

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (特設分野研究)

研究期間：2015～2017

課題番号：15KT0113

研究課題名(和文) 過去110年間の気候変動が我が国の水稲収量に及ぼした影響の検証

研究課題名(英文) Influence by climate change on Japanese rice production during last 110 years

研究代表者

加藤 知道 (KATO, TOMOMICHI)

北海道大学・農学研究院・助教

研究者番号：60392958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：人口急増とともに食料増産の要求が年々高まっている。一方で、将来の気候変動は農業生産に大きな影響を与えると予測される(IPCC, 2014)。その影響を調べることは我が国の食料確保だけでなく安全保障の上でも非常に重要である。そこで過去約110年間(1901-2012)の県別の水稲についての農業統計資料、農業試験場の栽培試験結果、作物収量モデルシミュレーション、再解析気候データを組み合わせ、気候変動が水稲収量に及ぼした影響の統合的な解析を行った。

研究成果の概要(英文)：Under the high pressure on the further improvement of food production, there is a need for investigating the influence by climate change on crop production for the past time (IPCC, 2014). The insight from the historical analysis will also help our future plan on food security. Therefore, we have made the comprehensive investigation on the influence by climate change on rice production via the combination of aggregation of agricultural statistical data for 110 years for each prefecture, and collection of experiment data of crop breeding test, and crop model simulation.

研究分野：植物生態学、微気象学

キーワード：気候変動 作物収量 作物モデル

### 1. 研究開始当初の背景

人口急増とともに食料増産の要求が年々高まっている。一方で、将来の気候変動は農業生産に大きな影響を与えると予測される (IPCC, 2014)。その影響を調べることは我が国の食料確保だけでなく安全保障の上でも非常に重要である。申請者は、日本の森林については過去の気候変動がその生長に影響を与えたことが明らかにした (業績 1: Fang, Kato et al., 2014, PNAS)。一方、我が国の水稲は、実際に近年の気温上昇による高温障害で西日本を中心に収量と品質が低下しており、気候変動への適応策の検討が急務である (河津ら, 2007, 日作紀)。

世界の気候変動と水稲生産力の関係が、農業統計資料をもとに調べられて来た (図 2, Lobell et al, 2011, Science など)。しかし、用いられた FAO などの資料は国家レベルの粗いデータであり地方レベル以下の収量と気候の変位を考慮していない。さらに、解析は 30-50 年程度の近い過去を対象としており、平均気候変化の影響が顕著に出ているとは言いがたい結果を示すのみである。このように、短期間の限定的な解析しかされていないことは、詳細な統計資料がデジタル化されていないことや、遺伝的要素 (品種改良・窒素反応性) の影響を差し引くことが難しいことが原因であると考えられる。もう一つのアプローチとして、作物モデルを利用した過去の世界で水稲収量の再現もいくつか試みられており (Iizumi et al., 2014, GEB など)、気候変動が与えた影響を調べている (Xiong et al., 2012, ERL) が、遺伝的要素の考慮はしていない。

我が国の最重要作物である水稲収量については、最近 40 年間の気候変化との関係 (河津ら, 2007, 日作紀) などが調べられているが、やはり遺伝的要素の変化を考慮していない。一方で、1980 年代以降のコシヒカリの栽培において、施肥量の減少にも関わらず収量は漸増している。その原因を栽培技術の進歩や、減反下で良田への作付けの集中に答えを求めている事例が多い (近藤ら, 2009, 農経論文集など)。しかし、同時に CO<sub>2</sub> 濃度上昇による施肥効果や、温度上昇による北日本での気候生産力の向上にも原因があると思われるが確かめられていない。また、近年の野外 FACE (Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment: 野外での CO<sub>2</sub> の自由大気ばらまき) 実験は、CO<sub>2</sub> 濃度が 1ppm 上昇すると主要作物の収量が平均で 0.065% 上昇することを示している (Ainsworth et al., 2008, New Phytol.)。つまり過去 110 年間の CO<sub>2</sub> 濃度上昇 (280 → 400ppm) は、水稲の収量を 7.8% も上昇させたかも知れないが、実際の水稲収量データに対して検証は行われていない。

