

技術進歩と生産規制要因の変遷

— 気象条件からみた —

— 山形県水稻生産の事例研究 —

中 川 光 弘

- 一、はじめに
- 二、気象と水稻生産
- 三、分析方法
- 四、分析結果
- 五、分析結果の考察
- 六、おわりに

一、はじめに

リービッヒ（一八〇三～一八七三）の最少律（Gesetz des Minimums）およびさらにこれを拡張訂正したヴォルニ（一八四六～一九〇一）の学説によれば、作物の生産量は作物生育に必要な空気、水、温度、光、養分、等の諸要因中、最も供給割合の少ない生育要因によって支配されることになっている。⁽¹⁾こ

《ノート》 技術進歩と生産規制要因の変遷

の場合、生育諸要因の必要量は、技術および収量水準に応じて変化するのが一般的で、必要量に対する供給量割合の変化に伴って、作物生産を支配する生育要因の変化が予想される。

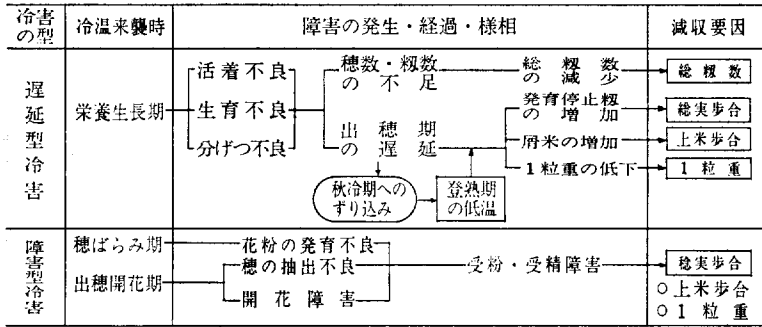
本稿の目的は、このような視点から、山形県水稻生産の歴史的経過を事例として、技術進歩に伴う生産規制要因の変遷を明らかにする点にある。特に生育諸要因中、長期間にわたって技術進歩の影響を受けることのない気象要因に着目し、明治中期以降の技術進歩に伴うその生産規制力の消長を跡付けるとともに、その技術的および社会経済的背景の考察を行なう。

注(1) プレンターノ著、東畑精一・篠原泰三共訳『農政学原論』（西ヶ原刊行会、一九四四年）。

二、気象と水稻生産

水稻生産を規制する気象要因に関する研究は、米の需給政策の基礎となる作況予測や農家経済に大きな打撃を与える冷害対策の必要上、明治以来多くの知見を集めてきた。これを大きく三つに分けると、(一)個別の生育ステージを対象に、その時期の気象変動と水稻の生理反応、器官形成との関係を研究したもの、(二)全生育期間を対象に、気象条件と収量決定との関係を研究したもの、(三)気象生産力に関する研究、に分類することができるであらう。

第1図 冷害型による障害の様相，減収要因のちがい



資料：坪井八十二・根本順吉編『異常気象と農業』（朝倉書店，1976年），58頁から引用。

注．○印の要素は穂実歩合が低下する反対に良くなるのが普通である。

第一の生育ステージ別研究の成果としては、水稻の全生育期間中、最も冷温感応性が高い時期として、出穂前一一～一〇日頃の減数分裂期（四分子期から小孢子初期）と開花受精期が存在し、次に、出穂前二五日頃の内外穎・雌雄蕊始原体分化期があり、生育初期と末期とは概して耐冷性が高いことが明らかにされてきた。冷害危険期に深水灌漑し、穎花を夜間の外気の低温から守ることの有効性を実証した北海道の酒井寛一の研究や、長野県の萩原豊次らの油紙保温折衷苗代の研究は、これらの研究成果が寒冷地稲作における冷害対策技術として活用されている事例である。坪井は、これまでの冷害研究の成果を整理して、遅延型および障害型冷害の発生経過を第一図のようにとりまとめている。

