

コメ生産に対する地球温暖化の影響と適応策

Global warming impact and adaptation

on rice production in Japan

高木 三水珠

TAKAGI, Minami

環境政策・計画学科において学士（環境科学）の学位授与の資格の
一部として滋賀県立大学環境科学部に提出した研究報告書

2016 年度

承認

松本 健一

指導教員

コメ生産に対する地球温暖化の影響と適応策

松本研究室 1312019 高木三水珠

1. 背景・論点

気候変動に関する政府間パネルの第5次評価報告書によれば、過去130年間に世界の平均気温は約0.85°C上昇している¹⁾。日本の平均気温はそれをやや上回り、約1.16°C/100年のペースで上昇している²⁾。そして、将来の温暖化の進展は今後の温室効果ガス排出の程度によるが、21世紀末までに世界平均で1.8~4.0°C程度上昇すると予測されている¹⁾。

作物の生育は気象条件に大きく依存するため、農業は地球温暖化の影響を受けやすい。一般に、地球温暖化を引き起こす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。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³⁾。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。

農作物の中でも、地球温暖化がコメ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⁴⁾。地球温暖化による収量の減少や品質の低下を防ぐための対策として適応策がある。適応策を実施することは、今後のコメ収量の安定化を図るうえで必須である。

横沢ら(2009)⁵⁾は、広域コメ収量予測モデルと複数の気候変化シナリオを利用して、コメ収量が気候変化によって受ける影響を、全国を4つの地域に分けて予測し、適応策の効果を評価している。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になると、北海道・東北地域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。

他にも、気象条件がコメの収量に与える影響の分析は多くある^{6),7)}が、いずれも地域あるいは都道府県レベルの分析が多く市町村レベルの分析はされていない。農作物の多くは気候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無視すべきではない影響を持つと考えられる。また、コメの収量に対する適応策の効果について分析した研究は見られるが、市町村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のレベルで行われるため、都道府県および市町村レベルで分析を行うことは、より有効かつ地域に即した適応策を考えるうえで重要であると言える。また、横沢ら(2009)⁵⁾は、モデルに降水量を入力しなかった。その理由は、日本は農地の基盤整備がすすんでおり、降水量不足に起因する被害報告が過去25年間において

ほとんど無いことである。しかし、水資源影響の最近の研究では、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⁸⁾。さらに、Tanaka et al.(2011)⁹⁾はコメの収穫量には気温よりも降水量が重要であることを示している。そこで本研究では、モデルに降水量を組み込むことにする。

2. 研究の目的・意義

本研究の目的は、地球温暖化がコメの単収に及ぼす影響を市町村レベルで定量的に分析し、今後のコメの単収への影響を推計することである。合わせて分析結果および将来における気候変動シナリオから、将来の気象条件がコメの単収に及ぼす影響と、その適応策の効果について検討する。そこで本研究では、分析対象地域を全国の市町村とし、気象条件は平均気温、降水量および日照時間の3つを用いる。

本研究の意義は、農業分野における地球温暖化適応策を検討する上での資料となり、今後のコメの安定的な収穫に貢献することである。

3. 分析方法・データ

本研究ではパネルデータ分析により、気象条件がコメの単収に及ぼす影響を推計する。さらに分析結果および将来における気候変動シナリオから、将来の気象条件がコメに与える影響と、その適応策として栽培時期の移行の効果について分析をする。パネルデータ分析にはRのplmパッケージを用いる。

(1)モデルと変数

まず、分析に用いるモデルを構築する(式1)。

$$\begin{aligned} yield_{it} = & C_i + a1 \times temp_{it} + a2 \times (temp_{it})^2 \\ & + a3 \times preci_{it} + a4 \times sun_{it} \\ & + a5 \times \log(timetrend) + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (1)$$

yield: コメの単収 (kg/10a), *temp*: 5~9月の平均気温の平均値 (°C), *preci*: 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), *timetrend*: 1993年 = 1で、次年以降1ずつ増加するトレンド関数, *C*: 定数項, *a1*~*a5*: 係数, *i*: 市町村, *t*: 年, ε : 誤差項

本研究では、コメの高温障害による収量減少の可能性を考慮し、平均気温の自乗項を式に組み込む。分析に用いる気象条件の期間は5~9月とする。また5~9月すべてについてそれぞれ変数を入れることによる多重共線性を避けるため、5~9月の各気象条件の平均値を用いる。加えて1993年を1とし次年以降1ずつ増加するトレンド関数の対数を式に組み込む。

本研究では全国の3309市町村のデータを用い、全国および9地域（北海道、東北、関東、北陸、東海、近畿、中国、四国、九州）を分析対象地とする。

(2)適応策の効果についての分析方法

緯度の異なる3つの地方から、それぞれ1県ずつ（青森県（東北地方）、奈良県（近畿地方）、宮崎県（九州地方））の市町村を分析に用いる。はじめに、将来の気象条件がコメ単収に与える影響を分析する。将来の気象条件については、気候変動適応情報プラットフォーム⁹⁾のMIROCモデルによるRCP2.6・4.5・8.5の3シナリオを使用した。ただし、日照時間の変化量については、日照時間の対数を目的変数、降水量の対数を説明変数として単回帰分析を行い推計した。3県各市町村の現在の気象観測データと将来の気象予測データをそれぞれ当てはめて推計した値を比較する。これにより、将来の気象条件がコメの単収にどのくらい影響を与えるかを示す。現在の気象条件がコメ生産に与える影響の分析に使用した気象条件および単収データは、3県各市町村の1993～2014年の平均値である。ただしトレンド関数は現在のコメ単収の推計には最新年（2014年）の値を用いる。また将来の単収の推計には基準期間の2081～2100年の中央値（2090年）を用いる。さらに適応策として、RCP8.5MIROCシナリオによる将来の3県各市町村で1ヵ月前および1ヵ月後に栽培時期を移行した気象条件を用いて推計値の変化を分析した。

(3)データ

本分析に用いるデータは、上述した式1に用いる各変数である。コメの単収は農林水産省^{10) 11)}、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¹²⁾より取得した。分析に用いるデータの期間は、1993～2014年（22年間）である。

コメの収量データにおける市町村合併の扱いについて述べる。1995年度初めには3234あった市町村数は、現在（2016年10月10日時点）で1718まで減少している¹³⁾。本研究では合併前と合併後の市町村を区別し3309市町村を分析に用いる。1993～2014年中に合併した市町村について、合併前は1993年～合併前年の各市町村の値、合併後は合併年～2014年の新市町村の値を用いた。上記データのうち収量データは市町村ごとに得られるが、気象データは気象庁の設置する気象観測地点ごとに得られる。そこで、各市町村の気象条件は、各市町村から最も近い距離にある気象観測地点とした。

4. 分析結果および考察

式1を用いて分析結果を表1に示す。分析対象地を全国および9地域とした場合の両者の分析においてF検定およびHausman検定を行った結果、本分析には固定効果モデルを用いる。

(1)分析対象地を全国とした場合

表1に示すように、平均気温については1次の項が正、2次の項が負で有意な結果となった。したがって、平均気温とコメの単収との関係は上に凸の2次関数であることが明らかになった。降水量については負、日照時間については正で有意な結果となり、偏回帰係数はそれぞれ-0.17、0.35であった。平均気温とコメ単収との関係は上に凸の2次相関であることから、コメの単収が最も増加する平均気温の適温があることが示された。適温までは平均気温が高いほど単収は増加するが、適温を超えると減少する。これは高温の状況では、白未熟粒などのコメの高温障害が発生することを意味する。したがってコメの安定的な単収の維持には、栽培時期の平均気温を適温に保つことが重要である。

表1 コメ単収に対するパネルデータ分析の結果

地域	temp	temp ²	preci	sun	log(timetrend)	自由度調整済み 決定係数
全国	289.13 (2.2×10 ^{-16***})	-6.23 (2.2×10 ^{-16***})	-0.17 (2.2×10 ^{-16***})	0.35 (2.2×10 ^{-16***})	10.98 (2.2×10 ^{-16***})	0.43
北海道	646.45 (2.2×10 ^{-16***})	-17.39 (2.2×10 ^{-16***})	0.42 (1.9×10 ^{-11***})	-0.82 (1.8×10 ^{-12***})	34.43 (2.2×10 ^{-16***})	0.49
東北	718.28 (2.2×10 ^{-16***})	-17.25 (2.2×10 ^{-16***})	-0.30 (2.2×10 ^{-16***})	0.51 (2.2×10 ^{-16***})	13.83 (2.2×10 ^{-16***})	0.54
関東	273.90 (2.2×10 ^{-16***})	-5.99 (2.2×10 ^{-16***})	-0.20 (2.2×10 ^{-16***})	0.31 (2.2×10 ^{-16***})	11.49 (2.2×10 ^{-16***})	0.48
北陸	151.54 (2.2×10 ^{-16***})	-3.34 (2.2×10 ^{-16***})	-0.12 (2.2×10 ^{-16***})	0.34 (2.2×10 ^{-16***})	7.97 (2.2×10 ^{-16***})	0.47
東海	144.48 (2.2×10 ^{-16***})	-2.79 (2.2×10 ^{-16***})	-0.12 (2.2×10 ^{-16***})	0.20 (2.2×10 ^{-16***})	9.25 (2.2×10 ^{-16***})	0.54
近畿	101.51 (2.2×10 ^{-16***})	-2.10 (2.2×10 ^{-16***})	-0.09 (2.2×10 ^{-16***})	0.36 (2.2×10 ^{-16***})	9.78 (2.2×10 ^{-16***})	0.50
中国	241.23 (2.2×10 ^{-16***})	-5.17 (2.2×10 ^{-16***})	-0.19 (2.2×10 ^{-16***})	0.46 (2.2×10 ^{-16***})	6.67 (2.2×10 ^{-16***})	0.51
四国	31.20 (1.6×10 ^{-3**})	-0.55 (1.2×10 ^{-2*})	-0.10 (2.2×10 ^{-16***})	0.42 (2.2×10 ^{-16***})	8.32 (2.2×10 ^{-16***})	0.42
九州	223.46 (2.2×10 ^{-16***})	-4.73 (2.2×10 ^{-16***})	-0.16 (2.2×10 ^{-16***})	0.82 (2.2×10 ^{-16***})	4.68 (8.0×10 ^{-10***})	0.36

注：表中の“*”は5.0%，“**”は1.0%，“***”は0.1%で有意であることを示す。カッコ内はP値を示す。

降水量については、降水量が増加するほど単収は減少することが推計された。これは梅雨および台風による水田の被害の影響が考えられる。水田が押し流された場合、堤防の再構築や石や泥水の排除、排水システムの見直し等を行わなければ大きな被害につながる。さらに耕運機や収穫機等の農業機械が水害にあうとモーターやコンピュータが故障し、品質の低下につながる¹⁴⁾。以上より、降水量が増加するほど単収が減少することは、梅雨および台風による水害が影響している。

日照時間については、日照時間が増加するほど単収は増加することが示された。小谷(2006)¹⁵⁾は、特定の品種の水稻の出穂前後で遮光処理を行い、日射量が収量および品質に与える影響を分析した。その結果、遮光処理を施した水稻は処理しない水稻に比べ、出穂前後のいずれにおいても収量および品質は減少・低下した。したがって、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。

(2)分析対象地を9地域とした場合

分析対象地を全国の9地域として気象条件がコメ単収に与える影響を分析した。結果、9地域すべてにおいて平均気温とコメの単収との関係は上に凸の2次関数であった。そのうち北海道・東北地方は、他の地域に比べると平均気温の2次の項の偏回帰係数の絶対値が大きい。つまり、2次関数のグラフの開き具合が小さく、平均気温がコメの単収に与える影響が大きいということである。したがって、北海道・東北地域は他の地域より単収は平均気温に大きく左右され得る。この2地域では、単収の減少を最小限にするために高温耐性品種を積極的に栽培する等の対策が必要である。

降水量については、北海道以外の8地域においては、偏回帰係数が負で有意な結果となった。したがってこれら8地域では、降水量が増加するほど単収は減少する。特に東北地方においては8地域のなかで降水量の絶対値が最も大きいため、他の地域よりも降水量がコメの単収に与える負の影響が大きい。したがって特に東北地方においては降水量の増加によるコメの単収の減少を防ぐため、徹底した水管理等が必要になる。

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で有意な結果となった。これらの地域では、日照時間が増加するほどコメの単収は増加する。そのうち最も偏回帰係数が大きいのは九州地方であることから、日照時間がコメの単収に与える正の影響が最も大きいのは九州地方であることが明らかになった。

5. 適応策とその効果について

現在行われているコメに対する適応策のうち、本研究では栽培時期の移行についての効果を検証する。

(1)将来の気象条件がコメの単収に与える影響

将来の日照時間変化量を推計するために単回帰分析を行った。その結果、青森県における回帰式 $\log(\text{日照時間}) = -0.21 \times \log(\text{降水量}) + 2.62$ より、3つの気候変動シナリオにおいて二酸化炭素濃度の上昇に伴い将来的に降水量が基準期間(1981~2000年)の1.15, 1.22, 1.28倍になった場合、日照時間は0.24, 0.26, 0.27倍分減少する。奈良県における回帰式 $\log(\text{日照時間}) = -0.28 \times \log(\text{降水量}) + 2.8$ より、降水量が1.1, 1.0, 1.06倍になった場合、日照時間は0.31, 0.28, 0.3倍分減少する。さらに宮崎県における回帰式 $\log(\text{日照時間}) = -0.36 \times \log(\text{降水量}) + 3.09$ より、降水量が1.06, 1.02, 1.1倍になった場合、日照時間は0.38, 0.37, 0.4倍分減少する。

