

第1章 気候変動が農業所得に及ぼす影響の評価手法開発 —農業集落別データを用いたリカーディアン・モデル分析—

澤内 大輔
國井 大輔

1. はじめに

農業生産は気象条件の影響を大きく受けるため、将来見込まれる気候変動に伴う気温や降水量の変化によって、農産物の収量や品質も変化すると考えられる。その上、その変化の方向や程度は均一ではなく、栽培している作目、利用している技術、その土地を取り巻く自然条件等によっても異なる。将来にわたって安定的に食料供給や農業経営を継続するといった観点からは、気候変動の負の影響を緩和し、正の影響を活かす地球温暖化への適応策やその基礎となる影響予測に関する試験研究が重要となる。

これまで我が国の農業分野での気候変動適応に関する研究としては、地球温暖化が及ぼす影響予測や地球温暖化への適応技術開発などが実施されてきた（農林水産技術会議(2007)）。例えば、影響予測では人工的に調節した環境条件のもとで作物や家畜の反応に関するデータに基づき構築した作物生育モデルまたは家畜生育モデルを利用し、収量変動や栽培適地変化の予測等が実施されている。また、すでに現われている高温の影響については、高温等の環境に適応した品種の開発や栽培技術の開発による対応が実施されている。

気候変動適応策を実施するうえでは、農家が気候等の環境条件に合わせて適切に品種、作目、技術等を選択すること（適地適作）が重要となる。この点を考慮すると、地球温暖化の影響を総合的に評価する際には、単一の作目や技術に焦点を当てた研究だけでなく、農家の適地適作行動を考慮した影響評価、すなわち作目横断的な影響評価が必要となろう。我が国を対象にこの点を考慮したうえで地球温暖化の影響評価を実施しているのは著者の知るところ金ら(2010)のみに限られる。

金ら(2010)は、海外で研究が蓄積されているリカーディアン・モデル分析という手法を用いて都道府県別に地球温暖化が農業所得に及ぼす影響を評価している。リカーディアン・モデルは面積当たりの農業所得に着目し、気象条件の変化が農業所得に及ぼす影響を

解明する分析手法であり、作目横断的に地球温暖化の影響を評価できる利点を有している。しかしながら金ら(2010)による都道府県別の影響予測は、評価結果を利用するとの観点からいくつか問題点を有している。例えば、北海道や岩手県等のように広い面積を有する場合であっても、単一のサンプルとして扱われる点、影響を評価する際にも都道府県内での自然環境の相違は捨象され県内で単一の評価結果となる点、等である。一方で、気候変動予測の分野では気候変動に対するきめ細やかな対策を行うために、気温や降水量を詳細に予測する研究が進められている(文部科学省・気象庁・環境省(2013))。例えば、ダウンスケーリング手法⁽¹⁾を用いた予測では、5km四方を単位とした気温や降水量の将来予測が実施されており、農業分野での気候変動影響予測においてもこのレベルでの細やかな影響評価が必要となろう。

そこで本稿では、気候変動に適応し農家が最適な作目や技術を選択するとの仮定の下で気象条件の変化が農業所得に及ぼす影響を評価する手法を開発・検討することを課題とする⁽²⁾。具体的には、まず、海外を中心に研究が蓄積されているリカーディアン・モデル分析を援用し、気象条件と農業所得との関係について農業集落別のデータを用いた実証的な解明を試みる。そのうえで、試行的ではあるものの、将来の気候変動予測データを利用した地球温暖化の影響評価を試み、我が国への適用にあたっての課題等について検討したい。

本稿の構成は以下のとおりである。次節では、既存研究を整理し、これまでリカーディアン・モデルがどのように適用されてきたのかについて述べる。第3節では、本稿でのモデルの概要と利用したデータセットの作成方法について述べる。第4節では、分析に用いたデータの概要、パラメータの推計結果、試行的な影響評価結果を示したうえで我が国への適用にあたっての課題を検討する。第5節は、まとめと今後の課題である。

2. 既存研究のレビュー

本研究で利用するリカーディアン・モデル分析は、Mendelsohn *et al.* (1994)により開発された手法である。具体的には、農地価格や面積当たりの農業所得額を、気温や降水量など気象に関する変数、社会経済変数、その他自然環境に関する変数等により説明し、気候条件が面積当たり農業所得(または農地価格)に及ぼす影響を明らかにする手法である⁽³⁾。推計されたパラメータと将来の気温や降水量の予測値を用いることで、将来の面積当たり農業所得(または農地価格)の変化を予測、評価することが可能である。

モデルの特徴として作物横断的な単一の生産関数の存在を仮定している点があげられる (Mendelsohn *et al.* (1994), p.754)。この仮定は、農家が気温や降水量等の気象条件の変化に応じて、面積当たりの農業所得が最大となるような作目や技術を選択するとの仮定に等しい。例えば、地球温暖化の影響としてリンゴの栽培適地が北上することが予測されている (農林水産技術会議(2007)) が、適地ではなくなった地域でリンゴ栽培を続ければ、品質や収量の低下により面積当たり農業所得も減少するものと考えられよう。このような状況下にある農家は新たな気象条件に適応し、リンゴ栽培よりも高い所得が見込める作目に変更する行動をとるであろうということが、上で示したリカーディアン・モデルでの仮定である。このような仮定を置くことで、農家の適地適作行動を考慮した影響評価が可能となる利点が存在する。一方で、この仮定はどの作目や技術を採用すれば、最大の所得が得られるのかという具体的な結果は得られないという限界も有している。

リカーディアン・モデルによる影響評価結果は、農家の適地適作行動を考慮している分、個別作物の生産関数に基づく影響評価よりも、負の影響が緩和される傾向がある点が指摘されている。したがって、リカーディアン・モデル分析により推計される面積当たりの農業所得は農家が適地適作を行った時の最良の値として評価されるべきものである。ただし、作目や利用する技術を変更する際には農家は何らかの費用負担が必要であると考えられるが、リカーディアン・モデルではこの点を明示的に考慮していない。このことは、このモデルが固定費用を考慮しない長期のモデルであることを示唆しており、ごく短期の影響予測には向いていないと考えられる。また、単位面積当たりの農業所得等への影響分析手法であることから、対象となる農産物は主として農地に作付される耕種作物のみとなる点も特徴として指摘できよう⁽⁴⁾。

リカーディアン・モデル分析に関する既存研究レビューとしては、分析手法改良の経緯に焦点を当てた Mendelsohn and Dinar (2009)がある。本稿ではこのレビューとは若干異なった視点から既存研究をレビューする。具体的には、リカーディアン・モデル分析がすでに各国・地域で適用されている状況を示すため、既存研究において分析対象となった国に着目し整理する。

