

## 第Ⅱ章 圃場区画の大きさ・形状が大型機械の作業能率に及ぼす影響

### 第1節 課題

稲作を基幹とした農業経営では規模拡大と同時に生産費の低減を図り、収益を確保していくことが重要となっている。圃場の大区画化は生産性向上に対する期待が大きく、圃場整備においても大区画水田を25%以上造成することが採択要件となっている低コスト化水田農業大区画圃場整備事業(1989年度)、担い手育成基盤整備事業(1993年度)が創設され、現在では大区画圃場を一定割合以上造成する事業が主体となっている(千葉県(1998))。これらの事業により一区画が概ね50 a以上とされる県内の大区画水田の面積は1998年度で1,413 haとなった(千葉県(1999))。

このように大区画圃場整備が推進されるようになったのは、農業機械の大型化と高性能化、レーザー光を利用した均平化技術や乾田直播栽培技術の開発など、大区画圃場で必要とされる生産技術の進展が図られたことが大きな要因と考えられる。すなわち、大区画圃場が有する機能と生産技術の水準が一致して、高い生産力を発揮することが可能となったのである。

一方、大区画化や技術の進展による生産性向上の期待に対し、それらが経営管理に与える具体的効果については、明らかにすべき事項がまだ多く残されている。これらの効果を正確に分析するには、まず圃場の区画の大きさ、形状の変化が作業の効率に及ぼす影響を正確に把握することが必要であろう。

これまで圃場区画の形状と機械作業の能率との関係は、遠藤ら(1968)などにより研究が行われており、研究の手法については蓄積がある。しかし、近年の高性能機械を対象として、機械や作業の種類別に、それらの作業能率が圃場の区画の大きさや形状の違いによりどのように変化するのかを、実測調査を基に試算を行い、明らかにした報告は少ない。本章ではこれらの関係を定量的に解明することを目的とする。

### 第2節 方法

圃場内の機械作業をタイムスタディにより観察し、その結果から標準の作業方法と作業時間を導いた。その上で、圃場の大きさと形状を変化させて作業のシミュレーションを行い、作業能率の変化を試算した。

#### 1. タイムスタディと作業の標準化

1994年から1996年にかけて八千代市にある農業生産法

人米本が行う作業に対して農作業試験方法(農作業試験方法編集委員会(1987))に従いタイムスタディを実施した。調査は水稻の移植栽培、乾田直播栽培、湛水土壤中直播栽培について大区画圃場の圃場内機械作業を対象に行った。

#### 1) 作業法の標準化

オペレータにより選択された作業順序、旋回方法などの作業法について、その合理性を検討した上で作業種類別に工程図を策定し、それを標準とした。

#### 2) 作業時間の標準化

作業を実作業と派生的に生じる旋回や補給搬出などの損失作業に分け、それらの作業項目別に所要時間、速度や頻度などを反復測定し、その平均値を作業種類別の標準値とした。

### 2. 圃場作業量の試算

一般に機械の作業能率は圃場作業量(時間当たりの作業面積)で示される。圃場作業量Cは実作業面積がAの圃場において圃場内作業時間がTであった場合、以下の式によって示される。

$$C = A / T$$

この場合、圃場内作業時間Tは実作業時間(直進作業時間)に旋回や資材の補給、収穫物の搬出などの損失作業を加えた時間である。つまり、以下の式によって示すことができる。

$$T = ta + tb + tc + td + te + tf$$

ta: 実作業時間(直進作業時間)

tb: 旋回時間

tc: 四隅作業時間

td: 資材等の補給(搬出)時間

te: 圃場内移動時間

tf: 圃場への進入、圃場からの退出時間

本章ではタイムスタディによる標準化した作業方法及び作業時間を用い、以上の式を前提として、任意の大きさ・形状における圃場作業量のシミュレーションを行った。

### 第3節 結果

#### 1. タイムスタディと作業の標準化

ロータリを装着したトラクタによる耕耘作業、ドライブハローシーダを装着したトラクタによる乾田播種作業、乗用湛水直播機(田植機フレーム)による湛水播種作業、乗用田植機による移植作業、乗用管理機による液剤及び粒剤

第II-1表 使用した機械と大きさ

作業名	使用した機械名	作業幅	作業機全長	機関出力	備考
		( m )	( m )	( ps )	
耕耘	トラクタ+ロータリ	2.0	4.0	39.0	
乾田播種	トラクタ+ドライブハロシーダ	2.4	4.0	39.0	施肥・碎土・播種同時作業
湛水播種	湛水直播機	1.8	3.0	7.2	側条施肥
移植	田植機	1.8	3.0	7.2	側条施肥
液剤防除	乗用管理機+ブームスプレヤ	8.0	3.0	11.0	液剤タンク 300 ℓ
粒剤防除	乗用管理機+粒剤散布機	14.0	3.0	11.0	粒剤タンク 180 ℓ
収穫	自脱型コンバイン	1.2	3.0	30.0	グレンタンク 900 ℓ

