

第1章 水田の圃場区画と機械作業の能率

第1節 はじめに

水田農業においては、経営の大規模化による低コスト化が課題であり、圃場の区画形状を拓げることで作業を効率化させるという努力がなされてきた。圃場整備事業においては、従来 30a 区画を基本とした整備がなされてきたが、1980 年代中頃以降は 1 ha を超える大区画圃場も整備対象に位置づけられ、近年、普及しつつある。

水田の大区画化による作業能率向上については、実測調査によるもの（川崎ら 1993）、シミュレーションによるもの（鶴岡・小野, 2001, 平泉, 1990）などで検討されている。いずれも、各作業が大区画化によって効率化される程度は明らかにしているものの、効率がどのようなメカニズムによりどの程度規制されているかは明らかにしていない。富樫ら（1994）は、効率化の要因を分析しているが、専ら作業速度と作業幅が「有効作業効率」に与える影響に着目しており、区画の拡大がどのようなメカニズムで作業の効率化をもたらすかは解明していない。また、川崎ら（1993）は作業効率から見た適正区画規模を明らかにしているが、経営全体の視点からは評価していない。一方、農業経営研究からのアプローチでは、面積の拡大とともに不可避免的に起きる圃場数増加や分散化の克服のために圃場区画の拡大や集团的土地利用の追求などが指摘されてきた⁴¹⁾。この問題を数量的にとらえた研究（鶴岡, 2001）では、水稻作付面積の拡大に対しては圃場整備水準、通作距離、圃場の連担、団地の順に影響力が大きいことを明らかにしたが、最適な圃場区画には言及していない。

そこで、本章では、小麦作および大豆作において、区画の拡大が作業を効率化させるメカニズムを解明し、そ

の程度を明らかにする。さらに稲作と組み合わせた場合の作付規模について考察し、経営全体の視点から最適な区画の大きさを明らかにする。序章で提示した「経営分析の役割」から見れば、効率化のメカニズム解明は土地改良主体に対しての基本的問題提示であり、経営全体の視点からの区画の評価は具体的な対策の提示であるといえる。

注1) 例えば田畑(1995)は、零細分散錯圃解消のためには、圃場区画の零細性の問題は圃場区画の拡大と整形化が、圃場の分散と錯圃の問題については圃場の団地化、地域での土地利用調整、地域での集团的土地利用の追求が、指摘できるとしている。

第2節 圃場区画形状と作業時間

1. 圃場区画の拡大と圃場作業量

2001 年に千葉県農業総合研究センター⁴²⁾ 水田圃場で行った大豆と小麦の播種および収穫作業について農作業試験方法（農作業試験方法編集委員会, 1987）にしたがってタイムスタディを行い、そのデータを用いて圃場の畦畔沿いの長さを 100m に固定し、農道沿いの長さを 20m から 350m まで 5 m ごとに変動させ、区画の大きさ別の各作業の圃場作業量（時間当たり作業面積）を求めた。畦畔沿いを 100m としたのは、近年における圃場整備では農道・小排水路間の距離が 100m であるものが大部分である⁴³⁾ ことと、千葉県内の一部に見られる地下水位の高い地帯などでは、距離が長くなると暗渠排水の勾配が取れなくなるなどの問題があるため、100m とするのが最も現実的であると考えたからである⁴⁴⁾。また、調査対象作業を播種および収穫にしたのは、これらの作業が規模の規制要因になると考えられたから

