

第2章 気象条件が農産物の単収および品質に及ぼす影響

川崎 賢太郎

1. はじめに

地球温暖化に対する関心の高まりを背景として、気象条件が農業に及ぼす影響の把握が重要な課題となっている。これまでの経済学分野における研究では、農産物の生産量や生産額、農家所得（Deschênes and Greenstone (2007), Schlenker and Roberts (2009)）などに着目し、これらに気象条件が与える影響を計量経済学的な手法を用いて推計するものが多かった。しかし農家経営の観点からより細分化して考えるならば、農家収入は生産量のみならず生産物の品質にも左右される。品質は価格に反映されるからである。

生産量と品質は気象条件に対して異なる反応を示す可能性がある。例えば歴史的な猛暑を記録した 2010 年には、米の収量はさほど落ちなかったにも関わらず、多くの地域で一等米比率が大幅に低下した。このことから示唆されるように、「量」と「質」を区別することによって、気象条件が農家経済に与える影響をより詳細に明らかにすることができるはずである。

本研究は小麦を対象品目として、気象条件がその単収および品質に対して与える影響を分析することを目的とする。品質の指標には農産物検査法に基づく等級比率を利用する。同検査制度は外観品質（粒大や被害の有無）に基づいて、農産物を 1 等、2 等などと格付けするものである。味や成分を考慮していないという意味で品質の一側面しか捉えていないが、データの取得が容易であること、また日本のみならず様々な国で類似の制度が用いられていることから、分析の出発点として妥当と判断した⁽¹⁾。小麦を対象品目に選んだ理由は、生産費調査において等級に関するデータが整備されているためである。

なお気象条件と品質の関係については作物学分野で一定の研究蓄積がある。例えば水稻の場合、Okada ら（2011）や河津ら（2007）は気温と一等米比率の関係を、若松ら（2007）は気温とタンパク質含有率、背白米割合、整粒割合との関係を分析し、一般に気温が上がるほど品質が低下することを見出している。しかしこれらの研究では、気象条件がこうした品質への影響を通じて、農家経営にどれほどの影響を与えるかについては十分に評価されていない。本稿では気象条件が品質へ与える影響と、単収へ与える影響とを別個に推計

し、それぞれが最終的に農業収入に与える影響を金銭タームで比較することを通じて、農家経営から見た品質の重要性を明らかにする。

以下の構成は次の通りである。まず次節では我が国の農産物検査制度の概要と、小麦を事例にして等級を左右する要因を議論する。第3節では各種の要因（農薬や気温など）が、農家の品質および単収への影響を通じて、どの程度農家収入を左右しているかを把握するための推計方法を、第4節では分析に用いるデータを紹介する。第5節は推計結果であり、等級の決定要因、単収の決定要因、そして品質と単収変化を通じた農家収入の変化を順次議論する。最後の第6節では本稿の要約と結論を述べる。

2. 農産物検査制度の概要

我が国では、1951年に制定された農産物検査法に基づき、米穀（もみ、玄米及び精米）、麦（小麦、大麦及びはだか麦）、大豆、小豆、いんげん、かんしょ生切干、そば及びでん粉の全10品目において、農産物検査が実施されている。同検査は、① 種類、品質等のまちまちな農産物について、通常取引される商品としての客観的要件に従って分類し、商品としての規格化（あるいは標準化）を行うこと、② これにより、現物の確認を要しない規格取引を可能として、公正かつ円滑な取引が図られること、③ また、生産者にとっては、規格を定めることにより、農産物の商品としての生産目標であり、品質改善の指標となること、④ 流通段階においては、円滑な流通が図られ、流通における費用の節減や安定した取引が行われることにより、消費の合理化に寄与すること、を目的としている。

小麦の等級検査の場合、検査の仕組みは以下の通りである。まず農家が収穫した小麦はコンテナに入った形で集荷される。次に政府の認定を受けた検査員が、コンテナごとにサンプルを採取し、検査規格に従い、1等、2等、規格外へと分類する。1等と2等の小麦は主に製粉業者に食用として販売され、パスタやパン等加工されるが、規格外小麦は飼料などの非食用向けに販売される。本稿で用いるデータによれば、1等と2等小麦には約15%の価格差があるが、2等と規格外小麦には、用途の違いを反映して、8倍近い価格差がある。このことから示唆されるように、等級の違いは農家収入を左右する重要な要素である。なお小麦の場合、生産量のほぼ全量が等級検査を受検した上で流通している。

第 1 表 普通小麦の検査規格

	最低限度			最高限度					
	容積重 (グラム)	整粒 (%)	形質	水分 (%)	被害粒、着色粒、異種穀粒及び異物				
					計 (%)	異種穀粒 (%)	異物		
							麦角粒 (%)	なまぐさ黒穂病粒 (%)	麦角粒及びなまぐさ黒穂病粒率を除いたもの (%)
1等	780	75	1等標準品	12.5	5.0	0.5	0.0	0.1	0.4
2等	730	60	2等標準品	12.5	10.0	1.0	0.0	0.1	0.6

規格外—異臭のあるもの又は 1 等及び 2 等のそれぞれの品位に適合しない普通小麦であって、異種穀粒及び異物を 50%以上混入していないもの

附

- 1 普通小麦の規格は、品種銘柄として定められた品種以外の小麦（種子小麦を除く。）について適用する。
- 2 強力小麦の規格は、品種銘柄として定められた品種（種子小麦を除く。）について適用する。
- 3 種子小麦の規格は、主要農作物種子法第 3 条第 1 項の規定による指定種子生産場又は同法第 7 条第 2 項の規定による指定原種ほ若しくは指定原原種ほにおいて生産されたものについて適用する。
- 4 普通小麦及び強力小麦のうち 1 等及び 2 等のものには、被害粒のうち発芽粒が 2.0%、赤かび粒が 0.0%及び黒かび粒が 5.0%を超えて混入してはならない。
- 5 普通小麦のうち 1 等及び 2 等のものには、強力小麦が 10%を超えて混入してはならない。
- 6 小麦には、異物として土砂（これに類するものとして生産局長が定めるものを含む。）が混入してはならない。
- 7 種子小麦には、異臭があってはならない。
- 8 種子小麦には、異品種粒、異種穀粒又はなまぐさ黒穂病粒が混入してはならない。
- 9 包装には、生産局長が別に定めるところにより、あらかじめ農産物検査員が包装の規格に適合するものとして確認を行った麻袋、樹脂袋又は紙袋を使用していなければならない。