次に、それぞれのパネルデータ分析の結果を用いて、将来の気象条件がコメの単収にどのくらい影響を与えるかを推計した。その結果を表2に示す。分析結果からRCP2.6シナリオでは、青森県の各市町村の将来のコメ単収は全ての地域で増加することが示された。増加率が最も大きいのは十和田湖町、小さいのは平川市であった。RCP4.5シナリオでは、青森市と平川市の2市以外で増加することが明らかになった。さらに、RCP8.5シナリオでは、コメの単収は青森県全体では0.07%増加するが、71市町村のうち34の市町村で減少する。したがって、青森県ではRCP8.5シナリオにより将来的に気温5.0°Cが上昇し、降水量が1.28倍に増加し、日照時間が0.27倍分減少した場合に、県の約半数の市町村でコメの単収は減少し適応策が特に必要になる。

表2 3県における将来(適応なし・あり)のコメの単収変化率(%)

市町村	単収	適応策なし			適応策あり		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP8.5 (1ヵ月前)	RCP8.5 (1ヵ月後)	
十和田湖町	450.30	3.10	4.11	4.48	4.08	4.48	
青森県	平川市	614.22	0.23	-0.19	-2.51	0.12	-2.37
	青森県	506.03	1.28	1.39	0.07	1.55	0.00
	山添村	478.29	-1.14	-1.24	-2.54	-1.90	-2.40
奈良県	榛原町	476.82	0.99	1.34	1.47	1.64	1.51
	奈良県	476.26	-0.42	-0.39	-1.25	-0.15	-1.14
	清武町	440.00	-0.42	-1.30	-3.89	-1.72	-3.76
宮崎県	日南市	436.00	-0.25	-1.14	-3.74	-1.25	-3.91
	宮崎県	453.97	1.70	1.21	-0.80	0.66	-0.76

奈良県では、RCP2.6 シナリオで 46 市町村のうち 30 で単収が減少する。最も減少率が大きいのは山添村、反対に最も増加率が大きいのは榛原町となり、県全体の変化量は-0.42%となった。RCP4.5 シナリオでは 30 の市町村で単収が減少し、県全体の変化量は-0.39%となった。さらに、RCP8.5 シナリオでは県のほぼすべての市町村で単収が減少し、県全体の変化率は-1.25%となった。したがって奈良県では、RCP8.5 シナリオにより将来的に気温が 4.0°C 上昇し降水量が 1.06 倍に増加し、日照時間が-0.3 倍分減少した場合、ほぼ全ての市町村で適応策が必要になる。

また宮崎県においては、RCP2.6 シナリオで 45 のうち 10 の市町、RCP4.5 シナリオでは 20 の市町村で単収が減少する。さらに RCP8.5 シナリオでは県の半数以上の 30 の市町村で減少する。したがって宮崎県では半数以上の市町村でコメの単収が推計された RCP8.5 シナリオにより気温が 4°C 上昇し、降水量が 1.1 倍増加し、日照時間が 0.4 倍分減少した場合に適応策が必要になると考えられる。

(3)栽培時期の移行の効果について

栽培時期を 1 ヶ月前に移行した場合、青森県の全市町村においてコメ単収は現在と比べて増加した。同様に栽培時期を 1 ヶ月後に移行した場合は 33 の市町村で現在と比べて単収が減少するという結果になった。したがって、青森県においては 1 ヶ月栽培時期を遅くする場合より、1 ヶ月早めた場合のほうが効果的であることが示された。一方、奈良県および宮崎県においては、県全体では単収は増加するがある地域では減収する場合や、地域によっては移行することで減少の幅は小さくなるが、減収自体は回避できず単収を維持することができない場合も見られた。

以上のことから、日本のなかでも青森県のような緯度が高い東北地域などでは、栽培時期を 1 ヶ月繰り上げることは、移行することにより移行前より単収が減少する地域もあるが、全ての市町村で現在の単収を維持できるという結果になった。また栽培時期の前後 1 ヶ月の移行は県全体では効果的な場合もあるが、すべての市町村で効果的であるとは限らない。この理由として、地域による平均気温の差が挙げられる。青森県が属する東北地方と、奈良県が属する近畿地方、宮崎県が属する九州地方の 5~9 月の平均気温との間には、大きな差がある。気温が低い地域では栽培時期を移行することで、地球温暖化による高温時期と栽培時期が重なることを防ぐことができる。しかし、気温が高い地域で移行した場合、移行後の平均気温も高いため栽培時期に高温になる。したがって、栽培時期の気温が適温を超え、移行による効果があまりみられなかったと言える。このような気温の高い地域では、品種の改良および選定などの他の適応策も併せて検討する必要があると考えられる。

5. 結論

将来的に気温上昇が進み単収が最も多くなる適温を超えると、単収は減少する。また降水量の増加・日照時間の減少が単収に与える影響は負であり、その影響が最も大きいのは東北地方であった。適応策の効果については、将来の青森県では栽培時期を遅らせるより早める方が単収の維持には効果的であり、栽培時期の移行により適温時期に稲が出穂する対策が必要である。また奈良県・宮崎県では栽培時期の移行は地域によっては効果的だったが、全市町村で効果的であるという結果にならなかったことから、これらの地域では品種の改良・選定など他の適応策も併せて行う必要がある。

6. 参考文献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis (Summary for Policymakers)*, p.2, Cambridge University Press (2013)
- 2) 気象庁：気候変動監視レポート 2015, pp.21-26, 気象庁 (2015)
- 3) Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability (Summary for Policymakers)*, p.8, Cambridge University Press (2007)
- 4) 環境省：気候変動の影響への適応計画<<http://www.env.go.jp/press/files/jp/28593.pdf>>, 2017-03-01
- 5) 横沢正幸・他：気候変化がわが国におけるコメの収量変動に及ぼす影響の広域評価, 地球環境, 14, pp.199-205 (2009)
- 6) 大谷和彦, 吉田智彦：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), pp.434-442 (2008)
- 7) 堀江武, 桜谷哲夫：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), pp.331-342 (1985)
- 8) K.Tanaka et al.: Potential climate effects on Japanese rice productivity, *Climate Change Economics*, 2(3), pp.237-255 (2012)
- 9) 気候変動適応情報プラットフォーム：温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究<<http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/map/index.html>>, 2017-01-06
- 10) 農林水産省：作物統計<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityo_tyouki/index.html#a2>, 2015-11-30
- 11) 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#c>, 2017-02-10
- 12) 気象庁：各種データ・資料<<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php>>, 2016-04-20
- 13) 総務省：市町村数の推移表(詳細版)<http://www.soumu.go.jp/main_content/000283329.pdf>, 2016-12-16
- 14) 米穀安定供給確保支援機構：お米の Q&A<<http://www.komenet.jp/faq/sc16.html>>, 2016-12-26
- 15) 小谷俊之・他：出穂前後の遮光処理が水稻品種「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, pp.1-9 (2006)

目 次

第一章 序論	1
1-1 背景・論点	1
1-2 目的・意義	3
1-3 論文の構成	3
<参考文献>	3
第二章 分析方法	5
2-1 パネルデータ分析のモデル	5
2-2 モデルと変数	5
2-3 適応策の効果についての分析方法	6
2-4 データ	7
<参考文献>	9
第三章 分析結果および考察	11
3-1 気象条件がコメの単収に及ぼす影響についての分析結果および考察	11
3-2 自由度調整済み決定係数	14
<参考文献>	14
第四章 適応策	17
4-1 主な適応策について	17
4-2 将来の気象条件がコメの単収に与える影響と適応策の効果	19
4-2-1 将来の気象条件がコメの単収に与える影響について	20
4-2-2 栽培時期の移行の効果について	22
<参考文献>	23
第五章 結論	25
5-1 本論文のまとめ	25
5-2 結論	26
5-3 今後の課題	26
<参考文献>	27
謝辞	29
付録	31

図 表 目 次

図 4-1	青森・奈良・宮崎県における降水量と日照時間の単回帰分析の結果	20
表 2-1	各シナリオによる将来における温度上昇および降水量変化	7
表 2-2	パネルデータ分析に用いる各変数の基本統計量	8
表 3-1	コメの単収に対するパネルデータ分析の結果	11
表 4-1	コシヒカリの県別の 1 等米比率 (%)	18
表 4-2	回帰分析結果より推計した将来における 3 県の日照時間変化量 (%)	20
表 4-3	3 県における将来 (適応なし・あり) のコメの単収変化率 (%)	21

第一章 序論

1-1 背景・論点

気候変動に関する政府間パネルの第5次評価報告書によれば、過去130年間に世界の平均気温は約0.85°C上昇している¹⁾。日本の平均気温はそれをやや上回り、約1.16°C/100年のペースで上昇している²⁾。そして、将来の温暖化の進展は今後の温室効果ガス排出の程度によるが、21世紀末までに世界平均で1.8~4.0°C程度上昇すると予測されている¹⁾。

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、地球温暖化を引き起こす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³⁾。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。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。

農作物の中でも、地球温暖化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⁴⁾。米の品質検査によると、記録的な猛暑を記録した2010年では一等米が全体に占める割合は62.0%で、過去5年間で最低であった2006年の78.4%を大きく下回った⁵⁾。その要因として特に注目されているのが、稲の高温障害である。コメの場合、出穂日が全国的に夏季にあたり、この出穂前後の気候が米の品質・収量を大きく左右する。また、地球温暖化がコメに及ぼす影響は、これまでに全国で確認されている⁴⁾。例えば、コメの全部または一部が乳白化する現象の白未熟粒は、登熟期^{註1)}の平均気温が27.0°Cを上回ると多く発生し、粒に割れ目を生じたコメである胴割れ米は、登熟初期の気温が高くなるほど発生しやすくなる。このような、地球温暖化によるコメ収量の減少や品質の低下を防ぐための対策として適応策がある。適応策は、今後のコメ収量の安定化を図るうえで必須である。

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。適応策を決定する際には、適応策レベルと時間スケールの2点を考慮する必要がある。適応策レベルは、レベル1として防御、レベル2に順応・影響最小化、そしてレベル3に転換・再構築が位置づけられる。時間スケールは、現在・短期的影響への対応と中・長期的影響への対応に分類される。前者は既に発生してしまった影響への対策と回復、後者は段階的に増加する影響への対策である。これらを考慮したうえで、適応策実施の方向性が決定される⁶⁾。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。ひとつは、適応策の推進である。これは、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が実施されている。もうひとつは、技術開発等の推進である。高温耐性品種^{註2)}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進められている。

近年では、コメの生産と気候の関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結果を分析したものが多^{7),8),9)}。しかし、人為的に制御された環境条件に基づく予測は、実際の水田で発生する高温障害の発生率を大きく見積もっているという批

判もあり、統計学的な分析の重要性が認められている¹⁰⁾。林ら(1999)¹¹⁾は、日本の東北地方と韓国の水稻の収量変動について、7~9月の平均気温の偏差と収量偏差を用いて、日本は都道府県単位、韓国は道単位で回帰分析を行った。その結果、韓国および東北地方の合計収量は、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。また、偏差の規模が増大すると収量変化の割合も増大することが示された。Tanaka et al.(2011)¹²⁾は、コメの収量について、農作業時間、生産資本、栽培面積、操業費、および気象条件を用い、都道府県単位でパネルデータ分析を行った。気温が正に働く場合と負に働く場合の2つのモデルを構築した結果、コメの収量には気温よりも降水量が重要であることが示された。また、台風および梅雨の影響により、東北地方よりも九州地方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政策への資本投下がコメの収量維持につながるということが明らかになった。河津(2007)¹³⁾らは、コメの収量について、出穂盛期^{注3)}から30日間の平均気温と平均日射量を用いて、都道府県レベルのパネルデータ分析を行った。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、1等米比率が平均で3.57%低下することが示された。下野(2008)¹⁴⁾は地球温暖化が北日本のコメの収量変動に与える影響について(1)過去の気温傾向、(2)過去のイネの収量動向、(3)簡易なモデルによる予測から分析した。その結果、(1)過去70年間では夏の昇温程度が他の季節に比べ小さいこと、(2)ある品種を同一栽培条件で生育させた収量の推移は近年やや増加傾向にあることが明らかになった。さらに、(3)温暖化傾が進行すると想定したモデルによると、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の昇温で冷害発生の可能性が16%増加することが予測された。横沢ら(2009)¹⁵⁾は、広域コメ収量予測モデルと複数の気候変化シナリオを利用して、コメ収量が気候変化によって受ける影響を、全国を4つの地域に分けて予測し、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になると、北海道・東北地域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。