リカーディアン・モデル分析の端緒となった Mendelsohn *et al.* (1994)は、アメリカを対象とし郡 (county) 別に気候変動の影響評価を実施している。農地価格データを気象データ (季節別の気温、降水量及びそれらの2乗)、土壌データ (土壌の種類など)、地理情報データ (緯度、経度など) 及びその他社会経済データにより回帰している。回帰モデル

により異なるものの、分析に用いたサンプル数は 2,933～2,941 であり、データの年次は 1978 年または 1982 年となっている。同様にアメリカを対象とした Schlenker *et al.* (2005) は、Mendelsohn *et al.* (1994) に対する批判の一つでもある灌漑の取り扱いについて改良したモデルを開発している。Deschenes and Greenstone (2007) もアメリカを対象とし、よりバイアスが少ないと考えられる分析手法により地球温暖化の影響を予測している。また、北米を事例とした研究としてはカナダを対象とした Reinsborough (2003) がある。

Seo and Mendelsohn (2008a) は南アメリカの 7 カ国 (アルゼンチン、ウルグアイ、チリ、ブラジル、ベネズエラ、エクアドル、コロンビア) を対象とした分析である。対象国が南アメリカほぼ全土にわたっている点が特徴として指摘できる。分析データの年次は 2003 年～2004 年にかけてであり、農家調査により収集した全 2,035 サンプルを用いて推計している。被説明変数には農地価格を用いている。また、分析結果をより頑強なものとするため、説明変数に気象データとその他データとの交差項を用いたり、サンプルを分割して推計するなどの工夫もみられる。

Seo *et al.* (2008) は、アフリカの 11 の国を対象とし、農家調査により収集した 9,597 サンプルのパネルデータを用いて分析している。被説明変数には面積当たりの耕種及び畜産部門の農業所得を用いている⁽⁵⁾。また、アフリカの畜産を対象とした分析として Seo and Mendelsohn (2008b) がある。地球温暖化に伴い、肉牛、乳牛等の飼養からヤギや羊の飼養にシフトするであろう点が指摘されている。Fleischer *et al.* (2008) はイスラエルを対象としている。分析に用いたデータは、対面式の農家調査により収集した 230 サンプルである。分析結果から、地球温暖化によりヨーロッパへの輸出向けの果樹栽培が増加するであろう点、灌漑などによる水の供給の制約が分析結果に大きな影響をもたらしているであろう点などを示唆している。

中国を対象とした研究としては、Liu *et al.* (2004) 及び Wang *et al.* (2009) があげられる。Liu *et al.* (2004) は、県 (county) レベルのデータを用いて、地球温暖化は農家の純収入を上昇させることを明らかにしている。Wang *et al.* (2009) は、農家調査により収集した 8,405 サンプルのデータを用いた分析である。より頑強な分析結果を導くため、サンプルを 4 つのサブサンプルに分けて推計している。Wang *et al.* (2009) では Liu *et al.* (2004) と異なり、国全体では地球温暖化は農業所得に負の影響を及ぼすことが示されている。また、サブサンプルに分けた分析結果からは、灌漑施設を利用する農家にとって地球温暖化は正の影響をもたらす点なども明らかになっている。

このように適用事例数としては途上国が多いものの、リカーディアン・モデル分析は先進国も含め広く適用されている実績が確認できた⁽⁶⁾。リカーディアン・モデル分析は本節冒頭で指摘した限界を有しているが、作物横断的な影響評価を実施できるという利点が重視され多くの学術成果が蓄積されてきたものと考えられる。また、これらの成果の一部はIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書やイギリス政府の要請により作成されたスターンレビューと呼ばれる報告書等において農業・食料分野での地球温暖化影響評価手法として参照されている（Parry *et al.* (2007), Stern (2007)）。地球温暖化の影響評価手法として一定の評価を得ているリカーディアン・モデル分析を我が国に適用することは意義があろう。

しかしながら、我が国を対象としたリカーディアン・モデルの適用例としては、都道府県別のデータを用いた影響評価である金ら(2010)があるのみである。気象予測分野での詳細な気候変動予測に対応し、またより実践的な政策提言に結び付けるためには、より詳細な区分のデータを用いた分析が望ましいと考えられる。

そこで本稿では、「市区町村の一部地域において、農業上形成されている地域社会」（『2010年世界農林業センサス：第8巻 農業集落類型別統計報告書』）と定義される農業集落を分析の基礎単位とした分析を試みる。これにより上で述べた既存研究の課題が克服されるほか、農業センサスの集落カードに記載されている灌漑設備等の農業生産資源の賦存状況や法制上の指定の有無等のデータも利用可能となる。

3. 計測モデルの概要とデータ

1) 計測モデル

前節で述べたように、リカーディアン・モデルでは農地価格もしくは面積あたりの農業所得を、気温や降水量等の気象データとその土地の属性データとで回帰している。Mendelsohn *et al.* (1994) 以降も多くの研究が積み重ねられ、モデルの改良が進んでいるものの、本稿では第1次接近として Mendelsohn *et al.* (1994) に準ずる分析枠組みを採用することとする。

具体的には、被説明変数は面積あたりの農業所得（*Income*）とし、これを気象変数（*Weather*）、集落における農業生産資源の賦存状況（*Resource*）、集落内の法制上の指定

地域の有無 (*Legis*), 集落の地理的特性 (*GeoCharac*), その他集落属性を表す変数 (*Other*) といった地域の属性を示す変数での説明を試みる。計測モデルは(1)式であり, OLS (Ordinary Least Squares) によりパラメータを推定した。

$$\begin{aligned} Income_i = & \alpha + \sum \beta_j Weather_{j,i} + \sum \gamma_j Resource_{j,i} + \sum \delta_j Legis_{j,i} \\ & + \sum \zeta_j GeoCharac_{j,i} + \sum \eta_j Other_{j,i} + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (1)$$

ただし, i はサンプル番号, α から η は推計されるパラメータ, ε は誤差項である。詳細な変数の定義などは次小節で述べる。

2) データセットの作成

本研究で用いたデータは, 農業集落別のデータである。農業集落別データを利用することで, より詳細な気候変動予測をもとにしたシミュレーションが可能になるなどのメリットがある。一方で, 気象データや一部の農業統計データは集落別の値としては入手することができないため, 何らかの方法で推計する必要がある。以下では, 分析に利用したデータの入手・作成方法について解説する。