定義

- 1 百分率—全量に対する重量比をいう。ただし、なまぐさ黒穂病粒率、硝子率及び発芽率の場合を除く。
- 2 容積重—ブラウェル穀粒計で測定した 1 リットルの重量をいう。
- 3 整粒—2 ミリメートルの縦目ぶるいをもって分け、そのふるいの上に残る健全粒をいう。
- 4 形質—皮部の厚薄、充実度、質の硬軟、粒ぞろい、粒形、光沢等をいう。
- 5 水分—常圧加熱乾燥法のうち、105度乾燥法によるものをいう。
- 6 被害粒—損傷を受けた粒（発芽粒、病害粒、くされ粒、たい色粒、虫害粒、碎粒、熱損粒及び種子小麦についての芽くされ粒、胴割粒等）をいう。ただし、普通小麦及び強力小麦にあつては、被害が軽微で小麦粉の品質及び製粉歩合に影響を及ぼさない程度のものを除く。
- 7 発芽粒—発根又は発芽している粒及び発根又は発芽のこん跡のある粒をいう。
- 8 赤かび粒—赤かび病菌等に侵されて赤色を帯びた粒をいう。
- 9 黒かび粒—かび又は菌等に侵されて黒色を帯びた粒をいう。
- 10 異品種粒—その品種以外の小麦の粒をいう。
- 11 異種穀粒—小麦を除いた他の穀粒をいう。
- 12 異物—穀粒を除いた他のものをいう。
- 13 麦角粒—麦角菌菌糸のかたまり及び麦角菌に侵された穀粒をいう。
- 14 なまぐさ黒穂病粒率—なまぐさ黒穂病菌に侵された粒の供試した粒に対する粒数歩合をいう。
- 15 硝子率—整粒中の硝子質粒の供試した整粒に対する粒数歩合をいう。
- 16 発芽率—摂氏 20 度で 8 日間以内に発芽した正常発芽粒の供試した健全粒等に対する粒数歩合をいう。
- 17 健全粒等—健全粒、成熟していない粒及び被害粒（原形の 2 分の 1 以下の碎粒を除く。）をいう。
- 18 たんばく質—窒素定量法により換算値 5.70 を用いたもの又はこれと同等の精度でその測定結果が得られる近赤外分析計を用いて測定したものをいう。
- 19 でん粉—落球粘度計により測定したものをいう。

小麦の検査規格を第 1 表に示した。検査規格は、水分含有率、異物、被害粒、異種穀粒及び未熟粒の混入率、形質、整粒歩合、発芽率、容積重など、主に外観品質を基に構成されている⁽²⁾。同表からわかるように、等級を左右する上でまず重要となるのが病害の有無である。麦角菌、なまぐさ黒穂病、赤かび病、黒かび病に侵された粒がわずかでも見つければ、ただちに規格外へと分類されてしまう。こうした病気は、一度圃場で発生すると除去することが困難なため、予め農薬（殺菌剤）を予防的に利用することが重要である。特に 5、6 月の出穂期の前に用いることが効果的であることが知られている。気候も病気の

発生に関連する重要な要素である。我が国では、小麦の成長に最も大切な時期である登熟期が、ちょうど梅雨の時期と重なってしまうが、この時期の降雨や高温による湿度の上昇は、赤かび病や発芽粒を誘発し、品質低下の要因となる。また我が国で主流の秋撒き小麦の場合、冬季の過度の積雪は雪腐病の原因となる。

検査規格のうち、容積重、整粒率（2mm のふるいの上に残る粒）、形質（皮部の厚薄、充実度、質の硬軟、粒ぞろい、粒形、光沢等）などは、いずれも小麦の生育に関する項目である。これらに影響を与える要因としては、気候、肥料、品種、地目などが挙げられる。暖冬は小麦の成長を加速させ、過度の降雨は容積重を引き下げることが知られている。肥料は小麦に養分を供給し成長を促進させる。品種によって生育や病害への抵抗性は異なる。畑に比べて水田の場合、排水を十分に行わなければ、湿害が発生し、これによって生育が妨げられてしまう。

これらの知見を踏まえ、以下の計量分析では、気象条件（気温、降水量、降雪量）、農薬、肥料、地目（水田か畑地か）、品種などを品質を左右する説明変数として用いることとする。

3. 推計方法

本節では、気温、降水量、農薬などの各種要因が、農産物の品質および単収への影響を通じて、どの程度農家収入を左右しているかを数量的に把握するための推計方法を説明する。

まず面積あたりの農家収入 r は、等級別の価格、等級シェア、そして単収によって、以下の通り定義できる。

$$r = \left[\sum_g p_g s_g(\mathbf{X}) \right] \cdot y(\mathbf{X})$$

ここで p_g と s_g は等級 g の価格とシェア（ g は 1 等、2 等、規格外の 3 通り）、 y は単収である。そして説明変数ベクトル $\mathbf{X}$ （気温や降水量など）は、関数 $s(\mathbf{X})$ と $y(\mathbf{X})$ に従い、等級シェアと単収に影響を及ぼしうる。これを $\mathbf{X}$ で微分すれば、

$$\frac{\partial r}{\partial \mathbf{X}} = \underbrace{\left[\sum_g p_g \frac{\partial s_g(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{X}} \right] \cdot y(\mathbf{X})}_{\text{品質効果}} + \underbrace{\left[\sum_g p_g s_g(\mathbf{X}) \right] \cdot \frac{\partial y}{\partial \mathbf{X}}}_{\text{数量効果}} \quad (1)$$

となる。この式は $\mathbf{X}$ がわずかに増加したときに、収入 r がどの程度変化するかを示している。右辺第一項は $\mathbf{X}$ の変化が等級シェアの変化を通じて収入に及ぼす影響（品質効果）を、第二項は単収変化を通じて収入に及ぼす影響（数量効果）をそれぞれ表している。これら 2 つの項を比較することによって、 $\mathbf{X}$ が品質と数量のいずれにより大きな影響を及ぼすかを、金銭タームで比較することが可能となる。

2 つの項を計算する際、 p_g , s_g , y には、サンプル平均値を代入する。また式中①の項は、 $\mathbf{X}$ が等級シェアに及ぼす影響であり、②の項は $\mathbf{X}$ が単収に及ぼす影響である。①と②はいずれもデータから直接的に観察できないため、計量経済学的な手法を用いて推計する必要がある。このうち②についてはいわゆる生産関数アプローチによって推計する。一方①については、以下の(2)式の通り、各等級シェアを被説明変数、 $\mathbf{X}$ を説明変数として、線形回帰することが最も単純な方法である。

$$s_g = \mathbf{X}\beta + e \quad (2)$$

しかしこの場合、等級比率が持つ 2 つの重要な特性を無視することになる。第 1 は等級間の序列関係である。等級間には品質の高い順に 1 等、2 等、規格外という明確な序列関係があるが、上記の線形回帰モデルではこうした序列関係を明示的に扱うことができない。第 2 はシェアとしての特性である。等級比率はその定義上、0 から 1 の間の値をとるが、そうした制約を無視している。例えば推計結果を用いて予測値を計算しても、それが 0 から 1 の間に納まる保証はないのである。そこで本稿では、(2)式の推計に加え、Kawasaki and Lichtenberg (2014)が開発した Ordered Fractional モデルを用いる。同モデルは、序列関係（Ordered）とシェア（Fractional）という 2 つの特性を扱うことができるというメリットを有する。モデルの詳細は極めて技術的なため、興味ある読者は Kawasaki and Lichtenberg (2014)を参照されたい。

