

## 一般論文

## コメ生産に対する気候変動の影響と適応策

松本 健一<sup>1,†</sup>・高木三水珠<sup>2</sup>

## 摘 要

今後、気候変動が進展すると予測される中、気候変動によるコメの生産量への影響が懸念され、影響回避のための適応策の推進が重要となる。本研究では、気象条件がコメの単収に及ぼす影響を1993~2014年の市町村レベルのパネルデータを用いて日本全国・地域別モデルにより分析した。さらに、パネルデータ分析の推計結果と気候変動シナリオに基づき、将来の気候変動がコメの生産に及ぼす影響と適応策の効果を分析した。分析の結果、コメの単収と気温の間には上に凸の二次関数の関係が、降水量・日照時間との間にはほとんどの地域で負・正の関係が見られた。そして、将来の気候変動の程度が大きい場合、多くの市町村で単収が減少するが、高緯度地域ではその影響が相対的に小さかった。適応策として栽培時期を1カ月前に早めた場合、ほとんどの市町村で影響が低減されることが示された。しかし、すべての影響が回避されるわけではなく、さらなる影響の低減には他の適応策の導入が同時に必要となる。

キーワード：コメ生産、気候変動影響、適応策、パネルデータ分析、シナリオ分析

## 1. はじめに

過去130年間に、世界の平均気温は約0.85°C上昇している<sup>1)</sup>。日本の平均気温の上昇ペースはそれを上回り、約1.16°C/100年である<sup>2)</sup>。そして、将来の温暖化の進展は今後の温室効果ガス排出量にもよるが、21世紀末までに世界平均で最大4.8°C程度上昇すると予測されている<sup>1)</sup>。

作物の生育は気象条件に大きく依存する。そのため、農業は気候変動の影響を受けやすい。一般に、二酸化炭素濃度の上昇は植物の光合成を促進させ、作物の収量を増加させる効果(施肥効果)を持つ<sup>3)</sup>。産業革命前からの気温上昇が2~3°C程度であれば、施肥効果により中高緯度地域における農業生産性は向上するとされている。しかし、大幅な気温上昇は農作物の収量を減少させ、品質の低下も引き起こす<sup>4)</sup>。

農作物の中でも、気候変動がコメの生産に及ぼす影響は重大性が特に大きく、緊急性および確信度が高い<sup>5)</sup>。米の品質に関しては、記録的な猛暑となっ

た2010年では一等米が占める割合は62.0%と、過去10年間で最低となった<sup>6)</sup>。その要因として特に影響が大きいのは稲の高温障害である。コメは出穂日が全国的に夏季にあたり、出穂前後の気候が米の品質・収量に大きく影響する。気候変動がコメの生産に及ぼす影響は、これまでに全国で確認されている<sup>5)</sup>。例えば、白未熟粒は登熟期の平均気温が27°Cを上回ると発生しやすく、胴割れ米は登熟初期の気温が高くなるほど発生しやすい。このような、気候変動によるコメの収量減少や品質低下を防止する対策が適応策であり、今後の収量安定化を図るうえで適応策の導入が不可欠である。

適応策は、既存の適応策の強化、中・長期的影響への順応型管理、および感受性の根本改善の3つに大別される<sup>7)</sup>。そして、適応策を決定する際には、適応策のレベルと時間スケールを考慮する必要がある。適応策のレベルは、レベル1の防御、レベル2の順応・影響最小化、そしてレベル3の転換・再構築に分類される。時間スケールは、現在・短期的と中・長期的影響への対応に分類される。これらを考

2017年3月14日受付, 2017年7月18日受理

doi: 10.11353/sesj.30.346

<sup>1</sup>長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科, 〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14

<sup>2</sup>滋賀県立大学環境科学部, 〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町2500

†Corresponding author: kenichimatsu@nagasaki-u.ac.jp

慮したうえで、適応策実施の方向性が決定される。農業分野において現在行われている適応策は2種類に分けられる。1つは適応策の推進であり、主に既存技術の生産現場への普及・指導、新たな技術の導入実証、および影響評価に基づく適応策の実施である。もう1つは技術開発などの推進であり、高温耐性品種の育成などの生産安定技術の開発や影響予測に基づく適応技術の開発などが該当する。

コメの生産と気候・気象条件の關係に着目した研究は、農業試験場などの環境において管理された実験の結果を分析したものが多く<sup>8-10)</sup>。その一方で、近年は統計データに基づいてコメの生産と気象条件の關係を実証的に分析した研究も多数見られる。

林ら(1999)<sup>11)</sup>は、日本(東北地方)と韓国における水稻収量の変動について、7~9月の平均気温の偏差と収量偏差(各年と平年値との差)を用いて、日本は東北5県を、韓国は8道をそれぞれ1地域とした1969~1996年のデータにより回帰分析を行った。その結果、コメの収量は、気温偏差が+1°Cでは6.0%増加し、-1°Cでは8.6%減少することが示された。さらに、偏差が拡大すると収量変化も大きくなる。河津ら(2007)<sup>12)</sup>は、コメの収量・品質と出穂盛期から30日間の平均気温・平均日射量の關係を都道府県単位のデータにより重回帰分析と分散分析を行った。そして、出穂盛期後10~30日までの平均最低気温が1°C上昇すると一等米比率が平均で3.57%低下し、同期間の日射量が1MJ/m<sup>2</sup>/日増加すると2.59%増加することが示された。下野(2008)<sup>13)</sup>は、地球温暖化が北日本のコメの収量変動に及ぼす影響について、過去のイネの収量動向の分析(1980~2005年の東北5県の農業試験場にて厳密に管理された環境下での実験データによる)と簡易予測モデルによる収量予測を行った。その結果、ある品種を同一栽培条件で生育させた際の収量の推移は増加傾向にあること、温暖化傾向がさらに進行し現在の「春は昇温するが夏は昇温しない」傾向が続くと、春の1°Cの昇温で冷害強度を16%増加させることが示された。

以上は、気象条件とコメの収量・品質の關係に関する研究であるが、気候変動によるコメの収量への影響と適応策の効果を分析した研究としては次の2つが挙げられる。横沢ら(2009)<sup>14)</sup>は、広域コメ収量予測モデル(1km×1kmのグリッドデータを用いたプロセスモデル)と複数の気候変動シナリオを用いて、気候変動がコメの収量に及ぼす影響を全国を4地域に分けて予測し、さらに適応策の効果を評価した。その結果、3°C程度の気温上昇までは全国平均でのコメの収量は現在と同程度かやや増加

