OR手法の農作業管理への導入について

第1報 PERTによる集団栽培組合の春作業管理*

酒井 学** 倉田和彦** 小熊純一***

Manabu SAKAI, Kazuhiko KURATA and Junichi OGUMA: On the Application of Operations Research into Farm Work Management.

I. The Evaluation of Spring Work Process Management in a Collective Rice Farm.

1. 緒 言

近年、工業・建設業等の分野においては科学的作業管理手法の研究とその応用が進んでいるが、農作業の分野では、いまだに経験的、慣行的な管理が一般的である。一方、近年の農業労働力の減少と兼業化の進行は著しいものがある。これに伴う個別経営の経営能力・資本装備および労働力の不足または欠如に対処する方法として、農作業の集団方式が生まれ、その事例は年々増加して、共同化水準の高低を問わず、6,000集団にも達している。しかし、集団化によって作業規模を拡大しても、単に個々の農家の資本・施設・機械・技術および労働力をもちよっただけでは、その集団としての機能が充分に生かされるとは限らない。そこには、構成員を有機的に組織し、かつ、その活動を計画化する効率的な手法が要請される。現在のところ、まだそのような手法が定式化されていないために、集団の役員層に作業運営管理の精神的・肉体的負担がしわよせされている反面、作業の運営とその成果が必ずしも集団構成員に満足を与えていないうらみがある。そこで、集団役員の作業管理をできるだけ容易にするとともに、個々の構成員にそれぞれの役割を適切に理解させるような管理手法の開発が要望される。しかも、農作業は一般に異質の作業工程の集合または連鎖であるから、この手法は各工程の特質をそこなわずに作業体系の流れの全体にわたって管理し得るものでなければならない。そこで、ORの一手法であるPERT

Tを取り上げ、この手法の集団農作業管理への導入の可能性およびその有用性について調査・検討を行った。

2. 調査対象および方法

1) 調査対象： 新潟県内には約700の集団栽培組合がある。そのなかで中規模のもので運営が比較的すぐれており、しかも調査に協力的な集団として、十日町市の小泉集団栽培組合を選出した。

2) 調査期間： 昭和45年5月～10月

3) 調査方法： 上記集団の春季作業に対象を絞り、各作業担当者からの聞き取りと、出面表・オペレータ作業日誌等の資料によって作業別の作業量・作業期間など昭和45年度における春季作業実績を求め、これから矢線図を作成して検討した。

3. 小泉集団栽培組合の概況および春季作業実績

1) 小泉集団栽培組合（以下 小泉組合と呼ぶ）の概況

小泉地区は新潟県南部の豪雪地帯にある十日町市の市街地から約3km、信濃川左岸の段丘上にある山間緩傾斜地（標高200～300m）の水稻単作地帯で、耕地面積は約60haである。小泉組合は、昭和40年11月よりの農業構造改善事業によるほ場整備事業の完了に伴ない、42年度から集団栽培組合として発足し、活動を開始した。その構成農家戸数は69戸で、うち専業農家はわずか1戸のみである（1種兼業40戸、2種兼業28戸）。第1表にほ場整備事業による区画の面積比率を、また第2表に経営規模別農家戸数を示す。組合の運営機構は、年3回の組合員総会を最高決議機関とし、組合長以下の役員会が栽培・

* 昭和46年12月11日受理

** 新潟大学農学部農業機械学研究室

*** (株) 佐竹製作所

トラクタ・防除・用排水・収穫機の各部会での作業計画を検討、立案し、かつ実施面では各部会間の調整をはかっている。

第1表 区画別の面積および比率

区分	面積	割合
20a以上	24.2 ha	45%
10a以上	25.7	48
10a以下	4.1	7
計	54.0	100

第2表 経営規模別農家戸数

面積	戸数	割合
～0.3 ha	12戸	17.4%
0.3～0.5	9	13.1
0.5～1.0	14	20.3
1.0～1.5	16	23.2
1.5～2.0	15	21.7
2.0～2.5	3	4.3
2.5～3.0	—	—
計	69	100.0