なお農薬や労働などの各種投入物については、誤差項と相関している（内生変数である）可能性がある⁽³⁾。そこで **Ordered Fractional** モデルの推計時には操作変数として、労賃単価に加え、自身の投入量ラグまたは県内他農家の投入量ラグ平均値のいずれかを用いた。また(2)式の推計には、同様に労賃単価と自身の投入量ラグを操作変数とした二段階最小二乗法（2SLS）に加え、各種投入量が、農家の技術力や土地の質といった、時間に関して一定かつ観察することのできない要因と相関している可能性もあるため、固定効果（**Fixed effect**）モデルによる推計も併せて行った。

なお同一農家の異なる年次間の誤差項が相関している可能性があるため、農家をクラスター単位とした標準誤差（**Clustered standard error**）を用いている。

4. データ

第 2 表に各変数の定義と基礎統計量を示した。農家の経営データは 1995 年から 2006 年の麦類生産費調査個票から得た。各等級比率は重量ベースのシェアで定義される。農薬（殺菌剤と殺虫剤）、除草剤、肥料、労働はいずれも面積あたりの値で、農薬、除草剤、肥料はそれぞれの支出額、労働は労働時間で定義される。農業機械は資本ストックである。価格、支出額、資本額はいずれも消費者価格指数でデフレートされている。また代表的な品種として、チホク、農林 61 号、シロガネ、ホクシンの作付面積シェアを利用する。これらの 4 品種は 1995 年から 2006 年の小麦作付面積の 74～81%を占めている（農林水産省（各年））。

農家単位の等級別価格は、等級別の収入を等級別生産量で割ることによって計算した。しかしここから直ちにわかるように、ある等級の生産量がゼロの場合、その等級の価格を算出することはできない。例えば 1, 2 等の生産量は観察されても、規格外の生産量がゼロの場合、規格外の価格を算出することはできない。そこで都道府県別（かつ年別）に平均したものを利用することとした（なお北海道が 4 地域に分割されているため、実際には都府県および道内 4 地域ごとに計算した。気候データの計算も同様である）。

平均気温、降雨量、降雪量は、気象庁が管理する全国約 1300 地点の気候観測所の日別データを、以下の手順で加工した。まず市町村単位（年によって異なるが約 1700～3600 市町村）の気候変数を、各市町村の役所所在地から最も近い気候観測所のデータを代入することで作成した。その際には役所所在地と気候観測所の距離が 30km 以内、標高差が

150m 以内という条件を課した。条件に合致しない市町村（約 1%が該当）の気候は欠損値として扱った。また一般に標高が上がれば気温が低下するため，標高差 100m あたり 9.8 度の乾燥断熱減率を用いて気温の補正を行った（Danielson, Levin, and Abrams (2003)）。次に年別・市町村別の小麦作付面積をウェイトとして気候変数を加重平均し，県単位の日別の気候変数を作成した。最後に日別のデータから，冬季（10 月～3 月）と春季（4 月～6 月）の 2 つのシーズンごとの平均値を計算した。以下の分析ではこのシーズン平均値を利用する。

第 2 表 基礎統計量

		定義	単位	平均	標準偏差
被説明変数	等級シェア	重量ベースのシェア			
	1等		0-1	0.641	0.426
	2等		0-1	0.270	0.391
	規格外		0-1	0.089	0.198
	単収		kg/a	37.9	13.7
説明変数 (内生変数)	農薬	殺菌剤・殺虫剤の支出額	10000円/ha	1.200	1.537
	除草剤	除草剤の支出額	10000円/ha	1.760	1.068
	肥料	肥料の支出額	10000円/ha	6.052	2.754
	労働	労働時間	100時間/ha	0.905	0.664
	小麦作付面積	小麦作付面積	0.01 ha	358.3	418.3
	品種シェア	面積ベースのシェア			
	チホク		0-1	0.041	0.190
	農林61号		0-1	0.293	0.441
	シロガネコムギ		0-1	0.135	0.334
	ホクシン		0-1	0.166	0.366
説明変数 (外生変数)	価格差 (2等・規格外)		100円/kg	1.089	0.127
	価格差 (1等・2等)		100円/kg	0.181	0.059
	機械	農業機械の資本ストック	100000円	0.043	0.048
	畑地シェア	畑地面積/(畑地面積+水田面積)	0-1	0.289	0.437
	総耕地面積		0.01 ha	1030.3	1183.7
	中間地ダミー		0 or 1	0.158	0.365
	山間地ダミー		0 or 1	0.011	0.103
	都市ダミー		0 or 1	0.218	0.413
	気温 (冬季)	10月～3月の平均気温	℃	5.921	4.776
	降雨量 (冬季)	10月～3月の平均一日あたり降水量	mm	2.315	0.792
	降雪量 (冬季)	10月～3月の平均一日あたり降雪量	cm	1.069	1.547
	気温 (春季)	4月～6月の平均気温	℃	15.957	3.825
	降雨量 (春季)	4月～6月の平均一日あたり降水量	mm	4.570	2.585