なお, 農業センサスデータの利用可能性から, 2005 年をデータの基準年次とした。2005 年は全国で数多くの市町村合併が実施されたため同じ集落であっても, 利用する統計の集計年月日が異なると, 集計される市町村名が異なる場合がある。このため, 新旧市町村の確認と接続には細心の注意を払い実施した。

(1) 面積当たり農業所得

リカーディアン・モデル分析の被説明変数として利用する集落別の面積当たり農業所得データは, 既存の統計資料からは入手できないため新たに推計する必要がある。推計値は, 以下で説明する手順の通り, 集落ごとの農業所得額を推計し, その値を集落の作付面積の合計で割り返すことで求めた。

当該品目の農業集落別の面積当たり農業所得額を(2)式により求めた。市町村別品目別の農業産出額を農業集落ごとの栽培面積等を基準に按分し, さらに品目ごとの所得率を掛け

合わせている。

$$Shotoku_{s,h} = Sanshutsu_{c,h} \times Ambun_{s,h} \times ShotokuRitsu_{r,h} \quad (2)$$

ここで、添え字の s は分析対象の農業集落、 h は分析対象の品目、 c は分析対象の農業集落が属する市町村、 r は分析対象の農業集落が属する全国農業地域区分である。ここでの全国農業地域区分とは、『農業経営統計調査』などでも利用されている北海道、東北、北陸、関東・東山、東海、近畿、中国、四国、九州の 9 地域の区分である。

また $Shotoku_{s,h}$ は農業集落 s における品目 h からの農業所得、 $Sanshutsu_{c,h}$ は市町村 c における品目 h の農業産出額、 $Ambun_{s,h}$ は農業集落 s における品目 h の按分係数、 $ShotokuRitsu_{r,h}$ は農業地域区分 r における品目 h の所得率である。

農業産出額 ($Sanshutsu_{s,h}$) は、『生産農業所得統計 (平成 17 年)』の市町村別農業産出額の値である⁽⁷⁾。なお、他の統計データとの整合性を保つため、及び分析モデルの制約のため、集計する品目は耕種作目のうち米、麦、雑穀、イモ、豆、工芸作物、野菜、花き、果実の 9 作目とした。

按分係数 ($Ambun_{s,h}$) は、(3)式により求めた。

$$Ambun_{s,h} = Area_{s,h} / Area_{c,h} \quad (3)$$

本稿では按分係数を、集落 s における品目 h の作付面積 ($Area_{s,h}$) が、その集落が属する市町村 c における品目 h の作付面積 ($Area_{c,h}$) に占める割合として定義しており、0 から 1 までの間の値を取る。これは、同じ市町村内であればどの農業集落でも土地生産性は同様であり、農業産出額は作付面積に比例して配分されるとの仮定に等しい。市町村の品目別作付面積 ($Area_{c,h}$) は、『2005 年農林業センサス』の農業集落カードデータに掲載されている農業集落別の品目別作付面積 ($Area_{s,h}$) を市町村ごとに集計した値とした。

所得率 ($ShotokuRitsu_{r,h}$) は『農業経営統計調査』に掲載されている農業地域区分 r における品目 h の農業所得率である。欠損値を補うため、及び年次変動の影響を緩和するために、2004 年から 2006 年のデータの平均値を用いた。なお、この操作を行ってもなお欠損値が出た東北地方の麦及び雑穀、北陸地方及び四国地方の豆については都府県全体の平均値を用いた。

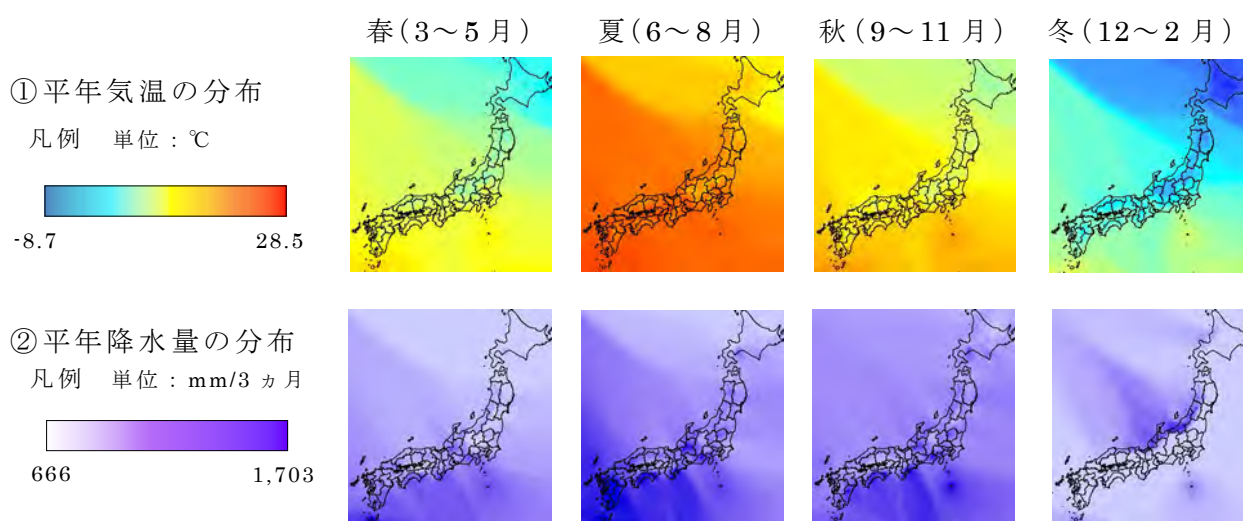
最終的に、被説明変数である集落別の面積当たり農業所得（ $Income_s$ ）は、集落の農業所得額の合計を各集落の作付面積合計で除した(4)式により求めた。データの単位は「千円/a（=万円/10a）」である。

$$Income_s = \sum_h Shotoku_{s,h} / \sum_h Area_{s,h} \quad (4)$$

（２）集落の気象データ

各集落の気象データについては以下の手順で推計した。第１に、気象観測所ごとに緯度、経度、気象データからなるデータセットを作成した。分析には、データに欠損のない 823 観測所の値を利用した。利用した気象データは、３か月別の平均気温と３か月別の合計降水量である。季節区分は気象庁の定義に倣い、春は３～５月、夏は６～８月、秋は９～１１月、冬は１２～２月とした⁽⁸⁾。

第２に、アメダス（地域気象観測）の観測所における３か月別平年値データを GIS（地理情報システム）を用いて空間的に補完した（第１図）。気象データの空間的補完には、GIS ソフトウェアの ArcGIS10.0 を利用し、IDW（Inverse Distance Weighting; 逆距離加重平均法）を用いた⁽⁹⁾。



