA

1. 本研究の背景と目的

2007年に公表された「気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)」の第4次報告書は、人為起源の温室効果ガスの増加に起因して地球の気候システムに温暖化が起こっているとほぼ断定した。そして、この温暖化によって、極端な気象現象のリスクが増加することによる影響と脆弱性（影響への適応能力を含む）の関係を指摘している¹⁾。地球温暖化により、世界各地で異常気象が頻発し、食料供給に影響を及ぼしていると言われる中で、今後、更に温暖化が進行すれば、水資源の不足、砂漠化、栽培適地の変化などにより世界の農業生産に深刻な影響を及ぼすことが懸念されている。

さらに、BRICs（ブラジル、ロシア、インド、中国の4か国）やインドネシア、さらには、アフリカ諸国の発展途上国は、急速な経済成長を遂げつつあり、人口も増加している。これに呼応して、食料に対する需要が量的・質的に大きく変化することが想定される。

水と食料は、人間の生命の維持に欠くことができないものであり、健康で安定した生活の基礎として重要な物資である。世界の安定と持続的発展のためには、将来にわたって良質な水と十分な食料が合理的な価格で安定的に供給されることが極めて重要であるが、1970年から現在までの農作物耕作面積は横ばいないしはやや減少しているが単位面積当たりの収穫量（単収）が増加したこと、主要穀物の需要量に対応する生産量は確保されてきたこと、近年の単収の伸び率は小さくなっていく傾向が見られること、主要穀物の輸出国は、米国、ブラジル、アルゼンチンなどの少数の国に限られており、これらの国々での作況が世界全体の食料供給に大きな影響を与えることなど、今後の食料をめぐる国際情勢には懸念材料が多いとの指摘がされている²⁾。

このような中であって、我が国は、カロリーベースで約6割の食料を海外からの輸入に頼っており、近年提唱されているバーチャルウォーターの概念から見れば我が国の豊かな生活は海外の水に大きく依存している。したがって、世界の水と食料に関する将来の動向は、日本の安全保障にとって極めて重要な意味を有していると言える。

以上のような背景を踏まえ、本研究は、気候変動及び将来の人口増加と経済発展を考慮した主要農作物（米、小麦、トウモロコシ、大豆の4品目）の生産量と農業用水の必要量、主要農作物の消費量（食用、飼料用、加工用、バイオ燃料用）、生活用水・工業用水の必要量と供給量、気候変動を考慮した将来の水資源量の変化を推計するシミュレーションモデルを構築し、もって、水と食料の安全保障の観点から我が国の技術的な貢献の在り方について研究することを目的とするものである。

2. 本研究で構築した推計モデルの構成と使用したデータ

本研究で構築した推計モデルは、大別すると6つのパートから構成される（図1）。

このうち、本研究の独自な点は、後述するように供給される農業用水量から主要農作物の生産量を計算できるようにしたことである。

また、各用水の2000年取水実績作、主要農作物の付農地面積や生産量、食料消費実績は国連のFAOSTATとAQUASTATから、気候変動シナリオに即した将来の人口とGDPはコロンビア大学CIESIN (Center for International Earth Science Information Network) のものを用い、166か国それぞれ個別に計算するモデルとなっている。