このように地球温暖化がコメの収量に与える影響に対する研究は多数見られるが、いずれも地域あるいは都道府県レベルでの分析であり、市町村レベルの分析はされていない。農作物の多くは気候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無視すべきではない影響を持つと考えられる。また、コメの収量に対する適応策の効果について分析した研究は見られるが、地域レベルより細かい範囲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のレベルで行われるため、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。横沢ら(2009)¹⁵⁾は、広域コメ収量予測モデルと複数の気候変化シナリオを利用してコメの収量に対する適応策の効果を評価しているが、モデルに降水量を入力しなかった。その理由は、日本は農地の基盤整備がすすんでおり、降水量不足に起因する

被害報告が過去 25 年間に於いてほとんど無いことである。さらに、将来の気候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はないと理由からである。一方で、最近の水資源影響の研究では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¹⁵⁾。さらに、Tanaka et al. (2011)¹²⁾はコメの収穫量には気温よりも降水量が重要であることを示している。そこで本研究では、モデルに降水量を組み込むことにする。

本研究では、分析対象地域を全国の市町村とし、平均気温、降水量、および日照時間の 3 つの気象条件がコメの単収に与える影響を定量的に分析する。合わせて分析結果および将来における気候変動シナリオから、将来の気象条件がコメの単収に及ぼす影響とその適応策の効果について検討する。

1-2 目的・意義

本研究の目的は、地球温暖化がコメの単収に及ぼす影響を市町村レベルで定量的に分析し、今後のコメの単収への影響を推計することである。合わせて分析結果および将来における気候変動シナリオから、将来の気象条件がコメの単収に及ぼす影響と、その適応策の効果について検討する。

本研究の意義は、農業分野における地球温暖化に対する適応策を検討する上での資料となり、今後のコメの安定的な収穫に貢献することである。

1-3 論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第二章では、本研究とパネルデータ分析について述べる。第三章では、気象条件がコメの単収に及ぼす影響の分析結果を示す。さらに分析結果から、各気象条件とコメの単収の関係を考察する。第四章では、第三章の分析結果を踏まえたうえで、将来の気象条件がコメの単収に及ぼす影響と、その適応策の効果について検討する。そして第五章では、第四章までのまとめ、本研究の結論、および今後の課題について述べる。

[注]

注 1) 穂に炭水化物を送り込んで溜め込む時期を示す。

注 2) 高温耐性品種とは、別々の品種を掛け合わせて品種改良を行うことで、高温の状況下においても品質および収量の低下が起きにくい品種である。

注 3) 穂を形成する作物において、4～5 割の穂が出穂した時期を指す。

<参考文献>

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis (Summary for Policymakers)*, p.2, Cambridge University Press (2013)
- 2) 気象庁：気候変動監視レポート 2015, pp.21-26, 気象庁 (2015)
- 3) Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability (Summary for Policymakers)*, p.8, Cambridge University Press (2007)
- 4) 環境省：気候変動の影響への適応計画<<http://www.env.go.jp/press/files/jp/28593.pdf>>, 2017-03-01
- 5) 農林水産省：平成 27 年地球温暖化影響調査レポート<<http://www.maff.go.jp/j/seisan/kanky/ondanka/attach/pdf/index-3.pdf>>, 2016-12-24
- 6) 太田俊二, 武若聡, 亀井雅敏：気候変動適応策のデザイン, pp.12-17, クロスメディア・マーケティング (2015)
- 7) 若松謙一, 佐々木修, 田中明男：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), pp.476-482 (2009)
- 8) 大谷和彦, 吉田智彦：送風時期が水稲「白未熟粒」発生に及ぼす影響, 日本作物学会紀事, 77(4), pp.434-442 (2008)
- 9) 堀江武, 桜谷哲夫：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), pp.331-342 (1985)
- 10) J.Angus: A book review on 'Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia', *Field Crop Research*, 52, pp.286-287 (1997)
- 11) 林陽生, 鳥谷均, 後藤慎吉, 菅野洋光, 鄭英祥, 黄水鎮, 金海東：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), pp.117-125 (1999)
- 12) K.Tanaka, S.Managi, K.Kondo, K.Masuda and Y.Yamamoto: Potential climate effects on Japanese rice productivity, *Climate Change Economics*, 2(3), pp.237-255 (2012)
- 13) 河津俊作, 本間香貴, 堀江武, 白岩立彦：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), pp.423-432 (2007)
- 14) 下野裕之：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), pp.489-497 (2008)
- 15) 横沢正幸, 飯泉仁之直, 岡田将誌：気候変化がわが国におけるコメの収量変動に及ぼす影響の広域評価, 地球環境, 14, pp.199-205 (2009)

第二章 分析方法

本研究では、パネルデータ分析により、気象条件がコメの単収に及ぼす影響を推計する。分析に用いる気象条件は、月平均気温、月積算降水量、および月積算日射量である。次に、適応策の効果を明らかにするための分析を行う。本研究では適応策の中から、栽培時期の移行の効果を分析する。本研究では、全国の3309市町村のデータを用い、全国および全国を9つに区分した地域（北海道、東北、関東、北陸、東海、近畿、中国、四国、九州）を分析対象地とする。地域区分については、付録Aに詳細を掲載する。分析対象期間は、データ入手が可能な1993～2014年の22年間である。

2-1 パネルデータ分析のモデル

パネルデータ分析では、一般的に3つのモデルが提案されている。1つ目は、通常の実帰モデルにおけるように、式1のCは定数のパラメータであると仮定する固定効果モデルである。2つ目は、Cを主体ごとに独立な確率変数であると仮定する変量効果モデルである。3つ目は、説明変数や時間が特別に目的変数に関係なく独立していると仮定するプーリング推計モデルである。

3つのモデルの中で、どのモデルが分析に適切であるかは、検定により決定する。プーリング推計モデルと固定効果モデルの検定には、F検定を用いる。帰無仮説「固定効果モデルよりもプーリング推計モデルの方が適切」が棄却されると固定効果モデル、棄却されないとプーリング推計モデルが適切となる。プーリング推計モデルと変量効果モデルの検定には、Breusch-Pagan検定を行う。帰無仮説「変量効果モデルよりもプーリング推計モデルの方が適切」が棄却されると変量効果モデル、棄却されないとプーリング推計モデルが適切となる。そして、固定効果モデルと変量効果モデルの検定には、Hausman検定を行う。帰無仮説「固定効果モデルよりも変量効果モデルの方が適切」が棄却されると固定効果モデル、棄却されないと変量効果モデルが適切となる。

2-2 モデルと変数

本研究では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分析する。そのうえで、適応策の効果を明らかにする。分析には、統計解析ソフトRのplmパッケージを用いる。まず、分析に用いるモデルを構築した(式1)。

$$\begin{aligned} yield_{it} = & C_i + a1 \times temp_{it} + a2 \times (temp_{it})^2 \\ & + a3 \times preci_{it} + a4 \times sun_{it} + a5 \times \log(timetrend) + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (1)$$

yield: コメの単収 (kg/10a), temp: 5～9月の平均気温の平均値 (°C), preci: 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), timetrend: 1993年 = 1で、次年以降1ずつ増加するトレンド関数, C: 定数項, a1～a5: 係数, i: 市町村, t: 年, ε: 誤差項

本研究では、平均気温の自乗項を式に組み込む。これは、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。次に、分析に用いる気象条件の期間について述べる。農林水産省の栽培マニュアル¹⁾によると、地域によって多少差はあるがコメの栽培期間は5～9月の5ヵ月である。また、コメの栽培期間である5～9月すべてについてそれぞれ変数を入れると、変数のうち各月の平均気温間に相関関係が見られるため多重共線性になり得る。そこで本研究では、5～9月のそれぞれの気象条件の平均値を用いて分析する。

加えて、病気や害虫に耐性のある新品種の開発・改良等および自動車及び農機具類の技術の進歩による単収の増加が予想される。そこで本研究では杉本(2012)²⁾を参考に、1993年を1とし次年以降1ずつ増加するトレンド関数の対数を式に組み込む。

2-3 適応策の効果についての分析方法

適応策の効果を明らかにするために、まず地球温暖化による気象条件の変化がコメの単収に与える影響を分析する。背景で述べたように、ある程度の気温上昇であれば地球温暖化を引き起こす二酸化炭素濃度の上昇は施肥効果を持つ³⁾ため、中高緯度地域における農業生産性は向上する可能性がある。反対に、低緯度地域のほうが地球温暖化による影響を受けやすいと考えられる。そこで、本研究では緯度の異なる3つの地方から、それぞれ1県ずつ(青森県(東北地方)、奈良県(近畿地方)、宮崎県(九州地方))の市町村を分析に用いる。3県の分析結果を比較することで、各地方の気象条件の差異による影響と適応策の効果の差を示すことができる。将来の気象条件の推計に用いたのは、気候変動適応情報プラットフォーム⁴⁾のRCP2.6MIROC、RCP4.5MIROC、およびRCP8.5MIROCの3シナリオである。この3つのシナリオにおける2081～2100年の全国の温度上昇および降水量変化(基準期間は1981～2000年)は表2-1のとおりである。日照時間変化量については、気候変動適応情報プラットフォーム³⁾から得られないため、降水量を用いて回帰分析により推計した。また、実際には平均気温や降水量の変化は月により異なるが、気候変動適応情報プラットフォーム⁴⁾からはそのデータが得られないため、本研究ではすべての月で同じ変化をするものとした。3県各市町村の気象観測データを当てはめて推計した値と、将来の気象予測データを当てはめて推計した値を比較する。これにより、将来の気象条件がコメの単収にどのくらい影響を与えるかを示す。現在の気象条件がコメ生産に与える影響についての分析に使用した気象条件およびコメの単収データは、3県各市町村の1993～2014年の平均値である。ただし、トレンド関数は現在のコメ単収の推計には最新年である2014年の値、将来のコメ単収の推計には基準期間の2081～2100年の中央値である2090年の値を用いる。さらに適応策として、MIROCモデルによる将来の3県各市町村で1ヵ月前および1ヵ月後に栽培時期を移行した気象条件を用いて推計値の変化を分析した。

表 2-1 各シナリオによる将来における温度上昇および降水量変化

		RCP2.6MIROC	RCP4.5MIROC	RCP8.5MIROC
全国	気温 (°C)	2.00	2.80	4.80
	降水量(倍)	1.10	1.14	1.16
青森	気温 (°C)	2.00	3.00	5.00
	降水量(倍)	1.15	1.22	1.28
奈良	気温 (°C)	2.00	2.50	4.00
	降水量(倍)	1.10	1.00	1.06
宮崎	気温 (°C)	1.60	2.50	4.00
	降水量(倍)	1.06	1.02	1.10

2-4 データ

パネルデータ分析に用いるデータは、上述した式 1 に用いる各変数である。コメの単収は農林水産省^{5), 6)}、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⁷⁾より取得した。分析に用いるデータの期間は、1993～2014 年（22 年間）である。

次に、コメの収量データにおける市町村合併の扱いについて述べる。地方財政基盤の効率化等を目的とした合併により市町村数は年々減少している。1995 年度初頭には 3234 あった市町村数は、2016 年 10 月 10 日時点で 1718 まで減少している⁸⁾。本研究では、合併前と合併後の市町村を区別する。そのため、分析対象地は上述の 3309 市町村となる。1993～2014 年中に合併した市町村について、合併前は 1993 年～合併前年の各市町村の値、合併後は合併年～2014 年の新市町村の値を用いた。それぞれの地域の市町村数は、北海道（139）、東北（437）、関東（648）、北陸（243）、東海（357）、近畿（354）、中国（341）、四国（239）、九州（551）である。

上記データのうち、コメの収量データは市町村ごとに得られるが、気象データは気象庁の設置する気象観測地点ごとに得られる。そこで、各市町村の気象条件は、各市町村から最も近い距離にある気象観測地点とした。

本分析に用いる目的変数と説明変数の基本統計量は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 パネルデータ分析に用いる各変数の基本統計量