第II-2表 作業の種類と作業方法

作業名	作業方法	備考
耕耘	往復連接作業	
乾田播種	往復連接作業	播種量は10 a 当たり 5.5 kg, 施肥量は10 a 当たり 36 kg
湛水播種	往復連接作業	播種量は10 a 当たり 4.5 kg, 施肥量は10 a 当たり 40 kg
移植	往復連接作業	苗箱数は10 a 当たり 17 箱, 施肥量は10 a 当たり 35 kg
液剤防除	往復連接作業	散布量は10 a 当たり 100 ℓ
粒剤防除	往復連接作業	散布量は10 a 当たり 3 kg, 枕地部分は180度旋回しながら散布
収穫	内回り作業	

を使った防除（除草剤散布）作業，コンバインによる収穫作業の7作業についてタイムスタディを実施し，作業の標準化を行った．作業に使用した機械名を第II-1表に示した．さらに，各機械作業がどの作業法によって行われたかを第II-2表に示した．作業法は往復連接作業，内回り作業に大別されたので，それぞれの作業順序，旋回方法を標準化し，その工程図を第II-1～2図に示した．また，圃場作業時間の算出に必要な係数である項目別の標準時間等を第II-3表に示した．

## 2. 圃場作業量の試算

区画・形状の変化に対する圃場作業時間を試算するため，第II-1～2図に示した標準化した作業法に従い作業を内容別に分解し，内容毎に作業時間を求める式を以下に策定した．式中で示した記号の意味は第II-4表に示した．

### 1) 往復連接作業

往復連接作業方法の走行順序は第II-1図のとおりである．つまり，旋回のための枕地を周囲に2工程分残し，長辺方向の直進作業を180度旋回しながら接続して行い，最後に枕地を回り作業により行うものとした．耕耘作業，乾田播種作業，湛水播種作業，乗用田植機による移植作業，液剤及び粒剤を使った防除（除草剤散布）作業がこの方法により行なわれた．

#### i 直進作業時間

直進作業時間（実作業時間） $t_a$ は第II-1図に示したとおり，作業の主要部分である往復連接作業時の直進作業時間 $t_{a①}$ と圃場周囲の枕地作業時の直進作業時間 $t_{a②}$ として捉えられた．ここでは，それぞれの直進作業距離を機械の作業幅や全長を考慮して求め，それに作業速度の逆数である

第Ⅱ-3表 作業別圃場作業時間策定の係数

項目/作業名		耕耘	乾田播種	湛水播種	移植	液剤防除	粒剤防除	収穫
直進作業速度(m/sec)		0.516	0.725	0.812	0.605	0.626	0.635	1.161
180度巡回時間(sec)		33.0	22.0	42.0	25.0	70.0	26.0	14.0
90度巡回時間(sec)		31.0	37.0	47.0	38.0	36.0	36.0	9.7
補給時間(sec)	A	—	176.5	96.0	75.0	193.0	0.0	138.7
	B	—	—	73.0	53.0	—	—	—
補給・搬出頻度 (回/10 a)	A	—	0.50	0.71	2.33	1.00	0.00	2.00
	B	—	—	1.25	0.91	—	—	—
進入・退出時間(sec)		76.0	130.0	34.0	178.0	72.0	72.0	—
その他時間(sec)	A	—	—	—	—	72.0	74.5	42.7
	B	—	—	—	—	—	—	23.7

- 注：1) 乾田播種作業の補給時間Aは種子と肥料を同時に行う。  
 2) 湛水播種作業の補給時間Aは種子・肥料を同時に行った場合、Bは肥料のみの場合。  
 3) 湛水播種作業の補給頻度Aは種子、補給Bは肥料。  
 4) 移植作業の補給時間A及び補給頻度Aは苗、同様にBは肥料。  
 5) 液剤防除のその他 Aはブーム開閉時間。  
 6) 粒剤防除の補給時間は10 a 当たり散布量 3 kg に対してタンク容量が大きく、粒剤のハンドリングが軽微であるため、無視できるものとした。  
 7) 粒剤防除のその他 Aはブーム開閉時間。  
 8) 収穫のその他 Aは四隅刈り取り時間。  
 9) 収穫のその他 Bは搬出に伴う移動時間。

単位距離当たりの作業時間を乗じることで直進作業時間を求めた。

$$ta① = ( (y-w \times 4) \times ( (x-w \times 4) \div w ) ) \times (1 \div v)$$

$$ta② = ( (y-L) \times 2 + (y-2 \times w - L) \times 2 + (x-L) \times 2 + (x-2 \times w - L) \times 2 ) \times (1 \div v)$$