するが、それ以上の気温上昇では北海道・東北を除いて収量が減少すると推計された。また、適応策として北・東日本では移植日の移動、西・南日本では高温耐性品種の導入が最も効果的であることが示唆された。Tanaka *et al.* (2011)<sup>15)</sup>は、気象条件(気温・気温の二乗項・降水量・日照時間)に加えて農作業時間、生産資本、栽培面積、および操業費がコメの収量に及ぼす影響を都道府県単位のパネルデータ(39都道府県・1961~1995年のデータ)により計量経済学的に分析した。その結果、気象条件および資本などの要素が有意にコメの収量に影響し、気温よりも降水量が重要な要因であることが明らかとなった。さらに、台風および梅雨の影響により東北よりも九州の方が気象条件による生産効率の損失が大きいこと、川の氾濫や災害に備えた対策への資本投下がコメの収量維持につながることを示された。

このようにコメの収量と気象条件・気候変動の關係を分析した研究は多数見られる。しかし、統計モデルを用いた研究<sup>11-13, 15)</sup>はいずれも都道府県単位のデータによる分析であり、より詳細な市町村レベルのデータを用いた分析は見られない。農作物の多くは気候の変化に特に敏感であり、都道府県内における気候の地域差は影響を持つと考えられるため、市町村レベルのデータによる検証は重要である。さらに、既存の統計分析では全国を1つのモデルとしているものがほとんどである。しかし、地域により異なる条件が存在するため、地域別にモデル化することで有用な知見が得られると考えられる。

適応の観点からは、コメの生産に対する適応策の効果を分析した研究は見られるが、都道府県以下のレベルでその効果を定量的に示した研究は見られない。適応策については、地域レベルよりも都道府県以下で行われるため、都道府県や市町村レベルで分析することは、より有効かつ地域に即した適応策を考える上で重要と言える。適応策を分析した研究として、横沢ら(2009)<sup>14)</sup>はモデルにより複数の気候変動シナリオ下におけるコメ収量に対する適応策の効果を評価しているが、降水量をモデルの入力条件としなかった。その理由は、日本は農地の基盤整備が進んでおり、降水量不足に起因する被害報告が過去25年間ほとんどないことである。さらに、気候変動シナリオにおいても、日本のコメ生産に対して降水量が総量で不足するという推計がないためである。その一方、降雪の減少が田植え時期の水不足を引き起こす可能性が指摘されている<sup>14)</sup>。さらに、Tanaka *et al.* (2011)<sup>15)</sup>はコメの収量には気温よりも降水量が重要であり、過剰な降水がコメの生産に影響することを示している。したがって、本研究に

においても降水量の変化を考慮して気候変動影響と適応策の効果を分析する。

本研究の目的は、(1)気候変動(気象条件)がコメの単収に及ぼす影響を市町村レベルのデータを用いて全国・地域別モデルにより分析すること、(2)その結果に基づき将来の気候変動がコメ生産に及ぼす影響とそれを回避するための適応策の効果を明らかにすることである。

## 2. 研究方法

本研究では、まず、パネルデータ分析により、気象条件とコメの単収の関係を推計する。次に、パネルデータ分析の結果を用いて将来の気候変動の影響を分析し、合わせて適応策の効果を明らかにする。パネルデータは、時系列データとクロスセクションデータを合わせたデータであり、観察単位を同一のサンプル(本研究では都道府県)としたものである。パネルデータ分析は、このパネルデータを用いた統計的分析手法である。

### 2.1 パネルデータ分析

まず、気象条件を説明変数として、気象条件がコメの単収に与える影響をパネルデータ分析により推計する。モデルは式(1)のとおりである。

$$yield_{it} = \alpha_1 \times temp_{it} + \alpha_2 \times temp_{it}^2 + \alpha_3 \times prep_{it} + \alpha_4 \times sun_{it} + \alpha_5 \times \ln(trend_t) + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

ただし、 $i$ : 市町村、 $t$ : 年、 $yield$ : コメの単収

(kg/10a),  $temp$ : 5~9月の平均気温の平均値(°C),  $prep$ : 5~9月の積算降水量の平均値(mm),  $sun$ : 5~9月の積算日照時間の平均値(時間),  $trend$ : タイムトレンド(1993年=1),  $\alpha_1 \sim \alpha_5$ : 係数,  $\mu$ : 固定効果モデルの場合は個別効果, ランダム効果モデルでは確率変数,  $\varepsilon$ : 誤差項。

本分析は二段階で行う。まず、日本全国を1つのブロックとして分析し、次に全国を9つの地域に分割して分析する。前者は大きなサンプル数を確保するためであり、後者は地域による気象条件への反応の差異(係数により見られる差異)を考慮するためである。分析に用いるデータは市町村レベルであり、期間は1993~2014年である。期間内に市町村合併がある場合、新旧の市町村のデータが入手可能な期間をそれぞれ用いている。したがって、データはアンバランスドパネルとなる。分析には、統計解析ソフトRのplmパッケージを用いる。plmパッケージは、Rにおいてパネルデータ分析用の関数がまとめられたライブラリである。

説明変数の気象条件にはそれぞれ5~9月の平均値を用いた。これは、地域により多少の差はあるもののコメの栽培期間は5~9月であるため<sup>16)</sup>、またコメの栽培期間である5~9月すべての月を説明変数とすると月間に相関関係が見られ多重共線性が見られるためである。平均気温については二乗項をモデルに組み込む。これは、既存研究<sup>15)</sup>でも示され