地域	変数名	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
	<i>temp</i>	11.90	29.00	21.99	2.31
	<i>preci</i>	42.70	912.60	193.04	86.98
	<i>Sun</i>	29.58	253.74	150.45	29.84
	<i>timetrend</i>	1.00	22.00	10.12	6.13
北海道	<i>Yield</i>	1.00	651.00	474.34	116.50
	<i>temp</i>	11.90	19.66	16.74	1.16
	<i>preci</i>	42.70	325.60	117.68	38.93
	<i>Sun</i>	80.12	204.42	149.53	22.37
	<i>timetrend</i>	1.00	22.00	11.43	6.31
東北	<i>Yield</i>	1.00	688.00	515.01	104.05
	<i>temp</i>	14.64	23.12	19.59	1.35
	<i>preci</i>	66.60	374.40	149.60	37.98
	<i>Sun</i>	58.04	217.18	140.77	25.30
	<i>timetrend</i>	1.00	22.00	10.30	6.16
関東	<i>Yield</i>	18.00	626.00	479.65	55.87
	<i>temp</i>	14.34	24.74	22.16	1.48
	<i>preci</i>	63.40	527.70	163.18	43.99
	<i>Sun</i>	57.86	219.76	139.40	30.61
	<i>timetrend</i>	1.00	22.00	10.51	6.20
北陸	<i>Yield</i>	131.00	612.00	506.31	48.25
	<i>temp</i>	18.50	24.44	22.00	0.96
	<i>preci</i>	63.80	401.00	178.55	49.14
	<i>Sun</i>	71.80	222.34	151.86	29.78
	<i>timetrend</i>	1.00	22.00	9.23	5.87
東海	<i>Yield</i>	1.00	587.00	480.19	43.42
	<i>temp</i>	18.12	25.36	23.25	1.32
	<i>preci</i>	92.30	731.20	218.94	76.38
	<i>Sun</i>	29.58	232.70	156.68	28.46
	<i>timetrend</i>	1.00	22.00	9.98	6.09
近畿	<i>Yield</i>	294.00	572.00	481.76	39.31
	<i>temp</i>	17.96	26.20	23.00	1.33
	<i>preci</i>	53.90	912.60	178.64	76.54
	<i>Sun</i>	65.16	238.38	152.88	30.41
	<i>timetrend</i>	1.00	22.00	10.45	6.19
中国	<i>Yield</i>	215.00	625.00	488.36	46.29
	<i>temp</i>	18.06	25.70	22.58	1.32
	<i>preci</i>	50.80	440.00	181.25	62.95
	<i>Sun</i>	75.50	245.04	156.79	30.49
	<i>timetrend</i>	1.00	22.00	9.04	5.85
四国	<i>Yield</i>	72.00	597.00	446.48	56.77
	<i>temp</i>	17.00	25.58	23.36	1.34
	<i>preci</i>	50.70	862.80	236.45	127.23
	<i>Sun</i>	77.42	249.22	163.12	30.48
	<i>timetrend</i>	1.00	22.00	9.68	6.08
九州	<i>Yield</i>	45.00	668.00	452.34	76.52

<i>temp</i>	18.98	29.00	23.90	1.34
<i>preci</i>	62.60	897.80	282.08	111.24
<i>Sun</i>	60.92	253.74	156.97	27.81
<i>timetrend</i>	1.00	22.00	9.88	6.03

<参考文献>

- 1) 農林水産省：多収米栽培マニュアル，農林水産省生産局農業生産支援課生産性向上企画第1班，pp.17-19 (2009)
- 2) 杉本賢二：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)，pp.493-497 (2012)
- 3) Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability (Summary for Policymakers)*, p.8, Cambridge University Press (2007)
- 4) 気候変動適応情報プラットフォーム：温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 <<http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/map/index.html>>，2017-01-06
- 5) 農林水産省：作物統計 <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityo_tyouki/index.html#a2>，2015-11-30
- 6) 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#c>，2017-02-10
- 7) 気象庁：各種データ・資料 <<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>>，2016-04-20
- 8) 総務省：市町村数の推移表（詳細版） <http://www.soumu.go.jp/main_content/000283329.pdf>，2016-12-16

第三章 分析結果および考察

本章では、気象条件がコメの単収に与える影響の分析結果とその考察を示す。

3-1 気象条件がコメの単収に及ぼす影響

気象条件がコメの単収に及ぼす影響を式 1 を用いて分析した。分析対象地を全国および 9 地域それぞれとした場合の分析において F 検定を行った結果、すべての分析で P 値が 2.2×10^{-16} であった。そのため、プーリング推計モデルより固定効果モデルが適切であると示された。次に、Hausman 検定を行った結果、同様にすべての分析で P 値が 2.2×10^{-16} であったため、変量効果モデルよりも固定効果モデルが適切であるという結果が得られた。以上の結果より、本分析には固定効果モデルを用いる。結果を、表 3-1 に示す。

表 3-1 コメの単収に対するパネルデータ分析の結果

地域	Temp	temp ²	preci	Sun	log(timetrend)	自由度 調整済み 決定係数
全国	289.13 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-6.23 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-0.17 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.35 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	10.98 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.43
北海道	646.45 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-17.39 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.42 ($1.9 \times 10^{-11***}$)	-0.82 ($1.8 \times 10^{-12***}$)	34.43 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.49
東北	718.28 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-17.25 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-0.30 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.51 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	13.83 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.54
関東	273.90 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-5.99 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-0.20 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.31 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	11.49 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.48
北陸	151.54 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-3.34 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-0.12 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.34 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	7.97 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.47
東海	144.48 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-2.79 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-0.12 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.20 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	9.25 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.54
近畿	101.51 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-2.10 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-0.09 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.36 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	9.78 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.50
中国	241.23 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-5.17 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-0.19 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.46 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	6.67 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.51
四国	31.20 ($1.6 \times 10^{-3**}$)	-0.55 ($1.2 \times 10^{-2*}$)	-0.10 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.42 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	8.32 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.42
九州	223.46 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-4.73 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	-0.16 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	0.82 ($2.2 \times 10^{-16***}$)	4.68 ($8.0 \times 10^{-10***}$)	0.36

注：表中の“*”は5%，“**”は1%，“***”は0.1%で有意であることを示す。カッコ内はP値を示す。

はじめに、分析対象地を全国の市町村とした場合の分析結果および考察を示す。表 3-1 に示すように、平均気温については 1 次の項が正、2 次の項が負で有意な結果となった。このことから、平均気温とコメの単収との関係は上に凸の 2 次関数であることが明らかになった。降水量については負で有意な結果となり、偏回帰係数は -0.17 であった。日照時間については正で有意な結果となり、偏回帰係数は 0.35 であった。トレンド関数の対数については、正で有意な結果となり偏回帰係数は 10.98 であった。

上記のように、平均気温とコメの単収との関係は上に凸の 2 次関数であることから、コメの単収が最も増加する平均気温の適温があることが示された。適温までは平均気温が高いほど単収は増加するが、適温を超えるとコメの単収は減少する。これは、高温の状況で

は、白未熟粒などのコメの高温障害が発生することを意味する。したがって、コメの安定的な単収の維持には、栽培時期の平均気温を適温に保つことが重要であることを示している。

降水量については、上記の結果より降水量が増加するほどコメの単収は減少することを示している。これは、梅雨および台風による水田の被害の影響が考えられる。水田が泥水に使って約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。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っ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為されなければ、コメの収量および品質の低下につながる。また、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等を行わなければ大きな被害につながる。さらに、耕運機、収穫機および乾燥機等の農業機械も水害にあうと、モーターやコンピュータが故障し、コメの品質の低下につながる可能性がある¹⁾。以上より、降水量とコメの単収の関係は、梅雨および台風による水害が影響していると考えられる。

日照時間については、上記の結果より日照時間が増加するほどコメの単収は増加することが明らかになった。小谷(2006)²⁾は、特定の品種の水稻の出穂前後で遮光処理を行い、日射量が収量および品質に与える影響を分析した。その結果、遮光処理を施した水稻は処理しない水稻に比べ、出穂前後のいずれにおいても収量および品質は減少・低下した。以上より、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。

本研究では、コメの単収と気象条件の関係について、平均気温は上に凸の2次相関、降水量は負、日照時間は正と示された。Tanaka et al. (2011)³⁾の分析においても、平均気温、平均気温の自乗項、降水量および日照時間の偏回帰係数は9.27, -0.70, -0.01, 0.08となり、それぞれの正負は本研究と一致した。しかし、自由度調整済み決定係数は0.93と本研究より大幅に高い。この理由として、モデルに気象条件以外の要素である作業時間・生産資本・面積・操業費を組み込んでいることが挙げられる。自由度調整済み決定係数については、次節で詳しく述べる。

次に、分析対象地を全国の9地域とした場合の分析結果および考察を示す。9地域すべてにおいて、平均気温の1次の項が正、2次の項が負で有意な結果となった。したがって、平均気温とコメの単収との関係は上に凸の2次関数であることが示された。そのなかでも、北海道および東北地方は他の地域に比べると、平均気温の2次の項の偏回帰係数の絶対値がそれぞれ17.39, 17.25と大きい。これは、上に凸の2次関数のグラフの開き具合が小さいことを表す。つまり、平均気温がコメの単収に与える影響が大きいということである。したがって、北海道および東北地域は他の地域よりもコメの単収は平均気温に大きく左右され得ると考えられる。そのため、将来の気温上昇の程度によって最も単収が増加する適

温を超えた場合、北海道および東北地方においては他の地域よりも大幅な単収の減少が予想される。これらの地域では、単収の減少を最小限にするために高温耐性品種を積極的に栽培するなどの対策が必要であると考えられる。

降水量については、北海道以外の 8 地域においては、偏回帰係数が負で有意な結果となった。したがって、これらの地域では、降水量が増加するほどコメの単収は減少することが示された。特に東北地方においては、8 地域のなかで降水量の偏回帰係数が-0.30 と最も小さいため、他の地域よりも降水量がコメの単収に与える負の影響が大きい。将来的に降水量は増加するとされている⁴⁾ことから、特に東北地方においては降水量の増加によるコメの単収の減少を防ぐため、徹底した水管理等が必要になると考えられる。反対に、9 地域のなかで北海道のみ、降水量の偏回帰係数が 0.42 と正で有意な結果となった。つまり、北海道においては降水量が増加するほどコメの単収は増加することが示された。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 2-1 によると全国の市町村の 5~9 月の平均降水量は 193.04mm であるのに対し、北海道の市町村の平均降水量は 117.68 であった。したがって、現在の北海道ではコメの生産に十分な降水量が確保されていないため、将来的に降水量が増加した場合、北海道のような降水量が少ない地域ではコメの単収が増加する可能性があると考えられる。

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で有意な結果となった。つまりこれらの地域では、日照時間が増加するほどコメの単収は増加することが示された。8 地域のなかで最も偏回帰係数が大きくなったのは 0.82 で九州地方であった。このことから、日照時間がコメの単収に与える正の影響が最も大きいのは、九州地方であることが明らかになった。反対に、偏回帰係数が最も小さくなったのは-0.82 で北海道であった。このことから北海道においては日照時間が大きくなるほどコメの単収は減少することが明らかになった。

分析結果より 3 つの気象条件が 9 地域のコメの単収に与える影響について総合的に考える。将来的に気温および降水量が上昇・増加し、日照時間が減少した場合⁴⁾、平均気温・降水量および日照時間の偏回帰係数がそれぞれ-17.25、-0.30、0.51 であることから、最も負の影響を受けるのは東北地方であると考えられる。横沢ら (2009)⁵⁾は、コメ収量が気候変化から受ける影響に対する適応策として、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を明らかにした。高温耐性品種の導入は気温の上昇によるコメ単収の減少を防ぐには効果的であるが、降水量および日照時間の変化には効果的ではない。一方、移植日の移動は高温になる時期を避けたり、降水量および日照時間の変化に応じて適切な時期にコメを栽培したりすることが可能になる。つまり、地球温暖化に対するコメの適応策として、高温耐性品種の導入は気温から受ける影響に対するものであり、移植日の移動は気温から受ける影響だけでなく、降水量および日照時間から受ける影響にも対応した適応策であるといえる。したがって、本研究の結果と合わせ

て考えると、東北地方で移植日の移動が効果的であるのは、気温の上昇だけでなく降水量および日照時間からも負の影響を受けるからであると考えられる。

3-2 自由度調整済み決定係数

本研究の自由度調整済み決定係数は 0.36~0.54 と低い値となった。類似の研究であり都道府県単位のデータでパネルデータ分析を行った Tanaka et al. (2011)³⁾では、自由度調整済み決定係数は 0.93 であった。本研究との自由度調整済み決定係数の差は、Tanaka et al. (2011)³⁾の分析においては気象条件以外の説明変数を用いて分析していることが原因であると考えられる。一般に、コメの単収に影響を受ける要素は気象条件のみではない。例えば耕作地規模の大きさである。農機具および農業機械を使用する際、耕作地規模の拡大に伴い農業機械の効率化が可能になる。そのため耕作地規模が大きいほど、コメの単収は増加すると考えられる。

また、本研究ではコメの単収と気象データとの対応について、各市町村の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。しかし、気象条件は、経度・緯度だけではなく標高も関係する。緯度・経度の情報だけではなく、標高の情報を考慮した各市町村の気象データを用いることは、式の当てはまりを良くすると考えられる。

加えて、コメの品種も単収に影響する。水田の有効活用および日本の食料自給力の向上を目的とした米粉用や飼料用などの新たな利用に対応した米（新規需要米）の生産が推進されている⁶⁾。しかし新規需要米は、主食用米に比べて低価格での供給が求められるため生産コストの大幅な削減が必要となる。そこで、農林水産省は多収米の普及を図るため、多収米の低コスト生産や品種の特性のポイントを取りまとめた「多収米栽培マニュアル」および「多収米品種パンフレット」を作成した。多収米品種は、2008 年産水稻平年収量（530kg）に比べ、大幅に高い収量（およそ 132~151%）が期待される。さらに、高温耐性品種などの地球温暖化を見越した品種開発・普及も進んでいる。将来気温が上昇すれば、従来品種よりも高温耐性品種の方が影響を受けにくいため、単収減少率は小さくなる。品種によって気温から受ける影響の大きさが違うことから、コメの単収推計には品種の差異も考慮すべきである。

