

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○岡本 一真
 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. 序論

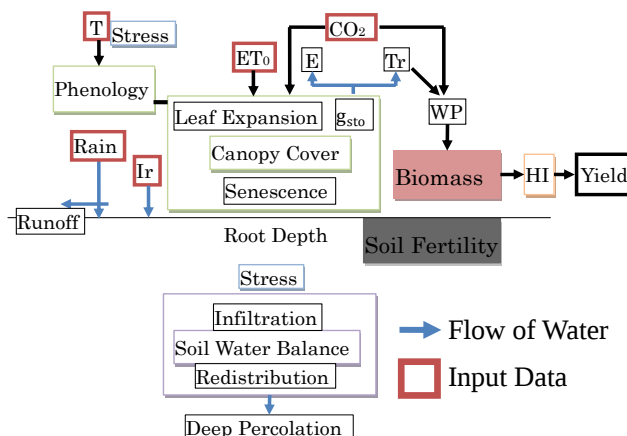
近年、地球温暖化の進行に伴い、地球規模での気温上昇、降水量の変化などの気候変動が懸念されており、また世界各地で突発的な多雨、少雨、高温、低温などのいわゆる異常気象が頻発している。これらは、干ばつや洪水、農作物の収穫量の減少、経済の混乱など社会に大きな影響を及ぼすが、特に突発的な気象変化は農作物に甚大な被害を及ぼし、食糧供給量の減少などで社会システムの大きな混乱を招く。また、FAOによると、世界の水消費の70%近くが農業用水であると言われており、気候変動による水資源の変化がもたらす食糧生産への影響評価は、今後の水資源と社会との関係を考えていく上で必要不可欠である。

そこで、本研究では日々の気象条件と水資源の変動を考慮した食糧生産マネジメントに向けた作物成長モデルの構築を目的として、既存の作物成長モデルの比較検討を行ない、選択したモデルの実地域での利用を通して適用性を検討する。

2. 選択した作物成長モデル AquaCrop の概要

投入水量と作物収量の応答を、他の気象条件との関連も踏まえて計算することができれば、日々の気象変化を考慮した地域レベルでの灌漑・作物収穫計画や、流域レベルでの水収支を考える流出モデルとの連携、また、国、世界レベルでの気象変化がもたらす食糧生産の変動とそれに伴う社会への影響評価など、多面的な分析が可能になる。そのためには、モデルの空間解像度が自由に設定可能であること、全地域、全気候に対応していること、あらゆる作物に対応していること、水資源の変動に対する反応の表現性といった機能が必要である。従来から様々な作物成長モデルが提案されているが、こうした条件に合致するものとして AquaCrop に着目した。

AquaCrop では日数(day)の代わりに、作物への温



T : 最高・最低気温 ET₀ : 大気蒸発散需要量
 CO₂ : 大気中 CO₂ 濃度 Rain : 降水量 Ir : 灌漑水量

図1 AquaCrop の基本構成要素

度の影響度合いを表す積算成長度日 $GDD(^{\circ}C \text{ day})$ という単位を使用し、日々の GDD の積算量に基づいて作物の成長と発育段階を表現する。また作物の成長は作物蒸散量に比例する。作物の最終収量を最終バイオマス量と収穫指数に分割して表現することで、生育環境条件によるバイオマス量への影響と、収穫器官（収穫指数）への影響を区別できる。

$$B = WP \times \sum Tr \quad [1]$$

$$Y = B \times HI \quad [2]$$

ここに、 Y は最終収量(t/ha)、 B は最終バイオマス量(t/ha)、 HI は収穫指数(%)、 Tr は作物蒸散量(mm)、 WP は作物水生産性(t/ha-mm)であり、 HI はバイオマス量に占める収量の割合を表し、 WP は作物蒸散量あたりのバイオマス生産量を表すパラメータであり、作物のバイオマス生産効率を表す。

AquaCrop では土壌中の水収支を考え、土壌水分量に基づいて、作物の成長へのストレスを考える。水不足ストレスは葉の成長、作物蒸散量、葉の早期老化、収穫指数という4つの要素への影響に分けて考える。また、低温による作物へのストレス影響は、バイオマス生産量の減少と、開花期間の受粉の失敗による収穫指数の減少として表現される。