第１図 平年気温及び平年降水量の分布

第3に集落の中心地における気象観測値をその集落の気象観測値として利用した。集落の中心地は、センサスの集落カードに付属の shape ファイルをもとに ArcGIS10.0 を用いて求めた。集落の中心地データと先に求めた平年気温及び平年降水量の分布とを重ね合わせ、集落の中心地における平年気温及び平年降水量を抽出した。

(3) その他の集落の属性に関するデータ

気象条件以外に農業集落の属性を示す説明変数として、主として農業センサスの集落カードに記載されている情報を利用した。変数の選択にあたっては、第1次接近としてできるだけ多くの変数を採用する方針を採った。変数の選定によるモデルの改良は今後の課題として残されている。本稿で利用した説明変数の変数名、単位、摘要は第1表に示したとおりであるが、以下でデータの出所等について補足する。

集落の地理的特性として、集落中心の経度 (*Keido*) 及び緯度 (*Ido*)、人口集中地 (DID) までの距離、農地の傾斜を説明変数に用いた⁽¹⁰⁾。具体的には、集落中心の経度 (*Keido*) 及び緯度 (*Ido*) は、センサスの集落カードに付属の集落の shape ファイルから ArcGIS10.0 を利用して算出した。また、DID までの距離は、DID までの距離に応じ「15分未満」(*DID15*)、
「15分以上 30分未満」(*DID30*)、「30分以上 60分未満」(*DID60*)、「60分以上 90分未満」(*DID90*)となるダミー変数とした⁽¹¹⁾。田、樹園地、畑の傾斜は、「平坦」(*TaHei, JuenHei, HataHei*)、「緩傾斜」(*TaKan, JuenKan, HataKan*)、「急傾斜」(*TaKyu, JuenKyu, HataKyu*)とするダミー変数として用いた。これらのデータもセンサスの集落カードに記載のデータを用いた⁽¹²⁾。

農業生産に利用される地域資源について集落内での有無をダミー変数として説明変数に用いた。具体的には「ため池・湖沼」(*Tameike*)、「河川・水路」(*Kasen*)、「農業用排水路」(*Youhaisui*)の有無について、センサスの集落カードに記載のデータを利用した。

集落内の法制上の指定地域の有無もダミー変数として説明変数に用いた。具体的には、都市計画法に関して、「市街化区域」(*Shigaika*)、「市街化調整区域」(*Chosei*)、「市街化区域及び市街化調整区域」(*ShigaiChosei*)、「都市計画区域ではあるが市街化区域等の指定なし」(*Senbikinashi*)をカテゴリとするダミー変数を用いた⁽¹³⁾。農業振興地域の整備に関する法律（農振法）に関して、「農業振興地域（農用地区域なし）」(*Noushin*)、「農業

振興地域（農用区域地あり）」（*Nouyouchi*）をカテゴリとするダミー変数を用いた。山村振興法に関して「振興山村」（*Shinsan*）をカテゴリとするダミー変数を用いた。豪雪地帯対策特別措置法に関して「豪雪地帯のみ指定あり」（*Gousetsu*），「特別豪雪地帯の指定あり」（*Tokugousetsu*）をカテゴリとするダミー変数を用いた。いずれもセンサスの集落カードに記載のデータを利用した。

第 1 表 説明変数の概要

No.	変数名	単位	摘 要
1	Keido	度	集落中心の経度
2	Ido	度	集落中心の緯度
3	T_fuyu	℃	冬期（12～2月）の平均気温
4	T_fuyu2	℃ ²	冬期（12～2月）の平均気温の2乗
5	T_haru	℃	春期（3～5月）の平均気温
6	T_haru2	℃ ²	春期（3～5月）の平均気温の2乗
7	T_natsu	℃	夏期（6月～8月）の平均気温
8	T_natsu2	℃ ²	夏期（6月～8月）の平均気温の2乗
9	T_aki	℃	秋期（9月～11月）の平均気温
10	T_aki2	℃ ²	秋期（9月～11月）の平均気温の2乗
11	P_fuyu	mm	冬期（12～2月）の降水量（合計）
12	P_fuyu2	mm ²	冬期（12～2月）の降水量（合計）の2乗
13	P_haru	mm	春期（3～5月）の降水量（合計）
14	P_haru2	mm ²	春期（3～5月）の降水量（合計）の2乗
15	P_natsu	mm	夏期（6月～8月）の降水量（合計）
16	P_natsu2	mm ²	夏期（6月～8月）の降水量（合計）の2乗
17	P_aki	mm	秋期（9月～11月）の降水量（合計）
18	P_aki2	mm ²	秋期（9月～11月）の降水量（合計）の2乗
19	Tameike	ダミー	集落内のため池・湖沼ダミー：有り=1
20	Kasen	ダミー	集落内の河川・水路ダミー：有り=1
21	Youhaisui	ダミー	集落内の農業用排水路ダミー：有り=1
22	Shigaika	ダミー	市街化ダミー：市街化区域のみ指定あり=1
23	Chosei	ダミー	市街化ダミー：市街化調整区域のみ指定あり=1
24	ShigaiChosei	ダミー	市街化ダミー：市街化区域と市街化調整区域両方の指定あり=1
25	Senbikinashi	ダミー	市街化ダミー：都市計画区域のうち市街化区域などの指定なし=1
26	Nousin	ダミー	農業振興地域ダミー：農業振興地域への指定あり（農用地なし）=1
27	Nouyouchi	ダミー	農業振興地域ダミー：農業振興地域への指定あり（農用地あり）=1
28	Shinsan	ダミー	振興山村ダミー：市農山村への指定=1
29	Gousetsu	ダミー	豪雪地ダミー：豪雪地帯への指定（特別豪雪地帯に指定された地域は除く）=1
30	Tokugousetsu	ダミー	豪雪地ダミー：特別豪雪地帯への指定=1
31	DID15	ダミー	人口密集地ダミー：DIDまでの距離が15分未満=1
32	DID30	ダミー	人口密集地ダミー：DIDまでの距離が15分から30分=1
33	DID60	ダミー	人口密集地ダミー：DIDまでの距離が30分から60分=1
34	DID90	ダミー	人口密集地ダミー：DIDまでの距離が60分から90分=1
35	TaHei	ダミー	田の傾斜ダミー：田の傾斜が平坦=1
36	TaKan	ダミー	田の傾斜ダミー：田の傾斜が緩傾斜=1
37	TaKyu	ダミー	田の傾斜ダミー：田の傾斜が急傾斜=1
38	JuenHei	ダミー	樹園地の傾斜ダミー：樹園地の傾斜が平坦=1
39	JuenKan	ダミー	樹園地の傾斜ダミー：樹園地の傾斜が緩傾斜=1
40	JuenKyu	ダミー	樹園地の傾斜ダミー：樹園地の傾斜が急傾斜=1
41	HataHei	ダミー	畑の傾斜ダミー：田の傾斜が平坦=1
42	HataKan	ダミー	畑の傾斜ダミー：田の傾斜が緩傾斜=1
43	HataKyu	ダミー	畑の傾斜ダミー：田の傾斜が急傾斜=1
44	HouseShare	%	経営耕地面積に占めるハウス・ガラス室の面積の割合