ただし、工程数の算出では、以下の前提をおいた。

試算を行う上で圃場の前提条件として、農道と直交する辺（主に長辺側）は100 m、200 m、300 mとした。その上で、農道（補給道）と直交する辺が100 m以下の場合、圃場と農道が接するのは、圃場の一辺のみとした。この場合、進入・退出路は一カ所となるので、往復連接作業の最後は必ず農道側へ戻ってから枕地作業に移るため、直進作業の工程数は整数に切り上げ、さらに偶数でない場合は、偶数に切り上げた。また、農道（補給道）と直交する辺が200 m及び300 mの場合、農道と圃場が接するのは、圃場の両辺とした。この場合、両側それぞれに進入退出路が設けられるので、往復連接作業の工程数は整数に切り上げた。

ii 巡回時間

巡回時間tbは第Ⅱ-1図に示したとおり、連接作業時に次工程に移る際の180度巡回時間の総計及び、枕地作業における90度巡回時間の総計として求めた。

$$tb = t1t \times t1n + t2t \times t2n$$

ただし、

$$t1n = ( (x-w \times 4) \div w ) - 1$$

とし、工程数は直進作業時間と同様の前提とした。また、

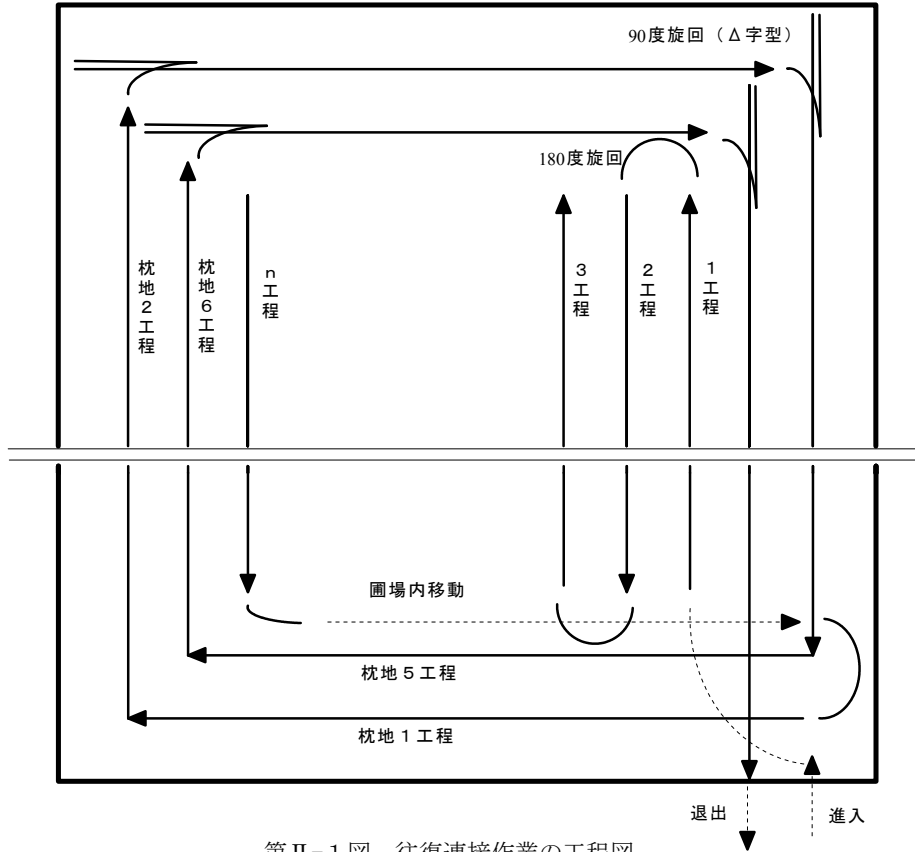
$$t2n = 7$$

とした。

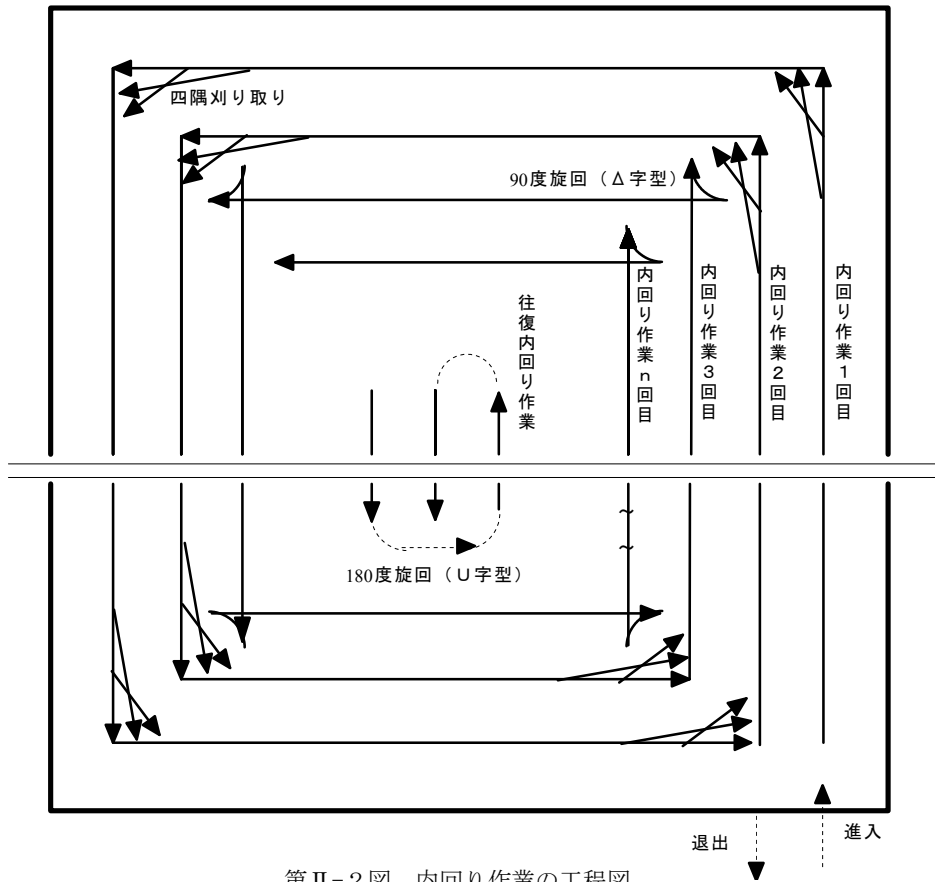
iii 圃場内移動時間

圃場内移動時間teは第Ⅱ-1図に示したとおり、往復連接作業終了後枕地作業の開始位置までの移動であり、そのための巡回時間及び直進移動時間の総計として求めた。

$$te = (x-L \times 1.5) \div v + t1t + t2t$$



第II-1図 往復連接作業の工程図



第II-2図 内回り作業の工程図

第II-4表 シミュレーションの式で用いた記号と意味

記号	意味	単位
v	作業速度	m/sec
w	機械の作業幅	m
L	機械の全長	m
x	圃場の農道と平行する辺の長さ(短辺)	m
y	圃場の農道と直交する辺の長さ(長辺)	m
n	枕地の作業工程数	回
t1n	180度旋回回数	回
t1t	180度旋回時間 / 1旋回	sec
t2n	90度旋回回数	回
t2t	90度旋回時間 / 1旋回	sec
t3t	四隅作業時間 / 1隅	sec