以上のような、気象条件とコメの単収の対応の問題と、耕作地規模および品種などの他の要素が自由度調整済み決定係数に影響したと考えられる。

<参考文献>

- 1) 米穀安定供給確保支援機構：お米の Q&A <<http://www.komenet.jp/faq/sc16.html>> , 2016-12-26
- 2) 小谷俊之, 松村洋一, 黒田晃：出穂前後の遮光処理が水稻品種「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, pp.1-9 (2006)
- 3) K.Tanaka, S.Managi, K.Kondo, K.Masuda and Y.Yamamoto: Potential climate effects on Japanese rice productivity, *Climate Change Economics*, 2(3), pp.237-255 (2012)

- 4) 気候変動適応情報プラットフォーム：温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究
<<http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/map/index.html>>, 2017-01-06
- 5) 横沢正幸, 飯泉仁之直, 岡田将誌：気候変化がわが国におけるコメの収量変動に及ぼす影響の広域評価, 地球環境, 14, pp.199-205 (2009)
- 6) 農林水産省：多収米栽培マニュアル, 農林水産省生産局農業生産支援課生産性向上企画第1班, pp.17-19 (2009)

第四章 適応策

本章では、第三章における分析結果より、将来の気象条件がコメの単収に与える影響と適応策およびその効果について考察する。

4-1 主な適応策について

背景・論点でも述べたように日本の平均気温は年々上昇しており、約 1.16°C/100 年のペースで上昇している¹⁾。既に現れている温暖化影響に加え、今後中長期的に避けることのできない温暖化影響に対し、水資源・農林水産・国民の健康・自然生態系などのあらゆる分野において、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²⁾。

2015 年には、地球温暖化によるさまざまな影響に対し政府全体として整合のとれた取り組みを総合的かつ計画的に推進するため「気候変動の影響への適応計画」が閣議決定された³⁾。そのなかで、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・一等米比率の低下等）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。将来予測される影響としては全国の水稲の収量は、現在より 3°C を超える高温では北日本を除き減収することが予測されている。
- ・ 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。特に九州地方の一等米比率は、高温耐性品種への転換が進まない場合、2050 年頃におよそ 30%弱、2100 年頃にはおよそ 40%低下することを示す報告がある。
- ・ 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ほか、二酸化炭素濃度が高い条件下（2015 年時点の濃度から 200ppm 上昇）では、イネ紋枯病やイネいもち病などの発病の増加が予測された事例がある。

このような、地球温暖化がコメの生産に与える影響に対処するため、緩和策だけでなく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・普及の推進である。以前は、高温による品質低下が起こりにくい高温耐性を付与した品種の開発が主だった。しかし近年では、極端な高温年に収量の減少が多く確認されており、将来的には地球温暖化によるさらなる高温が見込まれることから、2015 年以降は収量減少に対応できる高温不稔^{注1)}に対する耐性を併せ持つ育種素材の開発に取り組んでいる。きぬむすめ、つや姫等の高温耐性品種の作付面積は最近 5 年間で毎年約 10,000ha ずつ増加しており、2015 年は約 87,000ha（対前年比 113%）となった¹⁾。これは、2010 年と比較して 2

倍以上の水準である。しかし、2015年において高温耐性品種の作付面積が全作付面積に占める割合は約6%とまだ小さい。高温耐性品種が十分普及していない理由としては、生産者と実需者ニーズとのミスマッチであるとされている²⁾。引き続き、実需者のニーズに合った形で高温耐性品種の作付面積の拡大を図るため、生産者、米卸売業者、および実需者が一体となった高温耐性品種の選定、導入実証、試食等による消費拡大の取組みが重要であると考えられる。

地球温暖化に対する適応策としての高温耐性品種の効果は顕著である。従来品種と比較し、高温耐性品種の方が高温下における品質低下の割合が小さいことが近年でも確認されている²⁾。高温であった2010年において、山形県では従来品種である「はえぬき」の1等米比率の前年比は-23%であったのに対し、高温耐性品種である「つや姫」は-1%であった。また新潟県では、同年、従来品種である「コシヒカリ」の1等米比率が前年比-69%であったのに対し、高温耐性品種である「ゆきん子舞」は-38%であった。また、同一品種であっても県別に着目すると、気象条件が類似した県の間で品質低下の割合に大きな差異が見られた(表4-1)。関東地方において、2010年産コシヒカリの1等米比率は、前年比-2%から-49%、北陸地方においても-6%から-69%と地域間で大きく異なる。このことから、気象条件による品質の低下は品種による気温感応差のみではなく、品種以外の栽培管理等の要因が複合的に影響し品質差が生じたと考えられる。以上より、高温障害の発生が顕著な地域や今後発生の増加が予想される地域において、より一層導入を進めると同時に、品種ごとに最適な栽培管理の模索を試みる必要がある。

表 4-1 コシヒカリの県別の1等米比率

	関東地方					北陸地方			
	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	新潟	富山	石川	福井
2009年 (%)	94	94	73	91	93	90	86	89	90
2010年 (%)	81	77	24	64	91	21	59	67	84
対前年 (ポイント)	-13	-17	-49	-27	-2	-69	-27	-22	-6

2 つめは、水管理の徹底である。コメの栽培において、安定した収穫量と品質の維持のためには、水管理が重要である³⁾。コメの栽培における水管理には、大別して出穂後の通水管理と中干しの2つが挙げられる。気温は土壌を介しても生育に影響し、地温が高くなると根の発達が抑制され土壌下層からの水分および養分吸収が抑制される。地温を下げるためには、水田に人工的に水を入れ適切な地温を保つ通水管理が必要となる。中干しは、田の水を落とし田面に軽く亀裂が入る程度に乾かす作業を指す⁴⁾。田植えの後は、田は常に水が湛えられた状態になっているため、稲にとって有害なガスおよび酸が発生し根の発育に悪影響を及ぼす。そのために田干しを行い、土の中の酸素を補給し有害ガスを放出する必要がある。中干しを行うと、土壌に空気が入ることで根が健全化され、土の中の微生物が死んで肥料になったり、過剰分蘖を抑制したりするなどの効果がある。

本研究の分析結果でも示されたように、8・9月の降水量が増加するほど、コメの単収は減少する。これは、台風などによる水害による影響であると考えられる。今後、地球温暖化が進めば、偏西風の位置の北上や冬型の気圧配置の弱まりによる降水頻度の増加や大気中の水蒸気量の増加による豪雨の増加が予想される⁵⁾。気候変動適応策情報プラットフォーム⁶⁾によると、1981～2000年を基準期間とした場合、2100年時点での気温の変化量が最も大きいRCP8.5MIROCシナリオでは、2100年の時点での全国の降水量は1.17倍にまで増加する。豪雨・降水の頻度および降水量の増加が起こると、降雨の影響でほ場が乾きにくく中干し期間が長期化する可能性がある。中干し期間が遅れると、出穂前に十分な根の量を確保できず栄養不良状態を招く。中干しは田植えから1ヵ月後から30日程度をめどに実施することが推奨されている⁶⁾。実際に2010年において、中干し終了が出穂1ヵ月前まで延びた地域では、新しい根の発生が抑制されコメの品質低下がみられた。以上のことから、地球温暖化が進んだ場合、水管理の徹底および予想される降水量増加への対応が必要である。

3つめは、栽培時期の移行である。本研究の分析結果でも示されたように、5～9月の平均気温とコメの単収の関係は上に凸の2次相関である。このことから、平均気温の適温までは平均気温が高いほど単収は増加するが、適温を超えるとコメの単収は減少する。これは、高温が続く状況下では、白未熟粒などのコメの高温障害が発生することを示している。この適応策として有効であるのが、出穂・登熟期が高温に遭遇することを回避する栽培時期の移行である。北陸地方において、移植時期を5月上旬から5月中旬に約10日遅くすることで、品質が向上することが示されている⁷⁾。また、移植栽培より初期生育が緩やかになる直播栽培の導入により、出穂期を遅らせることで、コメの高温障害を抑制する取組みも行われている。しかし2010年においては、出穂期が想定より早まったうえに夏の後半に高温が続き登熟期間の高温遭遇を回避できず、効果が十分にみられなかった地域が半数に上った。以上のことから、地球温暖化が進んだ場合にコメの安定的な供給を図る適応策としての栽培時期の移行は、気象条件と合わせて最適な移行期間を見極めること、同時に移行した際にコメの単収の増加量の予測が重要になると考えられる。

これら3つの地球温暖化が与える影響に対するコメの適応策のうち、本研究では栽培時期の移行についての効果を検証する。

4-2 将来の気象条件がコメの単収に与える影響と適応策の効果

地球温暖化が進んだ場合の適応策として栽培時期の移行がどの程度の効果を持つのかを、青森県・奈良県・宮崎県の3県を対象に分析した。まず、将来の気象条件がコメの単収にどのような影響を与えるかを分析する。次に、栽培時期の移行の効果を明らかにする。

4-2-1 将来の気象条件がコメの単収に与える影響について

まず、将来の気象条件がコメの単収に与える影響を分析する。日照時間変化量を推計するため、3 県について日照時間の対数を目的変数、降水量の対数を説明変数として単回帰分析を行った。その結果を図 4-1 に示す。

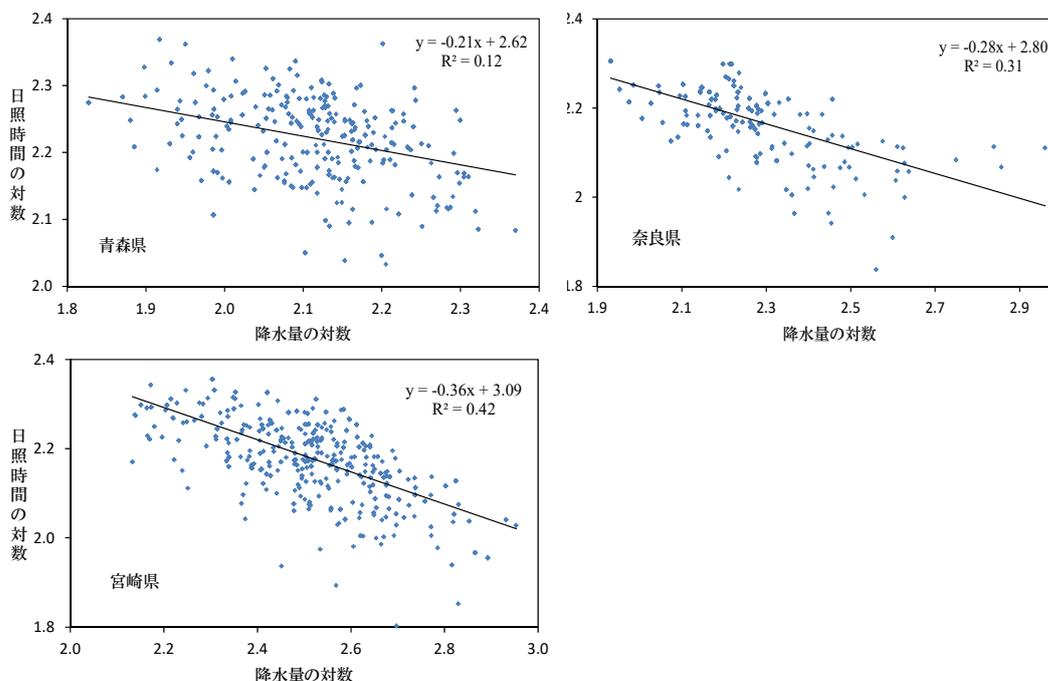


図 4-1 青森・奈良・宮崎県における降水量と日照時間の散布図と単回帰分析の結果

3 県の回帰分析の結果から推計した将来における 3 県の日照時間変化量を表 4-2 に示す。それぞれのパネルデータ分析の結果に、3 県の各市町村の気象観測データを当てはめて推計した値と、将来の気象予測データを当てはめて推計した値を比較することにより、将来の気象条件がコメの単収にどのくらい影響を与えるかを推計した。その結果の一部を表 4-3、詳細を付録 B に示す。

表 4-2 回帰分析結果より推計した将来における 3 県の日照時間変化量 (%)

	RCP2.6MIROC	RCP4.5MIROC	RCP8.5MIROC
青森県	-0.24	-0.26	-0.27
奈良県	-0.31	-0.28	-0.30
宮崎県	-0.38	-0.37	-0.40

表 4-3 3 県における将来（適応なし・あり）のコメの単収変化率（％）

市町村	単収	適応策なし			適応策あり	
		RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5(1ヵ月前)	RCP 8.5(1ヵ月後)
十和田湖町	450.30	3.10	4.11	4.48	4.08	4.48
青森県 平川市	614.22	0.23	-0.19	-2.51	0.12	-2.37
青森県 山添村	478.29	-1.14	-1.24	-2.54	-1.90	-2.40
奈良県 榛原町	476.82	0.99	1.34	1.47	1.64	1.51
奈良県 清武町	440.00	-0.42	-1.30	-3.89	-1.72	-3.76
宮崎県 日南市	436.00	-0.25	-1.14	-3.74	-1.25	-3.91
宮崎県 宮崎県	453.97	1.70	1.21	-0.80	0.66	-0.76