面積当たり農業所得に大きな影響を及ぼすと考えられるハウス・ガラス室の割合（*HouseShare*）も説明変数として利用した。データは，センサスの集落カードに記載されているハウス・ガラス室面積を，同じく集落カードに記載されている作付面積の合計で割った値を利用した。

（４）小括

本稿では，以上のすべてのデータに欠損値がない集落を分析対象とした。このため 2005 年時点のデータが集落カードに掲載されている集落のうち，99,807 集落が分析対象となった。データ欠損の主たる理由は，各種統計において秘匿事項が存在する集落が存在するため，及び本研究で対象とした耕種作物に関するデータが得られない集落があるためであった。特に後者の理由によって，酪農を中心とした北海道北部，東部の農業集落の多くが分析対象から外れている。本稿は一次接近であるためごく単純なモデルによる分析を試みたが，分析モデルの改良により酪農の取り扱いなどに関する改善も望まれる。

なお，被説明変数である面積当たり農業所得データに関しては，以下の 2 点に注意が必要である。第 1 に，分析対象とする作目の選定方法についてである。本稿では耕種作目のうち 9 品目を分析対象としている。すなわち本稿では，この 9 作目の間であれば作目変更に技術的な問題は存在せず，掛かる費用もゼロであることが暗に仮定されている。しかし実際には土壌や農地の条件によっては，作目変更に多額の費用を要することも考えられる。したがって今後の課題として，例えば分析対象を作目変更が比較的容易な作目郡に限定するなどを検討する必要がある。第 2 に，所得の推計方法に大きな影響を及ぼす所得率データについてである。本稿では所得率の値として，全国農業地域区分別（9 地域×9 作目）の値を用いている。これについては，都道府県別や市町村別などより詳細な地域区分のデータを用いることが望ましいと考えられる。

4. 分析結果と考察

1) データセットの概要

前節の手順で作成したデータセットの記述統計量を第 2 表に示した。以下で各変数について若干の説明を加える。

第 2 表 記述統計量

変数名	単位	平均	標準偏差	中央値	最小値	最大値
Income	千円/a	8.1	17.6	3.5	0.003	1,353.3
Keido	度	136.3	3.8	136.7	123.0	145.1
Ido	度	35.7	2.6	35.3	24.4	44.8
T_fuyu	℃	3.5	3.1	4.0	-8.7	19.0
T_fuyu2	℃ ²	21.8	27.1	17.2	0.0	361.0
T_haru	℃	11.5	2.6	12.1	2.2	22.9
T_haru2	℃ ²	139.7	56.5	145.9	5.0	525.9
T_natsu	℃	23.2	1.8	23.6	14.8	28.5
T_natsu2	℃ ²	542.1	80.3	557.5	219.2	811.8
T_aki	℃	15.7	2.4	16.1	7.2	25.7
T_aki2	℃ ²	251.2	72.3	259.2	52.5	660.5
P_fuyu	mm	241.4	173.5	184.0	66.6	1,179.2
P_fuyu2	mm ²	88,392.3	147,428.7	33,843.1	4,431.3	1,390,607.1
P_haru	mm	398.8	122.7	376.8	122.7	1,381.1
P_haru2	mm ²	174,101.3	111,622.7	141,976.0	15,064.1	1,907,381.9
P_natsu	mm	611.4	219.3	535.4	206.4	1,703.1
P_natsu2	mm ²	421,899.9	329,283.4	286,629.6	42,591.9	2,900,583.5
P_aki	mm	506.2	106.6	492.0	272.5	1,473.1
P_aki2	mm ²	267,645.7	123,608.1	242,090.6	74,260.6	2,170,111.9
Tameike	-	0.16	0.4	0.0	0.0	1.0
Kasen	-	0.30	0.5	0.0	0.0	1.0
Youhaisui	-	0.59	0.5	1.0	0.0	1.0
Shigaika	-	0.01	0.1	0.0	0.0	1.0
Chosei	-	0.17	0.4	0.0	0.0	1.0
ShigaiChosei	-	0.10	0.3	0.0	0.0	1.0
Senbikinashi	-	0.31	0.5	0.0	0.0	1.0
Nousin	-	0.06	0.2	0.0	0.0	1.0
Nouyouchi	-	0.87	0.3	1.0	0.0	1.0
Shinsan	-	0.17	0.4	0.0	0.0	1.0
Gousetsu	-	0.21	0.4	0.0	0.0	1.0
Tokugousetsu	-	0.08	0.3	0.0	0.0	1.0
DID15	-	0.37	0.5	0.0	0.0	1.0
DID30	-	0.34	0.5	0.0	0.0	1.0
DID60	-	0.22	0.4	0.0	0.0	1.0
DID90	-	0.03	0.2	0.0	0.0	1.0
TaHei	-	0.58	0.5	1.0	0.0	1.0
TaKan	-	0.25	0.4	0.0	0.0	1.0
TaKyu	-	0.09	0.3	0.0	0.0	1.0
JuenHei	-	0.18	0.4	0.0	0.0	1.0
JuenKan	-	0.19	0.4	0.0	0.0	1.0
JuenKyu	-	0.08	0.3	0.0	0.0	1.0
HataHei	-	0.54	0.5	1.0	0.0	1.0
HataKan	-	0.29	0.5	0.0	0.0	1.0
HataKyu	-	0.07	0.3	0.0	0.0	1.0
HouseShare	-	0.01	0.1	0.0	0.0	1.6

被説明変数である面積当たり農業所得 (*Income*) は平均で 8,100 円/a であったが、標準偏差は 17,600 円/a と平均値に比べて大きな値であり、かなりばらつきが大きい分布である点がかがえる。また、中央値は 3,500 円/a であり平均値に比べかなり小さい点も指摘できる。

