

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 5 日現在

機関番号：82107

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23880030

研究課題名（和文）

季節予報を用いた作物収量変動の予測可能性と予測制約要因の解明

研究課題名（英文）

Prediction of seasonal climate-induced variations in yields: potential and limitations

研究代表者

飯泉仁之直（TOSHICHIKA IIZUMI）

独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・任期付研究員

研究者番号：60616613

研究成果の概要（和文）：世界の作況予測の信頼性を評価した。コムギとコメについて、世界の栽培地域の約 3 割で、生育後期 3 ヶ月間の気象条件（気温・土壌水分量）と不作との間に、強い統計的な関係が認められた。そこで、気温と土壌水分量の季節予報を、得られた統計式に入力したところ、世界の栽培地域の約 2 割で、栽培中のコムギとコメの不作（前年に比べて収量が 5%以上、減少）を、収穫の 3 ヶ月前に予測できる可能性が高いことが示された。

研究成果の概要（英文）：This study assessed the reliability of the first global cropping prediction. Significant climate—crop relationships were found between the percentage changes in yield relative to that in the previous year and conditions of temperature and soil moisture level averaged over the 3-month period, commencing 3 months before harvesting and ending at harvesting. Using the derived statistical relationships and seasonal climatic forecasts, it is revealed that skillful within-season predictions of crop failures of wheat and rice are possible over approximately 20% of the global harvested area.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業環境工学

キーワード：地球環境・温暖化影響、農業気象・微気象

## 1. 研究開始当初の背景

豪州での干ばつを一因として、2008 年には食料価格が高騰し、新興国の貧困層に食料危機をもたらした。この際、WFP（国連世界食料計画）は難民支援に供する食料の市場調達量を減らさざるを得ず、飢餓人口が増加する事態となった。気象由来の作物収量変動を予

測できれば、食料調達時期の前倒しや新規調達先の開拓、備蓄施設の準備といったより機動的な飢餓対策の道が拓かれる。世界の主要生産国における気象由来の作物収量変動を収穫前に予測することが望まれる。

季節予報は世界の気象予報機関が提供する 1～6 カ月先の気温や降水量の予測値であ

る。豪州などで研究例があるが、季節予報を用いた収量変動予測は現段階では現実の収量変動を十分に説明できていない。

この原因の一つには、季節予報に使用される大気・海洋結合モデルの格子間隔は数100kmだが、作物モデルは圃場スケール（数10m）を対象としているためである。圃場スケールの作物モデルは栽培管理について詳細な入力データを必要とするが、広域ではこれらの情報は容易に入手できないため、不正確な情報に基づいて予測せざるを得ない。

もう一つの原因には、収量変動予測では特定の生育段階（開花期など）の稔実に関連する気象情報、例えば、連続無降水日数などが重要だが、季節予報は気温や降水量の1~3カ月平均値の情報を提供するに過ぎないことが挙げられる。

## 2. 研究の目的

上記の問題を踏まえて、本研究では、大気・海洋結合モデルの格子間隔（約100km）のスケールを対象とする収量予測モデルを構築したうえで、季節予報による全球作況予測の信頼性を評価する。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究では、全球の観測気象データとして気象庁・電力中央研究所で開発した全球気象再解析データ（JRA-25/JCDAS）を使用した。また、海洋研究開発機構が提供する1~12ヶ月長期気温・土壌水分予報を全球の季節予報データとして用いた。

収量データは、近年、農業環境技術研究所で開発された全球の時系列収量データベースを利用した。これらのデータは、全て、1982~2006年について利用可能で、全球を覆う約120kmのメッシュに割り当てられている。

その他に、2000年の主要穀物（トウモロコシ、ダイズ、コメ、コムギ）の栽培地域、収量、播種日、収穫日の地理分布データを利用し、各作物の地理分布と生育期間を特定した。

(2) 穀物の不作と気象条件との統計的な関係を導くために、収量の前年比を被説明変数、生育後期3ヶ月で平均した気温と土壌水分量の前年差の観測値を説明変数とする重回帰式をメッシュごとに構築した。重回帰式の回帰係数の値は当該年のデータを除いて決定した。この作業を25年間の各年について行った。そのうえで、前年に比べて収量が5%以上低下した場合（不作）と当該年の予測を抽出し、自由度修正済み決定係数（ $adj-R^2$ ）を計算した。自由度が2、平均的なサンプル数が10であるため、 $adj-R^2 > 0.454$ の場合に、 $adj-R^2$ の値は5%水準で有意となる。有意な値が得られた地域を、以降、「潜在的に信頼性の高い予測が可能な地域」と呼ぶ。