第二の全生育期間を対象とした研究には、気象条件と収量構成要素、最終収量との関係を統計学的に分析したものが多く。例えば、広崎と御子柴は、昭和四四～四六年に長野県の三試験地で行なわれた施肥試験成績を解析して、次のような収量予測のための重回帰モデルを導き出している。⁽²⁾

$$\ln Y = 0.843 \ln x_1 + 0.766 \ln x_2 + 0.753 \ln x_3$$

$$+ 1.131 \ln x_4 - 8.8689$$

$$R^2 = 0.764$$

$$X_1 = 21.8x_1 + 17.5x_2 + 9.65x_3 + 11.27w_1 + 0.52w_1 + 77.06$$

$$R^2=0.793$$

$$X_2 = -8.42x_1 - 13.55x_2 + 0.71x_3 + 4.99w_2 + 5.41v_2 \\ + 5.85v_3 + 0.32$$

$$R^2=0.878$$

$$X_3 = -0.009x_1 - 0.118x_2 + 0.331x_3 + 2.590w_3 \\ - 16.557v_3 - 5.285(v_3 - 3.5)^2 + 102.82$$

$$R^2=0.61$$

$$X_4 = -0.0024x_1 - 0.024x_2 - 0.0004(x_3 - 75.6)^2 \\ - 0.246x_1 + 0.076x_3 + 0.447w_3 - 0.274w_4 - 0.470v_3 \\ - 0.0054v_4 - 0.00002(v_4 - 300)^2 + 25.26$$

$$R^2=0.721$$

ただし、

Y:玄米重(kg/10a), x_1 :穗数(本/m²), x_2 :頭花数(粒/穂), x_3 :登熟歩合(%), x_4 :玄米千粒重(g), z_1 :品種(1)(ホクネンワセ=2, 他=-1), z_2 :品種(2)(トドロキワセ=1, ほたか=-1), z_3 :穂肥窒素量(kg/10a), z_4 :実肥窒素量(kg/10a), w_1 :6月平均日照時間(時/日), w_2 :7月平均日照時間(時/日), w_3 :8月平均日照時間(時/日), w_4 :9月平均日照時間(時/日), v_1 :播種(前期)(穂肥直前)9月平均気温(°C), v_2 :葉身窒素含有率(初期)(%), v_3 :葉身窒素(本/m²), v_4 :葉身乾物重(後期)(穂肥直前)

《ノート》 技術進歩と生産規制要因の変遷

含有率(中期)(%), v_4 :葉身乾物重(後期)(穂肥直前)実肥直前)(g/m²), v_5 :葉身窒素含有率(後期)(%)

第三の気象生産力に関する研究は、昭和三十九年の村田の研究より始まった。⁽³⁾村田は光合成と呼吸との炭水化物収支の視点から、収量増加に日射量は比例的に作用するのに対して、気温には生理的適温が存在することを明らかにし、昭和三三―三六年の全国都道府県別気象データを解析して、気象生産力示数を引き出した。この気象生産力示数によると、東日本と西日本との間には気象生産力でかなりの開差が認められ(第二図)、それまで農村社会制度の前近代性や技術水準の高低、生産要素投入量の差異から説明されてきた、東日本の水稻反収が西日本のそれを凌駕した事実を、気象資源論の立場から明らかにした。第二図によると、本稿で事例対象とする山形県の気象生産力示数は全国でも高水準に位置しており、戦後、本県的水稻反収がわが国の最高水準で推移してきたことを裏付けている。

以上のように、水稻生産と気象条件に関しては既に各方面からの研究が行なわれている。これら諸研究が存在する中であって、さらに本稿をまとめる理由は、従来のこの分野での研究がある時点での技術水準を前提とした上での分析であり、技術進歩に伴って生産を規制する気象要因が変化するという視点を欠いている点にある。技術進歩に伴う生産規制要因の変遷は、

各期間ごとに生産規制力の有無を検討した。

さらに戦後については、本県四地区（置賜、村山、庄内、最上地区）のうち庄内と最上の両地区について、局地気候の違いによる地区間の差異についての検討も行った。庄内地区は、最上川の河口平坦部に位置し、日本海に面して日照条件に恵まれており、庄内藩時代から農家一戸当たり経営面積も大きく、旧来、新しい稲作技術の導入に対して積極的で、本県の水稲作先進地区である。最上地区は、内陸山間部に位置し、遅い春の融雪と早い秋冷のため水稲栽培可能期間が短く、土壌も黒ボク土が広く分布して生産力が低く、本県四地区のうち最も自然条件が厳しいといわれている地区である。

まず、回帰法による平年反収の推計は、全県については明治一二年以降の、庄内・最上両地区については明治二五年以降の反収の推移にトレンド（⁽⁵⁾）を説明変数とする四次回帰式を最小二乗法であてはめ、この回帰式での推計値を平年反収と仮定した。平年反収の推計法としては、農林水産省でも種々の推計法が考案され、作物統計などに実際採用されてきたが、百余年にわたる平年反収の推計法としては、トレンドを説明変数とする高次回帰式によるものが最適であると判断した。⁽⁴⁾