日本の水稲は、世界でも稀に古くは 1880 年代より各県の作物収量および肥料・農機具などの営農体系に関するデータが出版されている。つまりそれらのデータを利用し、気

候変動を十分に検出できる長い時間変化と、品種・気候資源の違いを十分に検出できる大きな空間変化に渡って、気候変動が水稲収量に及ぼした影響を調べることが重要である。さらに、低収量ではあるが良食味な品種への移行や、倒伏性向上のための短稈品種への移行があり、環境的要素の影響を検出するには、遺伝的要素の影響の除去が必要である。そこで本研究では、産業革命以前から始まる長期間および県別の水稲収量と、遺伝的・環境的要因の関係を統計的に分析し、過去の我が国の水稲生産における気候変動による影響を定量 (図 1) することを目的とする。

### 2. 研究の目的

過去約 110 年間 (1901-2012) の県別の水稲についての農業統計資料、農業試験場の栽培試験結果、作物収量モデルシミュレーション、再解析気候データを組み合わせ、

(1) 水稲反収 (10a 当たりの玄米収量)、施肥量、主要品種の作付け面積・標準反収・窒素感受性についての県別のデータベースの構築と、水稲収量モデルを利用した気候変動に対する県別の反収の感度分析を行う。

(2) 反収の年々変化に対して、遺伝的形質 (主要品種の標準収量・窒素反応性)・窒素施肥量・気候 (気温・降水量・日射・CO<sub>2</sub> 濃度) 変動による寄与率を年代・県別に明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) 農業統計資料の収集と解析: 作物・生産費統計の収集とデジタル化を行い、各県の反収・主要品種の作付け面積・窒素施肥量の年々変化を明らかにする。反収は、最終的に以下の式に最小自乗法でフィットさせる。

(2) 農試栽培試験データの収集と解析: 各県の主要 10 品種の標準反収・窒素反応性 (無肥-小肥-多肥処理間の反収増加割合) の年々変化を計算する。

(3) 作物モデルによる気候変動の影響推定: 水稲の生長を再現する生態系シミュレーションモデル MATCRO-Paddy (陸面過程モデル MATSIRO+作物生長モジュール: Masutomi et al., 準備中) を、2003-2012 年の平均反収に合うように県ごとにパラメータ調整を行う。入力する気候データは、CRU TS3.2 再解析気候データ (0.5 x 0.5°) を各県の形状に GIS で内挿し県平均の値を作成する。次に 1901-2012 年までの再現実験を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) 農業統計資料の取得と解析：

県別の主要作物収量・窒素施肥量等のデジタル資料の取得と紙媒体資料のデジタル化は完了した。その初歩的の結果から、各作物の110年間の収量の増加率には大きな地域差があり、特に北日本での増加率が顕著に高かった(図1：水稲とかんしょの例)。また県別主要品種作付面積割合のデータの作成は、北海道の水稲のみが完成しているが、北海道では非常に多くの品種が開発され、その作付面積の割合構成が短期間に入れ替わっていることがわかった。これらのような統合的なデジタルデータベースは、様々な農業・経済研究に応用ができるため、非常に有用である。

県別の水稲収量・窒素施肥量等のデジタル資料の取得と紙媒体資料のデジタル化は完了した。その初歩的の結果から、各作物の135年間の収量の増加率には大きな地域差があり、特に北日本での増加率が顕著に高かった。またCRU(イーストアングリア大学気候研究ユニット)の地上気象観測データベースの長期気候データ(1901-2016年、0.5度グリッド、月別)を、0.05度グリッドに内挿し県別の主要気候変化(気温・降水量・雲量等)の長期データを準備した。さらに、エルニーニョ等の気候モードを表現するテレコネクション指数(NINO3, SOI, AO, NAO, PNA, PDO, IOD, PJ等)のデータをNASAウェブサイト等からダウンロードした。

現在は、作物収量データから動的線形モデルを利用しトレンド除去する作業を行っており、その後、90年代後半に現れる収量増加の停滞(Stagnation)の時期の特定と、気候変動・モードと収量の年々変化の関係を調べる予定であり、それらに関するデータペーパーと解析論文の執筆を準備している。