表1 各変数の基本統計量

| 地域  | 変数           | 最小値    | 最大値    | 平均値    | 標準偏差   | 地域 | 変数           | 最小値    | 最大値    | 平均値    | 標準偏差   |
|-----|--------------|--------|--------|--------|--------|----|--------------|--------|--------|--------|--------|
| 全国  | <i>yield</i> | 1.00   | 725.00 | 485.11 | 73.92  | 東海 | <i>yield</i> | 27.00  | 587.00 | 480.29 | 42.90  |
|     | <i>temp</i>  | 11.90  | 29.00  | 21.99  | 2.31   |    | <i>temp</i>  | 18.12  | 25.36  | 23.25  | 1.32   |
|     | <i>prep</i>  | 42.70  | 912.60 | 193.04 | 86.98  |    | <i>prep</i>  | 92.30  | 731.20 | 218.94 | 76.39  |
|     | <i>sun</i>   | 29.58  | 253.74 | 150.45 | 29.84  |    | <i>sun</i>   | 29.58  | 232.70 | 156.67 | 28.46  |
| 北海道 | <i>yield</i> | 1.00   | 651.00 | 474.34 | 116.50 | 近畿 | <i>yield</i> | 294.00 | 572.00 | 481.76 | 39.31  |
|     | <i>temp</i>  | 11.90  | 19.66  | 16.74  | 1.16   |    | <i>temp</i>  | 17.96  | 26.20  | 23.00  | 1.33   |
|     | <i>prep</i>  | 42.70  | 325.60 | 117.68 | 38.93  |    | <i>prep</i>  | 53.90  | 912.60 | 178.64 | 76.54  |
|     | <i>sun</i>   | 80.12  | 204.42 | 149.53 | 22.37  |    | <i>sun</i>   | 65.16  | 238.38 | 152.88 | 30.41  |
| 東北  | <i>yield</i> | 1.00   | 688.00 | 516.47 | 100.51 | 中国 | <i>yield</i> | 215.00 | 625.00 | 488.36 | 46.29  |
|     | <i>temp</i>  | 14.64  | 23.12  | 19.60  | 1.33   |    | <i>temp</i>  | 18.06  | 25.70  | 22.58  | 1.32   |
|     | <i>prep</i>  | 66.60  | 374.40 | 149.63 | 38.01  |    | <i>prep</i>  | 50.80  | 440.00 | 181.25 | 62.95  |
|     | <i>sun</i>   | 58.04  | 217.18 | 140.84 | 25.29  |    | <i>sun</i>   | 75.50  | 245.04 | 156.79 | 30.49  |
| 関東  | <i>yield</i> | 18.00  | 725.00 | 498.72 | 73.97  | 四国 | <i>yield</i> | 72.00  | 597.00 | 446.48 | 56.77  |
|     | <i>temp</i>  | 13.80  | 25.06  | 21.48  | 1.95   |    | <i>temp</i>  | 17.00  | 25.58  | 23.36  | 1.34   |
|     | <i>prep</i>  | 57.80  | 527.70 | 168.23 | 53.21  |    | <i>prep</i>  | 50.70  | 862.80 | 236.45 | 127.23 |
|     | <i>sun</i>   | 57.86  | 219.76 | 140.27 | 31.15  |    | <i>sun</i>   | 77.42  | 249.22 | 163.12 | 30.48  |
| 北陸  | <i>yield</i> | 131.00 | 612.00 | 506.31 | 48.25  | 九州 | <i>yield</i> | 45.00  | 668.00 | 455.14 | 73.92  |
|     | <i>temp</i>  | 18.50  | 24.44  | 22.00  | 0.96   |    | <i>temp</i>  | 18.98  | 29.00  | 23.90  | 1.27   |
|     | <i>prep</i>  | 63.80  | 401.00 | 178.55 | 49.14  |    | <i>prep</i>  | 62.60  | 897.80 | 274.70 | 107.32 |
|     | <i>sun</i>   | 71.80  | 222.34 | 151.86 | 29.78  |    | <i>sun</i>   | 60.92  | 253.74 | 156.91 | 27.24  |

ているコメの高温障害による収量減少の可能性を考慮するためである。タイムトレンドについては、病気や害虫に耐性のある新品種の開発・改良および農機具類の技術の進歩による単収の増加など、技術レベルの向上を考慮するために導入した<sup>17)</sup>。本研究では、1993年を1として年々増加する値の対数値を利用した。ここで対数値を利用したのは、技術進歩のコメの単収への影響が逓減すると考えられるため、また後述する分析結果としてモデルへの当てはまりが良いためである。

各データのデータソースは次のとおりである。コメの単収は農林水産省<sup>18,19)</sup>、気象条件（月平均気温・月積算降水量・月積算日照時間）は気象庁<sup>20)</sup>のデータベースよりそれぞれ取得した。これらのデータのうち、コメの収量は市町村ごとであるが、気象データは気象観測地点ごとに得られる。そこで、各市町村に対応する気象条件は、各市町村から最も近い距離にある気象観測地点とした<sup>註1)</sup>。

各変数の基本統計量は表1のとおりである。また、変数間の相関関係を表2に示す。

なお、既存研究では資本などとコメの単収の関係が指摘されている<sup>15)</sup>。しかし、これらについては本研究で対象とする市町村レベルのデータが得られないため、また将来の気候変動による影響を分析する際にそれらのデータを得られないため、本研究で

は気象条件に加えて資本などの代わりにタイムトレンドを説明変数として用いた。

## 2.2 適応策の効果の分析

次に、適応策の効果を明らかにするために、まず気候変動による気象条件の変化がコメの単収に及ぼす影響を分析する。1章でも述べたように、地域により気候変動の影響は異なると考えられるため、本研究では異なる地域から3県（東北：青森県、近畿：奈良県、九州：宮崎県）を抽出して分析する。将来の影響の推計に用いた気象条件は、気候変動適応情報プラットフォーム<sup>21)</sup>のRCP2.6MIROC、RCP4.5MIROC、およびRCP8.5MIROCシナリオ（以下では、それぞれRCP2.6・RCP4.5・RCP8.5とする）である。これら3シナリオにおける2081～2100年の全国・3県の気温上昇および降水量変化（基準期間は1981～2000年）は表3のとおりである。日照時間については、同文献<sup>21)</sup>からは得られないため、降水量変化との関係から回帰した（詳細は3.2を参照）。なお、現実では平均気温や降水量の変化は月により異なるが、同文献<sup>21)</sup>からはそのデータが得られないため、また本研究では5～9月の平均値を説明変数に用いるため、本研究では表3の変化量・率をそのまま用いた。タイムトレンドについては、将来推計値の期間が2081～2100年であることから2090年とした。

表2 各変数の相関係数

|     | yield-temp | yield-prep | yield-sun | temp-prep | temp-sun | prep-sun |
|-----|------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|
| 全国  | 0.067      | -0.050     | 0.32      | 0.19      | 0.41     | -0.26    |
| 北海道 | 0.31       | -0.0013    | 0.43      | -0.030    | 0.56     | -0.39    |
| 東北  | 0.20       | -0.11      | 0.41      | -0.016    | 0.44     | -0.28    |
| 関東  | 0.13       | -0.064     | 0.48      | -0.30     | 0.26     | -0.31    |
| 北陸  | 0.31       | 0.031      | 0.44      | -0.26     | 0.59     | -0.44    |
| 東海  | 0.24       | -0.051     | 0.37      | -0.25     | 0.56     | -0.43    |
| 近畿  | 0.19       | -0.02      | 0.40      | -0.29     | 0.58     | -0.42    |
| 中国  | 0.20       | -0.11      | 0.23      | -0.37     | 0.62     | -0.44    |
| 四国  | 0.11       | 0.070      | 0.16      | -0.37     | 0.62     | -0.55    |
| 九州  | 0.15       | -0.045     | 0.15      | -0.37     | 0.56     | -0.60    |

