

1. 研究の背景と概要

気候変動が大きな問題となっている現在、その影響を解釈・翻訳し、社会に伝える事は科学の重要な使命である。気候変動が水需給バランスに与える影響評価研究は、特定の流域に対しては多くなされてきたが、日本の全流域を対象としては行われていない。本研究では、稲成長・水文陸面・灌漑・河道流下・ダム操作の5つのモジュールから成る水資源モデルを開発し、日本全域に適用して検証を行った。また、MRI-AGCM20 から出力される、気象強制力7要素のデータを用いて解析を行い、気候変動が日本の食糧生産・水需給に与える影響を推計した。

2. 解析手法

開発した水資源モデルは、気象強制力及び地表面パラメータを入力とし、流出、河道流下、稲成長などの自然循環系に加え、灌漑取水やダム操作などの人間活動系の影響をも解析可能である。陸面・灌漑・稲成長モジュールは、地表面鉛直の水収支・炭酸同化を扱い、河川流下・ダム操作モジュールは水平方向の水循環を解析する。

陸面・灌漑モジュールには、SiBUC(Tanaka, 2004)を使用し、稲成長モジュールにはSIMRIW(Horie *et al.*, 1995)を用いる。河川流下はkinematic wave法を用いて解析し、貯水容量が100,000km³以上である1231基のダムに対しては、ダム操作モジュールを開発し、適用を行う。ダム操作モジュールでは、操作目的を治水・利水・多目的に分類し、ピーク流量カットや、下流要求水量（農業・工業・生活用水）の放流を行う。

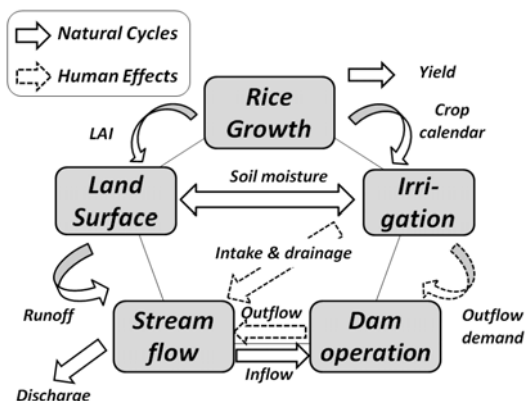


図-1 水資源モデルの構造とモジュール間のやり取り

3. 現在気候における再現性の検証

降水量はAPHRO-JP(Kamiguchi *et al.*, 2010)を使用し、その他の気象強制力データは、AMeDAS及び地上気象観測のデータからのデータを作成した。地理・統計情報については、国土数値情報を中心にデータを収集し、モデル入力データセットを作成した。降雪量の観測は、風の影響により補足率が大幅に低下する事が知られているため、Yang *et al.* (1998)の観測式を用いて補正する。

$$Rs = \exp(4.606 - 0.157 \cdot Ws) \quad (1)$$

ここで、Rs: 雪補足率[-], Ws: 地上風速[ms⁻¹]である。

3.1 水循環の検証

1994年から2003年まで10年間の120の月流量サンプルから、水収支誤差（Budget）とナッシュの効率係数（Nash）を計算し、水循環解析精度を国内20の一般河川で検証する。Budgetは、18の河川で誤差20%以内、Nashは16の河川で0.7以上となっており、水循環を良く解析できていると言える。降雪地域では、降雪量の補正により解析精度が大きく向上する事も確認された。

3.2 米生産の検証

田植日、出穂日、収穫日などの農事暦情報や、収量統計は、都道府県単位で整備されているため、都道府県単位で検証を行う。出穂日や収穫日は、モデルにより良く再現されていることを確認している。1991年から2004年までの、収穫量推移を図-2に示す。北日本（北海道・東北）、東日本（関東・北陸）、中日本（中部・近畿）、西日本（中国・四国・九州）の地方別に平均したものである。図より、北日本の大冷害年(1993年)の大冷害年を除いては、収量の年々変動が良く再現できていると言える。

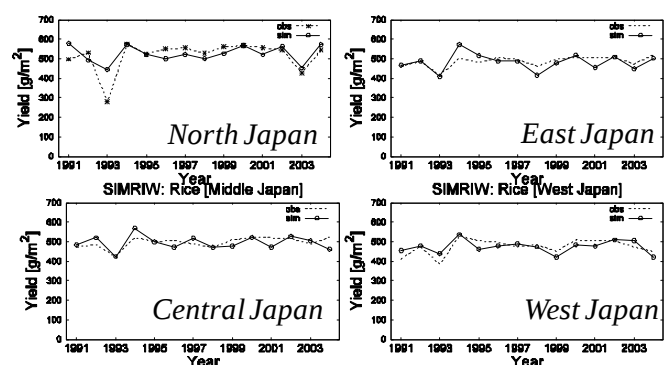


図-2 米収量の解析結果（破線：統計，実線：解析）

4. 気候変動の影響

現在気候(1979-2003), 近未来(2015-2039), 世紀末(2075-2099)の計算を行う。使用データは気象庁気象研究所のMRI-AGCM20 (Kusunoki *et al.*, 2011)から出力される気象強制力データに, バイアス補正(田中ら, 2008)を行ったデータである。モデルで扱う農業・工業・家庭用水需要の中で, 工業・家庭用水需要は変化しないと仮定した。

