

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750119

研究課題名(和文) 北海道の水稲生産における温暖化に伴う農業気候ポテンシャルの時空間的定量化

研究課題名(英文) Spatiotemporal quantification of agroclimate potential with global warming in rice yield in Hokkaido

研究代表者

根本 学 (NEMOTO, Manabu)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター・生産環境研究領域・主任研究員

研究者番号：10469843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：高温環境下における北海道水稲品種の生育特性、および収量特性を明らかにして、水稲の品種特性を考慮した将来の収量予測を行った。現在の札幌よりも生育期間の気温が約5℃高温な石垣での栽培試験を実施して解析に使用した。DVRモデルに日射量を考慮することで推定精度が向上した。さらに、収量構成要素を推定して収量を推定する手法を開発した。現在より2.5℃気温が上昇した将来では、収量は現在と同程度か減少する地域が多く、特に穂重型の品種で減少する傾向がみられた。

研究成果の概要(英文)：Growth and yield characteristics of rice varieties for Hokkaido region under the hotter air temperature than at present were clarified, and we investigated the yield estimation in future based on the rice varietal characteristics. Field experiment to analyze the rice characteristics under the hot condition was conducted at Ishigaki island in Okinawa prefecture located in the southernmost region in Japan. Rice developmental rate (DVR) model including not only air temperature but also solar radiation as meteorological variables we revised in this study increased its estimate accuracy relatively to traditional DVR model. Moreover, we developed the estimation methods for rice yield components with meteorological elements divided according to rice developmental stages. In future projection at 2.5℃ higher than at present, rice yield in a number of areas in Hokkaido sustains or decrease in comparison to the present, and the yield decreases especially in rice variety of panicle weight type.

研究分野：農業気象

キーワード：温暖化影響評価 水稲収量予測 水稲発育モデル

1. 研究開始当初の背景

温暖化の進行により、西日本では高温による水稲の生育障害や品質低下が多発している(森田 2011)。一方で、北海道ではより冷涼な環境であることと耐冷性のある良食味米の品種開発により、全国の水稲生産に占める割合が増加している (H23 年度 9.1%)。温暖化が進行した場合の将来における北海道での水稲生産について検討がなされているが (横沢ら 2009、林ら 2001)、ここでも北海道での増収が予測され、北海道は日本の主食である水稲の生産地としての重要性が、さらに増すことが確実である。

一方で、Nemoto et al. (2011)は、気象庁の観測史上最も高温の夏季であった 2010 年において、逆説的に北海道で水稲収量が減少したことを指摘している(図 1)。北海道の水稲品種は、日長感応性がわずか (Fujino 2003) であるため、高温に気象経過すると十分に大きくなることができずに出穂してしまう性質がある。2010 年の北海道では、生育期間前半が特に高温に経過したため、この期間に生じる分けつ (茎数の増加) が少なくなり、最終的に十分な数の穂をつけることが出来なかったことが減収の要因であった。このような高温による減収は、北海道では初めてであった(図 1)。

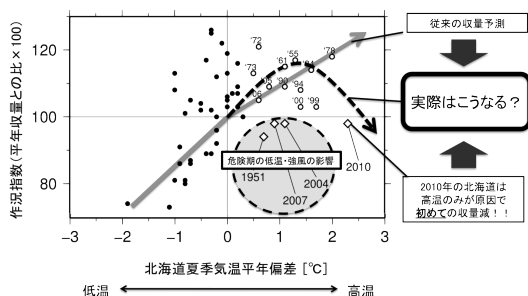


図 1 北海道夏季気温と作況指数の関係

ところで、これまでの水稲生産に関する温暖化影響評価には 2 つの大きな問題点がある。

一つ目は、将来予測と同様な高温環境において、収量性を検討できる水田の水稲栽培試験データは無い (過去に経験の無い高温のため) にもかかわらず、現在までに得られたデータを基に作成された水稲生育モデルを経験的・外挿的に利用しており検証がなされていないこと、二つ目は、将来の水稲収量予測は、気象条件に対するポテンシャルとしての最大収量で考えられており、2010 年の北海道のように、実際の収量に直結する分けつ数の減少等が考慮されていないことである。

2. 研究の目的

高温環境下における北海道水稲品種の生育特性、および収量特性を明らかにして、水稲の品種特性を考慮した将来の収量予測を行う。

3. 研究の方法

1990 年に品種登録され、北海道で現在まで長期にわたって作付けされている「きらら 397」を標準品種として、相対的に一穂粒数の多い品種 (穂重型) の「ななつぼし」、穂数の多い品種 (穂数型) の「ふっくりんこ」の 3 品種を研究対象とした。

