

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05914

研究課題名(和文)ハイブリッドペトリネットとディープラーニングを用いた作物生育モデリングと実証

研究課題名(英文)Modeling crop growth by using hybrid Petri net and deep learning

研究代表者

官 森林(Guan, Senlin)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター・上級研究員

研究者番号：30554092

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：自然環境下の作物は草丈・茎数・葉数・葉色・穂数などの自らの生育形質があり、周りの外的要因(水、栄養等の環境条件や人的関与)の変化に対応しながら時間経過とともに成長していく。本研究では従来の作物生育モデルに適用された生育形質や外的要因が数種類に限らず、作物ライフサイクルにおける全ての生育形質と外的要因を一体化モデリング可能な生育モデルを開発した。このモデルを利用し、稲・麦・サトウキビなどの生育プロセス中、任意の時点に対する生育状態と変化をシミュレーション又は再現し、多数の生育モデルから抽出した生産性が優良な作物生育モデルに従い、収量と品質の向上のため最適な栽培方法を提案することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した作物生育に対する一体化モデリングする手法は、多くの外的要因に影響される自然環境下の作物に対応できる初めてのモデリング手法である。また、生育形質の連続的变化に対する新しい計測機材と方法(特許出願済)は独創的であった。

開発したモデルを利用し、作物の生育が時間経過に伴う状態と変化を可視化または予測することができ、営農生産中の適期管理が可能となった。また、大豆・トウモロコシ・飼料作物などの全ての土地利用型作物に応用可能であるため汎用性は高い。

研究成果の概要(英文)：Crops growing under natural conditions have their growth traits such as plant height, number of stems, number of leaves, number of ears, etc. They have to respond to many uncertain external factors including surrounding environmental conditions and human activities during their entire life cycle. Modeling crop growth requires considering not only the growth traits but also the uncertain external factors. In this study, we have developed a new crop growth model that can deal with any possible growth-related trait and external factor, not limited to several types of growth traits and external factors applied to conventional crop growth models. When applying this model to some crops like rice, wheat, and sugarcane, the growth process, growth-related traits, and external factors were well modeled and simulated along with the growth time. The modeling result assists to propose and review an optimum cultivation plan for improving yield or quality.

研究分野：農業工学、ソフトウェア、リモートセンシング

キーワード：ハイブリッドペトリネット 作物生育モデル 生育形質 ドローン リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

実際の自然環境下の作物は草丈・茎数・葉数・葉色・穂数などの自らの生育形質があり、周りの外的要因(水、塩分、栄養等の環境条件や人的関与)の変動に応答しながら時間経過とともに成長していく。従来の作物生育モデルでは生育形質・外的要因が数種類に限られ、データ解析方法も一般的な回帰などの数理手法が多く、作物本来の時間の变化に伴う生育形質や天候不順・病虫害などの不確定な外的要因を捕らえられず、より正確で全面的変化を把握できる新たなモデリング方法が必要であった。

2. 研究の目的

そこで、本研究では地域単位の営農集約地から一つ一つの圃場をモデリング単位とし、さらに個々の株へ細分化し、個体株に特化した生育モデリング手法に注目した(図1)。コンピュータサイエンス分野のハイブリッドペトリネット理論^{*}に基づき、作物のあらゆる生育形質(草丈・茎数・葉数・葉色・穂数など)の時系列変化や状態の遷移と、周りの自然生存環境・病虫害・鳥獣害・人的関与などの外的要因による変化を一つのモデルに一体化モデリングする。得られた生育モデルを動作させ、作物ライフサイクルにおける任意な時点に対する生育状態と変化をシミュレーション・再現できるモデリング方法を開発する。