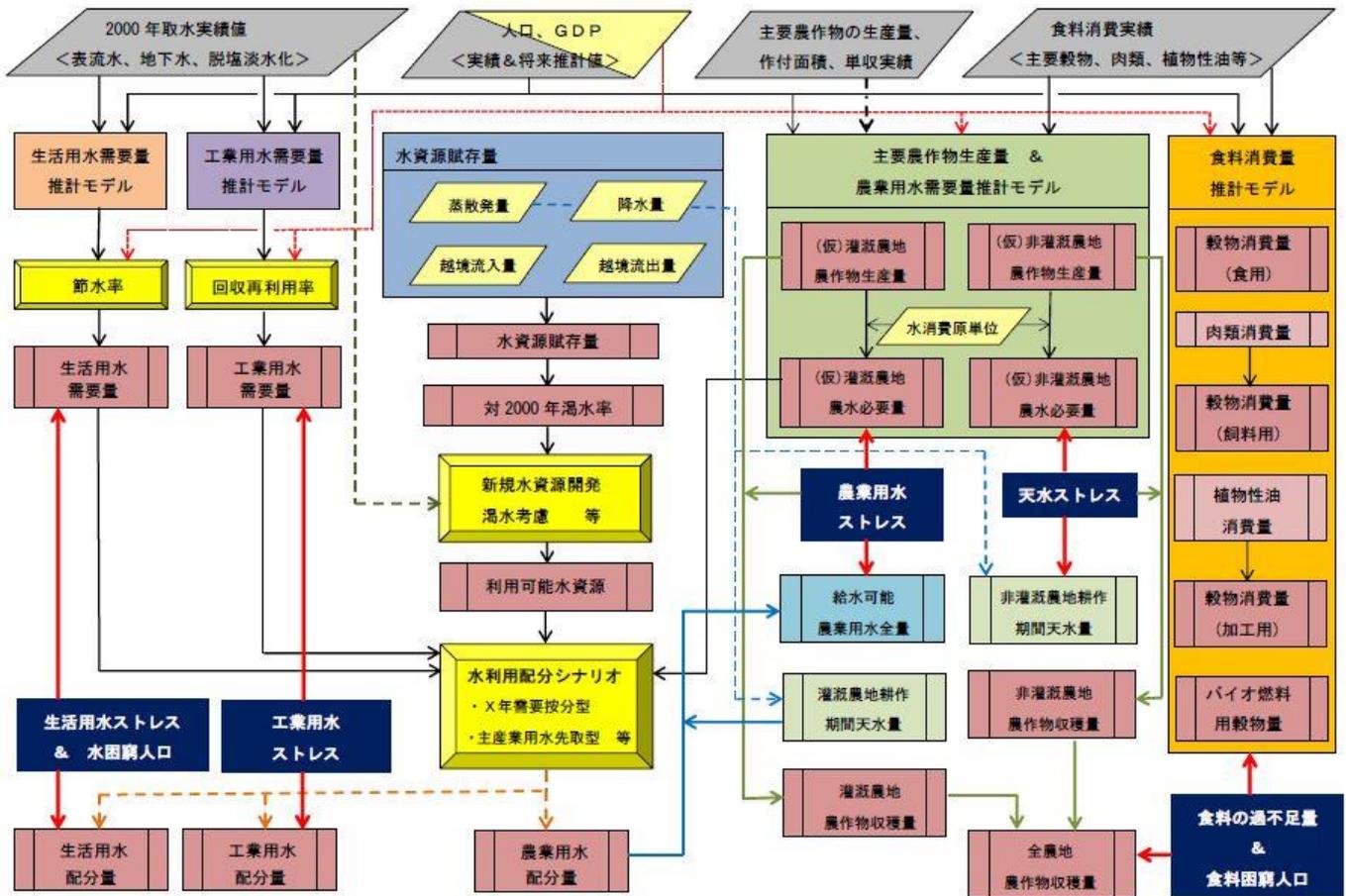


図1 本研究で構築した推計モデルの構成

3. 主要農作物の生産量の推計方法

(1) 基本的な考え方

農作物の生産量 P_t は、灌漑作付面積を AH_i 、灌漑農地単収を Y_i 、非灌漑作付面積を AH_n 、非灌漑農地単収を Y_n とすると、これらの関係は次の(1)式で表すことができる。

$$P_t = AH_i \times Y_i + AH_n \times Y_n \quad (1)$$

しかし、FAOSTAT 統計における「生産量」と「作付面積」は、「灌漑農地」と「非灌漑農地」に区分されていない。また、「単収」は、一期作・二期作の考慮もなく、単純に「生産量」を「作付面積」で割った値であり、統計値からは合理的な「灌漑農地単収」と「非灌漑農地単収」を設定することはできないことから、「実際の生産量は農業用水の充足度のみで左右される」と仮定し、農作物の栽培に必要な用水量が100%満たされている状態の単収を『期待灌漑農地単収』(Y_0) という概念で定義する。ここで、灌漑農地及び非灌漑農地の「農業用水充足度」(以下、『灌漑用水ストレス』及び『天水ストレス』と称する)をそれぞれ $\alpha \cdot \beta$ 、FAOSTAT の収穫量を P_{FAO} 、作付面積を AH_{FAO} 、平均的単収を Y_{FAO} とすると、(1)式は(2)式のように表すことができる。

$$P_{FAO} = AH_{FAO} \times Y_{FAO} = AH_i \times Y_0 \times \alpha + AH_n \times Y_0 \times \beta \quad (\text{ただし、} \alpha, \beta \leq 1.0) \quad (2)$$