(1) 栽培試験データ

北海道の温暖化環境下における生育特性データを取得するために、国立研究開発法人国際農林水産業研究センター (JIRCAS) の熱帯島嶼研究拠点 (石垣市) の試験水田を使用し、栽培試験を行った (図 2)。同様の試験を北海道農業研究センター (札幌市) の試験水田でも実施し (2012-2014 年)、生育ステージ記録と収量構成要素等の試験データを取得した。生育期間の気温は、石垣では札幌に比べて約 5°C 高い。また、地方独立行政法人北海道立総合研究機構 (道総研) がとりまとめる定期作況報告 (1989-2014 年) の記録も合わせて整理して、以後の解析に使用した。データ数は、きらら 397 が 107、ななつぼしが 22、ふっくりんこが 16 である。

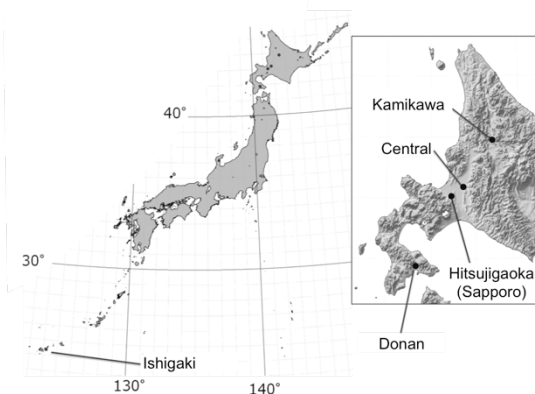


図 2 本研究で使用した、栽培試験データの地点

(2) DVR モデルの構築

作物の生育は気温に対する反応で整理されるが、水稲の場合は、生育初期の段階では生長点が水面下にあることもあり、水温の影響を強く受けることが知られている。ここでは気温が低くても日射量が多い場合に相対的に高温となる水温の効果を、水温を推定することなく、日射量を DVR 式に含めることで、取り込むことを考えた。計算式は以下のとおりである。

$$DVI = \sum DVR \quad (1)$$

$$DVR = 1/G \{1 + \exp(-A(T - T_h))\} \quad (2)$$

$$T = T_{air} \quad (3)$$

$$T = T_{air} + C(S_d/T_{air}) \quad (4)$$

発育指数 (DVI) は日々の発育速度 (DVR) の積で計算され、移植日、幼穂形成期、出穂期の発育指数をそれぞれ 0、1、2 とした。式 2 の T は、従来式では気温 (T_{air}) だが (式 3)、日射量の効果として式 4 を検討した。G, A, T_h , C はパラメータで、栽培試験データを元に決定した。

(3) 収量構成要素モデルの構築

水稻の収量 (BRY) は一般に収量構成要素 (穂数 (PN)、一穂もみ数 (SP)、登熟歩合 (RG)、千粒重 (KW) である) の掛け合わせで考えられている。

$$BRY = PN \cdot SP \cdot RG / 100 \cdot KW / 1000 \quad (5)$$

本研究では、各収量構成要素を推定し、その掛け合わせで収量を求めることを検討した。各収量構成要素は、水稻の生育ステージ別の気象要素 (気温・日射量)、および各生育ステージ間の日数を説明変数として、重回帰分析により推定式を求めた。また、収量構成要素間の相関関係も考慮した。

(4) 将来評価

各収量構成要素を推定しその掛け合わせで収量を推定するモデル (1 年目解析結果) と日射量考慮の DVR モデル (2 年目解析結果) を用いて、各収量構成要素および収量の現在 (2000 年代) に対する将来 (2050 年代) の変化量を解析した。将来予測データは、1981-2010 年の気象庁平年値データでバイアス補正した MIROC3.2(hires) を使用した。北海道平均では、4-10 月の平均気温と日射量は、それぞれ +2.5°C、+4% であった。日射量は将来減少する予測もあるため、-4% とした試算も行った。地点解析は、水田地帯に位置する深川、美唄、北斗のアメダス 3 地点で行った。苗の種類は中苗、移植日を 5 月 20 日と仮定した。

4. 研究成果

(1) 日射量を考慮した DVR モデル

従来式 (式 3 使用) と、日射量考慮式 (式 4 使用) との結果を比較すると、移植期から出穂期の推定精度 (きらら 397 の場合) は従来式で 3.77 日だったものが、日射量考慮式で 3.39 日と推定精度の改善が見られた (図 3)。移植期から幼形期の推定 (DVI:0→1) においては、従来式と日射量考慮式でそれぞれの推定精度が RMSE で 3.15 日と 3.07 日であり、日射量考慮による推定精度の改善効果は僅かであった。一方、幼形期から出穂期 (DVI:1→2) においては、従来式と日射量考慮式でそれぞれの推定精度が RMSE で 2.54 日と 1.67 日であり、日射量考慮による推定精度の改善効果が大きくなった。