計測期間の時代区分は、反収の趨勢と水稲生産をめぐる社会経済的背景より判断して概ね阿部の区分に従ったが、本県の場合

《ノート》 技術進歩と生産規制要因の変遷

合、昭和四五年度の米生産調整実施以降、水稲生産構造の大きな変化が予想されたので、昭和四十六年以降に第Ⅴ期を区分した。⁽⁵⁾五期間は、第Ⅰ期・明治農法確立期（明治二四～大正二年）、第Ⅱ期・大正・昭和初期の収量安定期（大正三～昭和七年）、第Ⅲ期・戦争混乱期（昭和八～二九年）、第Ⅳ期・戦後収量激増期（昭和三〇～四五年）、第Ⅴ期・米生産調整期（昭和四六～五七年）、である。

気象要因としては、水稲生産への影響力が高いと考えられている六月から九月までの各月平均気温および七月から九月までの各月日照時間を採用した。全県の分析には山形市の地方気象台の観測データを、庄内地区の分析には昭和一二年に開設された山形測候所酒田支所の観測データを、最上地区の分析には昭和九年に開設された山形測候所新庄支所の観測データを利用した。⁽⁶⁾

注(4) 野口弥吉監修『農学大事典』（養賢堂、一九七五年）、一三九二～六頁。

(5) 阿部玄三「主要作物収量の傾向とその変動」（久保祐雄・谷信輝編著『世界の食糧と異常気象』、農林統計協会、一九八二年）。

(6) 最上地区の定時気象観測は、昭和九年九月一日、新庄市沼田六四番地に農林省積雪地方農村経済調査所

(昭和五八年九月三〇日で閉所した本研究所継雪地方支所の前身)が開設され、一日四回の定時気象観測が開始されたのに始まる。

四、分析結果

明治一二年以降の本県水稻反収の推移は、第三図のような上昇傾向を示しているが、この反収の推移に対して最小二乗法であてはめたトレンドを説明変数とする四次回帰式は次のようになつた。

$$Y_0 = 127.039 + 10.5616t_0 - 0.301361t_0^2 + 0.00408129t_0^3 - 0.0000168444t_0^4 \dots\dots\dots(1)$$

$$R^2 = 0.9116, S.E. = 37.219$$

(トレンド t_0 は明治12年を1とする)

同様に、明治一五年以降の反収の推移に対してあてはめた庄内地区および最上地区の四次回帰式は、それぞれ、次のようになつた。

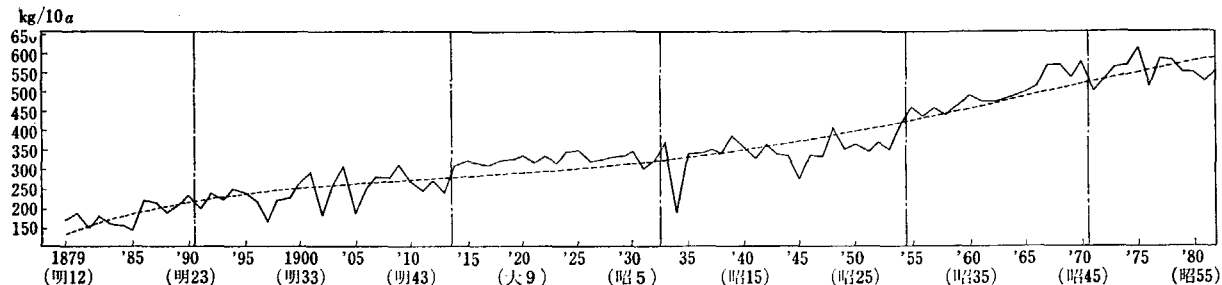
$$Y_1 = 184.601 + 13.6845t_1 - 0.550808t_1^2 + 0.00931429t_1^3 - 0.0000482875t_1^4 \dots\dots\dots(2)$$

$$R^2 = 0.8766, S.E. = 40.673$$

(トレンド t_1 は明治25年を1とする)

$$Y_2 = 102.169 + 15.5422t_2 - 0.615613t_2^2 + 0.00996607t_2^3 - 0.0000496257t_2^4 \dots\dots\dots(3)$$