観測気象データと同様に、気温と土壌水分量の季節予報も、それぞれ、生育後期の3ヶ月について平均した。このため、収穫前3ヶ月の予測では、1~3ヶ月予報を用いた。また、播種前予測では、3~5ヶ月予報を用いた。これらの季節予報データを、先に得られた重回帰式に入力し、季節予報による作況の予測値を得た。前年の5%以上、収量低下が観測された年のみを予測値と比較し、決定係数（ $R^2$ ）を計算した。5%水準で有意となる $R^2 > 0.301$ のメッシュを、以降、「予測の信頼性が高い地域」と呼ぶ。

(3) 重回帰式の回帰係数を気温、または土壌水分量の前年差の平均値で評価することで、気温（土壌水分）の単位変化量あたりの収量の変化率が算出可能である。この収量感度の絶対値が最大となる気候要素を「収量変動を主に規定する気候要因」と呼ぶ。

(4) 季節予報による作況予測と比較するためにランダム予測を行った。これは、各メッシュで、観測された収量データから重複を許して、ランダムに25年分の収量値を抽出する。観測された不作と当該年の抽出値とを比べて、 $R^2$ を算出する。これにより、偶然、 $R^2 > 0.301$ となる確率を定量化し、季節予報による作況予測がランダム予測に比べて、有意に信頼性が高いかどうかを調べた。

## 4. 研究成果

(1) 生育後期3ヶ月に観測された気象条件（気温と土壌水分量）と主要穀物の不作との関係を統計的に調べた結果、世界の26~33%の栽培地域において、5%水準で有意な関係（ $adj-R^2 > 0.454$ ）が得られた（図1）。重要な点は、これらの地域の生産量は、評価可能な2000年の生産量を基準にすると、世界生産量の28~40%に相当することである。したがって、もし、気温と土壌水分量の季節予報が完全であれば、最大で、世界生産量の約3~4割について、不作の可能性を気象条件のみから予測できることを示唆する。

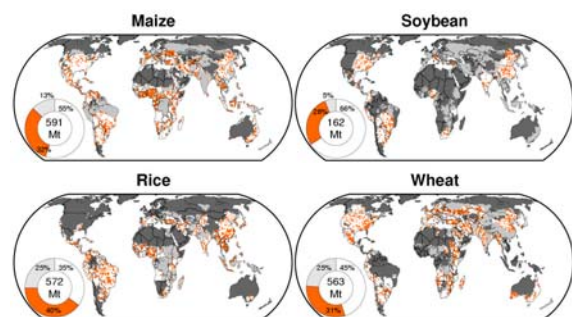


図1 観測気象データから得られたトウモロコシ、ダイズ、コメ、コムギの不作予測の信頼性の上限。

白色は予測の信頼性がない地域（ $adj-R^2 < 0.454$ 未滿。サンプル数は10）。オレンジ色は予測の信

傾性がある地域 ( $adj-R^2 \geq 0.454$ )。淡い灰色は栽培暦が不明なため予測できない地域。濃い灰色は作物が栽培されていない地域。円グラフは各色の地域から得られた生産量割合 (円グラフの中心は2000年の世界生産量) を示す。

(2) 1~3ヶ月先を予報した気温と土壌水分量の季節予報を、(1)で得られた統計式に入力した結果、統計的に有意な関係が認められた地域の約半分で、観測された不作を再現できた (図2)。これは、世界の栽培面積の15~19% (世界生産量の17~21%) に相当する。ランダム予測と比較した結果、季節予報によるコムギとコメの予測は、1%水準で有意にランダム予測よりも信頼性が高い (図3)。しかしながら、トウモロコシとダイズについては季節予報による予測がランダム予測よりも信頼性が高いとは言えない。

さらに重要な点は、コムギとコメについては、予測の信頼性の高い地域が、東南アジア (コメ) やオーストラリア (コムギ) といった主要な輸出国を含む点である。このことから、いくつかの主要な輸出国では、栽培中のコムギ (図4) とイネ (図5) が不作になる可能性を、収穫の3ヶ月前に、季節予報により捉えることが可能であると示唆される。