続いて気温のデータを見ると、夏 (6~8 月) の平均気温 (T_natsu) が最も高く 23.2℃、冬 (12~2 月) の平均気温 (T_fuyu) が最も低く 3.5℃となっている。標準偏差を平均値で割って求められる変動係数を見ると、冬が最も大きく、冬の気温は他の季節に比べ地域によるばらつきが大きいことがうかがえる。降水量 (3 か月合計値) は夏 (P_natsu) が最も多く 611.4mm、冬 (P_fuyu) が最も少なく 241.4mm となっている。降水量の変動係数も冬が最も大きく、冬の降水量についても他の季節に比べ地域によるばらつきが大きいことがうかがえる。

DID までの距離は、「15 分未満」($DID15$) が最も多く 37%、続いて「15 分以上 30 分未満」($DID30$) が多く 34%であり、全集落の 7 割がこのカテゴリに入っている。田・畑・樹園地の傾斜を見ると、田と畑については「平坦」($TaHei$ 及び $HataHei$) が 5 割を超え最も割合が高いカテゴリとなっている。樹園地については、カテゴリの基準であり表中に出てこない「樹園地なし」を除けば緩傾斜 ($JuenKan$) のカテゴリが 19%で最も割合が高いカテゴリとなっている。

農業生産に利用される地域資源については、ため池・湖沼がある集落が 16%、河川・水路がある集落が 30%、農業用排水路がある集落が 59%となった。法制上の指定地域に関して、農振法に関するダミー変数の「農業振興地域 (農用地あり)」($Nouyouchi$) が 87%と大きな値になっている。ハウス・ガラス室の割合は 1%と低い値となっている。

2) パラメータの推定結果及びシミュレーション

(1)式のパラメータを OLS にて推定した結果を第 3 表に示した。まず、モデルの当てはまりを示す自由度修正済み決定係数は 0.17 であった。この値は、金ら(2010)の値 (0.898) や Mendelsohn *et al.* (1994)の値 (0.671~0.836) に比べると低いものの、Seo and Mendelsohn (2008a)の値 (0.17~0.26) や Wang *et al.* (2009)の値 (0.16~0.25) などの既存研究とはほぼ同水準の値となっている。以下では推定されたパラメータについて若干

の説明を加える。

第 3 表 パラメータの推定結果

パラメータ名	パラメータ推定値	t 値
1 切片	-5.12	-0.43
2 Keido	0.43	8.39 **
3 Ido	-0.87	-8.36 **
4 T_fuyu	-1.16	-6.07 **
5 T_fuyu2	-0.33	-17.85 **
6 T_haru	1.74	2.15 **
7 T_haru2	0.04	1.12
8 T_natsu	10.61	8.76 **
9 T_natsu2	-0.28	-10.07 **
10 T_aki	-18.99	-15.89 **
11 T_aki2	0.74	19.02 **
12 P_fuyu	0.01	5.08 **
13 P_fuyu2	0.00	-4.33 **
14 P_haru	-0.03	-7.73 **
15 P_haru2	0.00	5.87 **
16 P_natsu	0.00	1.14
17 P_natsu2	0.00	-3.69 **
18 P_aki	0.00	0.88
19 P_aki2	0.00	-0.14
20 Tameike	-0.29	-1.93 *
21 Kasen	-0.30	-2.53 **
22 Youhaisui	-0.45	-3.88 **
23 Shigaika	0.39	0.64
24 Chosei	0.10	0.56
25 ShigaiChosei	1.62	7.38 **
26 Senbikinashi	0.04	0.30
27 Nousin	-1.46	-4.60 **
28 Nouyouchi	-2.34	-9.05 **
29 Shinsan	0.15	0.90
30 Gousetsu	-0.27	-1.14
31 Tokugousetsu	0.60	1.56
32 DID15	1.57	4.03 **
33 DID30	1.60	4.15 **
34 DID60	1.82	4.68 **
35 DID90	1.84	3.94 **
36 TaHei	-7.75	-31.32 **
37 TaKan	-7.17	-26.43 **
38 TaKyu	-7.21	-21.64 **
39 JuenHei	1.29	8.75 **
40 JuenKan	1.78	11.26 **
41 JuenKyu	2.73	11.34 **
42 HataHei	0.48	2.32 **
43 HataKan	0.85	3.75 **
44 HataKyu	1.29	3.88 **
45 HouseShare	109.70	109.92 **
自由度修正済み決定係数	0.17	

注：**は1%水準で、*は5%水準で統計的に0と有意差があることを示す。

気温に関するパラメータは，春の気温の 2 乗（ T_haru2 ）以外はすべて 1%水準で統計

的に 0 と有意差がみられた。降水量に関するパラメータは、夏の降水量 (P_{natsu})、秋の降水量 (P_{aki})、及び秋の降水量の 2 乗 (P_{aki2}) 以外はすべて 1%水準で統計的に 0 と有意差がみられた。

農業生産に利用される地域資源の賦存状況 ($Tameike$, $Kasen$, $Youhaisui$) に関するパラメータは、すべて 5%水準または 1%水準で統計的に 0 と有意差がみられた。集落の地理的特性として採用した、集落中心の経度 ($Keido$) 及び緯度 (Ido)、DID までの距離、農地の傾斜に関するパラメータはすべて 1%水準で統計的に 0 と有意差がみられた。

法制上の指定地域に関する変数は、農振法に関連した 2 変数「農業振興地域（農用地なし）」($Noushin$) 及び「農業振興地域（農用地あり）」($Nouyouchi$) は 1%水準で統計的に 0 と有意差がみられた。しかし、それ以外の都市計画法、山村振興法、豪雪地帯対策特別措置法については、「市街化区域及び市街化調整区域」($ShigaiChosei$) が 1%水準で統計的に 0 と有意差がみられたのみであり、他はすべて統計的に 0 との有意差はみられなかった。

以下では、第 3 表の通りに推定されたパラメータと将来の気象予測値を用いることで地球温暖化が面積当たり農業所得に及ぼす影響の試行的な評価を試みる。なお、ここでの試行的とは、分析モデルや気象予測値等に改善の余地があるということである。したがって、以下のシミュレーション結果はあくまでモデル適用の検討の目的で例示的に提供すものであり、将来予測として利用するには更なる精査が必要となる点に注意が必要である。