qn	補給搬出回数	回
qt	補給搬出時間 / 1回	sec
t4t	収穫物搬出のための圃場内移動時間 / 1回	sec

iv 資材等補給時間

補給時間tdは1回当たりの補給時間と補給回数の積により求めた。

$$td = qn \times qt$$

ただし、補給回数(補給頻度)、1回当たり補給時間は作業により異なるのでその都度設定した。

2) 内回り作業

内回り作業方法の走行順序は第II-2図のとおり、圃場の周囲に沿って外側から内側へ回りながら作業を行うもので、コンバインによる収穫作業のみがこの方法により行われた。この場合、圃場は畦畔で仕切られているので、最初の2回目までは、旋回空間を作るため、四隅刈り作業を行う必要がある。また、最後の10工程は回り作業から内回り往復作業に切り替えた。理由は回り作業のため4度の90度旋回を行うよりも、往復作業による2度の180度旋回の方が効率的になるからである。

i 直進作業時間

直進作業時間(実作業時間) taは第II-1図に示したとお

り、四隅刈り取り作業を行う最初の2回目作業の直進作業距離ta③及び四隅刈り取り作業を行う最初の2回目作業を除く回り作業の直進作業距離ta④と往復内回り作業の直進作業距離ta⑤の総計に単位距離当たり直進作業時間を乗じる事で求めた。

$$ta④ (n回目目延べ) = (n-2) \times (x+y) \times 2 - w \times (n \times 4 + 8 \times \Sigma K - 16)$$

ただし、

$$n = (x - w \times 10) \div (w \times 2)$$

$$ta③ = x \times 4 - L \times 8 + y \times 4 - w \times 6$$

$$ta⑤ = \{y - (x - w \times 10)\} \times 10$$

ただし、往復内回り作業の直進作業距離ta⑤を導くにあたって以下の前提をおいた。すなわち、4条刈り(作業幅1.8 m)コンバインの使用を想定した場合、試算式を適用するには圃場の短辺長が30 m以上必要である。それ以下の場合、使用する機械の大きさに合わせて往復内回り作業の工程数を見直すこととした。

ii 四隅刈り作業時間

四隅刈り作業時間tcは1回当たりの四隅刈り時間と回数

の積により求めた.