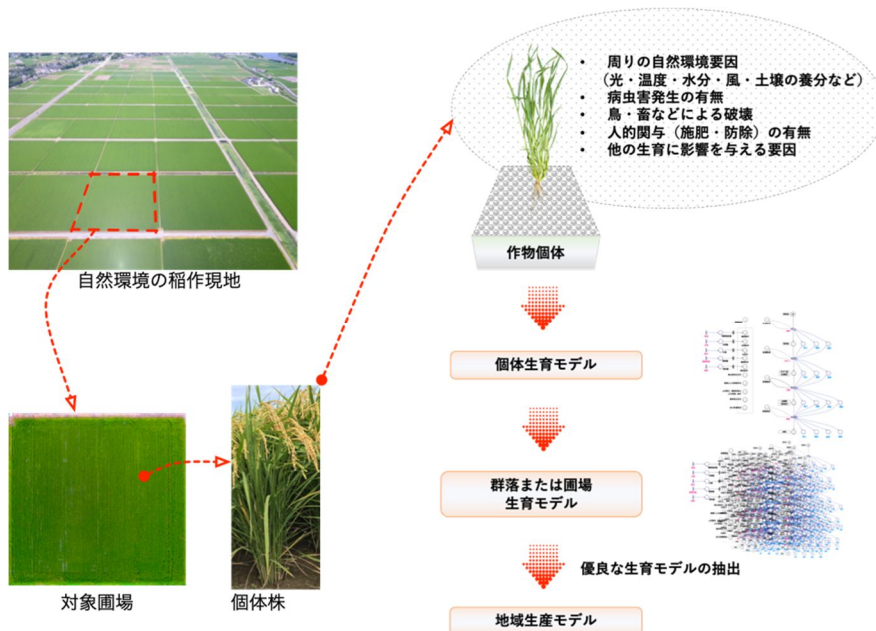


図1：作物生育モデリング

また、稲・麦・サトウキビなどの土地利用型作物を対象に、多数の生育モデルから生産性が優れた作物生育モデルを抽出し、収量と品質の向上のための最適な栽培方法を提案する。

3. 研究の方法

本研究では稲・麦・サトウキビを対象作物としている。

2018年度は、ハイブリッドペトリネットを用いて稲に対する基本生育モデルを作成し、草丈・茎数・葉数などの必要な生育形質は、過去の経験データおよび2018年春からの計測データを利用した。2018年冬作の小麦・大麦では、上記の生育形質データに加えて地温・水分などの環境影響要素データを測定した。特にリモートセンシングについては、マルチスペクトルカメラ(Parrot Sequoia)が搭載された軽量型ドローン(DJI Phantom 4)を用いて対象圃場(九州沖縄農業研究センター試験圃場および福岡県・佐賀県・沖縄県の現地圃場)において約1週間間隔で空撮を行い、画像データを蓄積・解析した。

2019冬作では、1週間間隔で小麦・大麦の地上部サンプリングを行い、株個体の画像、草丈、茎数などの経時データを測定・蓄積し、2020年5月末まで継続した。これらの全生育期間データを利用した小麦・大麦の生育モデルのシミュレーション計算と検証は予定通り完了した。

サトウキビに対する生育調査は、九州沖縄農業研究センターの糸満拠点および現地圃場で行い、上記と同様の軽量型ドローンとマルチスペクトルカメラを用いて空撮データを取得した。また、高精度RTK-GNSS(Trimble SPS855)とトータルステーション(Trimble M3DR5)の比較試験を実施し、空撮画像からサトウキビ草丈を推定することができた。

4. 研究成果

(1) 稲・麦・サトウキビなどの作物の生育プロセスは、栄養成長期、生殖成長期と登熟期があり、さらに発芽、分けつ、出穂、成熟のように細分化できる。図2に示したような小麦の生育プロセスはハイブリッドペトリネットによって図3のようにモデリングすることができる。ハイブリッドペトリネットはグラフィカル構造を持つため、小麦の生育プロセスの流れ、生育形質(草丈・茎数・葉数・穂数などの)および外的要因(積算温度、日射量、水量、酸素量、肥料等の環境条件や病虫害発生、人的関与、雑草発生など)をハイブリッドペトリネットの構成要素として定義できる。また、これらの構成要素は数学式で定式化できるため、各構成要素の状態と変化を時間経過に従ってシミュレーション演算が可能となり、すなわち、生育プロセスにおける生育形質と