表3 各シナリオにおける将来の気温上昇・降水量変化<sup>21)</sup>

|     |         | RCP2.6 | RCP4.5 | RCP8.5 |
|-----|---------|--------|--------|--------|
| 全国  | 気温 (°C) | 2.0    | 2.8    | 4.8    |
|     | 降水量 (倍) | 1.13   | 1.10   | 1.16   |
| 青森県 | 気温 (°C) | 2.0    | 2.8    | 5.0    |
|     | 降水量 (倍) | 1.15   | 1.22   | 1.28   |
| 奈良県 | 気温 (°C) | 1.8    | 2.5    | 4.2    |
|     | 降水量 (倍) | 1.09   | 1.00   | 1.06   |
| 宮崎県 | 気温 (°C) | 1.6    | 2.5    | 4.1    |
|     | 降水量 (倍) | 1.06   | 1.02   | 1.10   |

以上のデータとパネルデータ分析の推計結果（地域別モデルの結果を用いる）から計算される将来値と現在（1993～2014年の平均値とする）を比較することで気候変動による影響とする。そのうえで、適応策としての栽培時期の移行の効果を分析する。この分析では、将来の気象条件に基づき、栽培時期を前後の月に移行した場合の単収の変化を推計する。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 気象条件とコメの単収の関係

分析対象地を全国・9地域とした全モデルに対して固定効果モデル、変量効果モデル、およびプーリングモデルにより分析した。固定効果モデルは式(1)の主体により異なるが時間を通じて一定となる個別効果 $\mu_i$ が存在するモデル、変量効果モデルは固定効果モデルにおける個別効果が確率変数となるモデル、そしてプーリングモデルはパネルデータをプーリングデータ（時系列・クロスセクションのデータをすべて合体して一括して扱うデータ）により最小二乗法で推計したモデルである。そして、F検定およびハウスマン検定を行った結果、すべて0.1%水準で有意であった。したがって、本分析ではすべて固定効果モデルが採用された。推計結果は表4のとおりである。

全国を対象としたモデルについては、すべての変数が0.1%水準で有意な結果となった。平均気温に

ついては一次項が正・二次項が負であることから、平均気温とコメの単収の関係は上に凸の二次関数であることが示された。これは、単収が最も大きくなる平均気温の適温があり、適温までは平均気温が上昇するほど単収も増加するが、それを超えると減少することを意味する。つまり、高温の状況では、白未熟粒などコメの高温障害が発生することで単収が減少することを示唆している。したがって、安定的なコメの単収を維持するには、適温を保つことが重要である。

コメの単収と降水量、日照時間、およびタイムトレンドはそれぞれ負・正・正の関係である。降水量の負の値については、梅雨や台風などにおける豪雨による水田の被害による影響が考えられ、Tanaka *et al.* (2011)<sup>15)</sup>でも梅雨や台風、それに伴う洪水の影響が指摘されている。水田が泥水に浸かって約2日以上経過すると、稲の呼吸が妨げられることにより大きな被害が出る<sup>22)</sup>。この場合、できる限り早く泥水を汲み出し、葉や稲穂を空気中に出さなければならない。泥がついた状態の稲は次第に弱っていくため、綺麗な水で洗い流す作業も必要となる。さらに、弱った稲に農薬を使用して病気や害虫の発生を予防する。このような水害が発生した場合、以上のような適切な処置がなされなければ、コメの収量および品質の低下につながる。台風により水田が押し流されてしまう場合も、堤防の再構築、石や泥水の排除、および排水システムの見直しを行わな

表4 コメの単収に対するパネルデータ分析の推計結果

| 地域  | <i>temp</i>           | <i>temp</i> <sup>2</sup> | <i>prep</i>         | <i>sun</i>         | ln ( <i>trend</i> ) | R <sup>2</sup> |
|-----|-----------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------|
| 全国  | 289.13***<br>(113.45) | -6.23***<br>(104.77)     | -0.17***<br>(49.47) | 0.35***<br>(32.72) | 10.98***<br>(39.62) | 0.43           |
| 北海道 | 646.45***<br>(19.99)  | -17.39***<br>(17.97)     | 0.42***<br>(6.75)   | -0.82***<br>(7.09) | 34.43***<br>(15.48) | 0.49           |
| 東北  | 718.28***<br>(47.87)  | -17.25***<br>(44.45)     | -0.30***<br>(12.67) | 0.51***<br>(9.77)  | 13.83***<br>(13.14) | 0.54           |
| 関東  | 273.90***<br>(49.87)  | -5.99***<br>(46.71)      | -0.20***<br>(24.66) | 0.31***<br>(19.35) | 11.49***<br>(24.27) | 0.48           |
| 北陸  | 151.54***<br>(10.16)  | -3.34***<br>(9.75)       | -0.12***<br>(12.63) | 0.34***<br>(14.93) | 7.97***<br>(12.44)  | 0.47           |
| 東海  | 144.48***<br>(17.87)  | -2.79***<br>(15.98)      | -0.12***<br>(22.45) | 0.20***<br>(13.45) | 9.25***<br>(21.88)  | 0.54           |
| 近畿  | 101.51***<br>(13.39)  | -2.10***<br>(12.69)      | -0.09***<br>(18.36) | 0.36***<br>(26.54) | 9.78***<br>(26.07)  | 0.50           |
| 中国  | 241.23***<br>(19.15)  | -5.17***<br>(18.61)      | -0.19***<br>(21.07) | 0.46***<br>(19.75) | 6.67***<br>(10.25)  | 0.51           |
| 四国  | 31.20**<br>(3.15)     | -0.55*<br>(2.53)         | -0.10***<br>(17.89) | 0.42***<br>(17.60) | 8.32***<br>(14.36)  | 0.42           |
| 九州  | 223.46***<br>(11.48)  | -4.73***<br>(11.61)      | -0.16***<br>(21.86) | 0.82***<br>(27.22) | 4.68***<br>(6.15)   | 0.36           |

注：\*：5%有意，\*\*：1%有意，\*\*\*：0.1%有意。カッコ内はt値。

れば大きな被害につながる<sup>22)</sup>。さらに、水害による農業機械の故障がコメの品質の低下につながる可能性もある<sup>22)</sup>。以上より、降水量とコメの単収の負の関係は、大雨に伴う水害が影響していると考えられる。