小泉組合保有の施設・機械を第3表に示す。

2) 小泉組合の春季作業実績：昭和45年度は組合結成以来4年目であり、組合活動の参加戸数62戸、実施面積54haであった。品種・育苗・耕うん・しろかき・施肥・田植の各項目についての当初計画を第4表に示し、以下順次その作業実績を述べる。

a) 品種：八千穂・越ほまれ・日本海・越みのり・千秋楽の5品種に限定された。各品種の作付面積および田植方法を第5表に示す。

第3表 小泉組合保有の春季作業用機械

作業	機械	型	式
耕うん しろかき 作業	トラクタ	ファーガソン	45.5 ps
		フィアット	45.0 ps
	ロータリ	コーキKR418	(180cm) 2台
田植 作業	しろかき機	刃車形	20枚刃 (345cm) 2台
		クボタ	2台
	田植機	ヤンマー	1台(借用)

第4表 作業計画大要

作業	計画
品種	重要品種に統一し集団化をはかる
育苗	集団管理苗代の実施
耕うん しろかき	トラクタによる共同作業の実施
施肥	共同施肥計画による共同作業の実施
田植	協定栽培による共同作業の実施 (稚苗5月10日～5月25日 成苗5月15日～6月5日)

第5表 品種別作付面積および田植方法

品種	田植方法	機械植	手植	計	注・矢線 図での記号
八千穂	成苗	—ha	4.54ha	4.54ha	A ₁
	稚苗	5.33	4.55	9.88	A ₂
	小計	5.33	9.09	14.42	
越ほまれ	成苗	—	—	—	
	稚苗	4.56	4.12	8.68	B ₂
	小計	4.56	4.12	8.68	
日本海	成苗	—	10.22	10.22	C ₁
	稚苗	—	—	—	
	小計	—	10.22	10.22	
越みのり	成苗	—	11.76	11.76	D ₁
	稚苗	1.80	0.19	1.99	D ₂
	小計	1.80	11.95	13.75	
千秋楽	成苗	—	8.02	8.02	E ₁
	稚苗	—	—	—	
	小計	—	8.02	8.02	
総計		11.69	43.40	55.09	

b) 育苗作業：稚苗の育成は十日町市農協の育苗センターで緑化まで行なわれ、ここから必要量を組合が一括して供給を受け硬化を行っており、小泉組合自体による作業ではなかった。しかし、センターの実際の作業員は農協の臨時雇の形式で組合員農家から出役した。

また、成苗の育成は、4月21日の種子消毒から5月12日の第2回除紙までの全過程が小泉組合みずからの事業として、集団苗代で行なわれた。

c) 施肥作業：当初計画では共同作業として行なう予定であったが、本年度は準備がととのわず各戸にまかされた。このためほ場間の差異が大きかった。

d) 耕うん・しろかき作業：稼動計画は4月上旬機械係の手で立案され、組合保有のトラクタは5月7日の雪どけをまって、耕うんとしろかきに、それぞれ1台ずつ、作業を開始した。オペレータは総員6名、1日交替で3名ずつ出役した。なお、機械田植ほ場は歩行用トラクタにより一周耕がなされ、また成苗田植ほ場では人力による畦ざわ補正が行なわれた。

e) 田植作業：前記第5表のように、稚苗機田植・稚苗手植・成苗手植の3方法に分けて行なわれた。

稚苗機械植は、田植機1台あたりオペレータ1名、

第 6 表 作業リスト

第1図 耕うん・しろかき・田植作業出来高累積図
補助者2名の構成で行なわれ、さらにトラックによる苗運搬に2名を用い、5月13日の八千穂植付開始より5月24日の越みのり植付終了までの10日間にわたった。稚苗手植・成苗手植はともに1組20名の作業班により横なわ植で行なわれた。前者は5月15日より5月23日までの8日間、後者は5月29日から6月13日までの16日間で実施された。作業別の出来高累積を第1図に示す。

