

研 究 報 告 書

「確率光合成モデルによる高汎化型イネ成長応答モデルの開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2016 年 10 月～2020 年 3 月

研 究 者: 辰己 賢一

1. 研究のねらい

本研究領域の戦略目標「環境適応型植物設計システムの構築」において、“場”ごとに異なる環境特性や多様なシナリオを考慮できる、ほ場から地域に適用可能な高汎化能力を有するイネ成長応答モデルの開発と実用化技術としての確立が必要である。一般に、収量算定モデルの主流であるプロセス型モデルは、実測値が得られている一部の限定されたほ場でしか適用できない。また、環境・生育調査などを基に決定できる一部を除く多数のパラメータは、仮定に基づき画一的かつ固定的に設定される。このため、モデルは作物の成長や収量を正確に推定できる技術となっていない。さらに、信頼性の高い環境と生体指標に関連する実測データの多点計測は、人的・物的コストや熟練の技術・経験が必要なため、教育・研究を除いた環境では非効率的であり困難性が伴う。したがって、作物の光合成特性と生産性の関係を明確に述べることができ、将来起こりうる潜在的な作物リスクの軽減や緩和のための適切な対策を講じることができる、汎化性が高く頑健な成長応答モデルの構築が希求されている。本研究のイネ栽培設計システムでは、イネキャノピーの受光量を変数とする成長応答モデル内の 4 つの光合成特性(量子収率、最大光合成速度、成長呼吸係数、維持呼吸係数)を確率光合成モデルに組み込み、イネ成長を柔軟かつ高精度にシミュレートできるイネ成長応答モデルを構築する。確率光合成モデルにより光合成特性データを模擬的に与えることで、実測データの絶対的不足を補い、1) 困難であった任意の場におけるイネ成長の再現・予測の高精度計算、2) 光合成特性とイネ成長間の統計的解析や光合成特性が生産性に与える影響の定量分析、3) 気候や品種の多様なシナリオでの成長シミュレーション、を可能にすることが研究のねらいである。

2. 研究成果

(1)概要

開発を進めている確率光合成モデルおよびイネ成長応答モデル(下図)のパラメータ精緻化、汎用性向上のため、複数の野外圃場においてイネの生育調査および個葉の光合成能力測定等を実施した。生育調査等は東京農工大学 FM 府中本町および FM 多摩丘陵、北海道大学水田試験圃場、新潟県十日町の農家所有水田、米国カリフォルニア州 NPO 法人 Rice Experiment Station でそれぞれ実施した。対象品種はコシヒカリ、あきたこまち(国内)、米国ではコシヒカリ、M-209 である。具体的には 2 品種 2 施肥水準 3 反復の実験圃場を設定し、約 2 週間間隔で生育調査および器官別乾物重調査を行った。さらに、個葉の光合成能力を把握するため、光合成-葉内二酸化炭素および光合成-光曲線データ、時々刻々と変化する外部の光環境・温度・飽差に応答する気孔コンダクタンス、蒸散量および光合成値を完全展開葉やその下層の葉を対象として植物光合成総合解析システムを用いて、それぞれ得た。また、器官別窒素濃度の時系列測定を実施した。収穫時には収量調査および収量構成要素調査を行った。平

行して確率光合成モデルおよびイネ成長応答モデルの開発を行い、得られた実測データのモデルへの適用のため、群落構造と個葉の光合成および蒸散量の関係性およびイネの成長過程、収量の再現および予測を行うためのモデル開発を実施した。

(2) 詳細

研究テーマ A 「確率光合成モデルの構築とその統計的特性の検証」

確率光合成モデルの開発に向けて、1)植物光合成解析システムによる制御環境下での葉面光合成速度、呼吸速度等の計測、2)小型メモリ―光量子計による群落上部および下部の光合成有効放射量 PAR の計測、2) プラントキャノピーアナライザーによる LAI の測定および SPAD 計と CN コーダーによる器官別窒素濃度の計測、4) 草丈、茎数、器官別乾物重の時系列計測をそれぞれ実施した。

