

京都大学工学部地球工学科	学生員	○宮田	悠佑
京都大学大学院工学研究科	学生員	吉弘	昌史
京都大学防災研究所	正会員	堀	智晴
京都大学防災研究所	正会員	野原	大督

1. はじめに

近年、世界的な人口増加に伴い食糧需要は増大を続けており、今後さらなる食糧増産が必要になると予測されている。作物生産は灌漑用水量・耕作地の制約や気象条件の影響に大きく左右され、例えば気候変動が生じた場合、作物栽培の最適地・最適時期が変化する可能性がある。そのため、こうした生産環境の変化が及ぼす影響を考慮した作物生産マネジメントを考えることは非常に重要な課題である。特に我が国の食糧事情を考慮すると、水稻栽培について生産マネジメント分析を行う必要性は大きい。また、我が国の水稻栽培で扱う品種は多岐にわたるため、品種ごとに環境因子から受ける影響が異なる可能性があり、生産管理を行う際には品種ごとの違いを考慮することは重要である。

そこで、本研究では一つのモデル内で複数の水稻品種を扱えるよう既存のモデルを改良し、各品種について成長シミュレーションを行い、生産環境が収量に及ぼす影響を評価する。

2. 作物成長モデルの概要

日単位でのシミュレーションが可能、全世界・多品種に対応し、情報の開示性が高く今後の応用性が高いといった条件を考慮して、本研究で作成するモデルのベースとして FAO が提供する AquaCrop を採用した。

入力データは3つに大別され、気象・土壌・作物に関するデータがそれぞれ必要となる。

AquaCrop では日数ではなく、有効積算温度 GDD ($^{\circ}\text{C}\text{Day}$) に基づいて作物の成長・発育段階が決定される。また、収量はバイオマス量と収穫指数(収穫器官の割合)をかけ合わせることで算出され、バ

イオマス量は作物蒸散量と作物水生産性(作物蒸散量あたりのバイオマス生産量)に比例する。

$$Y_d = B_d \times HI_d \quad [1]$$

$$B_d = WP \times \sum_{i=1}^d Tr_i \quad [2]$$

ここで、 Y_d 、 B_d 、 HI_d はそれぞれ第 d 日の収量(t/ha)、バイオマス量(t/ha)、収穫指数(%)を、 WP は作物水生産性(t/ha/mm)、 Tr_i は第 i 日の作物蒸散量(mm/day)を表す。

モデル内では土壌水収支による渇水ストレス、気温による高温・低温ストレスが考慮される。渇水ストレスは、葉の成長の抑制・作物蒸散量の減少・葉の早期老化・開花の失敗といった影響を及ぼし、気温ストレスは開花の失敗による収穫指数の減少と、低温によるバイオマス量の減少として表現される。

3. 適用条件

シミュレーション対象地域は全都道府県、対象期間は1990年～2011年の22年間とする。使用する気象データは各都道府県の県庁所在地における、気象庁の気象観測データを代表値として用いた。作物データに関しては、FAOが提供する標準的なパラメータセットをベースに作成した。また生育段階ごとに各ストレスから受けるインパクトが異なるため、ストレスのかかり方の違いによって生育段階を5ステージに分割した。そして、農林水産省が提供する「水陸稲・麦類・大豆奨励品種特性表」をもとに、各都道府県別に代表1品種を選定し、各品種の実績農事暦から各生育ステージの転換点を決定する GDD 閾値を設定した。また土壌に関しては、常に飽和状態を保つよう灌漑ルールを設けた。