4. 小泉組合春季作業の矢線図化とその検討

1) 春季作業の矢線図化

小泉組合に対する調査結果から昭和45年度の春季作業リスト(第6表)を作成した。これに基いてPERT矢線図(第2図)を作成するのであるが、農作業の特異性に起因する要素を表示するため、下記の考え方および独自の新記号を導入した。

a) 考え方：農作業では、暦日・気象条件による大きな制約・影響を受ける点で商工業等での作業と大きく異なっている。さらに、農業では作業は行なわれなくとも作物の生育を待つ期間が重要な時間的要素となっている。これらの要素を適確に矢線図化するために暦日表示方式とし、作業終了点から次の作業開始時点までの待ち時間も環境監視作業とし、また作物生育期間も生育監視作業として独立の作業と考えた。

b) 記号：

◎： 暦日によって制約を受ける作業のイベントを示す。

○●●●： 作物の生育期間を示す。

上記以外のPERT記号・用語は日本規格協会の

作業番号	作業内容	先行作業	実施時間	所日数
1	融雪剤散布	積雪 50 cm以下	4/10	1
2	A1, 2, 塩水選	—	4/9	1
3	B ₂ , C ₁ 塩水選	2	4/11	1
4	D1, 2, E1 塩水選	3	4/21	1
5	苗箱用土採集	積雪 50 cm以下	4/15	1
6	A ₂ 土壌調合	5	4/19	1
7	A ₂ 播種	2, 6	4/20	1
8	A1, C1, D1, E1 消毒	2, 3, 4	4/21	1
9	A ₂ 発芽監視	7	4/21 ~ 4/23	3
10	A ₂ 緑化室移動	9	4/24	1
11	B ₂ 土壌調合	5, 6	4/25	1
12	B ₂ 播種	3, 10, 11	4/26	1
13	融雪監視	1	4/11 ~ 4/23	13
14	A1 ~ E1 まき床除雪	13, 積雪 10 cm	4/24	1
15	A1 C1 まき床作り	14	4/25	1
16	D1 E1 まき床作り	14	4/26	1
17	A1 ~ E1 施肥	15, 16	4/27 ~ 4/28	2
18	A1 ~ E1 さく立て	17	4/29 ~ 4/30	2
19	融雪監視	1	4/11 ~ 4/26	16
20	硬化床除雪	19, 積雪 10 cm	4/27	1
21	A ₂ , B ₂ , D ₂ 硬化床作り	20	4/28	1
22	A ₂ トンネル作り	21	4/29	1
23	A ₂ 緑化監視	10	4/25 ~ 4/29	5
24	A ₂ 硬化床移動	23, 22	4/30	1
25	B ₂ 発芽監視	12	4/27 ~ 4/29	3
26	B ₂ 緑化室移動	25	4/30	1
27	D ₂ 土壌調合	5	5/1	1
28	D ₂ 播種	26, 27	5/2	1
29	B ₂ 緑化監視	26	4/30 ~ 5/4	4
30	D ₂ 発芽監視	28	5/3 ~ 5/5	3
31	A1 C1 播種	18, 8	5/1	1
32	D1 E1 播種	18, 8	5/2	1
33	A1 C1 発芽監視	31	5/2 ~ 5/6	7
34	D1 E1 発芽監視	32	5/3 ~ 5/11	9
35	A1 C1 除紙	33	5/9	1
36	D1 E1 除紙	34	5/12	1
37	B ₂ 硬化床移動	29	5/5	1
38	D ₂ 緑化室移動	30, 37	5/6	1
39	D ₂ 緑化監視	38	5/7 ~ 5/8	2
40	D ₂ 硬化床移動	39	5/9	1
41	融雪監視	1 積雪 0 cm	4/11 ~ 5/6	26
42	A ₂ 耕うん	41	5/7 ~ 5/12	6
43	A ₂ しろかき	42	5/8 ~ 5/13	6
44	B ₂ 耕うん	42	5/13 ~ 5/17	6
45	B ₂ しろかき	44, 43	5/14 ~ 5/18	5
46	D ₂ 耕うん	44	5/18	1
47	D ₂ しろかき	45, 46	5/19	1
48	A ₂ 硬化監視	24	5/1 ~ 5/12	12
49	A ₂ 機械植	43, 48	5/13 ~ 5/20	8
50	A ₂ 手植	43, 48	5/15 ~ 5/18	4
51	B ₂ 硬化監視	37	5/5 ~ 5/18	14
52	B ₂ 機械植	45, 51	5/19 ~ 5/24	6
53	B ₂ 手植	45, 51	5/20 ~ 5/23	4
54	D ₂ 硬化監視	40	5/10 ~ 5/21	12
55	D ₂ 機械植	47, 54	5/22 ~ 5/24	3
56	D ₂ 手植	47, 54	5/23	1
57	A1 耕うん	46	5/19 ~ 5/21	3
58	D1 耕うん	47	5/19 ~ 5/25	6
59	E1 耕うん	57	5/22 ~ 5/28	5
60	C1 耕うん	58	5/26 ~ 5/31	6
61	A1 しろかき	59	5/29 ~ 5/31	3
62	A1 C1 生育監視	35	5/9 ~ 5/30	22
63	A1 手植	61, 62	6/1 ~ 6/3	3
64	C1 しろかき	60, 62	6/1 ~ 6/4	4
65	D1 E1 生育監視	35	5/9 ~ 6/4	27
66	C1 手植	64, 65	6/5 ~ 6/10	5
67	D1 しろかき	64, 58	6/1 ~ 6/4	4
68	E1 しろかき	64, 59	6/5 ~ 6/7	3
69	D1 手植	65, 67	6/6 ~ 6/12	7
70	E1 手植	65, 68	6/10 ~ 6/13	4

