

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25892004

研究課題名(和文)多様な土地利用変化を考慮した温暖化シナリオによるコメ収量の影響評価

研究課題名(英文)Climate change impact on rice yield with land-use change scenarios

研究代表者

吉田 龍平 (YOSHIDA, RYUHEI)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70701308

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：地球規模で進む温暖化と地域で進む温暖化の両面を考慮したシナリオを作成し、将来主要なコメ生産地となることが期待される東日本を対象に、コメの生育シミュレーションを行った。夏季の平均気温が3程度高くなるシナリオを用いると、現在各地で栽培されている品種をそのまま維持した場合、20%弱の増収が期待されるが、高温障害の顕在化も推定された。現在の東日本では冷害が主要な懸念材料であるが、将来においても高温障害より高いリスクとなりうるということが明らかになった。将来の安定した収量を確保するためには、現行品種の維持と耐高温品種の導入の両面が東日本全体としての主要な適応策となりうるということが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We estimated climate change impacts on rice production with high-resolution climate data by downscaling global scenario and composing regional climate data by land-use change, taking eastern Japan as an example. Downscaled scenario showed that surface temperature increased approximately 3 degree throughout the analysed area in future climate (2081-2100), relative to that in present climate (1981-2000). Although yields of currently cropped cultivars were expected to increase approximately 20% in the future climate, several high-temperature stress became evident. Low temperature stress reduced in the future climate. However, low-temperature stress was still major concern than high-temperature stress. Considering expected yield and temperature stresses, followings would be possible options for stable rice production in future climate: 1) by keeping current leading cultivars and 2) by introducing cultivars such as low sensitivity to temperature for phenology.

研究分野：農業気象学

キーワード：温暖化 土地利用変化 コメ収量

1. 研究開始当初の背景

近年、温暖化した日本におけるコメ収量の安定確保に関心が高まっている。現在冷涼な東日本では、収量は一時的に増加するが高温障害のためにいずれ減収するとされており、適応策の立案が急務である。さらに、土地利用管理は環境を調節できる一要素のため、この効果を考慮した収量変化の再評価が望まれている。

2. 研究の目的

今後、より重要なコメの生産地になっていくと考えられる東日本を対象に、安定した収量を確保するための適応策を検討する。特に、東日本のような地域スケールでは温室効果ガスによる地球規模の温暖化の他、土地利用変化による気候変化も水稲生育に大きな影響を与える。そのため、全球と地域両面の温暖化を考慮してコメ収量への影響評価を行う。

3. 研究の方法

東日本の気候変化シナリオを構築するため、CMIP5 プロジェクトで用いられている全球モデルの気候変化シナリオを用いた(MIROC5)。そのままでは東日本を解像できないため(水平解像度: 100km)、非静力学モデル JMA-NHM を用いて 10km メッシュに高解像度化した。得られた気候データから、現在と将来の気候差分を抽出し、メッシュ化された観測値 Mesh-AMeDAS と合わせることで将来気候データを構築した。計算機資源の制約上、高解像度化されたデータは水稲生育に重要な 6-8 月の 3 ヶ月間のみ作成した。なお、現在気候のデータは Mesh-AMeDAS の値をそのまま利用した。これらにより、夏季の気候変化による水稲生育への影響評価が可能となる。

作成した現在・将来の気候データを水稲生育モデル Hasewaga/Horie に入力し、収量、高温障害・冷害による不稔率(実がつかない割合)を推定した。栽培させた品種は、作柄表示地帯でそれぞれ最大の作付面積を持つ品種とした。比較のため、日本で栽培されている主要 10 品種(あいちのかおり、あきたこまち、あさひの夢、はえぬき、ヒノヒカリ、ひとめぼれ、キヌヒカリ、きらら 397、コシヒカリ、こしいぶき)に対しても同様のシミュレーションを行った。

土地利用管理による気候変化を通じた収量への影響を見積もるため、地表面パラメータの変化と気温の変化を結び、影響評価関数を構築した。対象とした地表面パラメータは、アルbedo、蒸発効率、粗度、熱容量、熱伝導率の 5 つとした。続いて、モンテカルロシミュレーションによって 10,000 通りの仮想土地利用変化シナリオを生成し、作成した影響評価関数と合わせて、土地利用変化に由来する気温の変化量を推定した。