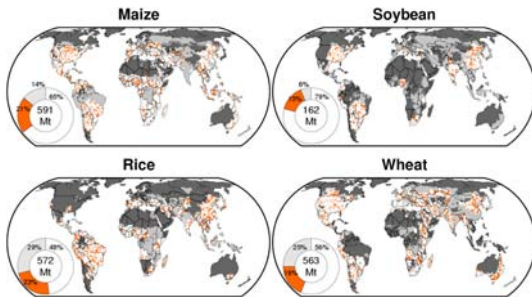


図2 季節予報によるトウモロコシ、ダイズ、コメ、コムギの不作予測の信頼性の上限。図中の地域の色は図1と同様。

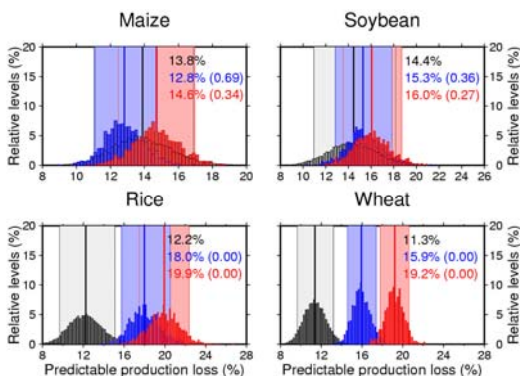


図3 信頼性が高い予測が可能で生産低下量の経験的な確率密度関数。黒色はランダム予測。赤色は収穫前予測。青色は播種前予測。太い縦線は平

均値。細い縦線で囲まれた範囲は95%信頼区間。括弧なしの数字は予測の平均値。括弧内の数字は季節予報による予測がランダム予測を上回る確率。

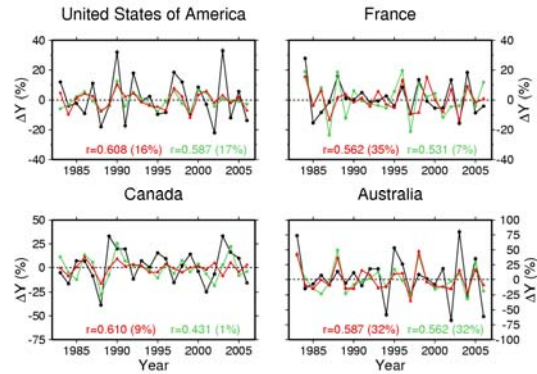


図4 主要なコムギ輸出国 (米国、フランス、カナダ、オーストラリア) において予測の信頼性が高い地域のコムギ収量変動。黒色は観測収量。赤色は収穫3ヶ月前における予測。緑色は播種前における予測。 $r$ は観測された収量変動と予測との相関係数。括弧内の数字は、各国の当該作物の栽培面積に占める予測の信頼性が高い地域の割合。

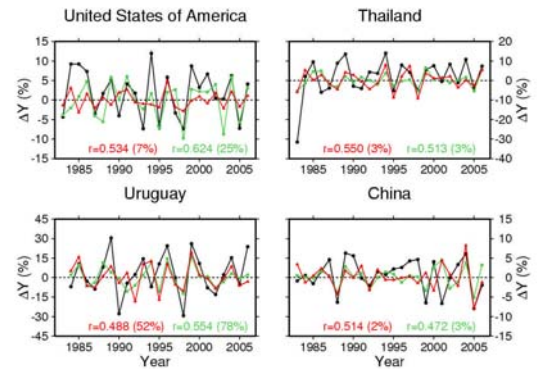


図5 主要なコメ輸出国 (米国、タイ、ウルグアイ、中国) において予測の信頼性が高い地域のコメ収量変動。図中の線の色と数字は図4と同様。

(3) 作物間で見られる予測の信頼性の差異  
上記の結果から、コムギとコメについては、季節予報による不作予測の信頼性が高いが、トウモロコシとダイズについては、現時点では、信頼性の高い予測は困難なことが明らかになった。この作物間の予測の信頼性の差異は、収量変動を主に規定する気候要因や栽培地域・栽培時期、気温と土壌水分量の予測の信頼性などが関係している。