第2図 昭和45年度実績矢線図

ものを使用した。

2) 矢線図の検討：融雪材散布開始を0とし順次矢線図の尾の属するイベントの開始日時にその作業所要時間を加えて、矢線図の頭の属するイベントの開始日時を計算していくと、最終のE1手植終了日時が63日目となる。ところで田植終了計画日6月5日が56日目であるので、これをE1手植終了日にセットし前とは反対に最初のイベントに向って所要時間を順次差し引きしていく。

第2図において太線で示した矢線が、そのフロー트가負の作業であり、当初計画を遅らした主因となるものである。すなわち第2図において、負の数値が最大となる経路、つまり-7でつながれている作業行程がこの計画のクリティカル・パスとなる。これより明らかに、当初計画を遅らした要因は、稚苗の育成行程ではなく、成苗の育成と、特に耕うん・代かき作業の遅れがその主因と考えられる。

5. PERTによる新作業計画の立案

前節に述べた昭和45年度実績の問題点を少しでもへらし、計画通りに作業を完了できるようにPERTを使って作業計画を立案した。計画の条件として下記の前提をおいた。

- 資材・機械・人員は45年度実績の範囲とする。
- 機械および人力の歩掛りは45年度実績を使用する。
- 作付品種・面積割合は45年度実績と同じとする。
- 気象条件も雪融けが非常に遅れた45年並みとする。
- 田植予定期間は45年度計画通りとする。

以上の条件のもとで45年度実績矢線図から抽出されたクリティカルな作業について、その短縮の可能性を順次検討していく。

1) 成苗育成行程

成苗田植期間である5月15日から6月5日までの20日間に苗を2回供給することとすると、その面積比率から、A1C1は5月20日が、またD1E1は5月30日がその育成最適日時とする。新潟県下では成苗の育成期間を通常30~35日としているので、A1C1の播種時期は4月20日前後でなければならぬし、またD1E1の播種時期は5月1日前後となる。ここで、第2図の作業番号31,32,33,34,62,65および36,35は短縮不能であるばかりか33,62については、それぞれ2日または3日づつ延長する必要がある。次に作業番号14,15,16,17,18に

ついて考えると、17, 18の作業をA₁C₁とD₁E₁とに分割すると、それぞれ1日づつ短縮できる。問題は作業13をいかにして5月17日までの6日間に縮めるかである。A₁C₁の成苗田植面積は約14haであるので、まき床として約0.5haが必要となる。このときの残雪30cmとして、これを除雪するのに人力でのべ150人必要となる。小泉の出役可能人員から稚苗育苗に出役中のものを除けば約40名が1日当りの出役可能人員である。この人員で約0.5haの除雪には約4日間要するので、5月16日から20日まで行なうこととすると、第3図に示したような成苗育成作業矢線図が立案できる。このように、A₁C₁の播種作業を早めることにより、前作業である種子消毒等の作業に影響を与えないで、適正な田植期間に成苗を供給することが可能となる。