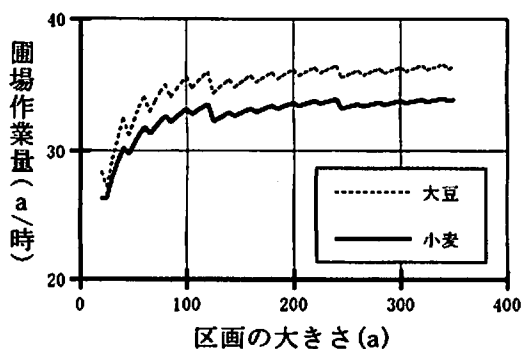


図1-1 区画の大きさと圃場作業量（播種作業）

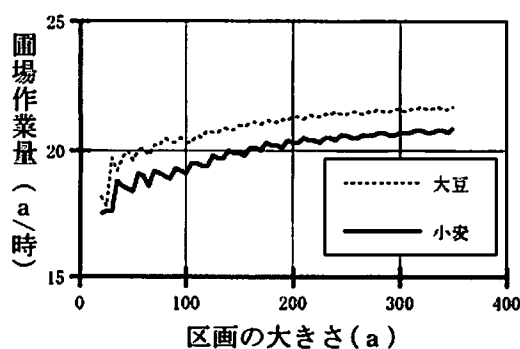


図1-2 区画の大きさと圃場作業量（収穫作業）

表1-1 圃場作業量との相関係数

作物	播種作業		収穫作業		
	重複作業 面積割合	ha 当たり 補給時間	重複作業 面積割合	ha 当たり 排出時間	ha 当たり 90度回転数
大豆	-0.934**	-0.754**	-0.308*	-0.845**	-0.352**
小麦	-0.959**	-0.698**	-0.527**	-0.772**	-0.632**

注) *は5%水準, **は1%水準で有意

表1-2 収穫作業における圃場作業量の規模別回帰分析結果

作物・面積	R ²	重複作業 面積割合	ha 当たり 排出時間	ha 当たり 90度回転数
大豆	1ha 以下	0.995	-0.358 (-14.852)	0.348 (13.260)
	1ha 超	0.992	-0.195 (-13.452)	-0.880 (-60.593)
小麦	1ha 以下	0.971	-0.355 (-3.587)	0.457 (4.507)
	1ha 超	0.979	-0.161 (-7.778)	-0.963 (-46.447)

注) 回帰係数はすべて標準化偏回帰係数 カッコ内 t 値

である。なお、播種は耕耘、施肥、播種、覆土を1工程で行えるドライブハローシーダを利用することとしたため、耕耘作業のみの計測は行わなかった。

播種は往復作業とし、クローラ型トラクタに作業幅2.4mのドライブハローシーダを装着し、大豆は4条、小麦は8条で播種した。収穫は内回り作業とし、大豆には作業幅1.8mの大豆専用コンバイン³⁾、小麦には作業幅1.2m(4条)の自脱型コンバインを用いて収穫を行った。

圃場作業量のシミュレーションは、上記作業のタイムスタディから得た、実作業時間(直線作業時間)、巡回時間、資材の補給時間、生産物の搬出時間、圃場内移動時間、進入・退出時間をもとに鶴岡・小野(2001)の方法にしたがって行った。

シミュレーションの結果から、播種作業は、大豆、小麦のどちらにおいても、区画の大きさが1ha程度までは区画が広がるにつれて圃場作業量が急激に大きくなるが、それ以上では伸びが鈍化した(図1-1)。これに対して、収穫作業では区画の大きさが2ha程度までは圃場作業量が徐々に大きくなるが、それ以上では伸びが鈍化した(図1-2)。

2. 作業効率の規制要因

圃場作業量を規制すると考えられる第1の要因に、作業幅と区画の関係がある。圃場作業量の算出は、畦畔沿いの距離を固定し、農道沿いの距離を変動させて行っているため、その変動に伴って回転数も変化する。このと

き、その距離が作業幅で割り切れれば効率が良いが、割り切れなければ作業の重複が生じる。ここでは、これを下の式に定義する重複作業面積割合としてとらえる。式中の「延べ作業距離」は、作業のために走行した距離、作業幅は作業機の幅である。各区画における重複作業の割合は、区画の面積が増加するほど小さくなるはずである。

$$\text{重複作業面積割合} = \frac{\text{延べ作業距離} \times \text{作業幅}}{\text{圃場面積}} - 1$$

第2の要因として考えられるのは、資材等の補給または生産物の排出に要する時間である。資材や生産物の積載可能量は一定であるので、区画面積の拡大に伴って補給回数は一定間隔で増加し、それによって、面積当たり補給(排出)時間は変動するはずである。これを「ha当たり補給(排出)時間」ととらえる。

収穫作業のように内回りで作業をする場合は、短辺の長さで回転数が決定される。畦畔沿いの距離は一定であるため、農道沿いの距離がこれ以上に伸び、畦畔沿いが短辺になると、面積にかかわらず回転数は一定となる。そのため、面積が増加するほど単位面積当たり回転数は減少するはずである。したがって、収穫作業に限りこれを第3の要因として考え、「ha当たり90度回転数」としてとらえる。