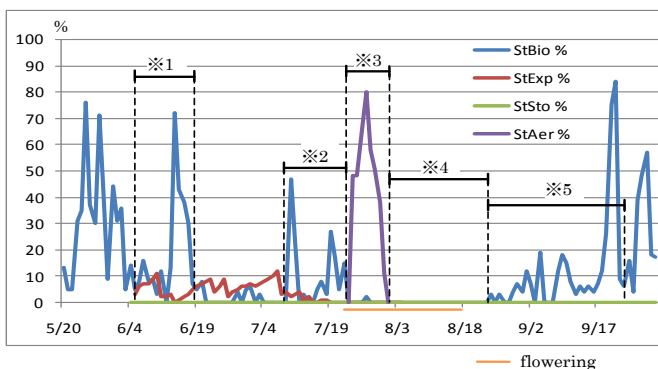
3. 主要作物を対象とした日本での適用と考察

小麦、米、大豆を対象とした日本での AquaCrop の試験的運用を行ない、用いられている計算アルゴリズムの実用性の確認、及び改良すべき点の検討を行なった。ここでは、大豆生産のシミュレーション結果及び考察を示す。対象地域は、大豆生産が盛んな北海道士別市とし、2007～2009 年を対象期間とした。必要な気象データは気象庁の気象統計情報から引用し、土壌データはアメリカ合衆国農務省が作製する世界土壌図を参考にした。大気蒸発散需要量については Penman-Monteith 法を用いて算出した。

各年の各ストレス影響の変動から、実際の生育状況に記された気象条件による作物への影響は、ある程度特徴を表現できていることが分かる。ここでは 2009 年の各ストレス影響の変動を図 2 に表す。しかし、収量の比較をすると（表 1 参照）、2009 年の実際の生育不良が他年に比べてはつきりと表現されていない。この原因の 1 つとして低温ストレスの影響の表現性が考えられる。本モデルでは、低温ストレスの影響は、 GDD がある閾値 GDD_{bio} 以下になり、小さくなるほど、バイオマス生産が減少するという表現がされる。しかし、 GDD_{bio} は生育期間を通して一定値にしか設定できないため、 GDD_{bio} を低く設定するほど、暖かい時期での低温の影響をはつきりと表現できない。一方で大豆の生育は、開花期前後、

表 1 士別市における大豆シミュレーションの結果

収穫年	実際の収量 (t/ha)	シミュレーション結果		
		Y(t/ha)	B(t/ha)	HI(%)
2007	2.08	2.69	6.85	39.3
2008	2.40	3.32	8.19	40.6
2009	2.16	3.36	8.18	41.1



St_{Bio} :低温ストレス St_{Exp} :水不足による葉成長へのストレス
 St_{Sto} :水不足による蒸散へのストレス St_{Aer} :湛水ストレス

図 2 2009 年の各ストレス影響の変動

つまり北海道での大豆栽培においては 7～9 月における低温が大きく影響されている。各年の低温ストレス影響の変動を比較すると、実際の生育状況に記された 2009 年のこの時期の低温による作物への影響は小さく、他年との違いを表現できていない。そこで、この時期の低温ストレスをきちんと表現するために GDD_{bio} を高く設定し直すと、2009 年の低温ストレスが他年よりも大きく表現され、各年の収量関係が現実と一致するようになった。しかし、この調整は本モデルで操作可能な範囲で行なったただけであり、例えば成長過程に合わせて GDD_{bio} を変更可能にするなどの改良を検討する必要もある。他にも、7 月中の多雨による湿害は湛水ストレスとしてある程度表現されているが、それが引き起こす病害の拡大などの副次的な被害は表現できていない可能性がある。AquaCrop では病害、害虫、倒伏などの被害を表現できず、現実とシミュレーションの収量の差にも大きく影響していると考えられるため、今後これらをいかにモデリングするかが課題である。

4. 結語

作物成長モデル AquaCrop の試験的運用を行ない、本モデルでは、気象変化、水資源変動に対する作物の反応の特徴を表現でき、収量にもある程度反映されることが確認された。しかし、より正確なシミュレーションのためには作物パラメータの同定だけでは不十分で、例えば、生育期に合わせた低温ストレスの影響評価や、病害、害虫、倒伏などの被害の計量、融雪水や土壌中の水平方向流出の考慮といったモデル構造の改良も検討すべきであると考えられる。

今後の課題としては、本来の目的である食糧生産マネジメントに資するために、今回の研究で見受けられた AquaCrop の反応特性、問題点を考慮した上で、今後の研究で利用するにあたって改良すべき点を選定し、それらをつけ加えた作物成長モデルを構築することである。

参考文献

- 1) Steduto, P. ら : AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles, *Agron., J.* 101, pp.426–437, 2009.
- 2) 農林水産省：農林水産研究文献解題, 2000.