

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号： 12605
研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）
研究期間： 2017～2019
課題番号： 16KK0169
研究課題名（和文） 確率光合成モデルとイネ成長応答モデルによる高汎化型イネ収量予測システムの構築（国際共同研究強化）
研究課題名（英文） Development of a rice yield prediction system based on stochastic photosynthesis model and rice growth model (Fostering Joint International Research)
研究代表者
辰己 賢一（TATSUMI, Kenichi）
東京農工大学・（連合）農学研究科（研究院）・准教授
研究者番号： 40505781
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,600,000円
渡航期間： 12ヶ月

研究成果の概要（和文）：光合成特性情報と群落による受光量を主変数とし、モデルパラメータ逐次推定により実測データの偏りや不足を補い、農業現場で応用可能な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った。開発したモデルを用いて野外圃場で得られた収量の再現計算を行い、イネのバイオマス時系列変動や収量を概ね適切に表現できることを確認した。さらに、栽培リスク評価なども可能とする技術基盤システムの構築およびその応用方法を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実測データの偏りや不足を補うことができ、多様な環境場において気候の変動や品種の多様性に対する栽培リスクの定量的評価を可能とする技術基盤システムの構築には学術的意義があると考えている。また、多様なシナリオ下におけるイネ成長シミュレーションを可能にし、現場の生産者レベルでの栽培管理の省力化を実現させるための技術として社会的意義があると考えている。

研究成果の概要（英文）：Development of a stochastic photosynthesis model based on photosynthetic characteristics and received light amount by canopy as main variables was performed. And, model parameter sequential estimation based on Bayesian estimation for compensating shortage of measured data was applied to develop a generalized rice growth model. The developed models were used to reproduce the rice biomass and yield in the field. It was confirmed that it was generally possible to express the time-series variation of biomass and yield. In addition, we studied the construction of a technology platform system that enables the evaluation of cultivation risks and its application methods.

研究分野： 農業情報気象学，農業環境工学

キーワード： イネ生長応答モデル 野外圃場 米 光合成能力 日射環境

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

収量等の予測に用いられるキャノピー光合成モデルおよび生態プロセスモデルのいずれも、現実的な作物の成長や収量を正確に再現・予測できるまでに至っていない。また、同一の農業は二つと存在せず、パラメータ値は決定論的に得られないため、モデルは一部の限定されたほ場でしか適用できない。このため、モデルの汎化能力の低さが課題となっている。同様に、実測データの偏りと絶対的な不足は、大胆な仮定に基づくパラメータの恣意的で画一的な設定をもたらす。ゆえに、“場”の環境特性や多様なシナリオを考慮でき、合理的な栽培設計の実現と潜在的な栽培リスクに関する具体的な検討に資する高汎化型の成長応答モデルが存在していない現状がある。また、気象環境や光環境が異なる国内と国外で同様のほ場測定を実施しない限り、“場”が変わってもモデルパラメータ設定をその都度同定する必要のない頑健性・柔軟性があるモデルが構築できているかを実証することができない。さらに、農業現場での実運用を見据えると、イネ成長応答モデルの主要変数は簡単に取得できることが重要となる。以上、不確実性を内包する農業フィールドでの意思決定を行うことが可能な簡明で効果的なモデルを確立し、世界に向けて発信するためには、精緻なモデルに基づくイネ収量予測システムの開発が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、モンテカルロ法と自己回帰モデルを応用した確率光合成モデルの構築による光合成特性の時系列情報の模擬的生成、キャノピー受光量を主変数イネ成長応答モデルの開発とマルコフ連鎖モンテカルロ法によるベイズ推定によるモデルパラメータの事後確率分布の推定、により実測データの偏りや絶対的な情報量の不足を補い、農業現場で応用可能な高汎化型モデルを構築することを目的とした。

3. 研究の方法

自己回帰モデルによる確率光合成モデルを構築し、複数の条件で初期値を作成することで、葉温、葉室素含量に依存する光合成特性の栽培期間を通じた時間的変化を模擬的に与える。これにより、光合成特性の再現やその統計的特性を明らかにするだけでなく、農場管理の観点からは、たとえば多様な光合成特性を想定した合理的な栽培設計の実現に貢献できる。さらに、成長応答モデル内パラメータの数を50程度から5つに減らし、成長を高い確度で再現・予測でき、多様なシナリオに基づく栽培リスク評価に貢献できる確率光合成モデルによるイネ成長応答モデルを開発した。実測として、1)ポータブル光合成測定装置による制御環境下での葉面光合成速度、呼吸速度、葉温の計測、2)小型メモリー光量子計による自然環境下でのキャノピー最上部・最下部の光合成有効放射量の計測、3)プラントキャノピーアナライザーによる LAI, NC アナライザーによる葉室素含有量の計測、4)葉重、乾物収量の計測を実施した。以上のほ場計測結果に基づき、自己回帰モデルを導入した確率光合成モデルの構築とその統計的特性を含む精度検証、イネ成長応答モデルの構築とその再現精度と汎化性の検証を実施した。