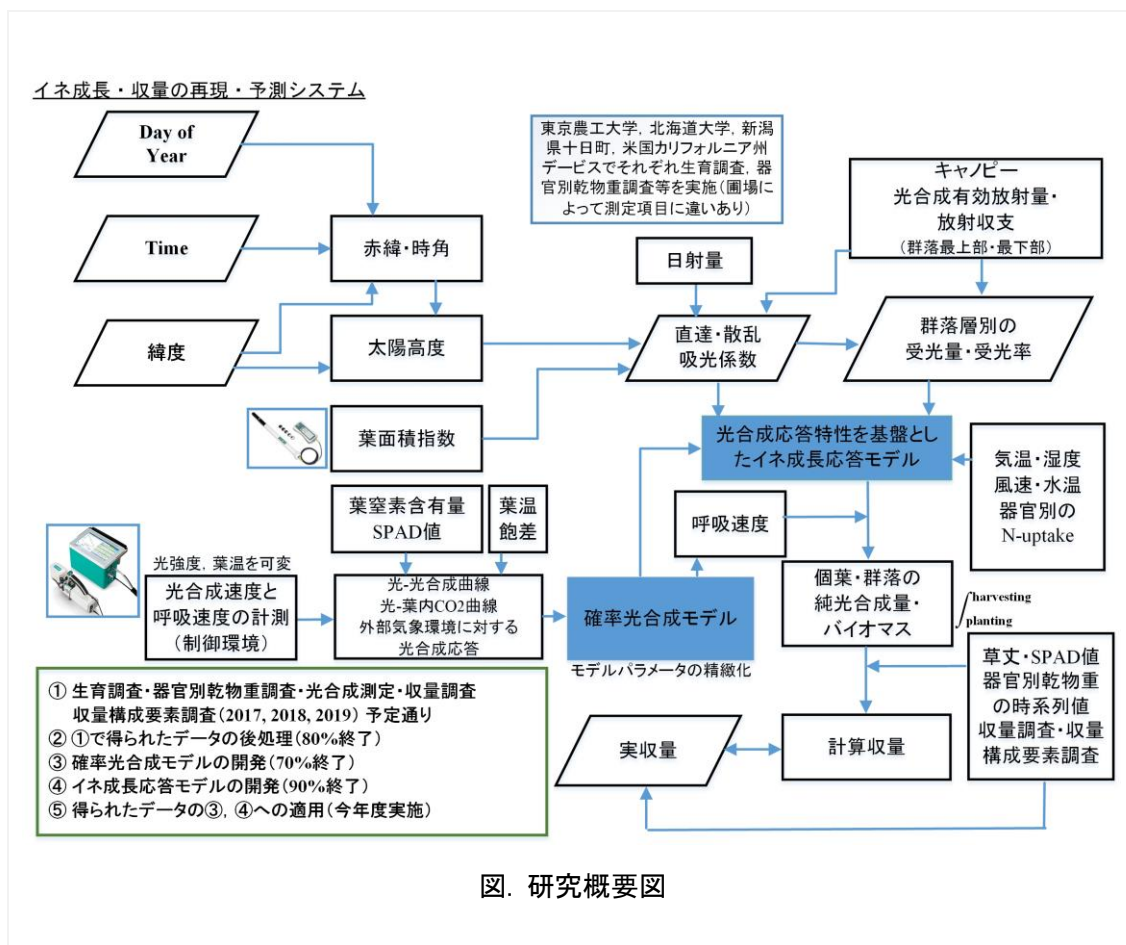
以上の測定結果を用い、イネ (*Oryza sativa* L.) の光合成能力、葉面積比、葉窒素濃度の月ごとの変化に関する研究論文発表を行った。本研究成果は、光合成能力は時間とともに減少する傾向があることを定量的に示したものであり、汎用型の確率光合成モデルの開発に必要なモデルパラメータを得る位置づけとして有用である。また、時々刻々と変化する光・温度・飽差環境下における光合成光利用効率への影響を調べた結果をまとめ、研究論文発表を行った。本研究では、光利用効率は葉窒素濃度と高い相関があること、変動光および高い光合成有効放射は光利用効率を減少させ、単位光合成光量子密度あたりの気孔コンダクタンスを減少させることを明らかにした。野外環境下での光合成能力を推定し、モデルの精緻化を目指す上で有用な定量的知見である。

現在、本研究の主要目的である確率光合成モデル開発とその適用に関わる論文を執筆中であり、今年度中の投稿を目指している。

研究テーマ B 「イネ成長応答モデルの開発およびその有効性検証と精緻化」

研究テーマ A で記載した計測に加え、本研究ではモデルの開発に先立ち、オゾンと施肥レベルの光合成能力および収量への感度分析を実験的研究により実施した。本実験は、東京農工大学 FM 多摩丘陵に設置したオゾン暴露チャンバーを用いて実施した。ガス処理区(浄化空気区、チャンバー内のオゾン濃度を野外オゾン濃度の 1.0 倍に制御した区、同様に 1.5 倍に制御した区)につき 3 棟の同型チャンバーを使用し 3 段階 × 3 棟の合計 9 チャンバーを用いて実施し、施肥処理として無施肥区と施肥区の計 2 処理区を設けた。また、サンプリングは生育期間中に計 5 回実施し、葉、茎、根、穂の乾物重量を測定し、収量調査、収量構成要素調査を収穫時に実施した。その結果、無施肥条件下では、オゾンが収量に与える影響は有意ではなかったが、施肥条件下では、オゾン濃度の増加が収量を減少させる結果が有意に確認できた。本研究は、イネ成長応答モデルを開発するにあたり、近年問題となっている大気汚染がイネの成長に影響を与える施肥レベルとの複合効果を考慮することの重要性を示唆するものであり、研究テーマ A と同様にイネ成長応答モデルの開発に必要なモデルパラメータを精緻化するための研究成果としての位置づけである。