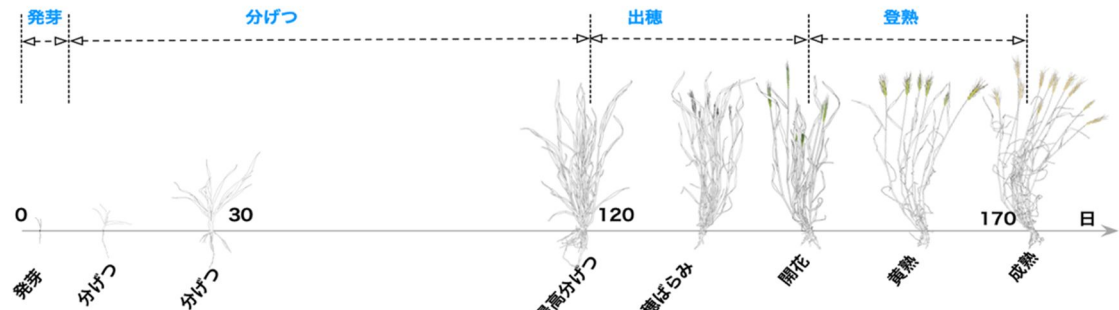


図 2：小麦の生育プロセス

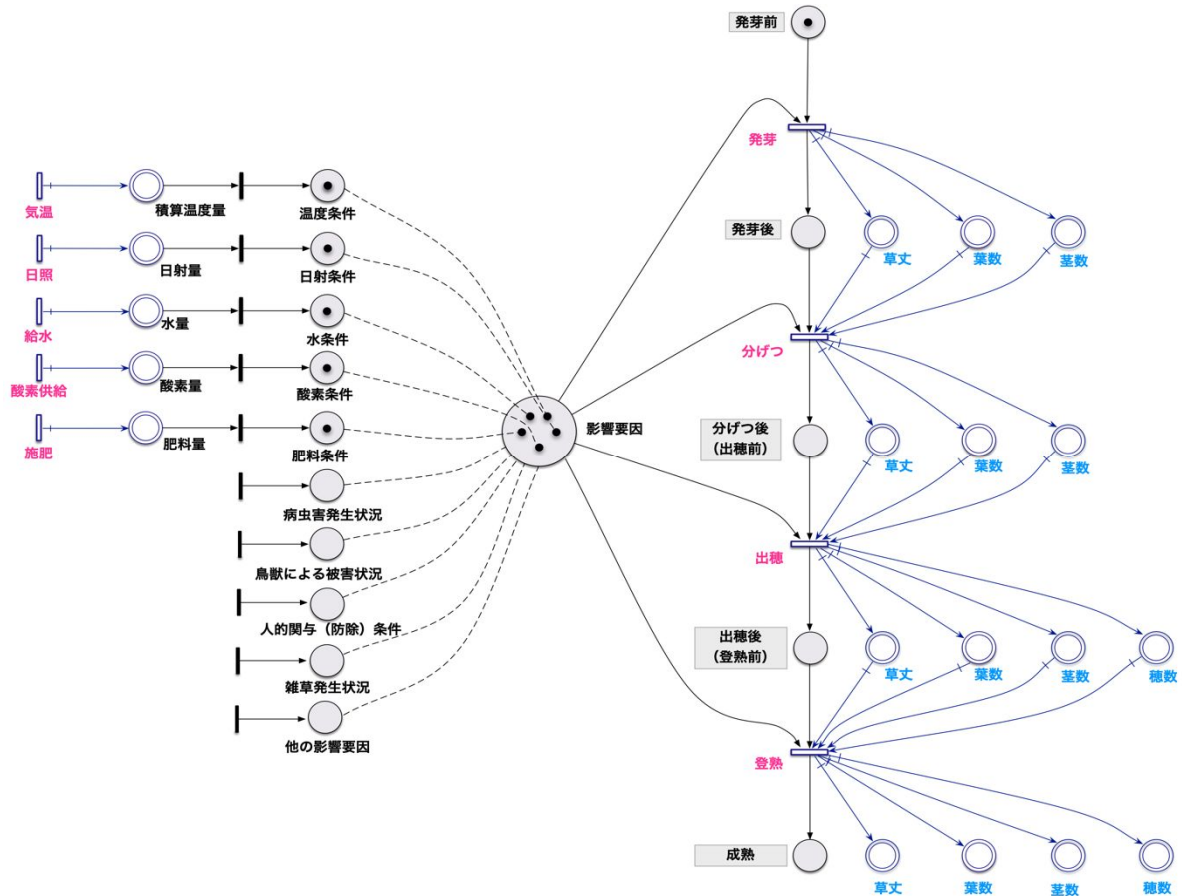


図 3：小麦の生育プロセスのモデリング

外的要因の時系列変化や状態を一つのモデルとして一体化モデリングできた。

(2) 得られたモデルを動作させ、シミュレーション計算した結果を図 4 のグラフで示す。茎数・草丈・葉数・穂数は時間経過に従って変化している。これにより、任意の時間で生育形質と関連要素を再現することができた。

(3) 作物の生育プロセスにおける生育形質の連続的変化や外的要因を一体化モデリングする方法（特願 2021-039461）生育形質の状態・変化に対する新しい計測機材（特願 2021-012401）と方法（特願 2021-018888）は独創的であり、今後は特許実施と論文発表を含めてさらに展開する予定である。