4. 研究成果

(1) 東日本の気候変化

MIROC5(RCP4.5)ベースの場合、東日本の夏季の気温は 3 程度の昇温と推定された(図 1)。日平均・最高・最低気温による昇温量の違いは 0.3 で、日最低気温の昇温量がやや大きかった。空間分布では、太平洋側の昇温量が他地域よりも大きかった。一般に、東北地方の 6-8 月は、ヤマセに由来する下層雲によって日射が遮られ、太平洋側の下向き短波放射量が日本海側よりも小さくなる傾向がある。これは観測値を元に構築された Mesh-AMeDAS に現れている。将来気候でも下向き短波放射量は太平洋側で小さかったが、領域平均で下向き短波は  $1.6 \text{ W m}^{-2}$  の増加であった。特に、増加量は日本海側よりも太平洋側で高い値となった。下向き短波放射量の増加域と昇温量の大きいところは概ね一致し、ヤマセの弱화가背景にあると考えられる。相対湿度は領域全体を通して低下する一方で、風速の変化に明確な傾向は見られなかった。なお、この結果は他の全球気候モデル MRI-AGCM(A1B)の場合においても同様であった。

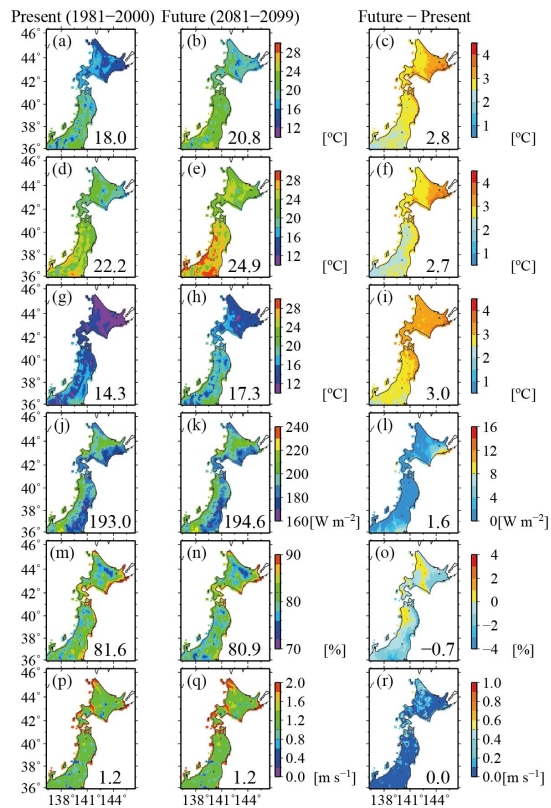


図 1 : (左) 現在気候 (1981-2000) と (中) 将来気候 (2081-2100) および (右) 将来気候と現在気候の差。上からそれぞれ、日平均気温、日最高気温、日最低気温、下向き短波放射、相対湿度、風速。各図右下の値は領域平均値。現在気候は AMeDAS 観測値をメッシュ化した Mesh-AMeDAS によるもの、将来気候は Mesh-AMeDAS に MIROC5 モデルをダウンスケールして得られた現在・将来気候の差分を加えて作成した。

(2) 現行品種を維持した際の収量の見通し  
まず、Hasegawa/Horie モデルが観測された  
収量の年々変動を再現できるかどうかの検  
証を行った。用いた品種は、現在各地域で栽  
培されている品種(現行品種と定義)である。  
過去 20 年(1981-2000)で観測された収量に  
対し、計算値の収量は概ね近い値を算出し、  
20 年平均での推定誤差は-1.8%であった(図  
2)。特に、1993 年の冷害に対してもモデルは  
追従し、収量を推定するモデルとして十分使  
用可能であると判断した。

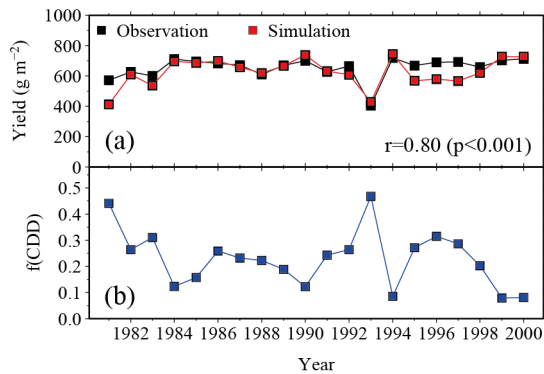


図 2 : 現在気候における (a) 収量および (b) 推定された低温による不稔率、の年々変動。収量では、黒が観測値、赤が推定値。r は観測とモデルの相関係数で、p は p 値を表す。