現在、野外圃場での実測データを使い、本研究の主要目的であるイネ成長応答モデル開発とその適用に関わる論文を執筆中であり、今年度中の投稿を目指している。



3. 今後の展開

3 年分の生育調査、光合成測定等を実施し、平行して確率光合成モデルの開発およびイネ成長応答モデルの開発を実施してきた。実測データを使った研究の一部を成果として論文にまとめたが、最終的な目標であるモデル開発および実測データのモデルへの適用に関する研究成果は現在進行中である。今後の展開として、各モデルや得られた実測値のみを使った解析結果をそれぞれ論文としてまとめ、さらに最終的にすべてのデータを使った確率光合成モデルによる高汎化型イネ成長応答モデルに関する成果を国際学術誌に投稿する予定である。

4. 自己評価

個人型研究の位置づけから、複数の野外圃場でイネの生育調査等を実施することは想像以上に労力と時間がかかった。また、データの共有等も当初考えていたようには有機的に進まなかったことから、必要なデータをほぼすべて一から取得しなければいけなかった。以上の主な理由により、最終的な目標までは期間内に到達できなかったため、全体としては 70～80%の達成状況であると考え。また、実施体制については、責任の所在やその他流動的な要素があったことから、データの取得に必要な人的リソースの確保等が読みにくい問題があった。またこれにより計画的に先を見越した研究費執行ができなかったことは反省すべきである。

得られた知見やモデルは今後幅広く研究者や現場の方に使ってもらえれば有用であると考えていることから、最終的な成果は、引き続き研究を進めていけるという前提はあるが、その

科学技術および社会実装の観点から収量予測に関する意思決定に必要な基盤技術として有用であると考えている。以上のことから、予定通りに行った点、行かなかった点があったが、総じて個人的には納得いくものであったと考えている。

5. 主な研究成果リスト

本研究課題に関連し、研究者自身による主な論文成果を下記に示す。

(1) 論文(原著論文)発表

1. Kenichi TATSUMI, Yoshiki KUWABARA, Takashi MOTOBAYASHI, Monthly variability in the photosynthetic capacities, leaf mass per area and leaf nitrogen contents of rice (*Oryza sativa* L.) plants and their correlations. *Journal of Agricultural Meteorology*. 2019, 2, 111-119.
2. Kenichi TATSUMI, Tamami Abiko, Yoshiyuki Kinose, Shiro Inagaki, Takeshi Izuta, Effects of ozone on the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) under different nitrogen fertilization regimes. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019, 26, 32103-32113.
3. Kenichi Tatsumi, Yoshiki Kuwabara, Takashi Motobayashi, Photosynthetic Light-Use Efficiency of Rice Leaves under Fluctuating Incident Light. *Agrosystems, Geosciences & Environment* (Accepted)

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 0 件(公開前の出願件名については件数のみ記載)

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

学会等発表

- ・ 栗原良樹, 辰己賢一: 地形による光環境の差異が水稻の生長・収量に及ぼす影響, 日本農業気象学会 2018 年全国大会, 2018 年 3 月 16 日
- ・ 栗原良樹, 辰己賢一: 地形による日射特性の差異がイネ個葉の光合成特性に及ぼす影響, 日本作物学会第 245 回全国大会, 2018 年 3 月 30 日
- ・ Li Cuizhengyang, Toshiyuki Hirata, Kenichi Tatsumi, Yoshiki Kuwabara, Takashi Motobayashi and Hajime Araki: Difference of growth characteristics of rice 'Akitakomachi' grown near the southern and northern limits, 日本作物学会第 246 回講演会, 2018 年 9 月 5 日
- ・ 辰己賢一: 気候変動が作物生産性に与える影響とその不確実性～マルチスケールな視点から～, 第 52 回植物バイテクシンポジウム, 2019 年 11 月 13 日
- ・ 辰己賢一: イネの鉛直葉群構造を考慮した成長応答モデルの開発, 日本農業気象学会 2020 年全国大会, 2020 年 3 月**日(発表予定)
- ・ 本多誠之, 辰己賢一: 機械学習を用いたイネ個葉の光合成速度の予測, 日本農業気象学会 2020 年全国大会, 2020 年 3 月**日(発表予定)