表1-1は、各作業におけるこれらの要因と圃場作業量との相関係数である。すべてのケースで符号は統計的

に有意に負であった。播種作業では、重複作業面積割合と極めて強い相関が見られ、ha 当たり補給時間とも強い相関が見られる。したがって、播種作業では、区画を拡げてゆくにつれて重複作業の割合が減ることで圃場作業量が高まり、一定間隔で補給が発生し、それに要する時間によって圃場作業量は第1図に見られるような上下動を繰り返していると考えられる。

これに対し、収穫作業では様相が異なる。重複作業面積割合との相関はそれほど高くなく、ha 当たり排出時間との相関が最も高い。また、グラフ(図1-2)では大豆、小麦ともほぼ同様の形状を示しているにもかかわらず、相関係数の傾向は全く異なっている。

すでに述べたとおり、収穫作業は内回りで行い、短辺長で旋回数が決定される。畦畔沿いは100mなので、農道沿い距離が100mを超えると畦畔沿いが短辺になり、それ以上では旋回数が不変となるため、単位面積当たり旋回数は減少する。そこで、1 ha以下と1 haを超えた領域に分けて、圃場作業量を被説明変数とし、重複作業面積割合、ha 当たり排出時間、ha 当たり90度旋回数を説明変数とした重回帰分析を行った(表1-2)。回帰式の決定係数(自由度修正済)は、0.971から0.995と、当てはまりは非常に良好であり、すべての回帰係数は1%水準で有意であった。標準化偏回帰係数から判断すると、1 ha以下の領域では大豆、小麦双方とも「重複作業面積割合」と「ha 当たり排出時間」が圃場作業量を引き下げており、その程度は「ha 当たり排出時間」の方がやや大きい。一方、「ha 当たり90度旋回数」のパラメータ推定値は正であった。これは、1 haまでは旋回数と圃場作業量が同時に増加する過程にあることから、納得できる結果である。したがって、1 ha以下の領域では面積が拡大するにつれて重複作業の割合が低下して圃場作業量が増加し、排出回数が増加することに一定の間隔で圃場作業量を下げ、図1-2の曲線を描いていると判断できる。

1 haを超えた領域での結果は、これとは全く異なる。まず、大豆、小麦双方で「重複作業面積割合」は有意でなく、説明変数から除外された。すなわち、この領域では重複作業の割合が低下し無視し得る程度になる。残りの2変数の係数は負であり、決定係数が大豆で0.992、小麦で0.979と、「ha 当たり90度旋回数」「ha 当たり排出時間」の2変数で圃場作業量の変動をほぼ説明し尽くしている。標準化偏回帰係数から見ると「ha 当たり90度旋回数」の説明力が極めて大きいことが分かる。したがって、1 haを超えた領域では、単位面積当たりの旋回数の減少が圃場作業量増加の主な要因であると判断できる。

注2) 現千葉県農林総合研究センター

注3) 土地改良事業計画設計基準(農業土木学会, 2000)によれば、耕区の標準的な形状として、乾田地帯では長辺長100~150m、湿田地帯では100mとしている。千葉県では、湿田地帯が多いこと、田面の均平度確保などの点から長辺長100mを標準としており、近年における圃場整備では1事例を除いてすべて長辺長100mで整備している。

注4) 平泉(1990)は、区画の拡大は長辺方向を伸ばす方が効果が高く、標準区画の短辺の畦畔抜きをしても能率向上はあまり望めないとしている。しかし、この論文で検討された60a区画での収穫作業で長辺が100mと200mの圃場では、圃場作業量の差はせいぜい1 a/時であり、それほど大きな差とはいえない。そのため、すでに畦畔沿いが100mで整備された圃場における対応や排水の問題などから、畦畔沿いを100mとするのが最も現実的であると判断した。

注5) 大豆は専用コンバインを用いることにより、内回り作業での収穫が可能になる。

第3節 圃場区画が規模拡大に与える影響

以上のことから、往復作業で行われる播種では1 ha以上、収穫作業では2 ha以上で効率的な作業の実施が期待できる。そこで、これらの結果をもとに、圃場区画の大きさの違いが経営全体の作付規模にもたらす影響や最適な区画面積を明らかにするため、線形計画モデルを策定し分析を行った。分析には、中央農業総合研究センター作成のXLPを使用した。なお、圃場条件別単体表の主要部分(抜粋)を表1-3に示した。