続いて、現行品種が将来気候でも維持され  
るとして、作成した温暖化シナリオを  
Hasegawa/Horie モデルに入力した。現在の栽  
培品種が将来もそのまま続いた場合、平地の  
一部(昇温量が大きいと推定された地域)  
では収量が少なくなると推定されたが、東日本  
の多くの地域では増収(領域平均で 17%増)  
が見込まれた(図 3)。増収には二酸化炭素の  
増加による施肥効果が主に寄与していた。特  
に、標高の高い地域や北海道など、現在比較  
的冷涼な地域で高い増収率となった。現在、  
720-840 g m<sup>-2</sup>の収量は東日本の中で高い収量  
と言えるが、将来気候は多くの地域で同レ  
ベルの収量が確保できると期待される。

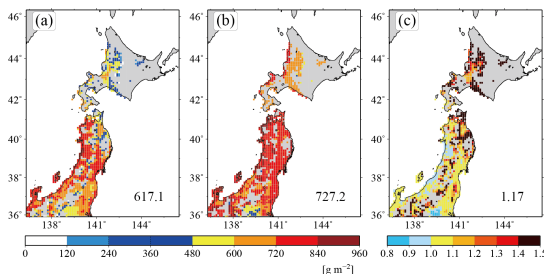


図 3 : 現行品種を維持した場合の収量の空間分布。(a) 現在気候、(b) 将来気候、(c) 将来気候の現在気候に対する比。灰色の部分は水田がない地点を表す。

次に、収量を減少させる要因である不稔率  
について検討した。現在の東日本では、高温  
障害はリスク要因となっていないが、気候変  
化による昇温に伴って、標高の低い平野部で  
高温による不稔が顕在化すると推定された  
(図 4)。一方で、冷害については緩和が期  
待された。高温障害と冷害、それぞれによる  
不稔率を比較すると、現在気候においては冷  
害の方が主な懸念要因であるが(高温:冷害  
= 1:75)、温暖化の進んだ将来気候におい  
ても依然として冷害による不稔率の方が高い  
と推定された(1:3.8)。そのため、将来気  
候においては、顕在化する高温障害と継続す  
る冷害の両面に警戒が必要になるといえる。

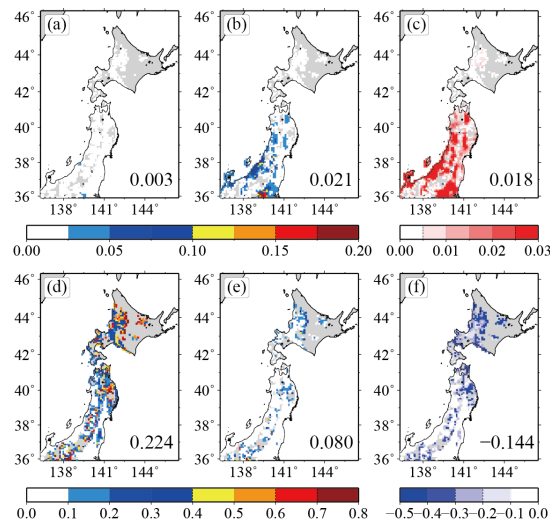


図 4 : (上段) 高温障害による不稔率。(下段) 同冷害。左から順に、現在気候、将来気候、将来と現在の差。

(3) 土地利用変化による気候変化を通じた  
収量への影響

地表面パラメータ(日射の反射率や地面の  
粗さ)と気温の変化を結ぶ影響評価関数を非  
静力学モデル JMA-NHM で構築し、仮想土地  
利用変化シナリオを組み合わせる「合成」シ  
ナリオを作成した。得られたシナリオは  
Hasegawa/Horie モデルの入力として用い、収  
量への影響を推定した。

(2) で述べたように、二酸化炭素の施肥  
効果によって将来気候では増収が期待され  
るが、水田の現象や都市化といった土地利  
用変化に由来する気温の上昇は、増収率を抑制  
する方向に作用した。昇温による夜間の呼吸  
量の増加により、生長が抑えられることが要  
因であった。水田や森林が増加したケース  
において、地球規模の温暖化による高温の悪  
影響が土地利用管理によって緩和され、東北  
各県でさらなる増収が期待された(図 5)。こ  
のように土地利用変化は収量に対して正負  
どちらの影響にもなりうる可能性が示され  
た。土地利用変化による収量の振れ幅と温暖  
化による収量の変化率の比は 17%で、土地  
利用管理によっては温暖化による高温の影響