$$t_c = t_3 t \times 8$$

### iii 旋回時間

旋回時間 $t_b$ は180度旋回回数 $t_{1n}$ に1回当たり旋回時間 $t_1$ を乗じたものと90度旋回回数 $t_{2n}$ に1回当たり90度旋回時間 $t_2$ を乗じたものとの和として求めた.

$$t_b = t_{1n} \times t_1 + t_{2n} \times t_2$$

ただし,

$$t_{1n} = 10 - 1$$

$$t_{2n} = (n - 2) \times 4$$

### iv 収穫物搬出時間

搬出時間 $t_d$ は搬出回数 $q_n$ に1回当たり搬出時間 $q_t$ を乗じることで求めた.

$$t_d = q_n \times q_t$$

### v 圃場内移動時間

圃場内移動は収穫物の搬出に伴い行われる. 圃場内移動時間 $t_e$ は搬出回数 $q_n$ に1回当たり圃場内移動時間 $t_4$ を乗じることで求めた.

$$t_e = q_n \times t_4$$

以上のようにタイムスタディの結果から, 圃場作業量の計算に必要な式を策定すると共に, 第II-3表に示した係数を代入することで計算を行った. ただし, 圃場の区画の大きさ, 形状について以下の前提をおいた.

圃場区画の農道と直交する辺の長さを現状の基盤整備水準を基に整備可能な大区画水田の可能性を考え, 現実的水準として100 m, 200 m, 300 mの3段階に仮定し, 農道と平行する辺の長さを連続的に変化させることで区画の大きさ及び形状を変化させた.

## 3. 区画形状が作業の能率に与える影響

区画形状に伴う圃場作業量の変化及び圃場内の作業を終えるのに必要な作業時間を7作業について前項で策定した式に基づきシミュレーションを行った.

ロータリ耕について区画形状に対する圃場作業量の変化及び必要な作業時間の変化を第II-3図に示した. 他の6作業についても同様に第II-4~9図に示した.

区画の大きさ・形状の変化に伴う圃場作業量の変化について, 農道と直交する辺が100 mから200 m, 200 mから300 mに変化した場合の圃場作業量の変化をみると, ロータリによる耕耘(第II-3図), 乾田直播(第II-4図), 湛水土壤中直播(第II-5図), 移植(第II-6図)の各作業では100 mから200 mになると大きく向上するが, 200 mから300 mではその効果はあまり大きくなかった. また, 乗

用管理機による粒剤散布作業(第II-8図)は第II-1表に示したとおり作業幅が最も広いので, 旋回回数などの損失時間の割合が低く, 直進作業(実作業)時間の割合が高いため, 圃場辺の延長効果はみられなかった.

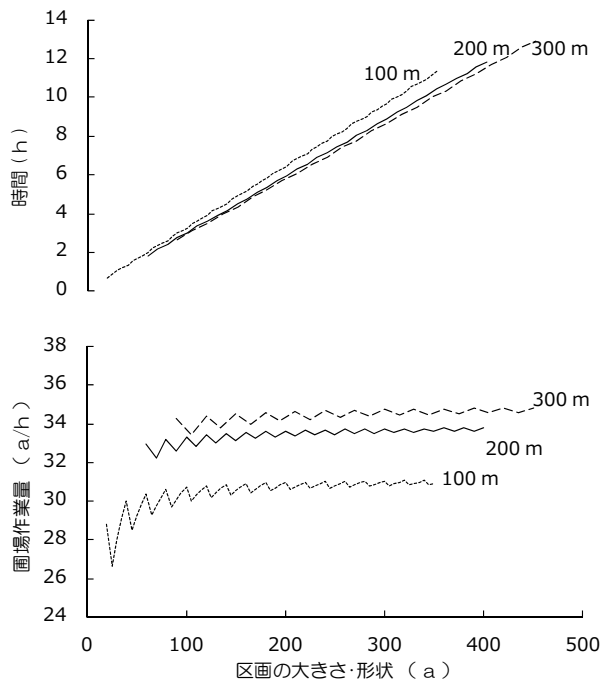
圃場作業量の変化を具体的にみるため, 農道と直交する辺の長さが100 mの場合の大きさ・形状と圃場作業量の関係では, 圃場の大きさを20 aから100 a区画に拡大した時の圃場作業量の増加程度は, 乗用管理機による粒剤散布作業の場合20 aが134.59 a/h, 100 aが220.89 a/hで1.64倍, 以下同様に液剤散布作業では51.49 a/h, 75.15 a/hで1.46倍, 乾田直播の播種作業では34.36 a/h, 44.72 a/hで1.30倍, 湛水土壤中直播の播種作業では25.04 a/h, 32.18 a/hで1.29倍, 移植作業では21.49 a/h, 25.93 a/hで1.21倍, 収穫作業では25.26 a/h, 28.24 a/hで1.12倍, ロータリによる耕耘作業の場合28.84 a/h, 30.72 a/hで1.07倍で, おおむね乗用管理機など圃場作業量の多い作業ほど大きかった. また, 圃場の大きさを80 aから100 a区画に拡大した時の圃場作業量の増加程度は, 最も圃場作業量の多い乗用管理機による粒剤・液剤散布作業が1.06倍であり, コンバインでの回り作業による収穫作業1.08倍であったのを除き, その他の作業は1.03倍以下にとどまった. 区画の大きさが100 aを越えると全ての作業で圃場作業量の増加はほぼ横這いになると言える.