4. 適用結果と考察

(a) 適用結果

対象地域についてシミュレーションを行った結果のうち、計算値と実績値の相違が顕著であった1県を代表して示す。

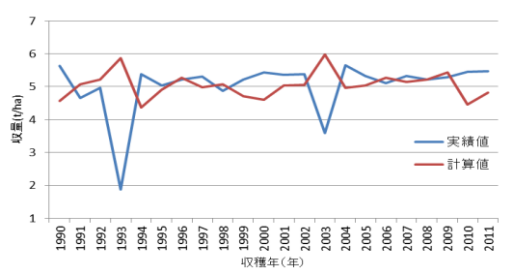


図1 宮城県の実績・計算収量値

図1に示されるように、1993年に実績収量が大きく減少しているのに対し、計算収量は平年を上回るような収量増加が生じているのが目立つ。こうした現象は全国的に発生しており、この年は全国的に冷害によって収量が減少した年であったため、低温条件に対するモデルの応答性の改善・検証を行った。

(b) 低温条件への応答性の検証

本モデルでは、生育ステージ毎に低温ストレスが発生する閾値をGDDによって定義しており、ステージ毎に設定した閾値を下回るとストレスが発生し、収量低下を招く構造となっている。そこで、各地域で被害の大きかった県について、平均的な気温の年と1993年のGDD値の比較を行い、1993年の計算ストレスがかかり、平年ではストレスがかからないような日数が最も多くなるよう、各生育ステージで閾値調整を行い、冷害被害の再現を試みた。以下に、最も変化が大きかった例を示す。

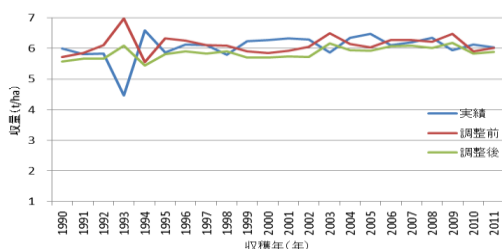


図2 低温への応答性の検証結果(長野県)

図2に示されるように、変化の大きかった県においても収量の増減傾向はほとんど変わらず、冷害年の収量の落ち込みも表現できていない。この結果から、現在のモデル構造では低温への応答性に限界があり、モデルを改善する必要性が示唆された。

(c) 成長ルールの変更

現在のモデル構造では、成熟を定義するGDDに達するまで成長が続くため、低温が続いた場合、生育日数が多くかかり、その分バイオマス量が増加し収量が過大になる。そこで、この構造上の問題を解決するために、収穫日までの日数を固定し、登熟不良での収穫を再現することを試みた。日数設定には、実績田植～成熟日までの日数を利用した。

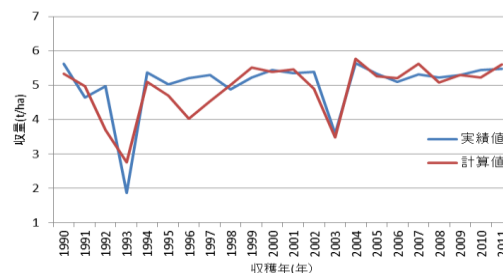


図3 ルール変更後の宮城県の計算結果

図3に見られるように、1993年や2003年の収量減少を再現出来るようになった。また、全体的な増減傾向も一致するようになったことが確認される。対象地域全体の結果としては、ルール変更前は実績・計算値について、一般に相関があると言われる相関係数0.4以上を示した県数が対象期間の前半・後半とも各1県ずつであったのに対し、変更後はそれぞれ39県・29県となり大幅に増加した。また、-0.4以下の県数は、前半31県・後半24県から、各期間とも0県という結果となった。

しかし一方で、計算収量の増減幅が過度に大きく表現されている県も多く、これは現実の水管理による気温影響の緩和を考慮していないことによって、実際より気温影響を大きくに反映したことが要因であると考えられる。また他にも、主に九州地方における1991、2004年などの台風被害も現在のモデルでは考慮されていない。そのため、現実の生産環境をより詳細に反映させ、収量計算の再現性を高めることが必要となる。

5. 結論

本研究では、一つのモデル内で複数の品種を扱う水稻成長モデルを作成し、各品種についてシミュレーション・分析を行った。本研究での結果から、水稻の生育は日数による制約が強く、ある程度定められた生育期間が存在しており、その期間における気象条件に大きく収量が左右されることが示唆された。