第3図 10アール当たり収量の推移



資料：『山形県統計書』、『山形県米統計書』、『作物統計』より作成。

$$R^2=0.8419, \quad S.E.=47.773$$

(トレンド₂は明治25年を1とする)

第三図には、この回帰式(1)から求めた推計値(平年反収)の推移を破線で示している。

各年度の実績反収を平年反収で除し、100倍して作柄指数を求め、これと月別平均気温および月別日照時間との単純相関係数を各期間ごとに計測した結果は、第1表のようになった。同様にして求めた、庄内・最上両地区の計測結果は、第2表のようになった。六月平均気温以外は、どの気象要因も、5%以

下の危険率で作柄指数との相関が認められる期間が存在している。

一方、気象要因の生産抑制力の発現には、当然、気象要因自体の変動が影響していることが予想される。全県および庄内・最上両地区における気象要因の各期間ごとの平均値および変動係数は、それぞれ、第3表、第4表のようであった。第四図には、山形市における七月から九月までの月別平均気温および月別日照時間の推移が示されている。破線は全期間を通しての平均値を示しており、太線で描かれている期間は、5%以下の危

第1表 各期間ごとの作柄指数と気象要因との単純相関係数(全県)

	年当たり反収 増加量 (kg/10a, 年)	6月平均 気 温	7月平均 気 温	8月平均 気 温	9月平均 気 温	7月日照 時 間	8月日照 時 間	9月日照 時 間
第Ⅰ期 (明治24～大正2)	2.423	0.273	0.2869	***0.6595	0.1329	0.1256	***0.7954	0.1745
第Ⅱ期 (大正3～昭和7)	0.481	*0.4463	**0.5333	0.0014	0.1294	***0.5983	0.1352	0.2108
第Ⅲ期 (昭和8～29)	2.784	0.0556	***0.5897	0.1895	0.3347	0.3574	0.1587	***0.6722
第Ⅳ期 (昭和30～45)	8.712	0.2137	0.3189	0.1116	-0.0186	**0.5159	-0.0269	0.1665
第Ⅴ期 (昭和46～57)	1.08	0.045	0.2702	**0.5975	***0.7785	0.2179	**0.6067	0.3718

資料：山形地方気象台『山形県の気象』、『山形県農業気象月報』、『山形県気象月報』より。

注(1) *10%, **5%, ***1%の有意水準で相関の認められるもの(以下の表についても同じ)。

(2) 第Ⅰ期の各月日照時間は明治28年から大正2年までのデータによる。

(3) 年当たり反収増加量は反収とトレンドとの単回帰式より求めたもの。

第2表 作柄指数と気象要因との単純相関係数(庄内・最上地区)

	年当たり反収 増 加 量 (kg/10a, 年)	6月平均 気 温	7月平均 気 温	8月平均 気 温	9月平均 気 温	7月日照 時 間	8月日照 時 間	9月日照 時 間
<庄内地区>								
第Ⅲ期 (昭和12~29)	2.914	0.2431	***0.6738	0.1911	**0.4745	*0.4374	0.1951	0.0093
第Ⅳ期 (昭和30~45)	6.946	0.2476	0.3014	-0.0037	-0.0311	*0.4028	-0.0729	0.0085
第Ⅴ期 (昭和46~57)	3.874	0.3447	-0.0621	0.3329	***0.7407	0.0211	*0.4783	0.248
<最上地区>								
第Ⅲ期 (昭和10~29)	0.841	—	—	—	—	0.1256	-0.0598	0.0109
第Ⅳ期 (昭和30~45)	10.447	0.3978	0.3883	0.2409	0.2135	**0.4714	-0.1034	0.1483
第Ⅴ期 (昭和46~57)	0.696	0.2526	*0.5186	***0.7313	***0.6859	0.299	**0.6424	-0.1444

資料：第1表に同じ。

注：データ制約のため最上地区第Ⅲ期は日照時間についてのみである。

除率で気象要因と作柄指数との間に相関が認められる期間である。この図によると、最近の八月および九月平均気温の推移は、明治末期の冷害頻発期のそれに類似してきており、長期的傾向として今後注意を要する。

以上の分析結果から、左記のような諸点が指摘されるであろう。

(一) 気象要因の生産規制力の発現は、当然、気象要因自体の変動による影響を受けている(例えば、第Ⅰ期八月日照時間)