第 3 表 Ordered Fractional モデルの推計結果

モデル 操作変数	OF1 賃金及び 自身ラグ	OF2 賃金及び 近隣農家ラグ		OF1 (続き)	OF2 (続き)
内生変数			誤差項 ^{注3}		
農薬	0.132 [2.42]**	0.163 [2.33]**	農薬	-0.067 [-1.10]	-0.107 [-1.10]
除草剤	-0.045 [-0.63]	-0.159 [-1.96]**	除草剤	0.008 [0.09]	0.241 [2.09]**
肥料	0.017 [0.79]	0.031 [1.35]	肥料	0.004 [0.11]	-0.032 [-0.73]
労働	-0.084 [-0.74]	-0.078 [-0.68]	労働	0.128 [0.55]	0.080 [0.23]
小麦作付面積	-0.00002 [-0.16]	-0.00009 [-0.57]	小麦作付面積	-0.00035 [-1.37]	-0.00022 [-0.70]
チホク	-0.344 [-1.44]	-0.324 [-0.98]	チホク	-0.786 [-2.52]**	-0.471 [-1.11]
農林61号	-0.408 [-2.36]**	-0.285 [-1.49]	農林61号	0.604 [1.61]	0.185 [0.41]
シロガネコムギ	-0.221 [-1.41]	-0.138 [-0.81]	シロガネコムギ	0.154 [0.45]	0.078 [0.16]
ホクシン	0.093 [0.32]	-0.370 [-1.19]	ホクシン	-0.021 [-0.07]	0.613 [1.69]*
外生変数			閾値		
価格差(2等・規格外)	1.870 [4.93]***	1.850 [4.90]***	≧ 1	-3.87 [-3.88]***	-3.22 [-2.94]***
価格差(1等・2等)	0.323 [0.40]	0.367 [0.47]	m 2	-0.252 [-3.63]***	-0.253 [-3.66]***
機械	1.370 [1.03]	1.800 [1.36]			
畑地シェア	-0.139 [-0.92]	-0.184 [-1.23]			
総耕地面積	-3.06E-05 [-0.41]	-8.73E-06 [-0.12]	サンプル数	1,872	1,872
中間地ダミー	0.168 [1.55]	0.162 [1.48]	対数尤度	-1324	-1326
山間地ダミー	0.402 [1.02]	0.535 [1.51]			
都市ダミー	0.059 [0.49]	0.084 [0.69]			
気温(冬季)	0.274 [3.36]***	0.193 [2.23]**			
降雨量(冬季)	0.169 [2.28]**	0.165 [2.19]**			
降雪量(冬季)	-0.672 [-8.46]***	-0.705 [-8.38]***			
気温(春季)	-0.284 [-2.69]***	-0.192 [-1.73]*			
降雨量(春季)	-0.202 [-5.81]***	-0.220 [-6.15]***			

注 1) 括弧内はt値。*、**、***、はそれぞれ10%、5%、1%水準で有意

注 2) いずれのモデルも年次および地域に関する固定効果を含む。

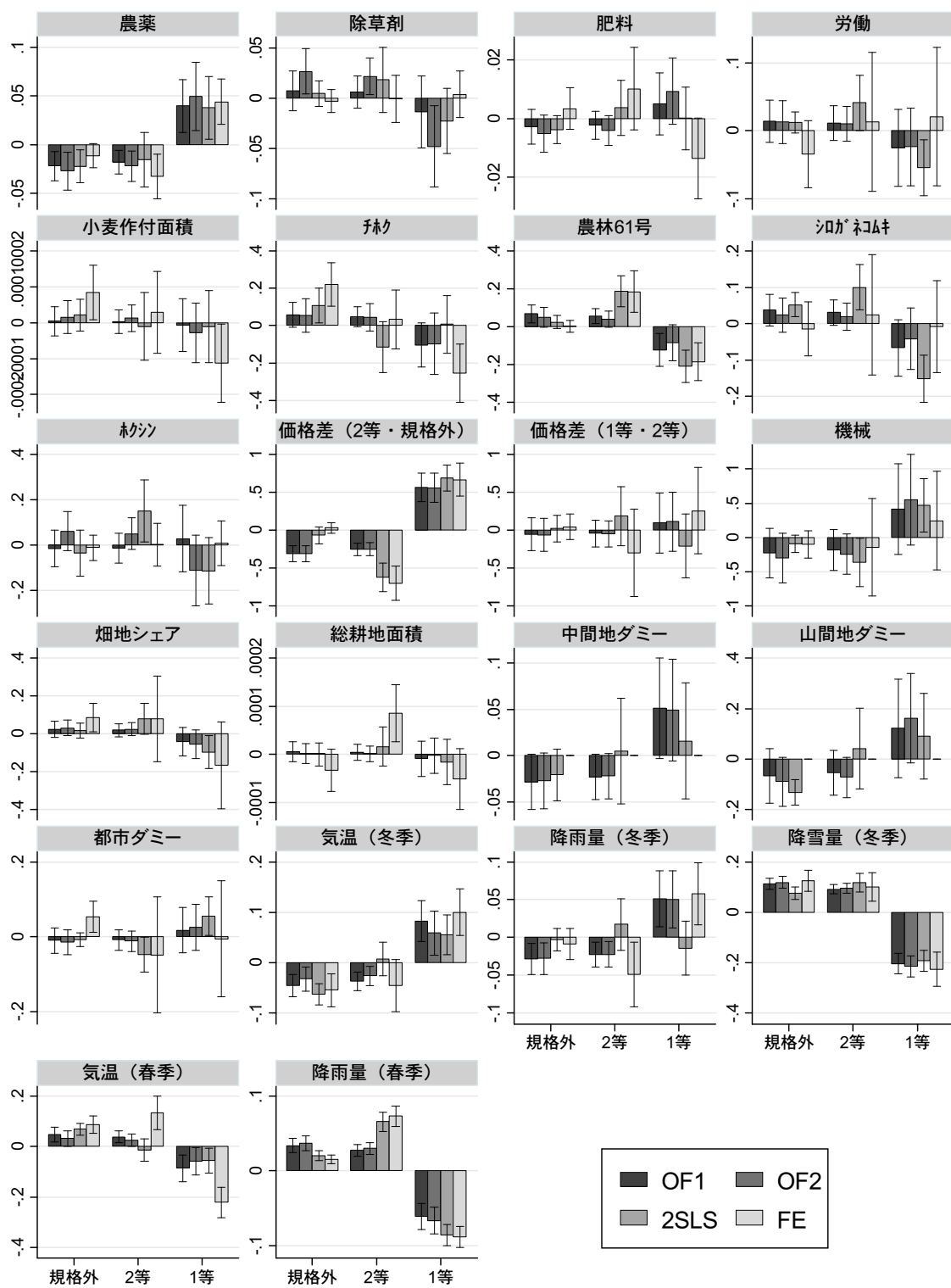
注 3) 内生性に対応するため、内生変数を外生変数と操作変数で別途回帰し、得られた誤差項の予測値を説明変数に加えた。