日照時間については、小谷(2006)<sup>23)</sup>でも日射量の低下が収量および品質に負の影響を及ぼすことが示されていることから、日照時間が増加するほどコメの単収は増加し、品質の低下を防ぐことができると言える。

タイムトレンドについては、技術進歩が単収増加に寄与していることを表している。

以上の結果に見られるコメの単収と気象条件の関係については、Tanaka *et al.* (2011)<sup>15)</sup>とも整合的である。同研究においても平均気温、平均気温の自乗項、降水量、および日照時間の回帰係数は、正・負・負・正である。一方、決定係数は0.93と本研究より高い。これは、モデルに気象条件以外の要素(作業時間・生産資本・面積・操業費)が組み込まれていることが理由と考えられる。

次に、9地域をそれぞれモデル化した推計においても、全国モデルと同様にすべての説明変数が有意となった(表4)。平均気温については、9地域すべてにおいて一次項が正・二次項が負であることから、平均気温とコメの単収との関係は上に凸の二次関数である。その中でも、北海道・東北は他地域と比較して二次項の偏回帰係数の絶対値が大きい。これは、二次関数のグラフの開き具合が小さいことを表す。つまり、平均気温が単収に及ぼす影響が大きいということである。したがって、北海道・東北は他地域よりもコメの単収が平均気温に大きく左右される。そのため、将来の気温上昇により最も単収が増加する適温を超えた場合、北海道・東北においては他地域よりも単収の大幅な減少が起こる可能性がある。

降水量については、北海道以外の8地域では負となった。特に、東北は8地域の中で降水量の偏回帰係数の絶対値が最も大きいため、他地域よりも降水量の影響が大きい。将来的に降水量は増加するとされていることから<sup>21)</sup>、特に東北においては降水量の増加によるコメの単収減少を防ぐため、徹底した水管理などが必要になると考えられる。反対に、北海道では降水量の偏回帰係数が正となった。これは、北海道における降水量の少なさが影響していると考えられる。表1に示したとおり、全国の市町村の1カ月あたりの平均降水量は193.04mmであるのに対し、北海道では117.68mmであった。そのため、北海道ではコメの生産に対する降水量は現状で

は十分と言えず、降水量が増加した場合に単収も増加するものと考えられる。

日照時間については、北海道以外の8地域において偏回帰係数が正となった。8地域の中で偏回帰係数が最も大きくなったのは九州(0.82)であり、日照時間がコメの単収にもたらす正の影響が最も大きい。反対に、北海道では偏回帰係数が負となった。全国・地域別に見た場合、そのすべてにおいて降水量と日照時間の間に負の相関関係が見られることから(表2)、日照時間の偏回帰係数が降水量の逆の符号となったと考えられる。

### 3.2 気候変動の影響と適応の効果

#### 3.2.1 影響と適応策

はじめにも述べたように日本の平均気温は年々上昇しており、今後も大幅な上昇が予測されている。既に現れている気候変動影響に加え、中長期的に避けることのできない影響に対し、あらゆる分野で影響のモニタリング・評価および影響への適切な対処を計画的に進めることが必要となっている<sup>24)</sup>。2015年には、気候変動によるさまざまな影響に対し、「気候変動の影響への適応計画<sup>5)</sup>」が閣議決定された。その中で、以下のことが報告されている。

- ・ 全国で高温による品質の低下(白未熟粒の発生・胴割粒の発生・一等米比率の低下など)の影響が確認されている。
- ・ 一部の地域や極端な高温年には収量の減少がみられる。
- ・ 一等米の比率は、高温耐性品種への作付転換が進まない場合、登熟期間の気温が上昇することにより、全国的に低下することが予測されている。
- ・ 害虫について、寄生性天敵や一部の捕食者および害虫の年間世代数がそれぞれ増加し、害虫・天敵相の構成が変化すると予想されている。また、二酸化炭素濃度が高い条件下では、イネ紋枯病やイネいもち病などの増加が予測された事例がある。

このような気候変動がコメの生産に及ぼす影響に対処するため、適応策を進めることが求められている。現在行われているコメの生産に対する適応策は主に3つある。1つめは高温耐性品種の開発・普及の推進、2つめは水管理の徹底、そして3つめは栽培時期の移行である。ここでは、これら3つのうち栽培時期の移行の効果を分析する。

#### 3.2.2 気候変動の影響

気候変動が進行した場合の適応策の効果を分析するにあたり、まず将来の気象条件の変化がコメの単収に及ぼす影響を分析した。気候変動の影響を推計するために、RCP2.6・4.5・8.5の3シナリオを用い