をある程度緩和できる可能性があることが明らかになった。

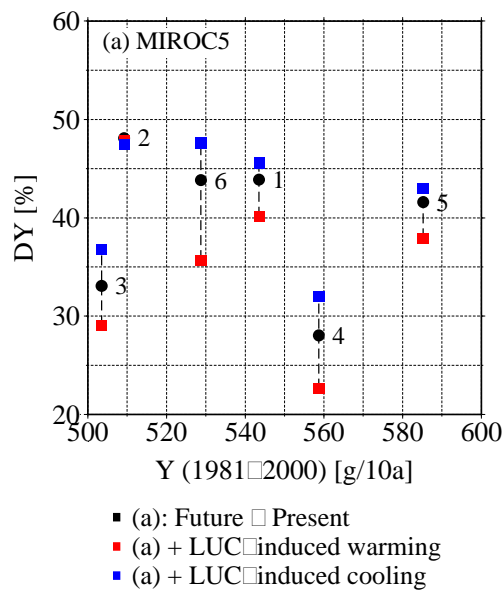


図5：土地利用変化による気候変化を通じた収量の変化（将来気候の増収率）。横軸は、現在気候での平均収量、縦軸は将来の増収率。黒：全球規模の温暖化のみを考慮した場合、赤：土地利用変化が昇温を引き起こした場合、青：同冷却の場合。図中の番号は東北各県に対応し、1：青森、2：岩手、3：宮城、4：秋田、5：山形、6：福島。

#### (4) 安定した収量を確保するための適応策の検討

現在日本で栽培されている主要10品種を対象に、現行品種よりも収量あるいは高温障害や冷害の面で好ましい条件を示す品種の数を算出した。品種数が多ければ、対象地点は温暖化の適応策として用いることのできる品種の選択肢が多いことになる。

収量や高温障害の一面のみで現行品種よりも好条件を示すなら、栽培品種の入れ替えを行うと条件付けしたケースでは、各地での品種の選択肢は多いが、東日本で現在栽培されている品種が耐冷性を重視しているため、冷害リスクを低下させようことを条件にした場合での選択の幅は限定的な地域が多かった(図6)。

収量・高温障害・冷害の3要素のうち、複数条件を達成することを条件とした場合では、さらに品種の選択肢は狭まり、全要素を同時に満たす場合ではおよそ半分の地点で該当品種なし、と判定された。これは品種の入れ替えよりも現行品種を維持した方が有効であることを意味している。少数ながらも南部では選択された品種があり、それらは現在各地で栽培されている品種よりも南で栽培される耐高温品種であった。

ここで収量について着目すると、現行品種をそのまま維持した場合は17%の増収が期待された。適応策として、高収量のみ達成す

ると条件を設定した場合に選択される品種で栽培すると、増収率は26%であった。先の3条件(収量と気温による不稔)を同時達成する品種で栽培した場合には、高収量のみとしたときほどの増収ではないものの、22%の増収が推定された。こちらの場合には気温による不稔も最小化できている。将来にわたる安定した収量確保のためには、現行品種の維持(北部)と耐高温品種の導入(南部)の両面が有効な適応策として挙げられる。

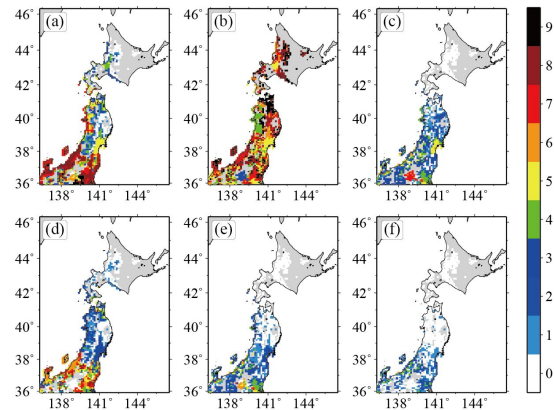


図6：将来気候において、現行品種よりも好条件を示す品種の数。(a)高収量、(b)高温不稔低下、(c)冷害不稔低下、(d)高収量+高温不稔低下、(e)高収量+冷害不稔低下、(f)高収量+高温不稔低下+低温不稔低下。

#### 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1件)

1. Yoshida R., Y. Onodera, T. Tojo, T. Yamazaki, H. Kanno, I. Takayabu, and A. Suzuki-Parker, An application of a physical vegetation model to estimate climate change impacts on rice leaf wetness, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, doi:10.1175/JAMC-D-14-0219.1 (in press), 査読有り。

[学会発表](計7件)

1. 吉田龍平, 福井眞, 島田照久, 岩崎俊樹. 東日本における気候変化と水稻栽培品種の将来変化. 日本気象学会2014年度秋季大会, 福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2014年10月23日。

2. Yoshida R., S. Fukui, T. Shimada, T. Hasegawa, and T. Iwasaki, Paddy rice productivity under climate and land-use change. American Geophysical Union Fall Meeting 2013, San Francisco (United States of America), Dec. 13 2013.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

吉田 龍平

( YOSHIDA RYUHEI )

東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：70701308