<引用文献>

Claude Girault and Rüdiger Valk, Petri nets for systems engineering: a guide to modeling, verification, and applications, Springer Science and Business Media, ISBN: 978-3540412175, 2003

* ハイブリッドペトリネット(Hybrid Petri net)とは離散的・連続的事象の状態と遷移をグラフィカル及び数学的に記述するモデリングツールである。

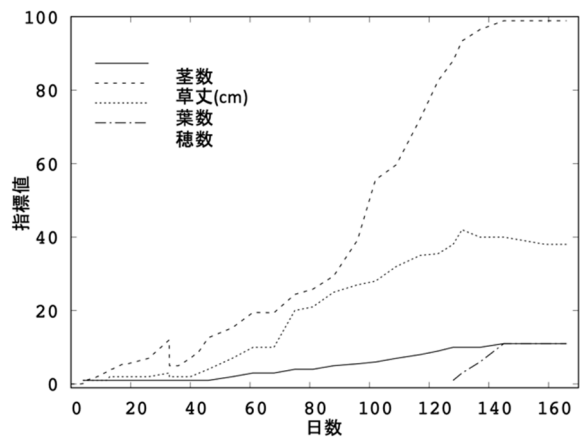


図 4：小麦生育プロセスのモデリング結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 鹿内健志・世嘉良康太・官森林	4. 巻 54
2. 論文標題 沖縄本島南部地域におけるGPSと車載カメラを用いた小型サトウキビ収穫機の作業分析とその利用可能性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農作業研究	6. 最初と最後の頁 85-92
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4035/jsfwr.54.85	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 -

1. 著者名 Guan Senlin, Fukami Koichiro, Matsunaka Hitoshi, Okami Midori, Tanaka Ryo, Nakano Hiroshi, Sakai Tetsufumi, Nakano Keiko, Ohdan Hideki, Takahashi Kimiyasu	4. 巻 11
2. 論文標題 Assessing Correlation of High-Resolution NDVI with Fertilizer Application Level and Yield of Rice and Wheat Crops using Small UAVs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 112
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs11020112	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 -

1. 著者名 Guan Senlin, Shikanai Takeshi, Nakamura Morikazu, Fukami Koichiro, Takahashi Kimiyasu	4. 巻 11
2. 論文標題 Practical scheduling problem for sugarcane-farming corporations and its solution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Engineering in Agriculture, Environment and Food	6. 最初と最後の頁 211 ~ 219
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.eaef.2018.07.002	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 上地 涼子・鹿内 健志・官 森林
2. 発表標題 空中写真から作成したサトウキビ圃場の三次元モデルによる生育解析
3. 学会等名 電気学会電子・情報・システム部門大会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上地涼子・鹿内健志・官森林・深見公一郎
2. 発表標題 ドローン空撮画像によるサトウキビの生育診断
3. 学会等名 日本農作業学会2020年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 官森林・中野恵子・趙元在・深見公一郎・大段秀記・高橋仁康
2. 発表標題 ドローンリモートセンシングにおけるRTK - GNSS高精度測位とその活用
3. 学会等名 日本農作業学会2020年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 官森林・大段秀記・深見公一郎・佐々木豊・中野恵子・高橋仁康
2. 発表標題 ドローンを用いた100haの高速リモートセンシング
3. 学会等名 日本農作業学会2019（平成31）年度 春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上地涼子・鹿内健志・官森林・深見公一郎
2. 発表標題 UAVによる3次元画像からのサトウキビの生育高さの推定
3. 学会等名 第74回(令和2年度)九州農業食料工学会例会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 情報処理装置、情報処理方法、およびプログラム	発明者 官森林・深見公一 郎・高橋仁康・松中 仁	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-039461	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 対空標識、熱画像生成装置、熱画像生成方法、及びプログラム	発明者 官森林・高橋仁康・ 本部朗利	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-012401	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 情報処理装置、情報処理方法、およびプログラム	発明者 官森林・高橋仁康・ 深見公一郎・中野恵 子・大段秀記	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-018888	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	鹿内 健志 (Shikanai Takeshi) (20264476)	琉球大学・農学部・教授 (18001)	
研究分担者	深見 公一郎 (Fukami Koichiro) (50399424)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター・上級研究員 (82111)	
研究分担者	名嘉村 盛和 (Nakamura Morikazu) (80237437)	琉球大学・工学部・教授 (18001)	

	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
連携研究者	高橋 仁康 (Takahashi Kimiyasu) (40391536)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター・グループ長 (82111)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------