分析モデルは、圃場区画について未整備田を想定した0.1ha区画、既存整備田を想定した0.3ha区画、大区画水田として1 ha区画および2 ha区画の4つのケースを設定した^{*)}。水田の面積は自作地3 haとし、借入地は20,590円/10aで制限なく借りられるものとした。労働力は4名とした。固定資本装備は目標面積を60~70haとする千葉県稲作標準技術体系のモデルⅢ(千葉県、千葉県農業技術会議, 2001)を基本に、タイムスタディで使用したドライブハローシーダ、大豆コンバイン等を加えたものとした。また、ここでは圃場区画の大きさが規模拡大に及ぼす効果だけを見るため、「圃場の分散」「圃場までの距離」は考慮しなかった。

作物プロセスとして、水稻がふさおとめ3作型、ひと

表1-3 圃場条件別単体表 (主要部分抜粋)

	定数項	関係	ふさお とめ1	コシヒ カリ1	麦+ 大豆	表1	大豆1	借地
利益係数			110.5	114.8	100.7	76.8	87.9	-20.6
土地	3	≧	1	1	1	1	1	-1
転作	0.99	≦			1	1	1	-0.33
1月-2 ~ 2月-1	1,140	≧			67.6		67.6	
:	:	:						
4月-4	190	≧	12.8	0.7				
4月-5	190	≧		12.8				
:	:	:						
6月-2	190	≧			31.4	31.4		
6月-3 ~ 7月-1	950	≧					5.0	
:	:	:						
11月-4 ~ 5	380	≧				3.6	11.1	
11月-6	190	≧			11.1			
オペ4月-2	81.7	≧	4.4					
:	:	:						
オペ8月-4	70.3	≧	3.9					
オペ麦収穫	70.3	≧			11.4	11.4		
オペ大豆播種1	54.6	≧					5.0	
オペ大豆収穫1	74.6	≧					10.1	
オペ麦播種4	83.6	≧			3.6			
水管理4月-1	50.2	≧	0.8					
:	:	:						

- 注1) 単位 利益係数：万円/ha, 土地および転作：ha, 半旬別労働時間制約, オペ制約および水管理制約：時間
 2) 月の後の数値は半旬を表す (例：4月-5 = 4月第5半旬)
 3) 圃場区画0.3haの単体表の一部分を示した
 4) 波下線の付された数値は圃場区画によって変化する技術係数である

めぼれ1作型, コシヒカリ5作型, 大豆2作型, 小麦4作型, 「大豆-小麦」1作型の合計16の生産プロセスを設けた。

所得最大化を目的とし, 利益係数は次のように算出した。米の価格は, 価格形成センターにおける2005年産の千葉県産品種別指標価格年産平均とし, 流動費は千葉県稲作標準技術体系モデルⅢから算出した。小麦の価格は2006年産の茨城産農林61号の民間流通麦指標価格, 大豆の価格は2005年産の千葉県産フクユタカの落札価格とし, 流動費は千葉県農業総合研究センター内試験の実績値を用いて算出した。また, 品目横断的経営安定対策, 米政策改革推進対策等の助成金については, 千葉県の代表的な水田地域であるK市の事例を適用することとした。品目横断的経営安定対策の「ゲタ対策」のうち, 過去の生産実績に対して支払われるいわゆる「緑ゲタ」は, 生産拡大の誘因となつてはならないため, 利益係数には含めず, 最適化後に助成額を利益合計に加えることとした。対象面積は, 0.1ha区画の最適解における小麦, 大豆の面積とした⁽⁷⁾。したがって, この面積を超える部分には「緑ゲタ」は与えられない。助成額は10a当たり小麦22,092円, 大豆13,952円である。「黄ゲタ」

は, 小麦は全量「1等Aランク」, 大豆は全量「1等」と仮定して計算し, 利益係数に含めた。また, 「ナラシ対策」は考慮しないこととした。産地作り交付金については, 小麦・大豆とも基本助成12,000円に団地化助成27,000円を加えた金額とし, 利益係数に含めた。このほかに新需給システム定着交付金(麦, 大豆とも18,000円/10a), 県単水田農業構造改革推進事業補助金(7,000円/10a)を利益係数に加えた。