ものの、技術進歩に伴う生産規制力の消長が認められる。

- (二) 技術体系が均衡しつつ発展している期間(第Ⅱ期、第Ⅳ期)には、気象要因による収量変動は小さく、技術体系の跛行性がみられる期間(第Ⅰ期、第Ⅲ期、第Ⅴ期)のそれは大きい。
- (三) 施肥量急増期(第Ⅱ期、第Ⅳ期)には、水稻生育中期の七月日照時間が生産規制要因として作用しており、肥料不足期(第Ⅲ期)には、登熟期後半の九月日照時間が生産規制要因として作用している(後述)。

- (四) 保護苗代の普及(第Ⅳ期)に伴って、七月平均気温の生産規制力は低下した。
- (四) 昭和四四年の自主流通米制度発足以降、銘柄品種作付面積の拡大に伴って、登熟期気象要因の生産規制力が再び上昇している(後述)。
- (四) 庄内・最上両地区についても全県での分析結果とほぼ同様の傾向が認められるが、第Ⅲ期の九月日照時間は両地区とも生産規制要因として作用していない。庄内地区に比べて自然条件の厳しいといわれている最上地区で、気象要因の生産規制力は一般に高い。
- 分析結果として右記の諸点を確認した上で、以下、次節にお

いて、これらの分析結果と関連をもつと思われる各期間の水稻生産をめぐる技術的、社会経済的背景について考察を行なう。

五、分析結果の考察

第Ⅰ期・明治農法確立期(明治二四～大正二年)は、乾田馬耕、塩水選、金肥使用、亀ノ尾等の民間育成品種に代表される明治農法確立期にあたり、反収の漸増と不安定を特徴とする時期である。この期間は気象要因の変動も激しく(第3表、第4図)、明治三〇年、三五年、三八年、四四年、大正二年は凶作年であった(第5表)。

福岡県から巡回教師を招聘し、乾田馬耕、堆肥、塩水選、短

第3表 気象要因の平均値と変動係数(全県)

	7月平均気温		8月平均気温		9月平均気温		7月日照時間		8月日照時間		9月日照時間	
	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数
第Ⅰ期	22.461	0.05894	***23.7	0.05538	19.087	0.06609	143.92	0.2267	***178.55	0.2406	133.91	0.182
第Ⅱ期	**23.679	0.06119	24.547	0.03325	19.768	0.05128	***182.4	0.2417	203.52	0.1339	124.83	0.2158
第Ⅲ期	**23.373	0.0648	24.427	0.04481	19.459	0.06145	181.13	0.2658	208.16	0.2004	***150.45	0.2005
第Ⅳ期	23.338	0.04665	24.338	0.03441	19.406	0.04926	**162.94	0.2416	186.73	0.1978	140.94	0.1913
第Ⅴ期	23.192	0.06651	**24.1	0.06568	***19.058	0.05627	186.68	0.2496	**197.92	0.2536	145.63	0.1831
全期間	23.178	0.06173	24.212	0.04797	19.369	0.05832	170.82	0.2607	195.47	0.2073	138.96	0.2032

資料：第1表に同じ。

第4表 気象要因の平均値と変動係数(庄内・最上地区)

	7月平均気温		8月平均気温		9月平均気温		7月日照時間		8月日照時間		9月日照時間	
	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数
〈庄内地区〉												
第Ⅲ期	***23.078	0.0608	24.895	0.0386	**20.15	0.0524	*202.32	0.2442	266.68	0.1383	180.2	0.138
第Ⅳ期	22.606	0.058	24.538	0.031	20.275	0.045	*190.36	0.264	227.33	0.162	178.22	0.182
第Ⅴ期	23.033	0.054	23.992	0.051	***19.65	0.044	212.87	0.229	*213.79	0.182	172.88	0.109
全期間	23.013	0.0545	24.535	0.0417	20.063	0.0485	200.91	0.2451	239.2	0.1803	177.6	0.147
〈最上地区〉												
第Ⅲ期	—	—	—	—	—	—	142.92	0.2851	182.68	0.1883	123.92	0.2227
第Ⅳ期	22.338	0.0464	23.363	0.0292	18.525	0.0548	**160.09	0.2853	185.38	0.202	139.26	0.2083
第Ⅴ期	*22.55	0.0612	***23.433	0.0649	***18.642	0.0604	186.93	0.2075	**184.72	0.188	135.2	0.13
全期間	22.371	0.054	23.468	0.048	18.632	0.06	159.64	0.28	184.09	0.1889	131.85	0.2002