影響評価シミュレーションの具体的な手順は次のとおりである。第 1 に、影響評価のベースラインとなる 2005 年時点の面積当たり農業所得額を推計する。具体的には、推定したパラメータ（第 3 表）と推計に用いた観測値とを掛け合わせることで、集落ごとにモデルによる 2005 年時点の面積当たり農業所得を推計できる。この値に各集落の作付面積を掛け合わせることで、集落ごとの農業所得額（以下、2005 年値とする）が求まる。第 2 に、推定したパラメータと将来の気象予測値とを用い、上記と同様の手順にて将来の農業所得合計額（以下、将来予測値とする）を求める。第 3 に、将来予測値と 2005 年値との差を求めることで、集落ごとの地球温暖化による農業所得への影響が推計できる。

将来の気象予測値としては、地球温暖化の影響が明確に表れ、かつ具体的な予測値が入手可能である気象庁(2013)による 21 世紀末 (2076 年～2095 年) の気候予測の全国平均値を利用した⁽¹⁴⁾。具体的な数値は第 4 表の通りである。気温については、どの季節も約 3℃ の上昇、降水量については秋期を除いて 38.6mm～56.8mm 増加し、1 年間の合計では

第 4 表 気象庁（2013）による 21 世紀末の気象予測値

季節	気温(日平均) の将来予測値	降水量（3か月合計） の将来予測値
春期（3月～5月）	+2.88℃	+56.8mm
夏期（6月～8月）	+2.74℃	+38.6mm
秋期（9月～11月）	+3.08℃	-27.9mm
冬期（12月～2月）	+3.36℃	+41.6mm

出所：気象庁（2013）。

109mm ほど降水量の増加が見込まれている。

推計結果については試行的なものであり、その数値等の現実的妥当性について議論する段階に至っているものではないが、地球温暖化に適切に対応することで面積あたり農業所得の増加が予想される集落がある一方、適切な対応をとったとしても農業所得の減少が予想される集落も少なからず存在する結果となった。具体的には、分析対象とした集落の 77%にあたる 76,749 集落において面積当たりの農業所得が 20%以上増加することが予測された。一方で、分析対象の 11%にあたる 10,484 集落においては面積あたり農業所得の減少が予測された。

なお推計結果の解釈の際には、面積あたり農業所得の変化額は、農家が気温や降水量の変化に対し適地適作の対応をとった場合の、いわば潜在的に最良の農業所得額として推計されている点に注意が必要である。例えば、面積あたり農業所得の増加は、その集落にとってより収益性の高い作目や技術の存在を示唆するものである。しかし、本モデルでは明示的に考慮できていない作物転換費用等の存在のため農家が適地適作の対応を取らなければ、推計値ほどの農業所得の増加は見込めない。一方、面積あたり農業所得の減少は、農家が適地適作の対応をとったとしても、既存の作目や技術の援用では収益性が低下してしまい、地球温暖化による負の影響を受けるであろうことを示している。

このような推計結果からも、以下の政策的支援の必要性が示唆されよう。第 1 に、農家による適地適作などの適応策を促す政策的支援である。例えば、作目変更に伴う初期投資などのために、農家は必ずしも適切な作目や技術の選択ができないことも考えられる。気候変動による正の影響を享受するためには、農家が円滑に作目変更などを行うための支援策が重要になるであろう。第 2 に、国内での安定的な食料生産を目的とした、負の影響を受ける地域への対応である。本分析では作目及び技術は現時点で存在するものが用いられることを仮定しており、具体的な効果は解明できないものの、新品種や新技術の研究開発

は地球温暖化による負の影響を緩和するうえで有効であると考えられる。

3) モデルの適用上の課題

本稿では、我が国の集落別データを利用したリカーディアン・モデル分析による地球温暖化の試行的な影響評価を実施した。以下では、一連の作業を通じて抽出されたモデル適用上の課題や改善方策について検討する。具体的には、分析の仮定、推計方法、データの3点について課題および改善方策を検討する。

まず、分析の仮定については以下の4点がリカーディアン・モデル分析を実施するうえでの課題として指摘できる。第1に、本稿で用いたリカーディアン・モデル分析は、各集落で具体的にどの作目や技術が最適であるか、というところまでは明らかにできない限界を有している点である。この点まで明らかにするためには、Seo and Mendelsohn (2008b)で実施されている構造リカーディアン・モデルの援用等の必要がある。第2に、将来にわたっての影響を評価するモデルであるが、新技術や新品種による影響までは分析できない点である。そもそもこれらの影響を分析するには、何らかの大胆な仮定を置いた分析とする必要がある。したがって新たな仮定を置いた分析手法を開発するの でなければ、新品種や新技術の影響については、分析結果を解釈する際の留意事項としておく必要がある。第3に、2点目ともかわるが、シミュレーションにおいて一部の地域については外挿とならざるを得ない点である。気温や降水量の予測値が観測値の範囲を大きく超えてしまうと、予測の精度は大幅に落ちる。我が国の場合は、例えばすでに平均気温が高い南西部の影響予測の精度は、比較的気温が低い北部地域に比べ低いものとならざるを得ないであろう。この問題は、台湾など日本よりも南方に位置する国のデータを用いた分析とすることで改善される可能性がある。第4に、作目変更による費用負担や需給均衡変化に伴う農産物価格の変化は分析できないという限界点を有している点である。分析結果を解釈する際にはこれら点を留意する必要がある。

推計方法については、本分析の目的が将来予測であることから、より当てはまりの良いモデルとなるように変数を選択することが必須であろう。データの取捨選択や、日射量など本稿では取り扱っていない変数の採用も検討する必要がある。

データについては、更なる精緻化が望まれる。本稿で用いた一部の集落別統計データは、市町村別統計等を按分するなどして推計している。気象データは、測候所ごとの平年値を

もとに、ごく単純な補間方法を用いて推計している。将来の期初予測値についても、本稿では全国値を用いていたが、より詳細な予測値を用いることもできよう。

以上で指摘したような問題点を有しているものの、実証的に農業分野での気候変動適応策の重要性を指摘できる点を本分析手法のメリットとして指摘できよう。さらに以上で示した課題に対応することで、より実践的な影響評価が可能となり、より有用な政策的インプリケーションを導出することが可能になると考えられる。

5. おわりに

これまで実施された地球温暖化の影響評価では、特定作物における単収の減少、品質の低下、栽培適地の減少等が指摘されることが多かったが、本研究ではリカーディアン・モデル分析をもとに地球温暖化影響の品目横断的な評価を試行的に実施し、我が国に適用する際の課題の検討を行った。試行的な影響評価により、21世紀末までの地球温暖化に対して農家が適地適作の対応をとることができれば、面積当たりの農業所得が増加する可能性がある集落が存在する一方、適地適作を行ったとしても面積当たり農業所得が減少してしまう集落も少なからず存在することが示された。この結果から、農家による地球温暖化への適応促進、及び負の影響を受ける地域への支援といった政策の必要性が示唆された。最後に、より実践的な政策提言を導出するとの観点から本分析手法を検討し、分析の仮定、推計方法、データ収集といった面における今後の課題を整理した。