制約条件は半旬別労働制約, オペレータ労働時間制約, 水管理制約, 土地制約, 転作制約⁽⁸⁾を設けた。半旬別労働制約は1人1日当たり9.5時間を上限とした。オペレータ制約は, 機械作業はオペレータ2名で行い, 降雨による作業可能日数率を考慮した時間の範囲となるよう設定した。水管理制約は, 水管理作業は経営者が1人で機械作業の合間および機械作業とは別に早朝と夜に行うこととした。つまりオペレータとしての機械作業時間以外の早朝, 夜の作業時間を合計し, その範囲内で水管理作業を行うように設定した。

技術係数に関しては, 大豆, 小麦はタイムスタディ・データをもとに圃場区画ごとの係数を作成し⁽⁹⁾, 水稻は, これに既存の技術係数⁽¹⁰⁾を用いた。この工夫を通

表 1 - 4 圃場区画別の最適作付面積と所得

		区画の面積			
		0.1ha	0.3ha	1ha	2ha
所得	(万円)	1,896	3,484	3,846	4,053
増加率	(%)		83.8	10.4	5.4
作付面積	(ha)	42.4	61.1	65.3	67.9
増加率	(%)		44.1	6.8	3.9
水稲合計	(ha)	26.0	40.2	43.8	45.5
ふさおとめ 1	(#)	7.6	9.6	11.2	11.1
ふさおとめ 2	(#)		1.1		
ふさおとめ 3	(#)			1.2	2.7
ひとめぼれ	(#)	0.1	0.4		
コシヒカリ 1	(#)	4.9	9.8	11.9	12.0
コシヒカリ 2	(#)		2.7	0.9	0.9
コシヒカリ 3	(#)			1.8	0.7
コシヒカリ 4	(#)	6.1	7.4	8.0	9.2
コシヒカリ 5	(#)	7.2	9.3	8.9	8.8
転作物合計	(#)	16.4	20.9	21.6	22.4
麦 - 大豆	(#)				
麦 1	(#)	5.1	6.1	6.2	6.4
麦 2	(#)				
麦 3	(#)				
麦 4	(#)				
大豆 1	(#)	5.6	7.4	7.6	7.9
大豆 2	(#)	5.7	7.5	7.7	8.1
借地	(#)	39.4	58.1	62.3	64.9

表 1 - 5 制約要素の潜在価格 (円/時間)

制約名	作業名	区画の面積			
		10a	30a	1ha	2ha
4月-5	ふさおとめ, コシヒカリ 移植	0	6,628	0	0
6月-2	麦収穫	0	17,742	78,188	79,798
9月-2	コシヒカリ 収穫	0	2,847	2,374	2,408
9月-3	"	0	0	2,216	2,242
9月-4	"	38,148	53,885	2,891	2,941
オペ麦収穫	麦収穫オペレータ労働時間	40,158	0	0	0
オペ大豆収穫 1	大豆収穫 "	40,454	57,778	253,680	265,533
オペ大豆収穫 2	" "	40,454	57,778	253,680	265,533
水管理 4月-2	水管理労働時間	44,629	132,814	0	0
水管理 4月-4	"	104,810	81,307	0	0
水管理 4月-5	"	124,615	181,204	0	0
水管理 4月-6	"	94,924	137,451	0	0

注) 月の後の数値は半旬を表す (例: 4月-5 = 4月第5半旬)

じて、圃場区画の規模拡大に対する効果を把握できる。

区画拡大の効果に関する分析結果を表 1 - 4 に示した。0.1ha 区画では、水稲、大豆、小麦を合計した作付面積は 42.4ha となる。区画を上げた場合、0.3ha 区画では 61.1ha、1 ha 区画では 65.3ha、2 ha 区画では 67.9ha まで規模が拡大する。0.1ha 区画から 0.3ha 区画までは作付面積で 44%、所得で 84%増加、0.3ha 区画から 1 ha 区画までは面積で 7%、所得で 10%増加、1 ha 区画から 2 ha 区画までは面積で 4%、所得で 5%増加と、区画が大きくなるごとに規模拡大効果も所得向上効果も逓減する。