ななつぼしとふっくりんこでは、日射量考慮式において、移植期から出穂期までの推定精度が 3.17 日と 3.02 日ときらら 397 よりも若干推定精度が良い結果となった。

(2) 収量構成要素モデル

各収量構成要素別に重回帰分析を行い、穂数、一穂もみ数、登熟歩合、千粒重の推定式を求めた (図 4 a-d)。またその掛け合わせ (式 5) で収量を求めたところ、決定係数 0.440 (棄却率 1% で統計的に有意) で推定するこ

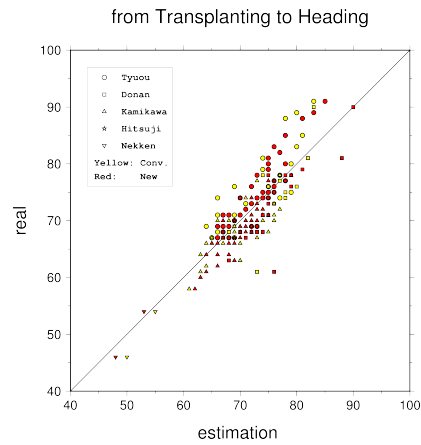


図 3 移植期から出穂日までの日数の推定値と実測値の散布図 (従来式 (Conv.): 黄色、日射量考慮式 (New): 赤)

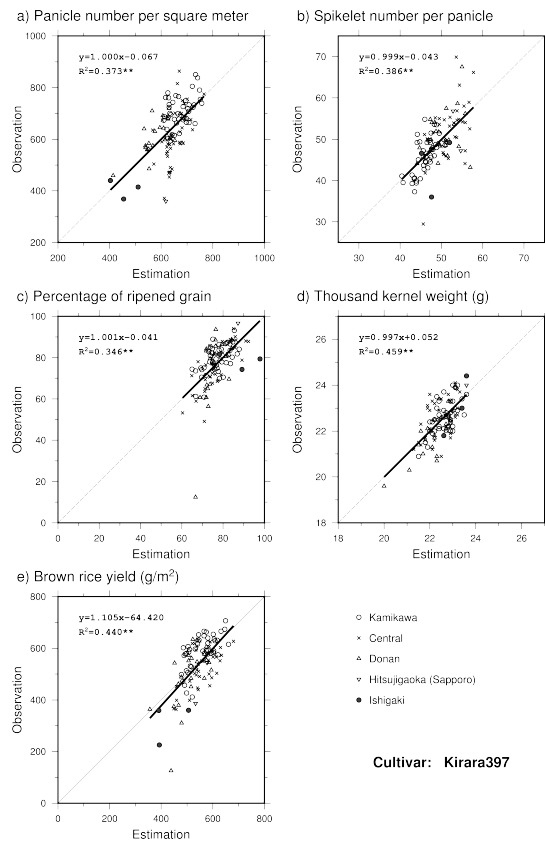


図 4 収量構成要素と収量について推定値と実際の散布図。a) 穂数、b) 一穂もみ数、c) 登熟歩合、d) 千粒重、e) 玄米収量

とが出来た (図 4e)。また、収量構成要素間に大きな相関関係が認められた。例えば穂数と一穂もみ数には負の相関関係 ($R=-0.440$)、粒数 (穂数×一穂もみ数) と登熟歩合には負の相関関係 ($R=-0.416$)、登熟歩合と千粒重には正の相関関係 ($R=0.438$) が認められた。この収量構成要素間の関係は、重回帰分析により、各収量構成要素の推定式にも反映されている。

(3) 将来評価

現在と将来の 10 年平均で比較すると (気温 +2.5°C、日射量 +4% の場合)、収量比はきらら 397、ななつぼし、ふっくりんこでそれ

ぞれ 1.00、0.94、0.99 であり、穂重型のななつぼしで、収量が低下する結果となった。気温上昇に伴い生育期間が短縮されることで、穂数、一穂モミ数は減少するが（それぞれ平均で、-3%、-8%）、日射量の増大が登熟歩合と千粒重は増加している（それぞれ平均で、+9%、+3%）。ななつぼしは穂数の減少が他の品種より大きく（-7%）、収量減に寄与している。一方で、日射量-4%（気温は+2.5℃）の場合、上記3品種の将来の現在に対する収量比は、3品種ともに0.84と大幅な減収が予測される。日射量の減少により、穂数の減少幅が拡大（平均で、-13%）したことが、主な要因と考えられた。

現在に対して気温+2.5℃、日射量+4%の条件下で、現在に対する将来のきらら397の推定収量比をマップに示したものが、図5である。現在の水田地域の多くは±5%以内の収量比（白色）であるが、太平洋側の地域では5%以上の収量低下（橙色）が予測される。一方で、日本海側の羽幌周辺では5%以上の収量増が予測された。