4.1 水循環の変化

各流域の流況の変化を見ると, 東北から北陸にかけての降雪地帯で大きな変化が起こることが分かった。これは, 降雪量の現象や融雪時期の早期化によるものであり, 既往の研究 (e.g. 立川ら, 2010) と同様の結果である。この流況の変化を, 水ストレス変化に翻訳するを試みる。水ストレスは, Hanasaki *et al.*, (2008) により提案されている, CWD 指標を用いて検出する。

$$CWD = \sum (W_i / D_i) \quad (2)$$

W: 取水量[MCM/day], D: 日需要量[MCM/day]であり, CWD は流量季節性を考慮した水ストレスとなる。

流域面積が 50km² 以上の流域について, 現在気候下からの水ストレスの変化を, 水資源量の変化とともにプロットした(図-3)。左図が近未来, 右図が世紀末である。横軸は水資源量の変化であり, 正值は水資源量の増加である。縦軸は水ストレスの変化であり, 正值は水ストレスの緩和である。各象限に記載されている数値は, 所属する流域の割合である。特徴的であるのは, 世紀末の右図において, 第四象限に所属する流域の割合が最も多いことである。この図では, 世紀末では 82.8%の流域で将来水資源量が増加するものの, 半数以上の流域では水ストレスが増加する事が示されている。これは, 温暖化に伴う降水強度の増加による影響が強いものと考えられる。山間表面で流出した水量は, 基本的にダムによって貯留しない限り失われる。特に小流域では, 多くの流域で水ストレスが増加する傾向がみられた。これは, 大型のダムも基本的に存在しないため, 水資源管理がより困難になる事を示唆するものである。

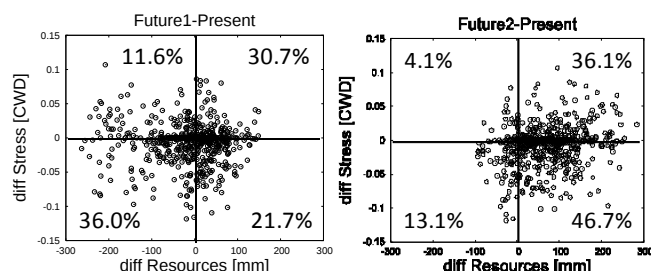


図-3 水資源量変化-水ストレス変化散布図

4.2 米生産の変化

気候変動下においては, 気象強制力のみならず, 耕作時期等も変更される可能性がある。耕作時期のシフトは, IPCC の第 4 次報告書でも提案されており, 農業の代表的な適応策である。現在・世紀末における, 田植日を 1 月から 8 月まで変化させた場合の地域収量平均を図-4 に示す。田植日に対応する収穫量が示されており, 中央付近でどの地域も減少するのは, 開花期の高温ストレスによるものである。世紀末(実線)では, 現在(破線)に比して収穫量を多く保てる期間が長くなっていることが分かる。一般的には, 高温ストレスを回避する方法としては, 耕作の早期化か遅延化が考えられるが, 本研究では耕作の早期化により最も高い収量が得られた。

耕作の早期化は, 収量の増加のみならず, 融雪の早まる地域では水ストレスを減少させる効果も持つ。実際に, 東北地方日本海側では, 耕作早期化により水ストレスの減少が確認された。

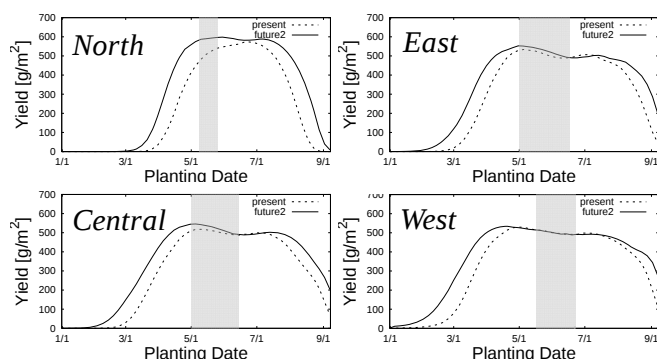


図-4 田植日を変更した際の収穫量平均
(点線: 現在, 世紀末: 将来, ラベル: 現在の田植日)

5. まとめ

本研究では, 稲生産を解析可能な水資源モデルを開発し, 気候変動に伴う日本の食糧生産・水需給の変化を推計した。4 章で述べた, 耕作時期を早期化するのが良いとの適応策には, 遅延化が良いとする農学系の研究もあり, より深い議論と検証が必要である。

本研究では, 提案したモデルを用いて気候変動の影響評価を行ったが, 1 ヶ月から数カ月の中・長期気象予測を用いた解析も可能である。予測情報を用いて, 水ストレス・収量の双方を勘案した農作時期の決定や水資源管理に役立てる事が可能である。今後はこの様な実務への活用を意識して研究を続ける必要がある。

Keyword : 日本全域解析, 水資源モデル, 気候変動