分析結果から、将来的に気温が全国で2.0℃上昇するRCP2.6MIROCシナリオによると、青森県における各市の将来のコメの単収は全ての市町村において増加する傾向にあることが示された。コメの単収の増加率には幅があり、最も大きい市町村は十和田湖町で、単収はおよそ3.1%増加した。増加率が最も小さいのは平川市でおよそ0.23%増加した。また、気温が全国で2.8℃上昇するRCP4.5MIROCシナリオの場合、青森県における各市町村の将来のコメの単収はほぼ全ての市町村で増加することが明らかになった。一方、単収が減少する市町村は、青森市と平川市の2市で、減少率はそれぞれ-0.11%、-0.19%である。さらに、気温が全国で4.8℃上昇するRCP8.5MIROCシナリオによると、青森県における各市町村の将来のコメの単収は、青森県全体では0.07%増加するが71市町村のうち34の市町村で減少する。最も減少率が大きかった市は平川市で-2.51%であった。したがって、青森県ではRCP8.5MIROCシナリオにより将来的に気温5.0℃が上昇し、降水量が1.28倍に増加し、日照時間が0.27倍分減少した場合には、県の約半数の市町村でコメの単収は減少し、適応策が特に必要になる。

同様に奈良県においては、RCP2.6MIROCシナリオによると、46のうち30の市町村でコメの単収が減少する。最も減少率が大きいのは山添村で-1.14%、反対に最も増加率が大きいのは榛原町で0.99%であった。奈良県全体での変化量は-0.42%となった。また、RCP4.5MIROCシナリオにおいては、30の市町村でコメの単収は減少し、奈良県全体の変化量は-0.39%となった。さらにRCP8.5MIROCシナリオによると、奈良県のほぼすべての市町村でコメの単収は減少し、奈良県全体の変化量は-1.25%となり、最も減少率が大きい市町村は山添村で-2.54%である。したがって、奈良県では、RCP8.5MIROCシナリオにより将来的に気温が4.0℃上昇し、降水量が1.06倍に増加し、日照時間が-0.3倍分減少した場合、ほぼ全ての市町村で適応策が必要になる。

宮崎県においては、RCP2.6MIROCシナリオでは、45のうち10の市町でコメの単収は減少し、それ以外では増加するという結果になった。コメの減少が推計された市町村は10市町でその減少率は-0.42～-0.02%であった。RCP4.5MIROCシナリオでは、20の市町村で単収が減少する。最も減少率が大きいのは清武市で-1.30%である。さらに、RCP8.5MIROC

シナリオでは宮崎県の半数以上である 30 の市町村で減少し、清武市が-3.89%で減少率が最も大きい。したがって、宮崎県では RCP8.5MIROC シナリオにより将来的に気温が 4°C 上昇し、降水量が 1.1 倍増加し、日照時間が 0.4 倍分減少した場合に適応策が必要になると考えられる。

県内でのこれらの差には、それぞれの市町村の降水量の大小が関係していると考えられる。第三章の分析でも示されたように、降水量が増加するほどコメの単収は減少する。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多い市町村の将来のコメの単収は、減少幅が大きくなったと考えられる。反対に、現在の降水量と日照時間が少ない市町村ではコメの単収の減少率が小さくなった。

4-2-2 栽培時期の移行の効果について

4-2-1 の分析より青森県では、RCP2.6 MIROC および RCP 4.5MIROC シナリオにおいてはほぼ全ての市町村において地球温暖化の影響により増加するという結果になった。しかし、RCP8.5MIROC シナリオにおいては約半数の市町村でコメの単収は減少することが明らかになった。また奈良県および宮崎県では、3 つのシナリオすべてにおいていずれかの市町村においてコメ単収の減少が推計されたが、RCP8.5MIROC シナリオではコメの単収の減少率が最も大きく、各県の半数以上の市町村で減少することが明らかになった。そこで、RCP8.5MIROC による将来の 3 県各市町村で 1 ヶ月前および 1 ヶ月後に栽培時期を移行した気象条件を用いて推計値の変化を分析した。その結果を表 4-3 に示す。

栽培時期を 1 ヶ月前に移行した場合、青森県の全ての市町村においてコメの平均単収は現在と比べて増加し、その増加率は 0.12~4.08%であることが明らかになった。同様に栽培時期を 1 ヶ月後に移行した場合は 33 の市町村でコメの単収が現在と比べて減少するという結果になった。このことから、青森県においては 1 ヶ月栽培時期を遅くする場合よりも 1 ヶ月早めた場合のほうが、地球温暖化による気候変動の適応策として効果的であることが示された。

同様に奈良県で栽培時期を 1 ヶ月前に移行すると、コメの単収は 48 のうち 21 の市町村で現在と比べて減少することが推計された。さらに栽培時期を 1 ヶ月後に移行すると、30 の市町村で現在と比べて減少するという結果になった。しかし奈良県全体でみると、1 ヶ月前に移行した場合の減少率は-0.15%、1 ヶ月後に移行した場合の減少率は-1.14%となり、いずれも移行前の減少率である-1.25%よりも減少の幅が小さくなっている。ほとんどの地域では、栽培時期の移行を行った方が行わないよりもコメの単収は増加するか、あるいは減少の幅が小さくなっている。しかし、宇陀市・葛城市などの 4 市町村では、減収の幅が大きくなるか増収の幅が小さくなると推計された。

宮崎県で栽培時期を 1 ヶ月前に移行した場合、45 のうち 22 の市町村でコメの単収が現在と比べて減少することが明らかになった。さらに栽培時期を 1 ヶ月後に移行した場合は

31 の市町村でコメの単収は現在と比べて減少することが示された。しかし宮崎県全体で見ると、1 ヶ月前および後に移行した場合の変化率はそれぞれ 0.66%、-0.76%となり、いずれも移行前の減少率である-0.8%よりも減少の幅が小さくなっている。さらに市町村別にみると、1 ヶ月前に移行した場合は 43、1 ヶ月後に移行した場合は 32 の市町村で、コメ単収は増収あるいは減少の幅が小さくなった。

以上のことから本研究では、日本のなかでも青森県のような緯度が高い東北地域などでは、地球温暖化がコメの単収に与える影響に対する適応策として、栽培時期を1 ヶ月繰り上げるとは、移行することで移行前より単収が減少する地域もあるが、全ての市町村で現在の単収を維持することができるという結果になった。また、栽培時期の前後1 ヶ月の移行は県全体では効果的な場合もあるが、すべての市町村で効果的であるとは限らない。この理由としては、地域による平均気温の差が挙げられる。青森県が属する東北地方の5～9月の平均気温は19.59℃である（表2-1参照）。一方、奈良県が属する近畿地方、宮崎県が属する九州地方の5～9月の平均気温はそれぞれ23.00℃・23.90℃である。気温が低い地域では栽培時期を移行することによって、地球温暖化による高温時期と栽培時期が重なることを防ぐことができる。しかし気温が高い地域で栽培時期を移行した場合、移行後の平均気温も高いため栽培時期に高温になる。したがって、栽培時期の気温が適温を超え、移行による効果がみられなかったと言える。このような平均気温の高い地域では、品種の改良および選定などの他の適応策を行う必要があると考えられる。

さらに地域によっては移行することで減少の幅は小さくなるが、減収自体は回避できず単収を維持することができない場合も見られた。このことから、適応策としての栽培時期の移行の効果には限界があり、他の適応策も併せて行う必要があると考えられる。

[注]

1) 開花時の高温により受精が阻害され、子実にてんぷんが蓄積しないこと。

<参考文献>

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート2015，pp.21-26，気象庁（2015）
- 2) 気象庁：日本の気候変動とその影響，p.59，気象庁（2013）
- 3) 環境省：気候変動の影響への適応計画<<http://www.env.go.jp/press/files/jp/28593.pdf>>，2017-03-01
- 4) 全国農業協同組合連合会：土壌肥料用語集<http://www.zennoh.or.jp/activity/hiryo_sehi/yougosyu.html>，2016-12-27
- 5) 農林水産省：地球温暖化影響調査レポート<http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/pdf/h22_tekiou_gijyutu_report.pdf>，2016-12-24
- 6) 気候変動適応情報プラットフォーム：温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究

<<http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/map/index.html>>, 2017-01-06

7) 黒田克利：最近 10 年間における水稲病害の研究と防除の動向，関西病虫研報，50，pp.11-14 (2008)

第五章 結論

5-1 本論文のまとめ

本研究では、気象条件がコメの単収に与える影響を分析した。さらに、分析結果より適応策の効果について明らかにした。

1993～2014年の全国3309市町村のデータを用いたパネルデータ分析により、全国および全国を9つに区分した地域（北海道、東北、関東、北陸、東海、近畿、中国、四国、九州）において、気象条件がコメの単収に与える影響を分析した。推定式の目的変数はコメの単収とし、説明変数は5～9月の月平均気温およびその自乗項・月平均降水量・月平均日照時間、およびトレンド関数とした。

分析の結果、全国および9つのすべての地域において全説明変数が有意となり、以下の3点が明らかとなった。①平均気温が高くなるほどコメの単収は増加するがある適温を超えるとコメの単収は減少する。②降水量が増加するとコメの単収は減少する。③日照時間が増加すると、コメの単収は増加する。また、北海道および東北地方は他の地域と比較すると、平均気温がコメの単収に与える影響が大きいことが示された。さらに、特に東北地方は他地域よりも降水量がコメの単収に与える負の影響が大きいことが推計された。反対に、北海道においてはコメの単収が降水量から受ける影響は正であった。日照時間については、コメの単収に与える正の影響が最も大きいのは九州地方である。

適応策の分析については、分析対象地を青森県（東北地方）、奈良県（近畿地方）、宮崎県（九州地方）の各市町村を分析対象地とした。将来のコメ単収の推計には、MIROCモデルにより計算された二酸化炭素濃度の異なる3つのシナリオ（RCP2.6・4.5・8.5）を使用した。日照時間変化量については、気候変動適応情報プラットフォーム³⁾から得られなかったため、降水量を用いて回帰分析により推計した。3県各市町村の気象観測データを当てはめて推計した値と、将来の気象予測データを当てはめて推計した値を比較する。これにより、将来の気象条件がコメの単収にどのくらい影響を与えるかを示す。使用した気象条件およびコメの単収データは3県各市町村の1993～2014年の平均値である。

その結果、青森県ではRCP2.6 MIROCおよびRCP4.5 MIROCシナリオにおいてはほぼ全ての市町村において地球温暖化の影響により単収が増加するという結果になった。しかし、RCP8.5 MIROCシナリオにおいては約半数の市町村でコメの単収は減少する。奈良県および宮崎県においては、RCP2.6 MIROCおよびRCP4.5 MIROCシナリオでもコメの単収の減少は推計されたが、RCP8.5 MIROCシナリオでは半数以上の市町村で減少することが明らかになった。

そこで適応策として、RCP8.5 MIROCによる将来の3県各市町村で1ヵ月前および1ヵ月後に栽培時期を移行した気象条件を用いて推計した値の変化を分析した。その結果、青森県においては1ヵ月栽培時期を遅くする場合よりも1ヵ月早めた場合のほうが、地球温暖化による気候変動の適応策として効果的であることが示された。一方奈良県および宮崎県においては、県全体では単収は増加するがある地域では減収する場合や、地域によって

は移行することで減少の幅は小さくなるが、減収自体は回避できず単収を維持することができない場合も見られた。したがって、栽培時期の移行の効果には限界があり、他の適応策も併せて行う必要があると考えられる。

5-2 結論

以上の分析より、将来的に気温上昇が進みコメの単収が最も多くなる適温を超えると、コメの単収は減少すると予測される。また、降水量が増加し、日照時間が減少すると予測されている将来においては、気象条件がコメの単収に与える影響は負であることが示された。地域別にみると、地球温暖化から最も大きい負の影響を受けるのは東北地方であり、気温の上昇だけでなく降水量の増加および日照時間の減少からも負の影響を受けることが推計された。適応策の効果については、将来の青森県の全ての市町村では栽培時期を遅らせるより早める方がコメ単収の維持には効果的であると示された。栽培時期の移行によってより適温に近い時期に稲が出穂するような対策は、今後安定的なコメの供給には必要であると考えられる。また奈良県および宮崎県では栽培時期の移行は地域によっては効果的だったものの、全ての市町村では効果的であるという結果にならなかったことから、このような地域では品種の改良および選定などの他の適応策も併せて行う必要がある。

5-3 今後の課題

本研究では自由度調整済み決定係数の低さから、コメの単収に影響を与えるのは気象条件のみではないことが明らかになった。本分析ではコメの単収に対する気象条件による影響のみを見たが、正確なコメの将来の単収を推計するならば、品種間の違いや投入肥料量等を考慮してモデルに組み込むべきである。本研究においても、気象条件以外のその他の要素をモデルに組み込んだ分析を試みた。しかし、それらは県単位のデータしか手に入らなかった。コメの単収に影響を与えるその他の要素のデータが、市町村単位で入手可能になれば、より正確なコメの将来の単収を推計することが出来ると考えられる。

また、本研究では、将来の気象条件について各市町村のどの地域も平均気温は一律に上昇し、降水量は増加し、それに基づいて日照時間が減少することを推計した。しかし実際は、それぞれの地形などによって気温の上昇率および降水量・日照時間の増加率の度合いにはばらつきがあると考えられる。実際の気象観測データからそれぞれの地域の気象の変化の推移を把握したうえで、それを用いて将来の気象条件を推計すればより実際に近いコメの単収の変化の推計が可能であると考えられる。