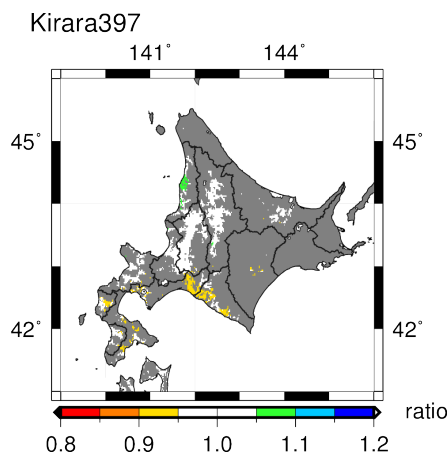


図5 現在に対する将来の収量比

まとめとして、2050年代に予想される現在よりも+2.5℃の温暖化条件では、きらら397（標準型）とふっくりんこ（穂数型）については、現在と同程度の収量が見込めるが、ななつぼし（穂重型）については、日射量が増大した場合でも収量の低下が予測された。ただし、北海道内の地域によっては、ななつぼしでも収量が5%以上増大する推定結果も得られ、地域の気象特性に合わせて有利な品種特性が異なる可能性が示された。収量構成要素間には、大きな負の相関関係があるため（穂数と一穂粒数、および粒数と登熟歩合）、気象の季節変動は収量に対してはある程度キャンセルされるようであった。

本研究では、きらら397に対してななつぼしを穂重型、ふっくりんこを穂数型として取り扱ったが、穂重型・穂数型の水稲品種が、ななつぼしやふっくりんこと同様な、気象に対する変動特性を持っているかは明らかではないので、結果の取り扱いには注意を要する。複数の温暖化予測での検討が、今後の課題である。

<引用文献>

- Fujino, K., Photoperiod sensitivity gene controlling heading date in rice cultivars in the northernmost region of Japan. *Euphytica*, **131**, 2003, 97-103.
- 林 陽生ら, 温暖化が日本の水稲栽培の潜在的特性に及ぼすインパクト. 地球環境, **6**, 2001, 141-148.
- Nemoto, M., et al., Extraordinary hot summer in Hokkaido decrease rice yield and satisfy growing of cultivar in Tohoku region "Hitomebore". *J. Agric. Meteorol.*, **67**, 2011, 269-274.
- 森田 敏, イネの高温障害と対策. 農文協, 2011, 144pp.
- 横沢 正幸ら, 気候変化がわが国におけるコメ収量変動に及ぼす影響の広域評価. 地球環境. **14**, 2009, 199-206.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① Nemoto, M., Hamasaki, T., Matsuba, S., Hayashi, S., and Yanagihara, S., 2016: Estimation of Rice Yield Components with Meteorological Elements Divided According to Developmental Stages. *Journal of Agricultural Meteorology*, **72**, 1-6. DOI: 10.2480/agrmet.D-15-00027 (査読あり)【印刷中】
- ② 根本学, 2015: メッシュ農業気象データに基づく栽培支援情報の提供. *JATAFF ジャーナル*, **3**, 17-21. (査読なし)
- ③ Akemi, T., Sato, T., Nemoto, M., and Yamanaka, Y., 2014: Sensitivity of cool summer-induced sterility of rice to increased growing-season temperatures: A case study in Hokkaido, Japan. *Journal of Agricultural Meteorology*, **70**, 25-40. DOI: 10.2480/agrmet.D-13-00016 (査読あり)
- ④ 濱寄孝弘・鮫島良次・根本学・熊谷悦史・大野宏之・脇山恭行・丸山篤志・小沢聖・後藤慎吉 2013: 温暖化後の北海道で、コシヒカリは栽培できるか?. *農業と園芸*, **88**, 1013-1018. (査読なし)

[学会発表] (計4件)

- ① 濱寄孝弘、根本学、三浦周、藤倉潤治、廣田知良、早晩性の異なる北海道水稲品種の日射量も考慮した発育予測モデルについて、日本農業気象学会 2016年全国大会、2016年3月15日、岡山県岡山市
- ② 林怜史、牛木純、松葉修一、岡崎圭毅、根本学、北海道および沖縄県で栽培された北海道向け稲品種の種子休眠性、日本作物学会、2015年3月27日、神奈川県藤沢市
- ③ 根本学、濱寄孝弘、日射量を考慮した水稲発育モデル構築の試み、日本農業気象学会 2015年全国大会、2015年3月19日、茨城県つくば市

- ④ 根本 学、濱寄孝弘、廣田知良、温暖化に対応した北海道水稲の収量・生育予測モデルの構築、日本農業気象学会 2014 年全国大会、2014 年 3 月 18 日、北海道札幌市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

根本 学 (NEMOTO, Manabu)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター・生産環境研究領域・主任研究員

研究者番号：10469843