本研究成果は第一次接近であり、より実践的な影響評価手法として開発するためには、引き続きモデルや変数選択の改良、自然科学系研究者との連携等が必要と考えられる。一方で、本稿で実施したように社会経済データと気象データなどを合わせて解析することで、我が国農業分野での地球温暖化適応策策定の基礎となる情報が提供できるものとする。

注

(1) ダウンスケーリング手法とは、比較的粗い空間分布で示された気候変動予測結果を、より細かな気候モデルや統計的な関係式を利用することで、より詳細な空間分布の予測結果を求める手法である（飯泉ら（2010））。

(2) ここでの最適な作目や技術とは、研究開発等により新たにもたらされるものではない。

- く、分析の基準時点（本研究の場合は 2005 年時点）に存在する作目や技術のうち、気象条件や立地条件を考慮したうえで最適なもののことである。
- （3）リカーディアン・モデルは地価をその属性で回帰するモデルであることから、Schlenker *et al.* (2005)はヘドニック回帰モデルと解釈している。
- （4）リカーディアン・モデル分析の発展形として、畜産部門も分析対象とした研究もみられる。具体的には、Seo and Mendelsohn (2008b)などである。
- （5）被説明変数として耕種農家の純収入を利用したのは、イスラエルでは農地の多くが国有化されており市場での取引もみられないためとしている。
- （6）リカーディアン・モデル分析は、作物や技術の変更に掛かる費用を明示的に考慮していないことから、作物や技術の選択、土地利用の変更等が容易である国や地域において、より実践的な政策的含意を導くことができるものと考えられる。
- （7）本研究では 2005 年単年の農業生産額データを利用した。農産物生産額の年次変動の影響を緩和するためには、前後数年分のデータの平均を取る等の方法が望ましいが、この点の改良は今後の課題としたい。
- （8）既存研究を見ると、研究により季節の取り方は異なっており、我が国の状況により適したモデルとするためには気温や降水量のデータの取り方の更なる改良が必要と考えられる。
- （9）IDW とは、距離の逆数の累乗をウェイトに加重平均する手法である。本研究では ArcGIS 10.0 における基本設定である距離の逆数の 2 乗を用い、最近接 12 サンプルの平均を求めた。なお、IDE は ArcGIS 上の「Spatial Analyst ツールボックス」の「内挿ツールセット」より利用できる。
- （10）集落の地理的特性としては集落の農地の土壌分類、日射量なども分析結果に影響を及ぼすのではないかとこの点を研究会等で指摘された。これらの変数の導入は今後の課題としたい。
- （11）DID までの距離に関して、ダミー変数の基準となるカテゴリは「DID まで 90 分以上」である。
- （12）田の傾斜に関して、ダミー変数の基準となるカテゴリは「集落内に田が存在しない」である。畑及び樹園地に関しても同様に「集落内に畑が存在しない」「集落内に樹園地が存在しない」がダミー変数の基準カテゴリとなる。
- （13）都市計画法に関するダミー変数では「集落内に都市計画法の指定地域が存在しない

い」をダミー変数の基準カテゴリとした。同様に、農業振興地域の整備に関する法律、山村振興法、豪雪地帯対策特別措置法のそれぞれに関するダミー変数においても、集落内に各法で指定される地域が存在しない場合をダミー変数の基準カテゴリとした。

(14) 本研究では、1次接近としてすべての集落に対して気象庁(2013)の全国平均値を将来予測値として利用した。気候区域別の将来予想値やメッシュでの将来予想値の適用は、モデルの改良と共に今後の課題としたい。

引用文献

Deschenes, O., and M. Greenstone (2007) "The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather," *American Economic Review*, Vol.97, pp. 354-85.

Fleischer, A., I. Lichtman, and R. Mendelsohn (2008) "Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture: Will Warming Be Harmful?," *Ecological Economics*, Vol. 65, pp. 508-15.

飯泉仁之直・西森基樹・石郷岡康史・横沢正幸(2010)「統計的ダウンスケーリングによる気候変化シナリオ作成入門」『農業気象』第66巻2号, pp. 131-143.

金起龍・澤内大輔・増田清敬・金子真也・吉田裕介・師耀軒・山本康貴(2010)「地球温暖化による気温上昇が日本の農業生産に及ぼす経済的影響」環境科学会2010年会報告資料.

気象庁(2013)『地球温暖化予測情報(第8巻)』
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/Vol8/pdf/all.pdf>

Kurukulasuriya, P., and R.O. Mendelsohn (2007) "Endogenous Irrigation: The Impact of Climate Change on Farmers in Africa," *World Bank Policy Research Working Paper*, No. 4278.

Mendelsohn, R., W. D. Nordhaus, and D. Shaw (1994) "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis," *American Economic Review* 84 (4), pp.753-771.

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)』(気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート),
http://www.jma.go.jp/jma/press/1304/12a/report_full.pdf

- 農林水産技術会議（2007）『地球温暖化が農林水産業に与える影響と対策』（農林水産研究開発レポート No.23）.
- Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds. (2007) *Climate Change 2007 : Impacts, adaptation and vulnerability : contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- Reinsborough, M.J. (2003) "A Ricardian Model of Climate Change in Canada," *Canadian Journal of Economics*, pp. 21-40.
- Seo, S.N., and R. Mendelsohn (2008a) "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on South American Farms," *Chilean Journal of Agricultural Research*, Vol. 68, pp. 69-79.
- Seo, S.N., and R. Mendelsohn. (2008b) "Measuring Impacts and Adaptations to Climate Change: A Structural Ricardian Model of African Livestock Management," *Agricultural Economics*, 38, pp. 151-65.
- Seo, S.N., R. Mendelsohn, A. Dinar, R. Hassan, and P. Kurukulasuriya (2008) "A Ricardian Analysis of the Distribution of Climate Change Impacts on Agriculture across Agro-Ecological Zones in Africa," *Policy Research Working Paper*. World Bank.
- Stern, N. (2007) *The Economics of Climate Change: The Stern review*, Cambridge University Press.
- Wang, J., R. Mendelsohn, A. Dinar, J. Huang, S. Rozelle, and L. Zhang (2009) "The Impact of Climate Change on China's Agriculture," *Agricultural Economics*, Vol. 40, pp. 323-37.