農作物1トンを生産するために必要な農業用水量(以下、『穀物水消費原単位』と称する)を CW とすると、『期待灌漑農地単収』(Y_0) の収穫を得るために必要な農業用水必要量を算出することができる。

品種や耕作形態が異なれば必要農業用水量は異なるはずであるが、各国の「穀物水消費原単位」に関するデータはほとんどない。一方、日本は、降水量が多く灌漑設備が整備されていることを考慮すると、全作付農地は灌漑農地、かつ、灌漑用水ストレス値はほぼ1.0以上と考えることができることから、「FAOSTAT 単収=灌漑農

地単収＝期待灌漑農地単収」となる。したがって、次善の策として、「N国の農作物の栽培に必要な農業用水量と生育期間と歩留り率が日本と同じである」と仮定すると、N国の「期待灌漑農地単収」 ${}_N Y_0$ と「穀物水消費原単位」 ${}_N CW$ は次の(3)式で表すことができる。

$${}_N CW = \frac{{}_{日本} CW \times {}_{日本} Y_0}{{}_N Y_0} \quad (3)$$

「灌漑用水ストレス」 α と「天水ストレス」 β は、実際に供給される農業用水と農業用水必要量の比であるから、 $\alpha \cdot \beta$ は次の(4)式及び(5)式のように表すことができる。

$$\alpha \text{ (灌漑用水ストレス)} = \frac{W_{IR} + W_{PRI} - (W_{EVI} \times \gamma)}{AH_i \times {}_{日本} CW \times {}_{日本} Y_0} \quad (4)$$

$$\beta \text{ (天水ストレス)} = \frac{W_{PRn} - (W_{EVn} \times \gamma)}{AH_n \times {}_{日本} CW \times {}_{日本} Y_0} \quad (5)$$

ただし、 W_{IR} : 灌漑期間内の灌漑農地への灌漑用水供給量
 W_{PRI} : 耕作期間に灌漑農地に降った降水量の総量
 W_{EVI} : 耕作期間の灌漑農地からの蒸発散量の総量
 γ : 係数(農業物の生産に寄与しなかった比率)

(2) 耕作期間内の灌漑用水供給量、降水量・蒸発散量、係数「 γ 」

AQUASTAT統計データには、表1のように灌漑用水の供給期間及び灌漑用水供給比率が示されている。

降水量と蒸発散量は、東京大学生産技術研究所の沖大幹教授の研究グループが気候変動の「A1B」シナリオに即して算出した1990年～2050年の世界各国別の「月別降水量」、「月別蒸発散量」の計算データをAQUASTAT統計による実績の年間降水量により補正し算出した。

また、係数「 γ 」は、世界最大の農産物生産国であり、灌漑施設が整っているアメリカ合衆国の2000年～2009年の灌漑水ストレス値がほぼ0.9となるように逆算して設定した

表1 AQUASTAT統計データの「BANGLADESH」の例

Irrigated area (1000 ha)		Crop area as percentage of the total area equipped for irrigation by month											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Rice-one	5671							76	76	76	76	76	
Rice-two	5671	76	76	76	76								76
All irrigated crops		96	96	96	96	5	5	80	80	80	80	80	96

(3) 主要の農作物4品目の将来作付面積

農作物の作付面積は、農業経済分野において世界農産物需給予測モデル「IFPSIM (International Food Policy Simulation Model) のように国際的な取引価格と連動した推計モデルが提案されているが、需要と供給が長期にわたり大きくかい離すると作付面積が非現実な値となってしまう結果となった。そこで、次善の策として、2000年～2009年のトレンド傾向から将来の作付面積を推計した。

(4) 将来の期待灌漑農地単収

実績の「期待灌漑農地単収」は、以上に述べた方法で(2)式から算出することができる。将来の生産量の推計計算に使用する「将来期待灌漑農地単収」は、2000年の灌漑給水量をベースにFAOSTAT統計値と適合するように計算した2000年～2009年の値の平均値を用いることとした。