第 4 表 (2) 式の推計結果

推計方法 被説明変数	二段階最小二乗法(2SLS)			固定効果モデル(FE)		
	規格外比率	2等比率	1等比率	規格外比率	2等比率	1等比率
農薬	-0.022 [-2.20]**	-0.016 [-0.91]	0.038 [1.94]*	-0.011 [-1.54]	-0.033 [-2.34]**	0.044 [3.14]***
除草剤	0.005 [0.61]	0.018 [0.92]	-0.023 [-1.15]	-0.003 [-0.43]	-0.001 [-0.06]	0.004 [0.28]
肥料	-0.004 [-1.32]	0.004 [0.65]	0.000 [0.01]	0.003 [0.79]	0.010 [1.19]	-0.014 [-1.64]
労働	0.013 [1.34]	0.042 [1.67]*	-0.054 [-2.16]**	-0.034 [-1.15]	0.013 [0.21]	0.021 [0.34]
小麦作付面積	0.000021 [0.79]	-0.000010 [-0.18]	-0.000011 [-0.18]	0.000084 [1.81]*	0.000029 [0.42]	-0.000113 [-1.71]*
チホク	0.107 [1.88]*	-0.114 [-1.38]	0.007 [0.07]	0.221 [3.15]***	0.034 [0.35]	-0.255 [-2.69]***
農林61号	0.024 [1.17]	0.186 [3.69]***	-0.210 [-4.01]***	0.002 [0.10]	0.185 [2.77]***	-0.186 [-3.09]***
シロガネコムギ	0.052 [2.54]**	0.100 [2.64]***	-0.152 [-3.87]***	-0.015 [-0.33]	0.024 [0.24]	-0.009 [-0.12]
ホクシン	-0.036 [-0.59]	0.150 [1.81]*	-0.114 [-1.28]	-0.011 [-0.32]	0.002 [0.03]	0.009 [0.15]
価格差(2等・規格外)	-0.068 [-0.99]	-0.621 [-5.42]***	0.69 [6.46]***	0.03213 [0.77]	-0.701 [-5.05]***	0.669 [5.02]***
価格差(1等・2等)	0.023 [0.21]	0.186 [0.78]	-0.209 [-0.81]	0.044 [0.43]	-0.301 [-0.86]	0.257 [0.74]
機械	-0.096 [-1.25]	-0.370 [-1.72]*	0.466 [1.97]**	-0.099 [-0.82]	-0.144 [-0.33]	0.244 [0.56]
畑地シェア	0.017 [0.75]	0.080 [1.59]	-0.097 [-1.83]*	0.087 [1.90]*	0.079 [0.58]	-0.166 [-1.19]
総耕地面積	-2.35E-07 [-0.02]	1.64E-05 [0.66]	-1.61E-05 [-0.57]	-3.37E-05 [-1.27]	8.53E-05 [2.36]**	-5.16E-05 [-1.34]
中間地ダミー	-0.021 [-1.23]	0.005 [0.14]	0.016 [0.42]			
山間地ダミー	-0.132 [-4.37]***	0.042 [0.43]	0.091 [0.88]			
都市ダミー	-0.008 [-0.68]	-0.048 [-1.69]*	0.055 [1.77]*	0.054 [2.14]**	-0.048 [-0.51]	-0.005 [-0.06]
気温(冬季)	-0.063 [-4.84]***	0.008 [0.38]	0.055 [2.29]**	-0.055 [-2.78]***	-0.046 [-1.45]	0.100 [3.61]***
降雨量(冬季)	-0.003 [-0.34]	0.017 [0.83]	-0.014 [-0.66]	-0.009 [-0.70]	-0.049 [-1.89]*	0.058 [2.31]**
降雪量(冬季)	0.075 [5.11]***	0.117 [5.19]***	-0.193 [-7.54]***	0.125 [4.98]***	0.101 [2.95]***	-0.226 [-5.56]***
気温(春季)	0.069 [4.82]***	-0.014 [-0.52]	-0.055 [-1.83]*	0.087 [4.08]***	0.134 [3.33]***	-0.221 [-6.00]***
降雨量(春季)	0.020 [5.23]***	0.066 [8.37]***	-0.086 [-10.02]***	0.015 [4.28]***	0.073 [8.78]***	-0.089 [-10.37]***
定数項	-0.710 [-4.29]***	0.483 [1.76]*	1.230 [4.00]***	-1.200 [-3.37]***	-0.934 [-1.41]	3.130 [5.15]***
サンプル数	1,872	1,872	1,872	1,872	1,872	1,872
R-squared	0.227	0.181	0.223	0.168	0.234	0.318

注 1) 括弧内はt値。*、**、***、はそれぞれ10%、5%、1%水準で有意

注 2) いずれのモデルも年次および地域に関する固定効果を含む。



第 1 図 等級の決定要因

5. 計測結果

(1) 等級の決定要因

第 3, 4 表に示した Ordered Fractional モデルと線形回帰モデルの推計結果を基に, 各変数が等級に与える影響を図示したものが第 1 図である。同図は各変数が 1 単位増えたときに, 各等級シェアが何%ポイント増減するかを示しており, 数式で言えば, (1)式の①の項に該当する。色の違いは推計方法の違いである。OF1, OF2 は Kawasaki and Lichtenberg (2014)が開発した Ordered Fractional モデルであり, 操作変数として, 自身のラグを用いた場合の結果を OF1, 県内他農家のラグ平均値を用いた場合のそれを OF2 と記載した。2SLS および FE は, それぞれ二段階最小二乗法と固定効果モデルによる(2)式の推計結果である。例えば農薬を 1 単位増やした場合 (第 2 表にあるように, 農薬の単位は面積あたりの支出額である), 1 等比率は 0.05%ポイント, 2 等と規格外はそれぞれ 0.025%ポイント程度減少することがわかる。グラフ内で上下に伸びた線は推計値の 90%信頼区間を示している。従ってこの線が 0 に重なっていなければ, 90%水準で有意に 0 と異なる, と言えることになる。農薬の場合, ほとんどのケースでゼロと有意に離れている。また推計値には多少のばらつきはあるものの, 4 つの推計方法は概ね似た傾向を示している。一方, 例えば肥料の場合, 90%信頼区間は広くゼロと有意差がない。また 4 つの推計方法で推計値は大きく異なる。従って肥料が品質改善に寄与している証拠は検出できない。このほか, 有意な変数に着目すると農林 61 号を用いると品質は低下する。同品種は戦時中に開発された古い品種であり, そのため病害への耐性が必ずしも強くないことを反映しているであろう。また 2 等と規格外の価格差が大きいほど品質が上がっている。これは品質格差が広がるほど, 良質な小麦を作ろうとする農家のインセンティブが増すことを背景にしているものと考えられる。

次に気候変数に着目すると, まず春季の降雨量が極めて有意に (信頼区間が狭い), 1 等比率を引き下げることがわかる。春季の降雨量は第 2 表にあるように, 平均して 4.5mm/day であるが, これが 1 単位増えて 5.5mm/day になれば, 1 等比率は約 10%ポイント減少することが示唆される。冬季の降雨量は, 4 つの推計方法で結果が一致しておらず, 2SLS では非有意, 他の推計方法では 1 等比率を押し上げることが示唆される。平均気温は, 冬季は 1 等比率を上昇させるが, 春季では逆に低下させる。つまり暖冬は小麦の品質を改善するが, 春季はむしろ冷涼な方が品質の改善に望ましいことがわかる。また降雪量が多い