2) 耕うん・しろかき・田植作業

この一連の作業は、田植作業によって、すなわち後続作業の時期によって規制されるので、この短縮を検討する場合、個々に切りはなしては考えられない。しかも、期間内に作業を終了させる方法として必要な機械・労働力を外部より導入できない前提であるから、その短縮を図るには下記の方法が考えられる。

- i) 各作業の無駄をなくし機械の効率的利用を図る。
- ii) 一日当りの労働時間を延長する。
- iii) 作業開始時期を早める。
- iv) 作業を一部省略する。

各作業について、これら上記項目の可否を検討するために、45年度実績から、各作業の出来高を求めた(第7表)。

ところで、45年度田植時の最高出役者数はトラクタのオペレータも含め81名であった。これには相当な老令者も含まれており、小泉での出役者数のギリ

ギリの限界であると思われる。そこで、65才以上の老令者を除いて無理のない出役者数を求めると68名となるので、これを最高出役者数と限定した。これに基いて田植の計画を立てる。ところで、田植前の整地作業の能率が限定されており、日ごとの出来高を変動させることができてにくいところから、54ha÷田植期間26日≒2.1ha/日を目標として、毎日の出来高ができるだけ均等になるように、田植計画を作ることとした。田植方法の組合せとして下記の3つの場合が考えられるので、そのおのおのについて1日平均2.1haの計画目標を小泉組合の労働能力で消化する可能性を検討した。

i) 稚苗手植+稚苗機械植(5月10日～5月14日の5日間) 保有田植機3台で10人が必要であり、8時間労働で1日0.98haの出来高となる。一方、手植は5.9haを手植面積とすれば、その必要人員は $5.9\text{ha} \div (0.043\text{ha}/\text{人} \cdot \text{日} \times 5\text{日}) \approx 28\text{人}/\text{日}$ で、1日の出来高1.18haとなるから、機械植と合計出来高は2.16ha/日となる。一方、人員の面では、トラクタに6名、田植機に10名、手植に28名で合計44名ですむから、小泉組合内で充分まかなうことができる。この場合出来高累積は $0.98\text{ha} \times 5\text{日} + 5.9\text{ha} \approx 10.8\text{ha}$ となる。

ii) 稚苗機械苗+成苗手植(5月15日～5月24日の10日間)機械苗の出来高はi)と同様に1日0.98haとなる。残りの1.12haを成苗手植とすると、その必要人員は $1.12\text{ha} \div (0.032\text{ha}/\text{人} \cdot \text{日}) \approx 35\text{人}/\text{日}$ となり、これにトラクタ要員と田植機要員を加えても計51名であるから、小泉の出役可能人員の範囲内である。この場合出来高累積は $0.98\text{ha} \times 10\text{日} + 1.12\text{ha} \times 10 = 21.0\text{ha}$ となる。

iii) 成苗手植(5月25日～6月5日の11日間)

i) ii) を合計した出来高累積は $10.8\text{ha} + 21.0\text{ha} = 31.8\text{ha}$ であるから、残りの面積は $54\text{ha} - 31.8$

第7表 各作業の出来高実績

田植方法	田植歩掛り	トラクタ作業		
		トラクタ機種	しろかき作業	耕うん作業
稚苗機械植	0.012 ha/人-時	No. 1	0.21 ha/時	0.23 ha/時
稚苗手植	0.006 ha/人-時	No. 2	0.18 ha/時	0.21 ha/時
成苗手植	0.004 ha/人-時	No. 1+No. 2	0.39 ha/時	0.44 ha/時

第3図 試案 矢線図

ha=22.2haとなる。これを11日間で処理するとすれば、1日平均の必要作業量は2.02haとなる。これに要する人員は $2.02\text{ha} \div (0.032\text{ha}/\text{人}\cdot\text{日}) \approx 64$

人/日となり、これにトラクタ要員の6人を加えると70人となり、小泉の出役可能人員を2名上まわることとなる。しかし、この程度の無理は1日労働時間の約10分間の延長でカバーできるので一応実施可能と判定した。以上のように立案した田植作業計画の出来高累積を第4図に太線で示す。