4. 研究成果

本課題研究では、光合成特性情報とキャノピーによる光合成有効放射の受光量を主変数とするイネ成長応答モデルの開発およびベイズ推定に基づくモデルパラメータの事後確率分布の推定により実測データの偏りや絶対的な情報量の不足を補い、農業現場で応用可能な高汎化型モデルを構築することを目的とし、以下の内容を実施した。(1)野外圃場データの整備とモデル開発 Rice Experiment Station 内の試験圃場で得られた生育調査および器官別乾物重、ガス交換測定データを整備し、モデルの入力値および検証用データとして利用できるようにした。本データを用いて、開発したモデルの精度検証を実施した。なお、モデルにおける主要な光合成モデルパラメータは、得られた光合成特性情報を統計的に表現することにより同定した。以上により、少ない実測データにおいてそのデータの偏りや不足を軽減し、リスク評価なども可能とする技術基盤システムの構築およびその応用方法を検討した。(2)高汎化型イネ収量予測システムの構築研究期間全体に渡って開発を進めてきた確率光合成モデルとイネ生長応答モデルモデルを野外圃場データで得られた収量の再現計算に使用した。光合成特性やその日変化量を統計解析して得られた出現確率分布や確率光合成モデルにより、イネの収量を概ね適切に表現できることを確認した。

〔雑誌論文〕計4件

Tatsumi, K. “Integrated assessment of climate change impacts on corn yield in the U.S. using a crop model”, *Transactions of the ASABE*, **60**(6), 2123-2136 (2017).

Tatsumi, K., Kuwabara, Y., Motobayashi, T. “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*, **75**(2), 111-119 (2019).

Tatsumi, K., Abiko, T., Kinose, Y., Inagaki, S., Izuta, T. “Effects of ozone on the growth and yield of rice

(*Oryza sativa* L.) under different nitrogen fertilization regimes,” *Environmental Science and Pollution Research*, **26**, 32103-32113 (2019).

Tatsumi, K., Kuwabara, Y., Motobayashi, T. “Photosynthetic light-use efficiency of rice leaves under fluctuating incident light,” *Agrosystems, Geosciences & Environment*, **3**,1–11(2020)

〔学会発表等〕計 10 件

辰己賢一．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．さきがけ情報協働栽培 研究領域公開ワークショップ「栽培モデル研究の最前線」．2017 年．

辰己賢一．気候変動が作物成長に与える影響の定量的予測分析とその適応策．“未来へのバイオ技術”勉強会．2017 年．

辰己賢一．広域スケールで作物の成長を予測するために必要なシームレスモデル技術．日本農業気象学会．2017 年．

栞原良樹，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．

栞原良樹，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．2018 年．

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．2018 年．

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．2018 年．

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．

XIAO Mengxue, Yaobin Sheng, Kenichi TATSUMI. Correlation analysis between land surface temperature and vegetation coverage based on Landsat-8 remote sensing imagery: a case study of Beijing, China. ISAM2020. 2020 年

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

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kenichi Tatsumi	4. 巻 60
2. 論文標題 Integrated assessment of climate change impacts on corn yield in the U.S. using a crop model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Transactions of the ASABE	6. 最初と最後の頁 2123-2136
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.13031/trans.12314	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kenichi Tatsumi, Kuwabara Yoshiki, Takashi Motobayashi	4. 巻 75
2. 論文標題 Monthly variability in the photosynthetic capacities, leaf mass per area and leaf nitrogen contents of rice (<i>Oryza sativa</i> L.) plants and their correlations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Meteorology	6. 最初と最後の頁 111-119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2480/agrmet.D-18-00043	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kenichi Tatsumi, Tamami Abiko, Yoshiyuki Kinose, Shiro Inagaki, Takeshi Izuta	4. 巻 26
2. 論文標題 Effects of ozone on the growth and yield of rice (<i>Oryza sativa</i> L.) under different nitrogen fertilization regimes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Science and Pollution Research	6. 最初と最後の頁 32103-32113
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11356-019-06358-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kenichi Tatsumi, Kuwabara Yoshiki, Takashi Motobayashi	4. 巻 3
2. 論文標題 Photosynthetic light-use efficiency of rice leaves under fluctuating incident light	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Agrosystems, Geosciences & Environment	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/agg2.20030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 辰己賢一
2. 発表標題 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 .
3. 学会等名 さきがけ情報協働栽培 研究領域公開ワークショップ 「栽培モデル研究の最前線」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辰己賢一
2. 発表標題 気候変動が作物成長に与える影響の定量的予測分析とその適応策
3. 学会等名 "未来へのバイオ技術" 勉強会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辰己賢一
2. 発表標題 広域スケールで作物の成長を予測するために必要な シームレスモデル技術
3. 学会等名 日本農業気象学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 栞原良樹, 辰己賢一
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本農業気象学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗原良樹, 辰己賢一
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Li Cuizhengyang, Toshiyuki Hirata, Kenichi Tatsumi, Yoshiki Kuwabara, Takashi Motobayashi and Hajime Araki
2. 発表標題 Difference of growth characteristics of rice 'Akitakomachi' grown near the southern and northern limits
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辰己賢一
2. 発表標題 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～
3. 学会等名 第52回植物バイテクシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本多誠之, 辰己賢一
2. 発表標題 機械学習を用いたイネ個葉の光合成速度の予測
3. 学会等名 日本農業気象学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 XIAO Mengxue, Yaobin Sheng, Kenichi TATSUMI
2. 発表標題 Correlation analysis between land surface temperature and vegetation coverage based on Landsat-8 remote sensing imagery: a case study of Beijing, China
3. 学会等名 ISAM2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 辰巳賢一
2. 発表標題 イネの鉛直葉群構造を考慮した成長応答モデルの開発
3. 学会等名 日本農業気象学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ブルース リンクイスト (Bruce Linquist)	カリフォルニア大学デービス校・Plant science・Rice specialist	