資料：第1表に同じ。

注：最上地区の全期間の値は、日照時間は昭和10年から57年までの、平均気温は昭和24年から57年までのデータによる。

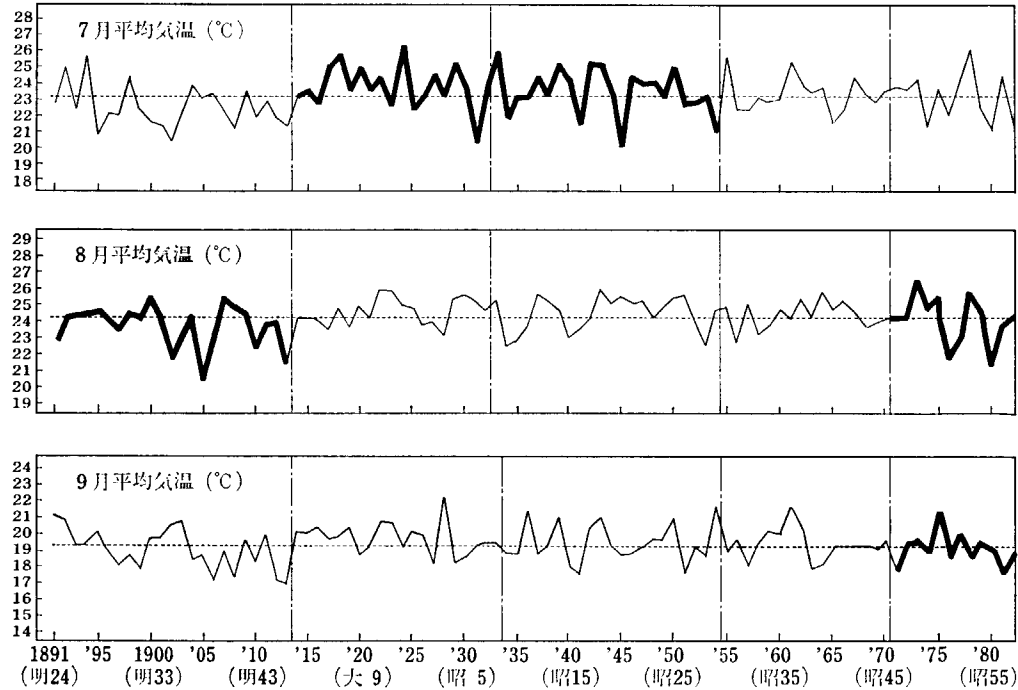
冊苗代、等の指導が本県で始まったのは、明治一九年ごろのことであるが、特に乾田馬耕は、抱持立犁や松山犁の導入と相俟って、庄内地区を中心に急速に普及していった。⁽⁷⁾明治二〇年ごろに農談会や種子交換会を契機に始まった在来品種の交換は、明治二六年の阿部亀治による亀ノ尾の発見を契機に民間育成品種の普及時代に移行していった。大正二年の亀ノ尾⁽⁸⁾、早生大野の作付面積率は六一・三%を占めるに至っている。明治