ほど、1 等比率は低下することがわかる。これらの結果は概ね作物学分野の知見，すなわち暖冬は成長を促進すること，過度の積雪は雪腐病の原因となること，登熟期（初夏）の降雨や高温は赤かび病や発芽粒を発生させること，などと整合的である。

（２）単収の決定要因

次に各変数が単収に与える影響を第 5 表に示した。これは被説明変数を単収とした線形回帰モデルの推計結果であり，表中の数値は各変数が 1 単位増えたときに，単収がどの程度増減するかを示しており，(1)式の②の項に該当する。推計方法は，二段階最小二乗法（2SLS）および固定効果モデル（FE）である。なおここでは単純化のため線形回帰としたが，二次関数型，Generalized Leontief 型でも結果に大きな違いはなかった。（一部の説明変数がゼロをとりうるため，対数変換を要するコブダグラス型，トランスログ型は用いることができない）。

気候に関する変数に着目すると，まず冬季の気温は，2SLS では正值で有意だが，FE ではゼロに近く有意でなく，単収に与える効果を明確に検出することはできない。一方，春季の気温は，推計値には 2 倍程度の開きがあるものの，どちらの推計方法でも有意かつマイナスであり，春の高温は単収を減少させると言える。前節の結果も勘案すると，春季の高温は単収にも品質にも望ましくないことがわかる。なお単収への効果と品質への効果のうち，どちらが農家経営にとってより大きな意味を持つかについては次節で論じる。

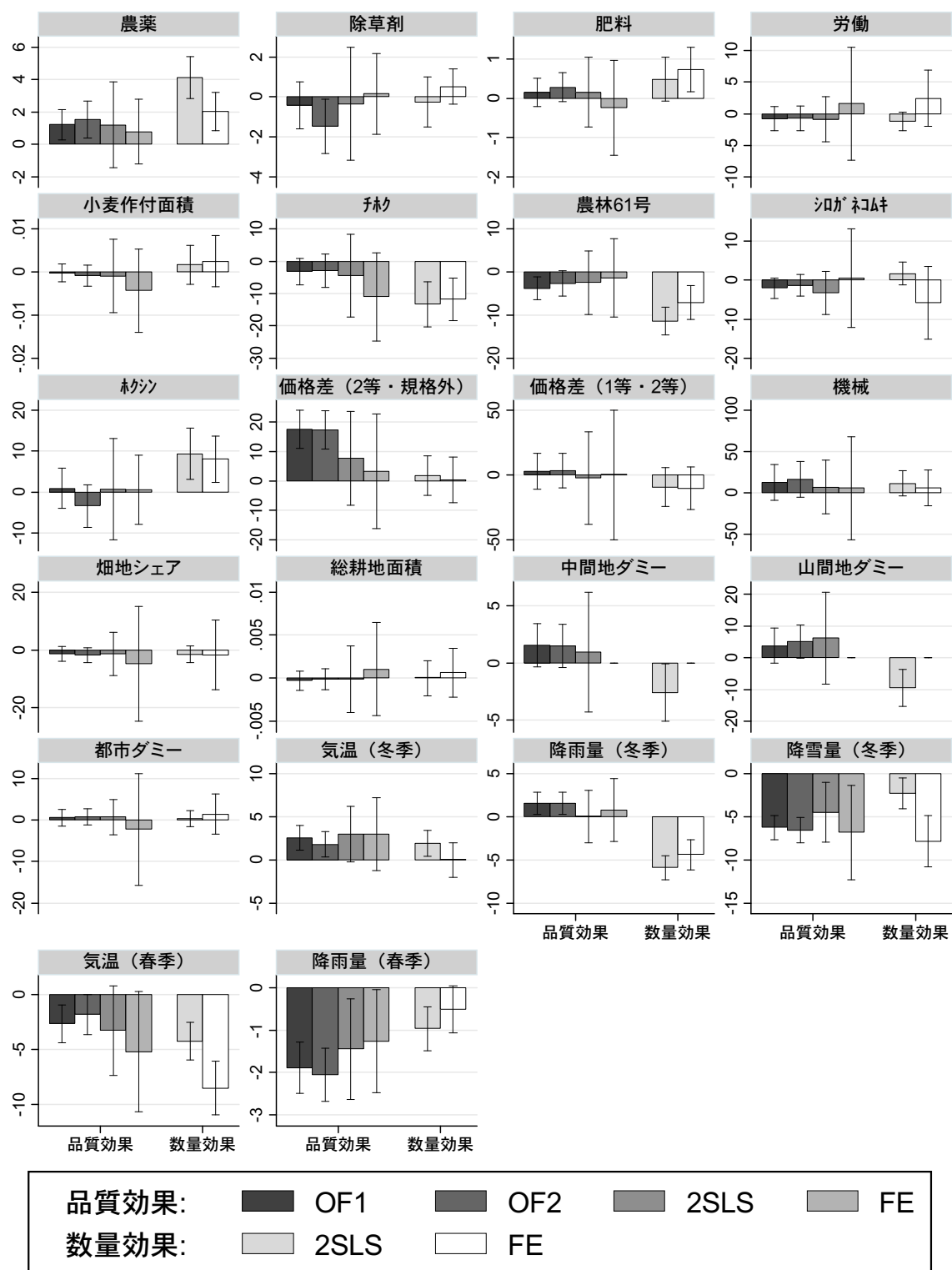
このほか，降雨量（冬季・春季），降雪量はいずれも有意かつマイナスで，乾燥した気候が小麦の単収増加に望ましいことが示唆される。少雨と多照は，作物学分野でも小麦の多収要因として指摘されており（松江ら 2001），本稿の結果は，実際の農家レベルのデータからもそれを裏付けるものと言える。

気候以外の変数では，農薬，肥料，ホクシンが単収を増大させ，世代の古いチホクや農林 61 号といった品種では低収の傾向がある。また鳥獣害を反映してか，中間地や山間地では（ダミー変数の基準である平地に比べて）低収となっていることがわかる。なお中間地と山間地のダミー変数は，時間に関して一定のため，固定効果モデルで推計することはできなかった。