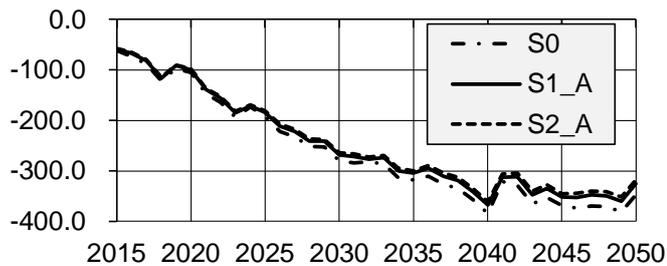
4. 生活用水、工業用水、食料消費量の将来推計

生活用水は、「AQUASTAT」の2000年の「一人当たり生活用水量」と実績の「一人当たり「GDP」(1990US\$MEX)」から関係式を設定した。工業用水は、国全体の「AQUASTAT」の2000年の工業用水取水実績と実績の「GDP」(1990US\$MEX)」から関係式を設定した。また、食料消費量は、2000年～2009年の「一人当たり消費量 (g/人/日)」と「一人当たり GDP (1990年 US\$換算)」から関係式を設定した。

5. 本研究で構築した推計モデルによる主要農作物生産量の推計結果

水資源開発比率を高めることで生産量は増加するが、生産量の増加に比べて人口増加の方が圧倒的に大きいので、ほとんどの国が自国生産量だけでは需要を満たせず大きな不足量が生じる。また、降雨量の多寡に生産量が大きな影響を受ける (図2)。

<単位：百万トン>



<単位：百万トン>

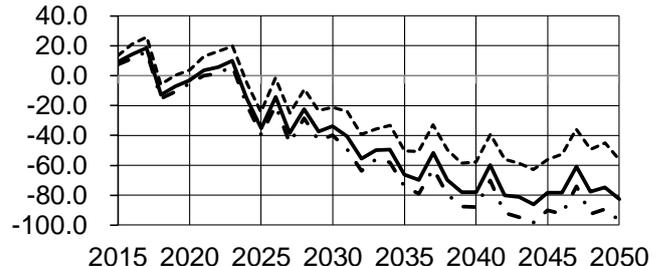


図2 自国生産量の過不足量世界合計 (左：トウモロコシ、右：小麦)

<凡例：対2000年の表流水からの取水量増加率 S1=0%、S1=2%、S2=5%>

6. まとめ

本研究で構築した推計モデルは、「実際の収穫量は農業用水の充足度のみで左右される」との仮定が前提となっていること、GDPのみを基本指標として現在の状況から将来の需要量を推計していること、気温の上昇による耕作作物品種の転換や洪水による減収が反映されていないことなど改良すべき点はあるが、気候変動による降雨量の影響や将来の水資源開発を含む灌漑用水の増減による効果を農作物の生産量の推計計算に反映できるようにした点は、特筆すべきことであると考えている。

水や食料に関して不安定要因が拡大すると予想される世界において、日本は、少なくとも2050年までは安定を確保できると考えられる恵まれた国である。食料や清浄な水にアクセスできない多くの人々が健康的で文化的な生活を享受できるように、ダム等による水資源の開発と効率的な運用、水資源の確保と適正な配分のための法整備や制度の構築、安全な生産基盤を拡大するための洪水被害の防止対策、河川や湖沼の水質浄化や汚濁の防止対策、道路・港湾・下水処理場等の社会インフラ施設の整備、取水施設や灌漑施設の整備・農地の改良、さらに、技術的な貢献をその国に確実に定着させるための「人材育成」など、多くの分野で日本が有する優れた技術や経験が貢献できることは多々ある。

世界への日本の技術的貢献は、日本自身の安全保障の観点からも有益であることは自明の理であり、恵まれた国の使命でもあると思う。本研究の成果が日本の技術的貢献の実現や拡大の一助になってくれれば幸いである。

<参考文献>

- 1) IPCC 第4次評価報告書 統合報告書 政策決定者向け要約 (翻訳)、平成19年11月30日、文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省
- 2) 食料をめぐる国際情勢とその将来に関する分析、国際食料問題研究会報告書、平成19年11月、農林水産省