さらに, 8時間で圃場1区画の作業を終えようとした場合の面積を圃場作業量の大きい乗用管理機以外で大きい順にみると, 農道と直交する辺の長さが200 mの場合, 乾田直播の播種作業が390 a(第II-4図), 湛水土壤中直播の播種作業が290 a(第II-5図), 移植作業が220 a(第II-6図), 収穫作業が240 a(第II-9図), ロータリによる耕耘作業が260 a(第II-3図)であった. すなわち, 作業単位を1日の作業時間(8時間と仮定)以内で1区画の作業が行い得るものとして捉えると, 圃場作業量の小さい移植が制限となって圃場1区画の大きさは220 aが限度となった.

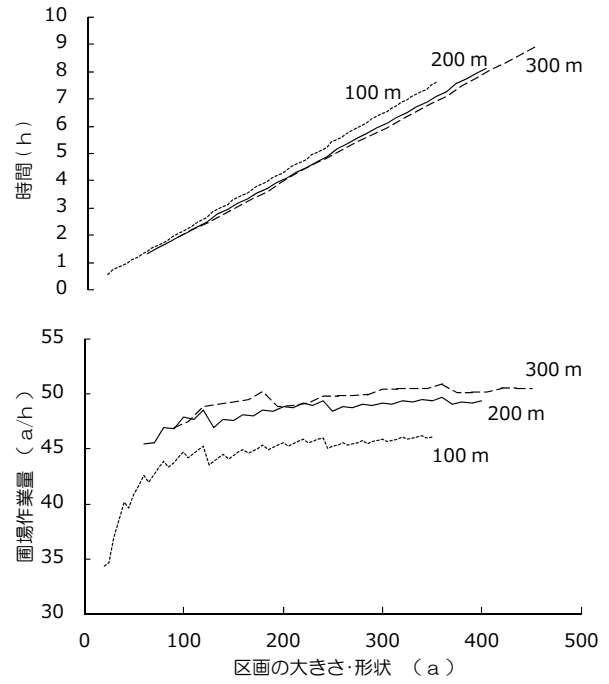
## 第4節 考察

稲作のような土地利用型の農業では, 圃場条件が経営管理に大きな影響を与えている. 圃場の大区画化や技術の進展による生産性向上が経営に与える具体的な効果を明らかにするには, 圃場区画の大きさや形状の違いが作業の効率に及ぼす影響, つまり圃場作業量の変化を正確に把握することが必要である.

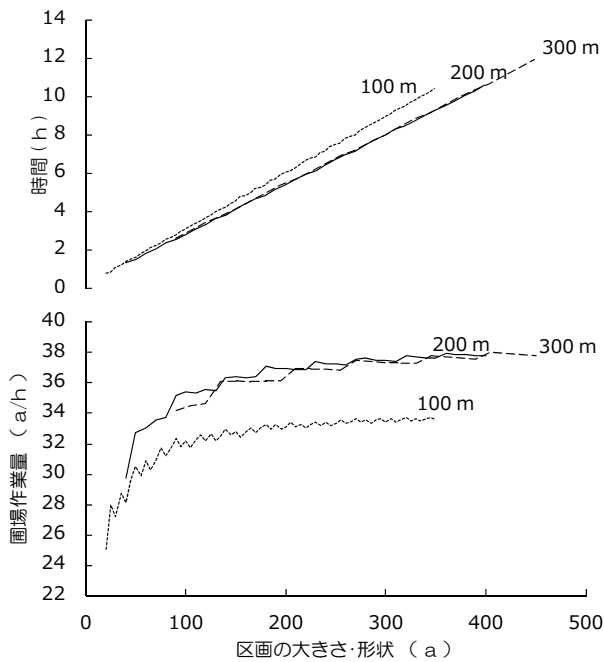
本章では, 高性能機械による7作業を対象として, それらの圃場作業量が圃場の区画の大きさや形状の違いによりどのように変化するかを, 現地における実際の作業データからシミュレーションし, 以下の結果を導いた.