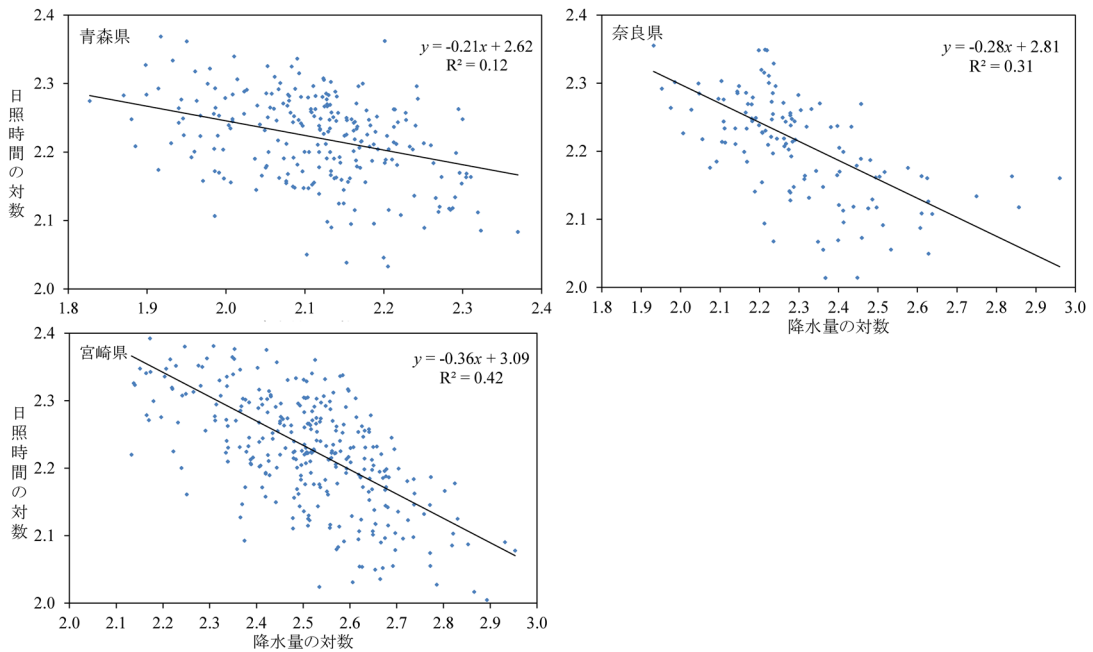


図1 3県における降水量と日照時間の関係（図中のxは降水量の対数、yは日照時間の対数）

表5 3県における気候変動によるコメの単収への影響と適応策の効果（県平均値と一部市町村の抜粋）

| 県   | 市町村 | yield (kg/10a) | 適応策なし (%) |         |         | RCP8.5+適応策 (%) |         |
|-----|-----|----------------|-----------|---------|---------|----------------|---------|
|     |     |                | RCP2.6    | RCP 4.5 | RCP 8.5 | 1カ月前に移行        | 1カ月後に移行 |
| 青森県 | 県平均 | 506.03         | 1.20      | 1.19    | -0.27   | 1.43           | -0.38   |
|     | 青森市 | 578.10         | 0.28      | -0.07   | -2.48   | 0.20           | -2.64   |
|     | 平川市 | 614.22         | 0.23      | -0.15   | -2.62   | 0.12           | -2.49   |
|     | 東通村 | 396.50         | 2.64      | 3.19    | 3.22    | 3.40           | 2.98    |
| 奈良県 | 県平均 | 476.26         | -0.61     | -0.54   | -1.72   | -0.30          | -1.62   |
|     | 奈良市 | 501.64         | -1.07     | -1.15   | -2.68   | -1.64          | -2.53   |
|     | 山添村 | 478.29         | -1.14     | -1.24   | -2.82   | -1.84          | -2.65   |
|     | 御杖村 | 448.05         | 0.61      | 1.16    | 1.09    | 1.49           | 1.03    |
| 宮崎県 | 県平均 | 453.97         | 1.69      | 1.03    | -0.75   | 0.77           | -0.72   |
|     | 宮崎市 | 448.52         | 0.28      | -0.74   | -3.17   | -0.98          | -3.12   |
|     | 日南市 | 436.00         | -0.02     | -1.07   | -3.56   | -1.02          | -3.72   |
|     | 椎葉村 | 395.50         | 5.91      | 5.57    | 4.36    | 4.68           | 4.59    |

た。2.2で述べたように、気候変動適応情報プラットフォーム<sup>21)</sup>では気温と降水量の将来値のみが提供され、日照時間は提供されていない。そこで、将来の日照時間の変化を降水量との関係から推計した(図1)。図1に示すように、高い相関関係ではないが、降水量と日照時間には負の関係が見られる。

気候変動影響の分析結果は表5のとおりである<sup>注2)</sup>。青森県においては、RCP2.6(気温上昇が全国で2.0°C<sup>21)</sup>)では、将来のコメの単収はすべての市町村で増加することが示された。その増加率には幅があり、最大の東通村では2.64%増加し、最小

の平川市では0.23%増加した。RCP4.5(気温上昇が全国で2.8°C<sup>21)</sup>)の場合、将来のコメの単収はほぼすべての市町村で増加した。一方、単収が減少する市は2市あったが(平川市の-0.15%、青森市の-0.07%)、非常に小さい変化である。RCP8.5(気温上昇が全国で4.8°C<sup>21)</sup>)では、将来のコメの単収は県全体で減少し、40市町村のうち23で減少した。減少率が最大の平川市では-2.62%であった。したがって、青森県ではRCP8.5(県内で気温上昇が5.0°C、降水量が1.28倍<sup>21)</sup>)の場合に影響を受ける市町村が多く、また県平均でも微減することから

適応策が特に必要となる。

奈良県においては、RCP2.6の場合、39市町村のうち26でコメの単収が減少することが示された。減少率が最大の山添村では-1.14%、反対に増加率が最大の御杖村では0.61%であった。奈良県全体での変化率は-0.61%と若干の減少であった。RCP4.5の場合も25市町村で単収の減少が見られ、県全体の変化率は-0.54%で単収が若干減少した。RCP8.5の場合、33市町村で単収が減少し、県全体でも-1.72%と単収は減少した。最大の減少率となった山添村では-2.82%であった一方、最大の増加率となった御杖村では1.09%の変化であった。したがって、奈良県でもRCP8.5（県内で気温上昇が4.2°C、降水量が1.06倍<sup>21)</sup>）の場合に適応策が最も必要となる。

宮崎県においては、RCP2.6の場合、26市町村のうち1市でコメの単収が減少したのみで（日南市の-0.02%）、それ以外では増加した（県平均でも1.69%の増加）。RCP4.5ではより影響が大きく、約半数の12市町村で単収が減少した（県平均では1.03%の増加）。減少率が最大となったのは日南市（-1.07%）であった。さらに、RCP8.5では、宮崎県の約65%である17市町村で単収が減少し、日南市の減少率が最大（-3.56%）であった。宮崎県全体でも-0.75%と減少した。したがって、宮崎県でもRCP8.5（県内で気温上昇が4.1°C、降水量が1.10倍<sup>21)</sup>）の場合に最も適応策が必要となる。

各県内の市町村を比較しても単収変化の大小や増減に差が見られるのは、各市町村の降水量が特に関係していると考えられる。3.1の分析結果より、降水量が増加するほどコメの単収が減少することが示された。本研究では各県のすべての市町村においてそれぞれ一律の量あるいは率で気温、降水量、および日照時間が変化するものと仮定した。これにより、現在の降水量と日照時間が大きい市町村における将来の単収の減少幅が大きくなったと考えられる。また、本分析の気候変動の範囲では、どのシナリオでも影響を受けやすい市町村は同一であった。

### 3.2.3 適応策の導入効果

上記の分析より、青森・奈良・宮崎の3県では、気候変動が最も進むRCP8.5においてコメの単収が減少する市町村が最も多く、平均的にも現在と比較して単収が減少することが示された。そこで、適応策として、RCP8.5の下で将来の3県各市町村において栽培時期を1カ月前後させた場合の単収の変化を分析した<sup>注3)</sup>。結果は、表5のとおりである。

栽培時期を1カ月前に移行した場合、青森県の全市町村でコメの単収は現状と比較して増加し、その

増加率は0.12~3.40%となった。また、すべての市町村で適応前と比較して単収が増加した。栽培時期を1カ月後に移行した場合、15%の市町村でのみ適応策を取らない場合と比較して単収が増加した。この結果から、青森県においては、概して栽培時期を1カ月前に移行することが効果的である。