第 5 表 生産関数の推計結果

推計方法	二段階最小二乗法 (2SLS)	固定効果モデル (FE)
被説明変数	単収	単収
農薬	3.200 [6.30]***	1.570 [3.35]***
除草剤	-0.202 [-0.41]	0.400 [1.14]
肥料	0.382 [1.74]*	0.576 [2.58]**
労働	-0.940 [-1.59]	1.880 [1.07]
小麦作付面積	0.001313 [0.74]	0.001944 [0.83]
チホク	-10.000 [-3.76]***	-9.120 [-3.51]***
農林61号	-8.820 [-6.86]***	-5.480 [-3.52]***
シロガネコムギ	1.290 [1.13]	-4.500 [-1.22]
ホクシン	7.240 [2.93]***	6.260 [2.81]***
価格差(2等・規格外)	1.420 [0.54]	0.218 [0.07]
価格差(1等・2等)	-7.300 [-1.23]	-7.910 [-1.22]
機械	9.070 [1.47]	4.780 [0.56]
畑地シェア	-1.160 [-1.00]	-1.320 [-0.28]
総耕地面積	1.16E-05 [0.01]	4.95E-04 [0.45]
中間地ダミー	-2.020 [-2.03]**	
山間地ダミー	-7.340 [-3.17]***	
都市ダミー	0.233 [0.31]	1.110 [0.59]
気温(冬季)	1.490 [2.54]**	-0.019 [-0.02]
降雨量(冬季)	-4.570 [-8.28]***	-3.420 [-4.93]***
降雪量(冬季)	-1.800 [-2.54]**	-6.080 [-5.13]***
気温(春季)	-3.290 [-4.85]***	-6.610 [-6.78]***
降雨量(春季)	-0.750 [-3.65]***	-0.395 [-1.79]*
定数項	83.000 [11.31]***	145.000 [9.36]***
サンプル数	1,872	1,872
R-squared	0.500	0.335

注 1) 括弧内はt値。*、**、***、はそれぞれ10%、5%、1%水準で有意
 注 2) いずれのモデルも年次および地域に関する固定効果を含む。



第2図 品質効果と数量効果

（３）品質効果と数量効果

以上の推計から（１）式の①，②を求めることができた。これを利用して品質効果と数量効果を計算した結果が第２図である。各グラフ内の６つのバーのうち，左４つは品質効果であり，各変数が１単位増えたときに，等級シェアの変化を通じて，面積あたりの収入が何円増減するかを表している。４つのバーは，５（１）節で示した４つの推計方法（OF1，OF2，2SLS，FE）に対応している。一方，右２つのバーは数量効果を表しており，各変数が１単位増えたときに，単収の変化を通じて，面積あたりの収入が何円増減するかを示している縦軸の単位は１アールあたり１００円である。推計方法は５（２）節で示した通り，2SLSとFEの２通りである。またバー上の垂直線は，９０％信頼区間を示している。

例えば農薬の場合，農薬を１単位増やすと，品質効果を通じて収入が１円程度増加し，数量効果を通じて２～４円程度増加することがわかる。つまり農薬が品質を改善して収入を増やす効果は，単収の改善を通じた収入増加効果の， $1/2 \sim 1/4$ 程度である⁽⁴⁾。単収に着目して農薬の生産性を計測した研究は数多いが，こうした品質改善の効果も考慮すると，それらの計測例は農薬の効果を数割程度過小評価していることが示唆される。

一方，気候の変数に着目すると，まず冬季の気温は数量効果はほとんどないが，品質効果は大きい。暖冬は小麦の品質を改善すると言える。逆に春季の気温は数量・品質の両方に負の影響を与えているが，その大きさは数量効果の方が大きいようである。つまり春季の高温は品質と単収を共に悪化させるが，農家経営的には特に単収による悪影響に注意が必要である。また春季の降雨量の数量効果は－１円弱であるが，品質効果は－１～－２円と２倍程度の大きさがある。つまり春季の雨は単収よりもむしろ品質の悪化を通じて，農家経済に悪影響を及ぼす。逆に冬季の雨は，品質への影響はほとんどないが，数量効果は大きくマイナスである。降雪量は，品質効果と数量効果が同程度にネガティブである。

以上のように変数ごとに強弱の程度は異なるが，品質効果は数量効果に比べて決して小さくはない。特に春季の降雨，冬季の気温や降雪量は，数量効果に比べて品質効果が大きかった。この結果は温暖化の経済被害予測などを試みる研究に対して重要な含意を持つ。既存研究の多くは収量の変化だけに着目していたが，農家経済から見れば，品質の変化も大きな影響を持つからである。品質効果を無視した影響予測は，農家経済への影響を過小評価しており，今後は品質も加味したより総合的な影響把握が必要である。

次に地球温暖化による小麦への影響について考察してみる。各種の試算結果によると，２１世紀末の日本では全般的に高温・多雨となることが予測されている。IPCC（２００７）の

A1B シナリオによると、20 世紀末と比べ、21 世紀末の日本近郊の降水量は 12～2 月はほぼ不変だが、6～8 月は 10%程度増え、年間平均気温は 3 度程度上昇することが見込まれている。月別の平均気温を予測した気象庁（2005）においても、冬季・春季ともに平均気温の増加は 3 度程度である。また気象庁（2008）によると 21 世紀末の寒候期の降水量は、沖縄・奄美を除いて増加傾向にあり、北海道、東北日本海側で 10～30%増加すると見込まれている。

第 6 表はこうした気温と降雨量の変化が小麦の品質と単収に与える影響を試算したものである。なお降雪量については、変化の方向が一様でないため、試算から除外した（気象庁（2008）によると、北海道の標高の高い地域で増加、北海道を除くほとんどの地域で減少）。なお試算結果は、品質効果と数量効果の値、温暖化による気温と降雨量の変化量によって大きく左右される。ここでは単純化のため日本全国で一律に気温と降雨量が増えるケースを考慮しているが、実際には地域ごとに変化量は異なりうる。また温暖化が進めば、農家は品種や播種時期の変更などの適応策を講じるはずであるから、実際の影響はこれよりも小さなものとなるはずである。あくまで試算の 1 つであることに留意願いたい。

表中の(1)(2)は、第 2 図を基に品質効果と数量効果を整理したもの、(3)は各気象変数の平均値、(4)は 21 世紀末に見込まれる変化である。これらを基に、影響を試算したものが(5)(6)である。例えば最上段を見ると、冬季の気温は現在よりも 3 度上昇し、それによる品質効果を通じて 1 アールあたり 600 円収入が増加すること、数量効果を通じた収入変化は同 300 円であることがわかる。そして(5)(6)の値を合計すると、品質効果によって 370 円、数量効果によって 1770 円の収入減が見込まれる。品質効果は冬季と春季の気温上昇が影響を相殺しあうため、総計ではさほど大きな影響はないが、それでも収入の減少は数量効果の 2 割程度にのぼる。一方、数量効果は非常に大きく、その最大の要因は春季の高温である。