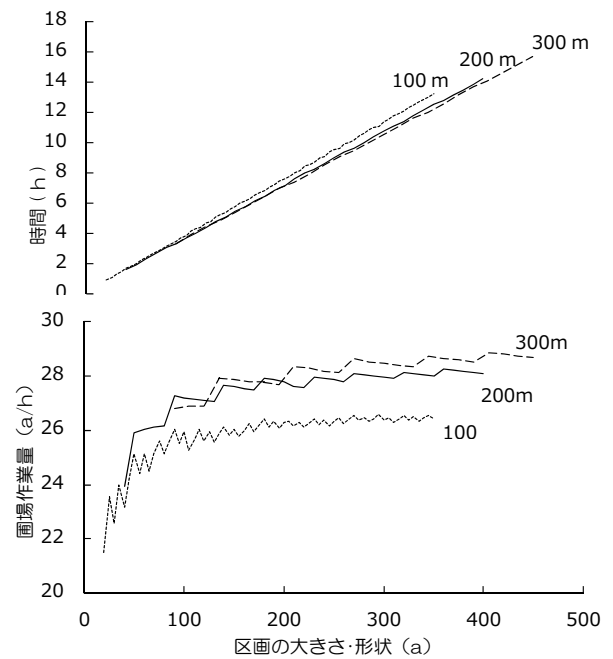
第II-3図 耕耘作業の区画と圃場作業量及び作業時間  
注：m表示は農道と直行する辺の長さ



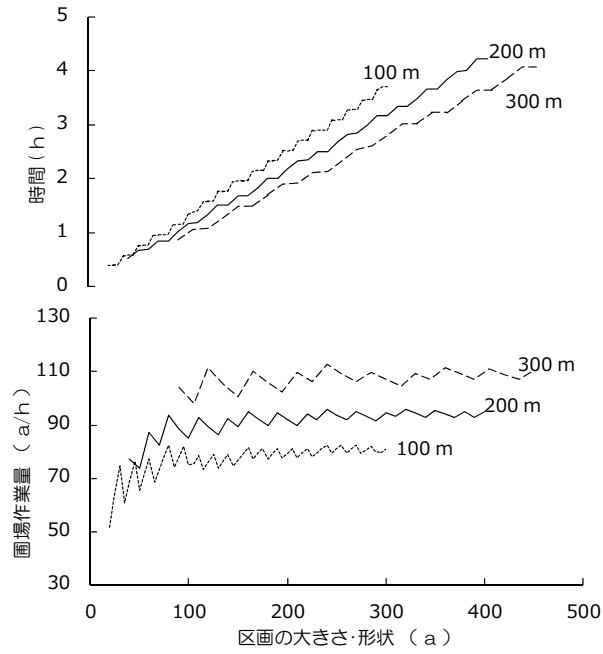
第II-4図 乾田直播作業の区画と圃場作業量及び作業時間  
注：m表示は農道と直行する辺の長さ



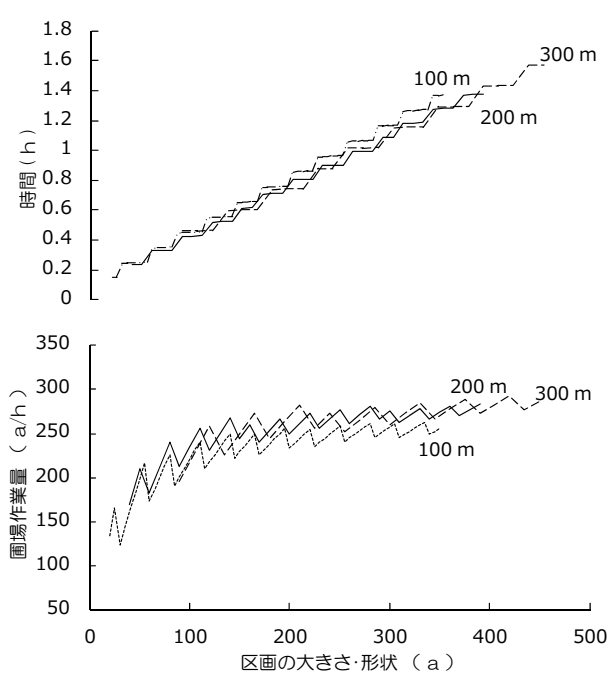
第II-5図 湛水直播作業の区画と圃場作業量及び作業時間  
注：m表示は農道と直行する辺の長さ