田植計画に引き続いて、しろかき計画を考える。その作業期間を田植開始の1日～3日前とすると、第4図の斜線内でその作業を逐次完了できていけばよいこととなる。その許容期間は最大で5月7日から6月4日までの28日間、最小で5月9日から6月2日までの24日間であり、その中間の5月8日から6月4日までの27日間で行なうとすれば、1日平均2.0haの作業量をこなすことが必要となる。これを能率のよいNo. 1トラクタで行なうと、1日平均9.5時間の作業となる。この出来高累積を第4図に示す。同様に、耕うん作業も5月7日から6月3日までの27日間で行なうとすれば、平均2.0ha/日の作業量消化が必要となる。これをNo. 2トラクタが受持つて行なうと、しろかきと同様1日平均9.5時間の作業を要することとなる。このように、しろかき・耕うん作業は1日9.5時間の実作業を要するので、オペレータに相当の負担がかかる。しかし、これを

第4図 計画案による出来高累積図

一日平均8時間で行なうとすれば、作業所要時間が32日間に延長されるから、その作業開始を5日間早めねばならない。そのための除雪作業を試算すると、のべ500人一日の出役が必要となり、小泉の現状ではとうてい調達不可能な人員となる。オペレータに多少の無理を与えることを認めた上で、上記計画を実施すれば第2図で太線で示されたクリティカル・パスが除かれる。この計画に基いて矢線図を作成すると第3図となり、オペレータの無理はあるが一応当初計画通りの作業が可能となった。

なお、45年度のように融雪の遅い非常の場合に、そなえオペレータをさらに2～3名養成しておく必要性が考えられる。

6. 結 論

農作業管理においても、生育監視作業・環境監視作業等の2、3の新しい考え方を援用することによ

ってPERT・TIMEを導入することができ、その矢線図・計算よりクリティカル・パスを見つけることが可能である。クリティカルな作業行程を計画通りに、短縮する方法として、本調査に関しては、作業出来高累積より、トラクタの1日労働時間の延長という形で解決することが出来た。しかしながら、この解決方法は個々の集団の条件によって、一様ではなく、機械・施設の増設等の形で現われる場合も考えられる。いずれにせよ、PERT・TIMEによれば農作業のクリティカルパスを発見することができ、その作業の重点管理が行なえる、又作業行程全体を見通して、各作業についての許容期間を確認し、その範囲内での作業進捗の調整、人員配置の融通ができる等の利点が考えられる。上述のクリティカルな作業短縮の方法については、他のOR手法を導入する事により、その検討方法の一般化への研究がさらに必要であると考えられる。

CIGR-CIOSTA-INDEX (1970) その10

9. GILBERTSON, C.B., T.M. MC CALLA, J.R. ELLIS, O.E. CROSS and W.R. WOODS: The Effect of Animal Density and Surface Slope on Characteristics of Runoff, Solid Wastes and Nitrate Movement on Unpaved Beef Feedlots SB 508, University of Nebraska, College of Agriculture and Home Economics, The Agricultural Experiment Station, June 1970.
10. Robert L. GIVENS: To develop design criteria for structures and related equipment that will minimize environmental stress of swine.
11. MORRISON, S.R., R.L. GIVENS, W.H. GARRETT and T.E. BOND: Effects of Mud, Wind, and Rain on Beef Cattle Performance in Feedlots. California Agriculture, 24, 8, 6-7, (1970).
12. GIVENS, R.L., S.R. MORRISON and JR. HEITMAN: Sprinkling Pigs Improves Rate of Gain and Feed Conversion in Heat Stress Tests. California Agriculture, 24, 7, 14, (1970).
13. MORRISON, S.R., H. HEITMAN, R.L. GIVENS and T.E. BOND: Sprinkler Use for Swine Cooling. Presented at ASAE 1970 Annual Meeting and to be published in Tropical Agriculture.
14. G. LeRoy HAHN: To develop design criteria for structures and related equipment to provide optimum environments for housing dairy cattle.
15. HAHN, G. LEROY, and J.D. MC QUIGG: Evaluation of Climatic Data for Environmental Engineering Design. Published in Proceedings of First Symposium on Computer Analysis for Environmental Engineering Related to Buildings, Gaithersburg, Md., Nov. 30-Dec. 2, 1970.

(87へつづく)