さらに、現在と気候変動が進んだ場合の間には、気象条件がコメに与える影響にも差が出てくると考えられる。岡田（2009）ら¹⁾は九州におけるコメ品質について分析し、イネが高温環境下におかれるほど寡照環境になることから、気候変化による影響を受けやすいことを示した。今後は、現在と将来での気象条件から受ける影響の違いに着目して分析する必要があると考えられる。

<参考文献>

- 1) 岡田将誌, 飯泉仁之直, 林陽生, 横沢正幸 : 水稻品質の近年の低下傾向に関する気候学的考察, 農業気象, 65(4), pp.327-337 (2009)

謝辞

本論文を締めくくるにあたり、熱心にご指導してくださいました松本健一先生に心より感謝いたします。4回生から、先生と離れたなかで論文に取り組むことに対して、不安に思うことも多々ありました。しかし先生は、出張でお忙しいときでも迅速に対応してくださったり、パソコン操作や分析ツールについて知識が乏しい私の相談に応じてくださったりと、私達ゼミ生と研究に対して真剣に向き合ってくださいました。先生にご指導賜ったことを誇りに思います。教わった多くのことを忘れず、今後に生かしたいと思います。

また、査読を担当していただいた村上先生には、大変お世話になりました。先生はお忙しいなか、最終発表前の残りわずかな時間でさえも、相談させていただく時間をとって下さりました。丁寧にご指導していただけましたことを深く感謝しております。

唯一の同じ研究室生である生田さんには、研究のことだけではなく色々なお話を聞いてもらいました。それが私の気分転換であり、ひとりだったら乗り越えられなかったかもしれないと思うほどです。生田さんと同じゼミになれたことを、本当に嬉しく思います。ありがとうございました。

提出の際には、自分の計画性の無さ・不手際により多くの方々にご迷惑をおかけし、大変反省しております。たくさんの先生方や友達に助けもらったことに、心より深く感謝いたします。

最後に、これまで私を育て、4年間大学に通わせてくれた家族には心から感謝しています。大学生活の4年間で学んだことを無駄にせず、これからも努力して参ります。

本当にありがとうございました。

高木 三水珠

付 録

付 録 目 次

付録 A	全国を区分した 9 つの地域	2
付録 B	青森県, 奈良県および宮崎県の各市町村において地球温暖化がコメの単収に与える影響とその適応策の効果についての分析結果	3
付録 C	参考 Web ページの引用	7

付録 A 全国を区分した 9 つの地域

全国を区分した 9 つの地域の内訳を表 A1 に示す。

表 A1 全国を区分した 9 つの地域

地方	都道府県
北海道	北海道
東北	青森, 岩手, 宮城, 秋田, 山形, 福島
関東	茨城, 栃木, 群馬, 長野, 山梨, 埼玉, 千葉, 東京, 神奈川
北陸	新潟, 富山, 石川, 福井
東海	静岡, 岐阜, 愛知, 三重
近畿	滋賀, 京都, 奈良, 大阪, 兵庫, 和歌山
中国	鳥取, 島根, 岡山, 広島, 山口
四国	徳島, 香川, 愛媛, 高知
九州	福岡, 佐賀, 長崎, 大分, 熊本, 宮崎, 鹿児島, 沖縄

付録 B 青森県、奈良県および宮崎県の各市町村において地球温暖化がコメの単収に与える影響とその適応策の効果についての分析結果

表 B1 青森県の各市町村においての地球温暖化がコメの単収に与える影響とその適応策についての分析結果

市町村名	yield	適応策なし			適応策あり	
		RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5(1カ月前)	RCP 8.5(1カ月後)
青森県	506.03	1.28	1.39	0.07	1.55	0.00
おいらせ町	544.44	1.21	1.28	-0.10	1.43	-0.36
つがる市	636.27	0.81	0.70	-1.05	0.92	-1.42
むつ市	416.90	1.71	2.02	1.12	2.16	0.95
稲垣村	556.78	1.34	1.48	0.22	1.66	0.12
横浜町	468.90	2.33	2.95	2.62	3.03	2.45
下田町	493.00	1.26	1.36	0.00	1.61	0.00
蟹田町	440.89	1.74	2.07	1.19	2.18	1.17
階上町	473.10	0.98	0.95	-0.64	1.16	-0.76
外ヶ浜町	499.73	1.49	1.70	0.60	1.80	0.39
岩崎村	462.11	0.85	0.76	-0.95	0.85	-1.09
岩木町	560.10	0.59	0.36	-1.61	0.53	-1.69
金木町	540.11	1.34	1.48	0.22	1.66	0.12
五戸町	523.33	1.08	1.09	-0.41	1.29	-0.55
五所川原市	617.81	1.05	1.04	-0.50	1.23	-0.75
弘前市	592.65	0.45	0.17	-1.92	0.39	-2.12
黒石市	602.60	0.42	0.08	-2.07	0.33	-1.86
今別町	465.05	1.82	2.20	1.41	2.28	1.26
佐井村	382.55	1.83	2.21	1.43	2.34	1.25
三戸町	514.85	2.64	3.43	3.40	3.33	3.35
三沢市	469.45	1.31	1.42	0.12	1.64	-0.02
市浦村	452.11	1.43	1.61	0.43	1.72	0.29
七戸町	475.55	0.38	0.04	-2.13	0.32	-2.27
車力村	557.43	1.46	1.63	0.47	1.76	0.35
十和田湖町	450.30	3.10	4.11	4.48	4.08	4.48
十和田市	514.25	2.64	3.43	3.40	3.33	3.35
小泊村	398.50	1.36	1.50	0.25	1.67	0.15
上北町	410.44	1.74	2.06	1.14	2.27	1.11
常盤村	619.30	0.53	0.23	-1.84	0.38	-1.54
新郷村	509.52	2.61	3.39	3.33	3.30	3.29
森田村	576.33	1.43	1.60	0.41	1.75	0.33
深浦町	491.05	0.48	0.22	-1.84	0.42	-2.04
西目屋村	523.68	0.48	0.22	-1.84	0.42	-2.04
青森市	578.10	0.28	-0.11	-2.36	0.20	-2.52
川内町	389.00	2.03	2.52	1.92	2.69	1.86
倉石村	451.78	1.38	1.54	0.34	1.73	0.34
相馬村	539.40	0.71	0.55	-1.30	0.70	-1.36
大間町	393.86	1.73	2.06	1.19	2.20	1.02
大畑町	302.67	1.97	2.41	1.75	2.63	1.68

大鰐町	536.48	0.45	0.13	-2.00	0.36	-1.79
中泊町	626.36	0.81	0.70	-1.05	0.92	-1.42
中里町	550.00	1.46	1.64	0.48	1.77	0.37
鶴田町	624.90	1.09	1.10	-0.39	1.28	-0.65
碓ヶ関村	481.42	0.64	0.39	-1.58	0.53	-1.25
天間林村	454.33	0.49	0.20	-1.87	0.44	-1.85
田子町	503.90	2.64	3.43	3.39	3.34	3.35
田舎館村	608.86	0.46	0.14	-1.97	0.36	-1.76
東通村	396.50	2.64	3.42	3.38	3.40	3.15
東北町	465.30	1.42	1.59	0.40	1.77	0.24
藤崎町	621.29	0.37	0.00	-2.21	0.23	-1.99
南郷村	482.10	1.20	1.29	-0.08	1.50	-0.07
南部町	521.58	0.94	0.88	-0.75	1.11	-0.83
柏村	583.33	1.73	2.05	1.15	2.12	1.01
八戸市	514.25	1.00	0.98	-0.59	1.20	-0.73
板柳町	608.32	0.46	0.14	-1.97	0.36	-1.76
尾上町	588.40	0.54	0.26	-1.80	0.44	-1.42
百石町	425.67	1.44	1.61	0.41	1.85	0.41
風間浦村	312.09	1.73	2.06	1.19	2.20	1.02
福地村	538.80	1.17	1.22	-0.19	1.42	-0.17
平賀町	585.58	0.64	0.39	-1.58	0.53	-1.25
平館村	377.73	1.94	2.37	1.67	2.49	1.64
平川市	614.22	0.23	-0.19	-2.51	0.12	-2.37
平内町	460.82	0.38	0.04	-2.13	0.32	-2.27
蓬田村	527.95	1.77	2.12	1.26	2.20	1.14
名川町	526.18	1.05	1.05	-0.48	1.28	-0.43
木造町	591.80	1.37	1.51	0.26	1.64	0.14
野辺地町	454.91	2.27	2.85	2.46	2.94	2.29
浪岡町	570.50	0.51	0.24	-1.80	0.49	-1.75
六ヶ所村	427.55	2.38	3.02	2.74	3.10	2.54
六戸町	522.15	1.35	1.49	0.22	1.69	0.07
脇野沢村	358.40	1.96	2.40	1.73	2.61	1.68
鱒ヶ沢町	572.41	0.48	0.22	-1.84	0.42	-2.04

表 B2 奈良県の各市町村においての地球温暖化がコメの単収に与える影響と
その適応策についての分析結果

市町村名	yield	適応策なし			適応策あり	
		RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5 (1 ヶ月前)	RCP 8.5 (1 ヶ月後)
奈良県	476.26	-0.42	-0.39	-1.25	-0.15	-1.14
安堵町	520.77	-1.06	-1.16	-2.41	-1.71	-2.28
宇陀市	492.30	0.15	0.34	-0.06	0.09	-0.27
王寺町	502.38	-1.05	-1.15	-2.40	-1.75	-2.26
下市町	452.85	-0.68	-0.72	-1.77	-0.98	-1.60
下北山村	380.85	0.63	0.84	0.58	6.60	0.44
河合町	502.38	-1.02	-1.11	-2.34	-1.52	-2.20
橿原市	520.29	-0.77	-0.84	-1.96	-1.12	-1.74
葛城市	521.45	-0.70	-0.71	-1.72	-1.30	-1.74
吉野町	450.55	0.27	0.46	0.10	0.50	0.07
月ヶ瀬村	462.55	-0.99	-1.08	-2.29	-1.49	-2.00
五條市	477.29	-0.68	-0.72	-1.79	-0.90	-1.57
御所市	503.45	-0.75	-0.81	-1.92	-0.97	-1.70
御杖村	448.05	0.82	1.15	1.20	1.21	1.12
広陵町	514.50	-1.06	-1.16	-2.41	-1.71	-2.28
香芝市	501.55	-1.08	-1.18	-2.44	-1.69	-2.33
高取町	496.33	-0.68	-0.72	-1.79	-0.90	-1.57
黒滝村	389.86	-0.70	-0.75	-1.84	-0.92	-1.62
桜井市	500.86	0.30	0.50	0.15	0.57	0.14
三郷町	496.86	-1.08	-1.18	-2.45	-1.80	-2.33
三宅町	519.52	-1.02	-1.11	-2.34	-1.52	-2.20
山添村	478.29	-1.14	-1.24	-2.54	-1.90	-2.40
室生村	456.60	0.94	1.28	1.39	1.55	1.41
十津川村	389.59	0.50	0.64	0.20	5.40	0.25
上牧町	500.86	-1.04	-1.14	-2.39	-1.63	-2.26
新庄町	498.80	-0.65	-0.73	-1.86	-0.45	-1.39
榛原町	476.82	0.99	1.34	1.47	1.64	1.51
生駒市	501.48	-1.14	-1.24	-2.54	-1.90	-2.40
西吉野村	383.67	-0.69	-0.78	-1.92	-0.35	-1.48
川西町	519.71	-1.08	-1.18	-2.45	-1.71	-2.31
曾爾村	450.57	0.79	1.12	1.15	1.13	1.04
大宇陀町	472.00	0.50	0.71	0.43	1.22	0.61
大淀町	472.90	0.06	0.20	-0.31	0.06	-0.28
大和郡山市	520.55	-1.08	-1.18	-2.44	-1.69	-2.33
大和高田市	517.14	-0.70	-0.75	-1.84	-0.92	-1.62
天川村	373.25	0.70	0.92	0.69	6.58	0.60
天理市	507.57	-1.05	-1.15	-2.40	-1.75	-2.26
田原本町	524.15	-1.07	-1.16	-2.42	-1.80	-2.31
菟田野町	470.64	0.92	1.25	1.33	1.72	1.38
都祁村	478.73	-1.05	-1.14	-2.40	-1.64	-2.13
東吉野村	391.86	0.23	0.42	0.03	0.37	0.03
奈良市	501.64	-1.06	-1.16	-2.41	-1.71	-2.28
斑鳩町	519.57	-1.09	-1.19	-2.46	-1.78	-2.33

平群町	495.40	-1.03	-1.12	-2.36	-1.53	-2.26
明日香村	497.00	0.31	0.51	0.16	0.62	0.16
野迫川村	359.30	0.50	0.64	0.22	5.22	0.25
當麻町	495.11	-0.72	-0.83	-2.03	-0.37	-1.58