規模拡大の制約要因を解析するため、各区画の最適解で上限に達した労働時間に関する制約要素の潜在価格を

検討した (表 1 - 5)。各最適解において制約となっているのは、水稲の移植、水管理、収穫と、小麦、大豆の収穫の労働時間であった。0.1ha 区画および 0.3ha 区画で制約となっていた水管理労働が 1 ha 以上の区画で制約とならないのは、移植にかかわる機械作業が区画の拡大に伴って効率化され、水管理労働に使用できる時間が増加するためだと解釈できる。したがって、規模を規制している制約要素は、すべて区画の拡大とともに効率化される作業に関連するものであり、区画の拡大に伴う作付面積の増加は、水稲移植作業および水稲、小麦、大豆の収穫作業の効率化によるものである。

注 6) 千葉県の水田整備率は平成 14 年時点で 56%で、

未整備田が相当存在しており、その整備が課題となっている。用水は区画の大きさに伴い、0.1haは開渠方式、0.3ha以上はパイプライン方式とした。

注7) 本モデルは、特定の事例に基づくものではないため、与件としての「緑ゲタ」対象面積がない。そこで、最も小さい0.1ha区画の最適解における小麦、大豆面積を、従前からの転作面積と仮定し、これを対象面積とした。

注8) 転作率は、千葉県の配分数量の動向から33%に設定した。

注9) 0.1ha区画については、畦畔沿い50m、農道沿い20mとして技術係数を算出した。

注10) 鶴岡(2001)にしたがって設定した。なお、使用機械は、移植は0.1ha区画では6条、それ以上は8条乗用高速側条施肥田植機、収穫は0.1ha区画では4条、それ以上は5条の自脱型コンバインとした。

第4節 最適な圃場区画

前節の分析では、区画が1haを超えると、規模を規制する要因は、内回り作業で行う収穫作業に関連する労働時間のみとなるため、1haを超えても作付面積と所得は増加し、2ha区画で最高になった。

では、最適な区画は2haなのであろうか。ここで、1日の作業単位としての区画を検討してみる。表1-5によれば、1haおよび2ha区画で最も潜在価格が高いのは大豆収穫のオペレータ作業時間である。タイムスタディ・データからのシミュレーションでは、大豆収穫作業の圃場作業量は1ha区画で20.3a/時、2ha区画で20.8a/時であった。土地改良事業計画設計基準(農業土木学会, 2000)に従い、1日の作業時間を8時間、実作業率を0.7と仮定し、1日に収穫可能な面積を算出すると、1ha区画で1.14ha、2ha区画で1.16haとなり、2ha区画の圃場では1日で収穫作業を完了する

ことができない。1ha区画と2ha区画それぞれの最適解での、所得の違いは5%程度と小さいこと、圃場1筆の収穫作業は、1日で終わらせるのが望ましいことを考え合わせれば、想定する機械体系での最適圃場区画はおおむね1haとよい。ただし、今後、大型汎用コンバインの導入などによって、圃場作業量が37a/時程度まで向上すれば、1日に2haの収穫が行えることになる。そのような条件がそろえば、1haを超える区画整備を圃場整備事業等で積極的に推進する合理性はないといえる。

第5節 まとめ

本章では、タイムスタディ・データから圃場区画別の圃場作業量を推定した結果、往復作業で行う播種では区画が1haを超えると効率はほとんど上昇しないが、内回り作業で行う収穫作業では1haを超えても圃場作業量は徐々に伸び続けることを明らかにした。このデータをもとに作成した線形計画モデルでは、区画が1haを超えると、規模を規制する要因は、収穫作業に関連する労働時間のみとなるため、1haを超えても作付面積と所得は増加し、2ha区画で最高になった。

しかし、1ha区画と2ha区画では、規模で4%、所得で5%の差にすぎないこと、2ha区画では、最も限界価値生産力の高い大豆の収穫が1筆当たり1日で終わらないことなどにより、最適な圃場区画は1ha程度であると結論づけた。

本章で行った分析結果を、序章で提示した「経営分析の役割」から評価すれば、圃場区画拡大による作業効率化メカニズムの解明は、土地改良主体に対する基本的問題の提示であり、経営者の視点から明らかにした最適圃場区画は、それに応える具体的対策とていいだろう。また、圃場区画別最適計画は、大規模水田作経営を志向する経営者の目標設定に対する情報となり得るものである。