トウモロコシとダイズの収量変動は、世界の半分以上の栽培地域で、土壌水分量に規定されている (図6)。一方、コムギとコメの栽培地域の半分以上は主に気温によって収量変動が規定されている。一般に、気温の予報は土壌水分量を含む湿度の予報よりも信頼性が高いことが知られている。また、北半球の冬季の方が夏季よりも予報精度が高く、低

緯度地域の方が中・高緯度地域よりも予報の信頼性が高い。このため、主要穀物のうち最も栽培面積が広く、冬季にも栽培され、気温によって収量変動が主に規定されるコムギの予測の信頼性が、主要穀物の中で最も高い。

コメの主要な生産地（例えば、タイ）は季節予報の信頼性が高い熱帯域にあるが、その地域ではコメの収量変動が主に土壌水分量によって規定されるため、コムギよりも予測の信頼性が相対的に低い結果となった。また、熱帯域ではコメの三期作が行われているが、使用した栽培暦では3回目の作期のデータがない。こうした栽培暦の制約もコメの信頼性の低下に寄与していると考えられる。

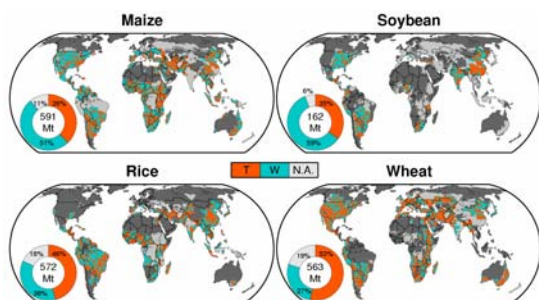


図6 トウモロコシ、ダイズ、コメ、コムギの収量変動を規定する主な気候要因。赤色は気温制約の地域。青色は土壌水分量制約の地域。淡い灰色は栽培暦が不明な地域。濃い灰色は作物が栽培されていない地域。円グラフは各色の地域から得られた生産量割合（円グラフの中心は2000年の世界生産量）を示す。

## 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3件）

- ① Iizumi, T., H. Sakuma, M. Yokozawa, J.-J. Luo, A. J. Challinor, M. E. Brown, G. Sakurai, and T. Yamagata (2013), Prediction of seasonal climate-induced variations in global food production. *Nature Climate Change* (in press). [査読あり]
- ② Iizumi, T., I. Takayabu, K. Dairaku, H. Kusaka, M. Nishimori, G. Sakurai, N. N. Ishizaki, S. A. Adachi, and M. A. Semenov, 2012: Future change of daily precipitation indices in Japan: A stochastic weather generator-based bootstrap approach to provide probabilistic climate information. *Journal of Geophysical Research*, **117**, D11114, doi:10.1029/2011JD017197. [査読あり]
- ③ Iizumi, T., F. Uno, and M. Nishimori, 2012: Climate downscaling as a source of uncertainty in projecting local climate change impacts. *Journal of the*

*Meteorological Society of Japan*, **90B**, 83-90. [査読あり]

〔学会発表〕（計3件）

- ① 飯泉仁之直・佐久間弘文・ミカエルAセメノフ、「広域作物モデルでの利用に向けた季節予報の翻訳」、日本農業気象学会、2012年3月13日、大阪府立大学。
- ② Iizumi, T., H. Sakuma, M. Yokozawa, J.-J. Luo, A. J. Challinor, and T. Yamagata, Forecasting global crop failures to prepare climate-induced food insecurity. APEC Climate Symposium 2012: Harnessing and Using Climate Information for Decision Making-An In-Depth Look at the Agricultural Sector, October 8-11, 2012, Park Inn Pulkovskaya (St. Petersburg, Russia).
- ③ Iizumi, T., J.-J. Luo, G. Sakurai, H. Sakuma, and M. Yokozawa, Predictability of global crop yield variations using seasonal climate forecasts. NCCARF Climate Adaptation in Action 2012, June 26-28, 2012, Sebel Hotel Albert Park (Melbourne, Australia).

〔図書〕（計0件）

特になし

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

特になし

○取得状況（計0件）

特になし

〔その他〕

特になし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯泉 仁之直 (TOSHICHIKA IIZUMI)

独立行政法人農業環境技術研究所

研究者番号：60616613

(2) 研究分担者

特になし

(3) 連携研究者

特になし