奈良県の場合、栽培時期を1カ月前に移行するとすべての市町村で単収が回復した。ただし、25市町村（全体の64.1%）では現在を下回る単収のままであった（県平均でも-0.30%）。栽培時期を1カ月後に移行した場合は1カ月前に移行する場合には及ばないが82.1%の市町村で適応策を取らない場合と比較して単収が増加した。したがって、奈良県でも概して栽培時期を1カ月前に移行することが有効である。

最後に、宮崎県では、栽培時期を1カ月前に移行した場合、2町村を除いて単収が回復した。また、県平均でも現在と比較して単収が0.77%増加した。ただし、12市町村（全体の半数程度）では現在を下回る単収のままであった。栽培時期を1カ月後に移行した場合は1カ月前に移行する場合には及ばないが、65.4%で適応策を取らない場合と比較して単収が増加した。したがって、宮崎県でも概して栽培時期を1カ月前に移行することが適応策として有効である。

以上の分析から、必ずしもすべての市町村に有効とは言えないが、RCP8.5シナリオのような大幅な気候変動が起こる場合、日本では栽培時期を前倒しする（本研究では1カ月前に移行する）ことに適応策として一定の有効性があることが明らかとなった。加えて、高緯度地域の方が栽培時期の移行の効果が高い傾向にある。この理由としては、地域による気温に対する反応度の差異が挙げられる。青森県が属する東北は北海道とともに他地域と比較して気温の影響を受けやすい（3.1参照）。したがって、栽培時期を移行することによる気温低下の恩恵を受けやすい状況にある。ただし、すべての市町村で栽培時期の移行が有効であるとは限らず、これらの市町村では本研究で分析した移行は必要でないことに留意する必要がある。本研究の結果は、異なる種類のモデルにより栽培時期の移行を分析し、特に北・東日本で栽培時期の移行が特に効果的であると示した横沢ら（2009）<sup>14)</sup>とも類似している。一方、はじめにも述べたように本研究では降水量を含めた適応策の効果を分析することにより、より多くの情報を用いて気候変動の影響・適応策の効果を分析したと言える。

このように多くの市町村で栽培時期の移行は効果



的ではあるが、気候変動によるすべての影響を取り除くことはできない。そのため、栽培時期の移行とともに適切な品種の選定や品種改良など、他の適応策を組み合わせることが気候変動影響を回避するために不可欠である。

#### 4. おわりに

本研究では、市町村レベルのデータを用いて、全国および9地域を対象としたパネルデータ分析により気象条件などとコメの単収の関係を明らかにし、その上で将来の気候変動の単収への影響と影響回避のための適応策（栽培時期の移行）の効果を明らかにした。パネルデータ分析からは、コメの単収と気温の間には上に凸の二次関数の関係が見られ、降水量・日照時間との間には北海道を除いてそれぞれ負・正の関係が見られた。そして、3つの将来の気候変動シナリオを用いた分析からは、シナリオにより県平均では単収が増加する場合もあるが、気候変動の程度が大きい場合は県平均での単収が減少し、影響を受ける市町村も多くなることが示された。このような影響を回避するために栽培時期を1カ月前に移行させた場合、多くの市町村で影響を低減することが可能となる。しかし、特に中低緯度地域ではすべての影響が回避されるわけではなく、さらなる影響の低減には適切な品種の選定や品種改良など、他の適応策の導入が必要であることが示唆された。

本研究では次のような課題も残された。1つめは、影響分析に関するデータである。本研究の影響分析にあたっては公開されているデータ取得の制約で、すべての市町村に対して当該都道府県の気象条件の変化を適用した。しかし、各都道府県内でも気象条件（緯度・高度、山側・海側などによる）に差異があるため、将来の気候変動の程度も程度の差はあれ異なると考えられる。また、日照時間についてはデータが入手できなかったため、降水量との関係から推計した値を用いた。しかし、降水量と日照時間の間には相関は見られるが回帰式の精度はそれほど高いものとはならなかった。したがって、より精緻な影響・適応の分析には、より詳細な将来予測データの公開が待たれる。2つめは、適応策の分析である。本研究では、適応策として栽培時期の移行のみを取り上げた。しかし、上述のようにコメの生産に対する適応策にはさまざまなものがあり、それらを合わせた複合的な効果を検証する必要がある。しかし、そのためには市町村レベルでのコメの品種や資本投入などに関するデータが必要となる。3つめは、コメの収量以外への影響である。本研究では収量（単収）に焦点をあてたが、気候変動による品

質低下の懸念も指摘されている。このようなコメの品質（例えば、検査規格の等級）と気象条件などの関係についての本研究でも用いたような統計的な関係の解析も重要な課題である。

#### 注

- 注1 各市町村の気象条件については、本研究で用いた方法以外にも最も近い距離の2（あるいは多）観測地点の加重平均を用いる方法も考えられる。しかし、市町村によっては観測地点が存在する箇所が存在すること、また2(多)地点のうち1地点の観測地点が非常に近距離にあり当該観測地点を用いることが適当と考えられる市町村も存在することから、統一性を保つために本手法を採用した。
- 注2 本節では地域モデルに基づく結果を示すが、比較のため全国モデルを用いた同様の分析結果を付録に示す。
- 注3 本研究では2カ月以上変化をさせた場合も分析したが、1カ月の場合が最も効果が高いため、栽培時期を1カ月前後させた場合の結果を示す。なお、既存の研究では栽培時期を最大21日から70日間前後の時期に移行した場合の分析が見られる<sup>14, 25)</sup>

#### 文 献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis (Summary for Policymakers), Cambridge University Press, Cambridge and New York, 29pp.
- 2) 気象庁 (2016) 気候変動監視レポート2015, 80 pp.
- 3) Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability (Summary for Policymakers), Cambridge University Press, Cambridge and New York, 22 pp.
- 4) Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (Summary for Policymakers), Cambridge University Press, Cambridge and New York, 32 pp.
- 5) 日本政府, 気候変動の影響への適応計画, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/tekiou/siryu1.pdf>, (参照2017-2-28).
- 6) 農林水産省 (2016) 平成27年地球温暖化影響調査レポート, 52 pp.
- 7) 三村信男 (監修), 太田俊二, 武若 聡, 亀井雅敏 (編) (2015) 気候変動適応策のデザイン, クロスメディア・マーケティング, 120 pp.
- 8) 堀江 武・桜谷哲夫 (1985) イネの生産の気象的評価・予測法に関する研究. 農業気象, 40(4), 331-342.
- 9) 大谷和彦・吉田智彦 (2008) 送風時期が水稻「白未熟粒」発生に及ぼす影響. 日本作物学会紀事,

77(4), 434-442.