##### (2) 農業試験場栽培試験データの取得と解析：

北海道の水稲についての奨励品種の栽培試験データの取得・デジタル化が完了した。その北海道の主要水稲品種の窒素感受性は、時代ごとのシフトが見られた(図2)。さらに、全国・北海道の窒素投入量の増加に対して、水稲反収は1970sを境に、上昇から下降へ転じることがわかった(図3)。これは、1980s以降の水田土壌の慢性的な窒素過多や、最新品種では窒素感受性のピークが下がっている傾向にあることが原因であると示唆された。このような、データは資料がほとんど紙媒体である上に一括した保存がなされていないために、保管されている場所を特定することすら困難であった。その中で、北海道の水稲についてはほぼデータを収集できたことは非常に意味がある。今後同様に着々と全国各県へデータ収集を広げることで、日本の主要作物の主要品種の生産性を包括的に保有したデータベースが作られることが非常に期待される。

(3) 作物モデル：本研究で利用するプロセスベースの作物モデル MATCRO-Rice (Masutomi et al., 2017a, GMD; 2017b, GMD)の原型が完成した。本モデルは茨城大学増富准教授によって開発されており、本モデルを利用し、過去の水稲収量の再現及び、気候要素(気温、降水量、日射量、CO2濃度)ごとの感度実験を行う準備を完了した。現在は、旧品種の収量再現に向けたパラメータセットの構築をしている。

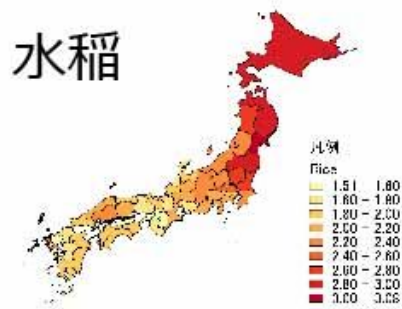


図1. 水稲収量の変化倍率(1900s に対する2010sの比)

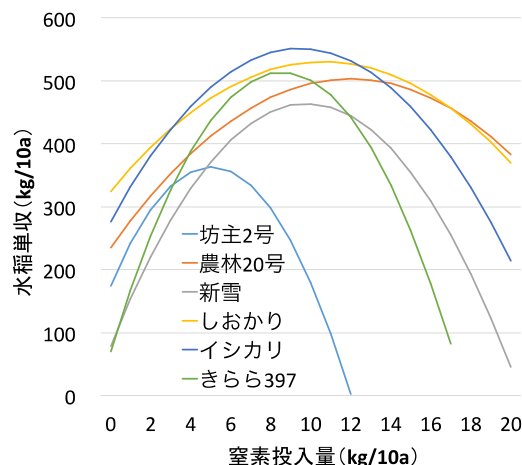


図2. 北海道の水稲品種の窒素感受性

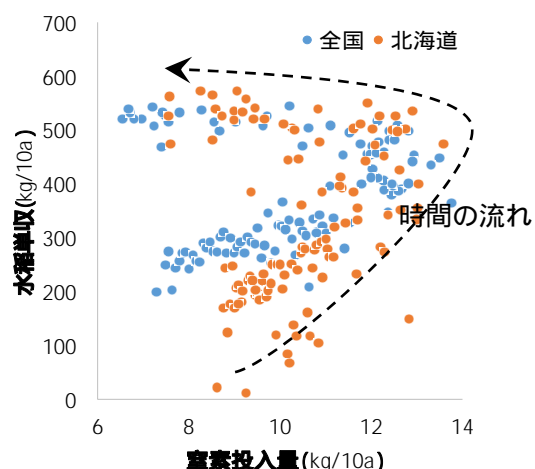


図3. 窒素投入量と水稲収量

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

該当なし

〔学会発表〕(計 0 件)

該当なし

〔図書〕(計 0 件)

該当なし

〔産業財産権〕

該当なし

〔その他〕

ホームページ等

<https://terraecomod.wixsite.com/kato-lab-hokudai-j>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 知道 (KATO TOMOMICHI)  
北海道大学・大学院農学研究院・助教  
研究者番号：60392958

(2) 研究分担者

齋藤 陽子 (SAITO YOKO)  
北海道大学・大学院農学研究院・講師  
研究者番号：30520796

(3) 連携研究者

増富 祐司 (MASUTOMI YUJI)  
茨城大学・農学部・准教授  
研究者番号：90442699