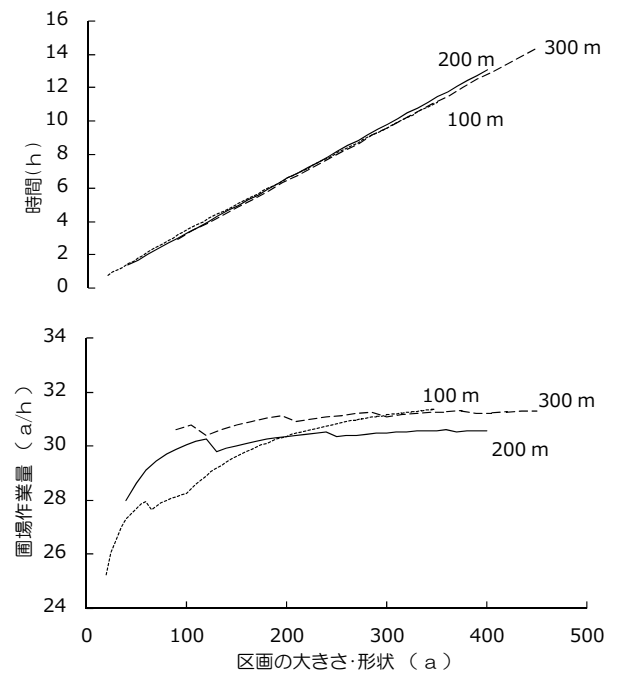
第II-6図 移植作業の区画と圃場作業量及び作業時間  
注：m表示は農道と直行する辺の長さ



第II-7図 液剤防除作業の区画と圃場作業量及び作業時間  
注：m表示は農道と直行する辺の長さ



第II-8図 粒剤防除作業の区画と圃場作業量及び作業時間  
注：m表示は農道と直行する辺の長さ



第II-9図 収穫作業の区画と圃場作業量及び作業時間  
注：m表示は農道と直行する辺の長さ



1. 区画の大きさ・形状の変化では、農道と直交する辺が100 mから200 mになると圃場作業量は大きく向上するが、200 mから300 mではその効果はあまり大きくなかった。また、圃場の大きさが100 aを越えるとほとんどの作業で圃場作業量の増加程度はほぼ横ばいとなった。さらに、1日の作業時間で行える作業面積を作業単位と捉えたと、圃場1区画の大きさは概ね200 aが限度と考えられた。これらの結果から、稲作の大型機械化作業に好適な圃場区画の大きさ・形状は農道と直交する辺が200 m、平行する辺が50~100 mの100~200 a区画であると考えられた。

2. 圃場の大きさを拡大した時の圃場作業量の増加程度は、乗用管理機など圃場作業量の多い高能率な機械で大きかった。そのため、大区画の効果を十分に発揮するには、高能率な機械を装備した経営体が必要であり、圃場整備事業の計画当初からこれらが装備できる営農主体を育成する検討が重要であると考えられた。

本章の結果を基に大型機械や施設を装備した大規模な稲作経営における最も望ましい圃場区画の大きさ・形状は、農道と直行する辺が200 m、平行する辺が50~100 mの100~200 a区画であると考えられた。これらの結果は大区画圃場の設計をどのようにすべきかについて、機械の作業能率の視点から一つの指針を示したと考える。千葉県内でもすでに大区画圃場整備事業の完了地域あるいは進展中、計画中の地域がある。整備地域の一部には区画の長辺を200 mに変更可能なように排水路を管路化し農道下に埋設する造成方法や、川崎ら(1993)が作業効率の向上を認めた、農道と圃場面との段差を少なくする農道巡回方式の造成方法などを試行する取り組みもみられている。しか

し、造成された大区画圃場のほとんどは従前の30 a区画を農道に沿って拡大した100 m×100 mの100 a区画である。実際の整備場面では、機械の能率だけでなく、水管理、栽培技術、造成技術、造成コストや維持コストなど、より多くの面からの検討が必要であろう。

また、本章の結果から、大区画化が作業を効率化するのは区画の大きさ・形状の変化による圃場作業量の向上と、さらに大型・高能率な機械による作業が可能となることによる圃場作業量向上の相乗効果であると考えられた。すなわち高能率な機械ほど大区画化による圃場作業量向上の効果が高い傾向を示したことから、大区画基盤整備は、耕地規模が小さく、低能率な機械装備の農家に対してはメリットが少なく、高能率な機械装備を持った大規模経営にとってメリットが大きいと考えられる。そのため、大区画圃場整備事業の導入後は高能率な機械作業のできる営農主体が必要となる。坪井ら(1996)は大区画圃場整備が土地利用権の流動化と集積を促進させるなどの効果を有するとしており、こうした点からも効率的営農主体を生み出す重要な契機として捉えることができる。大区画圃場整備事業の導入に当たってはその意義を理解し、計画当初から多方面の検討を行うことが必要である。

最後に、これらのデータを基にすれば、圃場区画の大きさ・形状と労働時間の関係、さらにそれが規模拡大や収益、費用等に与える影響を導くことが可能となる。大規模な稲作経営では圃場の零細分散錯圃が大きな課題となっており、その解消に向けた研究に活用することができると考える。