10) 若松謙一・佐々木 修・田中明男 (2009) 暖地水稲における高温登熟条件下の日射量および湿度が玄米品質に及ぼす影響. 日本作物学会紀事, 78(4), 476-482.

11) 林 陽生・鳥谷 均・後藤慎吉・菅野洋光・鄭英祥・黄 水鎮・金 海東 (1999) 予想される気候の揺らぎのもとでの日本・韓国地域の水稲生産量変動の予測. 農業気象, 55(2), 117-125.

12) 河津俊作・本間香貴・堀江 武・白岩立彦 (2007) 近年の日本における稲作気象の変化とその水稲収量・外観品質への影響. 日本作物学会紀事, 76(3), 423-432.

13) 下野裕之 (2008) 地球温暖化が北日本のイネの収量変動に及ぼす影響, 日本作物学会紀事. 77(4), 489-497.

14) 横沢正幸・飯泉仁之直・岡田将誌 (2009) 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, 199-206.

15) Tanaka K., S. Managi, K. Kondo, K. Masuda and Y. Yamamoto (2012) Potential climate effects on Japanese rice productivity. *Climate Change Economics*, 2(3), 237-255.

16) 農林水産省 (2009) 多収米栽培マニュアル, 19 pp.

17) 杉本賢二 (2012) 気象条件によるとうもろこし収量関数の推定と将来予測. 環境科学会誌, 25(6), 493-497.

18) 農林水産省, 市町村別データ長期累年, [http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityo\\_tyouki/index.html](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityo_tyouki/index.html), (参照2017-2-10).

19) 農林水産省, 作況調査 (水陸稲, 麦類, 豆類, かんしょ, 飼肥料作物, 工芸農作物), [http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou\\_kome/index.html](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/index.html), (参照2017-2-10).

20) 気象庁. 過去の気象データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (参照2017-2-1).

21) 国立環境研究所, 気候変動適応情報プラットフォーム, <http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/>, (参照2017-2-6).

22) 米穀安定供給確保支援機構, お米のQ&A, <http://www.komenet.jp/faq/sc16.html>, (参照2016-12-26).

23) 小谷俊之・松村洋一・黒田 晃 (2006) 出穂前後の遮光処理が水稲品種「ゆめみずほ」の収量および品質に及ぼす影響. 石川県農業総合研究センター研究報告, 27, 1-9.

24) 文部科学省・気象庁・環境省 (2013) 日本の気候変動とその影響 (2012年度版), 85 pp.

25) S-8温暖化影響・適応研究プロジェクトチーム (2014) 地球温暖化「日本への影響」: 新たなシナリオに基づく総合的影響予測と適応策. 環境省環境研究総合推進費戦略研究開発領域S-8温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究2014報告書, 42 pp.

付 録

本付録では、全国モデルの推計結果を用いた気候変動のコメの単収への影響と適応策の効果を示す(付表1)。全国モデルを用いた場合、地域モデルを用いた場合と比較して寒冷地(青森県)では単収の増加率が大きくなり、温暖地(奈良県・宮崎県)では減少率が大きく(あるいは増加率が小さく)なる傾向が見られた。適応策の効果は、多くの市町村において地域モデルと同様に1カ月前への移行が効果的であるが、移行の効果が見られない市町村も存在することが示された。2つの分析の結果から、本文中で述べた栽培時期の1カ月前倒しは適応策として効果的であると言える。

付表1 全国モデルを用いた場合の3県における気候変動によるコメの単収への影響と適応策の効果(県平均値と一部市町村の抜粋)

| 県   | 市町村 | yield (kg/10a) | 適応策なし (%) |         |         | RCP8.5+ 適応策 (%) |         |
|-----|-----|----------------|-----------|---------|---------|-----------------|---------|
|     |     |                | RCP2.6    | RCP 4.5 | RCP 8.5 | 1カ月前に移行         | 1カ月後に移行 |
| 青森県 | 県平均 | 506.03         | 2.73      | 3.43    | 4.23    | 3.64            | 4.15    |
|     | 青森市 | 578.10         | 1.91      | 2.31    | 2.31    | 2.48            | 2.17    |
|     | 平川市 | 614.22         | 1.86      | 2.24    | 2.19    | 2.39            | 2.10    |
|     | 東通村 | 396.50         | 4.01      | 5.20    | 7.30    | 5.37            | 7.41    |
| 奈良県 | 県平均 | 476.26         | -0.62     | -0.92   | -2.78   | -0.66           | -2.50   |
|     | 奈良市 | 501.64         | -1.07     | -1.55   | -3.80   | -1.51           | -3.47   |
|     | 山添村 | 478.29         | -1.13     | -1.63   | -3.93   | -1.63           | -3.61   |
|     | 御杖村 | 448.05         | 0.72      | 0.94    | 0.32    | 1.10            | 0.42    |
| 宮崎県 | 県平均 | 453.97         | 0.13      | -0.65   | -2.92   | -0.62           | -2.81   |
|     | 宮崎市 | 448.52         | -0.83     | -2.00   | -4.97   | -1.95           | -4.84   |
|     | 日南市 | 436.00         | -0.96     | -2.17   | -5.19   | -2.03           | -5.35   |
|     | 椎葉村 | 395.50         | 1.97      | 1.56    | -0.13   | 1.45            | 0.15    |

## Climate Change Impact and Adaptation on Rice Production in Japan

Ken'ichi MATSUMOTO<sup>1</sup> and Minami TAKAGI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Fisheries and Environmental Sciences, Nagasaki University,  
1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

<sup>2</sup>School of Environmental Sciences, The University of Shiga Prefecture,  
2500 Hassaka, Hikone, Shiga 522-8533, Japan)

### Abstract

When climate change becomes a severe issue in the future, it will greatly affect rice production in Japan. Thus, adaptation to climate change will be a critical action to take. This study analyzes the relationship between rice production and climate conditions using a panel data approach targeting Japan and its regions. In addition, the impact of climate change in the future and the effect of the adaptation on rice production are evaluated. The results suggest that the relationship between rice production and temperature is a concave-down quadratic function, while those between rice production and precipitation and sunshine duration are negative and positive, respectively. When the degree of climate change is large, the production decreases in many cities, while the impact is relatively small in high-latitude regions. The results also suggest that shifting cultivation periods forward for a month is an effective adaptation measure in reducing the climate change impact in many areas, however it cannot avoid the entire impact.

**Key Words:** Rice production, climate change impact, adaptation, panel data analysis, scenario analysis