第 6 表 地球温暖化が小麦の品質と数量に及ぼす影響

		(1) 品質効果 (100円/a)	(2) 数量効果 (100円/a)	(3) 平均値	(4) 予測値	(5) 品質効果 (100円/a)	(6) 数量効果 (100円/a)
冬季	気温	2	1	5.921 °C	+3	6.0	3.0
	降雨量	0	-5	2.315 mm	+20%	0.0	-2.3
春季	気温	-3	-6	15.957 °C	+3	-9.0	-18.0
	降雨量	-1.5	-0.75	4.570 mm	+10%	-0.7	-0.3
合計						-3.7	-17.7

6. おわりに

本章では、気象条件が農家経済に与える影響をより詳細に解明するため、既存研究で取り上げられることの少なかった農産物の「品質」に焦点を当てて分析を行った。等級制度を品質の指標とし、小麦を対象品目として分析を行った結果、小麦の品質改善に望ましい気象条件として冬季の高温・少雪、春季の低温・少雨が、また単収改善に望ましい気象条件として冬季の少雨・少雪、春季の低温・少雨が統計的に検出された。つまり気象条件は品質と単収の双方に影響を与えており、また影響の向きは概ね等しい。

これら影響の大きさを金銭的に評価するため、単収変化を通じて農家収入に与える影響（数量効果）と、品質変化を通じて農家収入に与える影響（品質効果）を比較したところ、冬季の降雨量や春季の気温は数量効果の方が大きく、冬季の気温・降雪量と春季の降雨量は逆に品質効果の方が大きいことがわかった。このように品質（等級）は、単収と比べて遜色ないほどに農家収入を左右する重要なファクターであることがわかった。

また推計結果を用いて温暖化の影響を試算したところ、特に春季の高温が単収の減少を通じて農家収入を減少させる恐れがあることがわかった。品質については、春季と冬季の高温が影響を相殺し合うため、数量効果ほど大きな影響はないが、それでも収入の減少は数量効果の2割程度にのぼることがわかった。

本章の分析結果が持つ含意は2つある。第1に温暖化が農業へ及ぼす影響を予測する際に単収のみに着目すれば、農家経済への影響を過小評価することにつながる、というものである。農業は気候変動の影響を最も受けやすい産業であり、できるだけ正確な地球温暖化の影響予測が求められる。今後予測を行う際には、「量」だけでなく「質」への影響も加味した、総合的な影響評価を行う必要がある。そのためには本稿で行った小麦だけでなく、米や豆類など他の主要作物も含めた知見の蓄積が不可欠であろう。それについては今後の研究課題としたい。第2は、地球温暖化の影響緩和策に対する含意である。本稿の結果は、気象条件によって量だけでなく質も強く影響を受けることを示唆するものであった。これによる負の影響を軽減するためには、高温や病気に耐性を持つ品種の開発が必要であることは言うまでもない。一方、一時的ないし対症療法的な対策としては農業保険の仕組みが1つの鍵になろう。我が国における農業保険は単収の減少に対して支払われるタイプ（作物保険）が一般的であるが、これでは質の低下をカバーすることができない。質の低下、すなわち単価の低下をカバーするためには、収入の減少に対して支払われる収入保険が必

要である。このタイプの保険は小麦など一部の作物では普及しているものの、温暖化によって品質の低下が見込まれる作物において収入保険を今以上に充実・普及させることは、農家経営への影響緩和を図る上で有効な選択肢の1つと考えられる。

なお本研究に残された課題としては、まず品目の拡大が挙げられる。米や大豆等、他の多くの作物において農産物検査が実施されていることを考えれば、本稿で行った分析を小麦以外の作物で行うことは有益であろう。第2は温暖化影響予測の精度向上である。本稿では全国一律に気温・降水量が変化する場合を想定して温暖化の影響を試算したが、実際には地域ごとに気温等の変化は異なりうる。地域別の予測値等を用いて、より詳細に試算を行うことが今後の課題である。

注

- (1) 品質の指標として、等級ではなく販売価格を用いることも考えられるが、価格は需給で決まること、また価格水準は品質と必ずしも一対一の関係にはないことから、適当でない（例えば高品質な米が豊作になった年には、品質は変わらないにも関わらず、高品質な米の価格が低下するはずである。また例えば50%の価格差が、50%の品質格差を意味するわけでもない）。
- (2) 小麦では等級検査とは別に、2005年から成分に着目した品質評価も行われている。これは理化学測定によって、たんぱく質やフォーリングナンバーなどの成分量を検査し、AからDの4段階に分類する制度である。
- (3) 品質や単収に影響を及ぼし、かつ観察できない要素、例えば農家の技術力、農地の質や病害の発生状況と、各種投入物は関連している可能性がある。なぜならば、例えば農家の技術力が高いほど労働投入が少ない、病害の発生が多いほど農薬の利用が多い、などの相関がありうるためである。
- (4) 農薬の場合単位は面積あたり支出額であるので、1円の農薬増加につき、収入は3～5円程度増加ということになり、コストをベネフィットが十分に上回っていることがわかる。従って農薬の投入は農家経済的には合理的な行動であり、仮に減農薬等の有機農法を推進したいのであれば、十分なプレミアム（有機食品と従来の食品の価格差分）または政府の補償等によってインセンティブを与えることが必要であろう。

〔引用文献〕

- Danielson, E.W., J. Levin, and E. Abrams. (2003). *Meteorology*. Second edition. Dubuque, Iowa: McGraw-Hill.
- Deschênes, O., and Greenstone, M. (2007). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. *The American Economic Review*, 97(1), pp. 354–385. doi:10.1257/000282807780323604
- IPCC (2007) *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press.
- Kawasaki, K., and Lichtenberg, E. (2014) Econometric Analysis of Grading Standard: The Ordered Fractional Approach, *American Journal of Agricultural Economics*, Volume 96, Issue 1, pp. 345-365.
- 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」『日本作物學會紀事』76(3), pp.423-432。
- 気象庁（2005）『地球温暖化予測情報第6巻』
- 気象庁（2008）『地球温暖化予測情報第7巻』
- 松江勇次・陣内暢明・馬場孝秀・岩渕哲也・福島裕助・古庄雅彦（2001）「1999年における北部九州産麦類の多収要因の解析」『日本作物學會紀事』70(2), pp.261-266。
- 農林水産省（各年）『麦の品種別作付面積（米麦の集荷等に関する基本調査）』
http://www.library.maff.go.jp/library/list_20-4.htm（2012年1月アクセス）
- Okada, M., Iizumi, T., Hayashi, Y., and Yokozawa, M. (2011) Modeling the multiple effects of temperature and radiation on rice quality, *Environmental Research Letters*, Volume 6 Number 3, pp.1-8.
- Schlenker, W., and Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(37), pp. 15594–15598. doi:10.1073/pnas.0906865106
- 若松謙一・佐々木修・上蘭 一郎・田中明男（2007）「暖地水稲の登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響」『日本作物學會紀事』76(1), pp.71-78。