表 B3 宮崎県の各市町村においての地球温暖化がコメの単収に与える影響と
その適応策についての分析結果

市町村名	yield	適応策なし			適応策あり	
		RCP2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5 (1 ヶ月前)	RCP 8.5 (1 ヶ月後)
宮崎県	453.97	1.70	1.21	-0.80	0.66	-0.76
えびの市	522.60	2.55	2.18	0.29	1.77	0.26
綾町	446.41	0.04	-0.82	-3.39	-1.23	-3.32
延岡市	456.30	0.00	-0.58	-2.65	-1.02	-2.53
宮崎市	448.52	0.03	-0.82	-3.39	-1.22	-3.33
串間市	448.70	-0.03	-0.78	-3.12	-0.89	-3.24
五ヶ瀬町	490.50	3.65	4.09	3.63	3.25	3.64
高岡町	443.20	0.25	-0.59	-3.16	-1.01	-3.11
高原町	491.00	2.30	1.89	-0.02	1.47	-0.06
高崎町	514.00	1.10	0.49	-1.70	0.10	-1.62
高城町	493.67	1.39	0.81	-1.36	0.42	-1.26
高千穂町	499.32	2.78	2.80	1.65	1.91	1.83
高鍋町	461.60	-0.13	-0.89	-3.27	-1.18	-3.28
国富町	449.50	0.04	-0.82	-3.39	-1.23	-3.32
佐土原町	441.60	0.01	-0.88	-3.51	-1.42	-3.28
三股町	498.65	1.27	0.65	-1.57	0.32	-1.53
山田町	512.91	0.98	0.39	-1.77	0.08	-1.60
山之口町	498.18	1.47	0.89	-1.27	0.54	-1.19
諸塚村	408.41	3.68	4.11	3.64	3.28	3.67
小林市	507.80	1.93	1.51	-0.41	1.17	-0.44
新富町	463.00	0.02	-0.73	-3.10	-0.97	-3.18
須木村	434.80	2.42	2.01	0.11	1.55	0.25
清武町	440.00	-0.42	-1.30	-3.89	-1.72	-3.76
西郷村	411.25	6.16	6.10	4.54	4.81	4.70
西都市	444.52	1.11	0.40	-1.95	0.06	-1.96
西米良村	384.95	4.51	4.30	2.67	3.55	2.72
川南町	467.35	-0.02	-0.79	-3.18	-1.08	-3.20
椎葉村	395.50	5.55	5.45	3.89	4.23	4.11
田野町	433.25	-0.10	-0.98	-3.60	-1.47	-3.43
都城市	514.52	0.88	0.23	-2.00	-0.07	-1.98
都農町	458.48	-0.10	-0.86	-3.25	-1.15	-3.24
東郷町	427.70	0.63	-0.01	-2.19	-0.41	-2.12
南郷村	420.67	5.47	5.41	3.90	4.19	4.07
南郷町	416.07	5.60	5.50	3.92	4.10	3.94
日向市	448.52	0.84	0.24	-1.91	-0.19	-1.86
日南市	436.00	-0.25	-1.14	-3.74	-1.25	-3.91
日之影町	469.70	2.81	2.83	1.67	1.91	1.84
美郷町	440.00	4.69	4.55	2.96	3.53	3.18
北浦町	428.45	0.45	-0.18	-2.34	-0.61	-2.53
北郷村	417.80	6.41	6.37	4.81	4.94	5.04
北郷町	406.47	4.80	4.66	3.07	3.45	3.11
北川町	403.58	0.09	-0.55	-2.71	-1.02	-2.83
北方町	458.82	-0.16	-0.83	-3.00	-1.11	-3.21

木城町	450.57	-0.10	-0.86	-3.25	-1.15	-3.24
門川町	442.44	-0.02	-0.61	-2.68	-0.94	-2.62
野尻町	481.40	2.07	1.70	-0.15	1.42	-0.23

付録 C 参考 Web ページの引用

1) 農林水産省ホームページ：平成 27 年地球温暖化影響調査レポート

<<http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/index-3.pdf>>, 2016-12-03

農林水産省 [English](#) [キッズサイト](#) [サイトマップ](#) [文字サイズ](#) **標準** [大きく](#)

[逆引き事典から探す](#) [組織別から探す](#) [キーワードから探す](#) [検索](#)

[会見・報道・広報](#) [政策情報](#) [統計情報](#) [申請・お問い合わせ](#) [農林水産省について](#)

[ホーム](#) > [生産局](#) > [環境保全型農業関連情報](#) > [地球温暖化対策](#)

地球温暖化対策

農林水産省は、地球温暖化が進展する中でその影響を受けやすい農業分野において、温室効果ガスの排出量削減及び地球温暖化の影響に適応した農業生産技術の確立・普及を進めることを目的として、地球温暖化対策を実施します。

新着情報（更新 平成28年10月14日）

- ※ 平成28年度予算概算決定の概要を掲載しました。 [\(PDF: 3,347KB\)](#) **New!**
- 分割版 [1 \(PDF: 1,774KB\)](#) [2 \(PDF: 1,492KB\)](#) [3 \(PDF: 1,145KB\)](#)
- ※ [平成27年地球温暖化影響調査レポートを公表しました。](#) **New!**

2) 農林水産省：作物統計

<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityo_tyouki/index.html#a2>, 2015-11-30

農林水産省 [English](#) [キッズサイト](#) [サイトマップ](#) [文字サイズ](#) **標準** [大きく](#)

[逆引き事典から探す](#) [組織別から探す](#) [キーワードから探す](#) [検索](#)

[会見・報道・広報](#) [政策情報](#) [統計情報](#) [申請・お問い合わせ](#) [農林水産省について](#)

[ホーム](#) > [組織・政策](#) > [統計情報](#) > [分野別分類/作付面積・生産量、被害、家畜の頭数など](#) > [作物統計](#) > [作況調査（水陸稲、麦類、豆類、かんしょ、飼肥料作物、工業農作物）](#) > [市町村別データ 長期累年](#)

市町村別データ 長期累年

[ツイート](#) [いいね! 2.6万](#) [印刷](#)

[耕地面積](#) [水陸稲](#) [麦類](#) [豆類](#) [かんしょ](#) [飼料作物](#) [そば](#) [工業農作物](#)

3) 気象庁：各種データ・資料

< <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> >, 2016-04-20

The screenshot shows the JMA website interface for downloading historical meteorological data. At the top, there are navigation links for 'ホーム', '防災情報', '各種データ・資料', '知識・解説', '気象庁について', and '案内・申請'. Below this, there's a search bar and a section for '過去の気象データダウンロード'. The main area contains a map of Japan with a grid of colored boxes representing different prefectures. A red text overlay on the map says 'まず、都道府県を選んでください' (First, please select a prefecture). To the right of the map, there are several panels for selecting search criteria: '検索条件' (Search Conditions), '表示オプションを選ぶ' (Select Display Options), and 'ダウンロードファイルの形式' (Download File Format). The '表示オプションを選ぶ' panel shows selected criteria: '選択済みのデータ量: ON', '100% (上限)', '画面に表示' (Display on screen), and 'CSVファイルをダウンロード' (Download CSV files). The 'ダウンロードファイルの形式' panel shows selected options: '全選択をクリア' (Clear all selections), '選択された地点: 観測項目' (Selected location: Observation items), '選択された項目' (Selected items), '選択された期間' (Selected period), and '選択されたオプション' (Selected options).

4) 総務省：市町村数の推移表（詳細版）

< http://www.soumu.go.jp/main_content/000283329.pdf >, 2016-12-16

The screenshot shows the MIC website page for '広域行政・市町村合併' (Wide-area Administration and Municipal Mergers). The page has a header with the MIC logo and navigation links. Below the header, there's a search bar and a main content area. The main content area is titled '広域行政・市町村合併' and contains a section for '広域行政の必要性' (Necessity of Wide-area Administration). The text in this section discusses the need for wide-area administration due to the rapid development of transportation and information communication networks, and the resulting expansion of administrative areas. It also mentions the progress of municipal mergers and the importance of wide-area cooperation for efficient administrative services.

5) 気候変動適応情報プラットフォーム：温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究
 < <http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/map/index.html> >, 2017-01-06

持続可能な未来のために今必要なこと
気候変動適応情報プラットフォーム
 CLIMATE CHANGE ADAPTATION PLATFORM

環境省 Ministry of the Environment
 国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies
 Office for Cooperation of Climate Change Observation

HOME このサイトについて 更新情報 よくあるご質問 お問い合わせ リンク集 地方公共団体会員ページ English

気候変動の影響への適応とは？ 適応計画 分野別影響&適応 気候変動の影響に適応しよう！ 全国・都道府県情報 海外情報 ツール

宮崎
 MIYAZAKI

HOME > 全国・都道府県情報 > 宮崎県

S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 [ご利用の手引き](#) | [影響評価のQ & A](#)

ここで示すデータは、アメダスで観測されたデータ及び「環境省環境研究総合推進費S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」における研究成果に基づくものです。S-8の詳細については、[こちらの報告書](#)をご参照ください。

宮崎県

気候、影響、適応に関する情報をご覧になれます。
 収録されているグラフや地図画像を一括ダウンロードしていただくこともできます。

気候・影響の画像
 ダウンロードはこちら

6) 農林水産省：高温適応技術レポート
 < http://www.maff.go.jp/j/seisan/kanky/ondanka/pdf/h22_tekiou_gijyutu_report.pdf >, 2016-12-24

農林水産省

ホーム サイトマップ このサイトの使い方 文字の大きさ・色を変えるには

農林水産省について 組織・政策 報道・広報 統計情報 ご意見・お問い合わせ

ホーム > 報道発表資料 > 「平成22年度 高温適応技術レポート」の作成及び「農業技術の基本指針」の改定について

プレスリリース 平成23年2月24日 農林水産省

「平成22年度 高温適応技術レポート」の作成及び「農業技術の基本指針」の改定について

農林水産省は、昨年夏の高温被害を踏まえ、新たに「平成22年度 高温適応技術レポート」もとりまとるとともに、「農業技術の基本指針」の改定を行い、本日、これらを都道府県等へ通知しました。

1. 平成22年度 高温適応技術レポート

1. 概要
 23年作に向けて、普及指導員等が技術指導等を行う際の参考として、高温に対する技術対策をとりまとめたものです。

2. 記載事項
 (1) 平成22年夏の天候の経過と要因
 (2) 農畜産物の被害の発生状況
 (3) 高温適応技術の実施状況と評価
 (4) 今後の生産対策・技術指導と研究開発の方向

なお、レポート本文及び概要につきましては、以下のURLでご覧いただけます。
 (<http://www.maff.go.jp/j/seisan/kanky/ondanka/index.html>)

報道・広報
 ・ 大臣閣議室意見
 ・ 報道発表資料
 ・ 迅速対応情報
 広報資料

政策情報
 ・ 分野別情報
 審議会、研究会等
 法令・告示・通知等
 予算・決算・財務書類等
 補助事業、採択
 政治資金
 白書情報

統計情報
 調査総覧

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



- 8) 農林水産省：気候変動監視レポート

<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2015/pdf/ccmr2015_all.pdf> , 2016-12-25

- 9) 全国農業協同組合連合会：土壌肥料用語集<http://www.zennoh.or.jp/activity/hiryo_sehi/yougosyu.html>，2016-12-27

The screenshot shows the JA Zennoh website. At the top, there is a logo with the characters '全農' (Zennoh) and the text '全国農業協同組合連合会'. Below the logo is a navigation bar with several menu items: '全農について' (selected), '事業概要', '食と農を知る', '社会・環境活動', '採用情報', and 'プレス向け'. The main content area is titled '全農について' and contains a sidebar on the left with sub-menu items: '全農について', '全農の役割', '経営理念', '組織概要', and '組織図・役員'. The main text area describes JA Zennoh's role in supporting agricultural production and economic activities. It mentions that JA Zennoh is a group of JA groups that handles the sale of agricultural products and supply of production materials, and that it aims to support the economic activities of JA members and improve their economic and social status.

- 10) 気候変動適応情報プラットフォーム：温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究<<http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/map/index.html>>，2017-01-06

The screenshot shows the Climate Change Adaptation Platform website. At the top, there are logos for the Ministry of the Environment, National Institute for Environmental Studies, and Office for Coordination of Climate Change Observation. Below the logos is a search bar and a navigation menu with items like 'HOME', 'このサイトについて', '更新情報', 'よくあるご質問', 'お問い合わせ', 'リンク集', '地方公共団体会員ページ', and 'English'. The main content area is titled '全国情報' (National Information) and includes a section for 'S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究' (S-8 Comprehensive Research on Climate Change Impact Assessment and Adaptation Policy). The page also includes a search bar and a navigation menu. The main text area contains a green box with text that reads: 'ここで示すデータは、アメダスで観測されたデータ及び「環境省環境研究総合推進費S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」における研究成果に基づくものです。S-8の詳細については、こちらの報告書をご参照ください。' (The data shown here is based on data observed by the Automatic Weather Station (Amebas) and the research results of the 'S-8 Comprehensive Research on Climate Change Impact Assessment and Adaptation Policy' funded by the Ministry of the Environment. For details on S-8, please refer to the report here.) Below this text is a navigation bar with dropdown menus for '気候' (Climate), '影響' (Impact), '適応' (Adaptation), and '全国・都道府県' (National/Prefecture).