後半には、魚粕、大豆粕、骨粉等の有機質肥料を中心に金肥の使用が始まった。

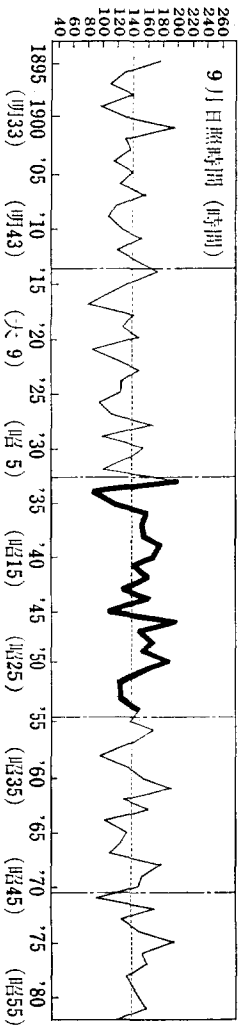
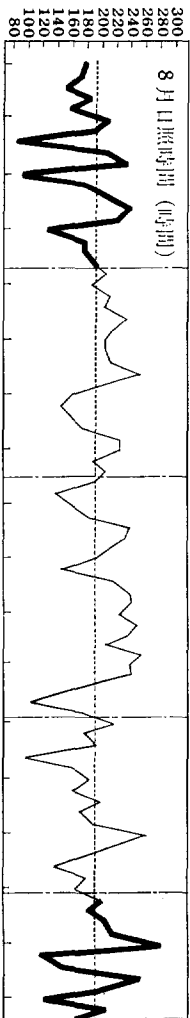
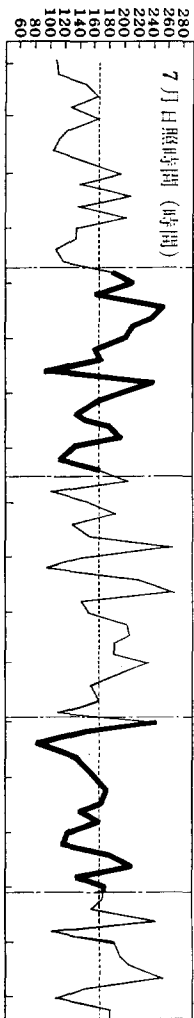
塩水選、短冊苗代、正条植、金肥使用、民間育成品種の普及等は、この時期の技術進歩を考える上で特筆されるべき事柄であるが、第Ⅰ期の稲作技術体系における「攪乱技術」は乾田馬耕であつた。乾田馬耕による深耕と乾土効果、金肥の使用は、当時地主層を中心に盛んに実施された耕地整理事業とともに、

第4図 山形市における月別平均気温および月別日照時間の推移

(1) 平均気温



(2) 日照時間



土壌の急激な肥沃化をもたらした。しかし、亀ノ尾等の民間育成品種は、在来品種に比べて耐冷性には優れていたが、耐肥性、耐病性には問題があり、稲熱病等に対する病害虫対策技術の確立が遅れたことと相俟って、稲作技術体系の跛行性がみられた。このことは、第三図の反収の推移が、明治三〇年代に入って激しく変動していることに現われており、この時期の気象変動が、跛行性をもった技術体系のもとで、反収変動をいっそう激しいものにしたことが推測される。

第5表 山形県における過去の凶作年度

年 度	作柄およびその内容
明治30年	凶作、蔵王山噴煙
35	凶作、冷夏、大暴風雨、最上五割減
38	凶作、8月霪冷、最上川洪水
大正2年	凶不作、冷夏、暴風雨大洪水
昭和9年	凶作、稲熱病、霪雨性冷氣、低水温
20	不凶作、多雨、7月霪冷
26	凶作、寡雪、大早魃
28	凶作、甚冷、晩霜害
46	凶作、少雪、異常低温、晩霜、寡照
51	凶作、異常低温、冷夏
56	凶作、冷夏

資料：山形地方気象台・山形県農林水産部『山形県災異年表』（1979年）、『作物統計』より作成。

第1表によると、この期間の生産規制要因として、八月の平均気温と日照時間とが作用している（ただし作柄指数との部分相関係数は、八月平均気温とが〇・一九九に對し、八月日照時間とは〇・六二三であり日照時間の影響力が大きい）。乾田馬耕と金肥使用が先行した技術体系のもとで、八月の低温・寡照が、その直接的影響とともに、稲熱病の発生を介して、収量変動に大きく作用したものと推測される。

第II期・大正・昭和初期の収量安定期（大正三〇昭和七年）は、作期の移行や耐肥性品種の普及により稲作技術体系が均衡し、収量が極めて安定的に推移したことを特徴とする時期である。この期間は気象条件にも比較的恵まれており、大きな冷害年もなかった。ただし生産力の上昇もほとんど認められず、第1表によると、この期間の年当たり反収増加量は〇・四八一キログラムと極めて小さい。

改良苗代における薄播き、播種期と田植期の早期化による健苗早植技術の普及は、生育遅延や病虫害発生の危険性を低下させた。大正二年に最大の作付面積に達した亀ノ尾に続いて、豊国、イ号等の耐肥性早中生品種が普及したことは、先の栽培法の改善とともに、乾田馬耕先行型の技術体系の跛行性を大いに正した。

ただしこの期間は、金肥（特に、大豆粕、魚粕、石灰窒素、

過燐酸石灰)の使用量が激増した時期であり、大正末から昭和恐慌にかけての米価低落にもかかわらず、金肥の反当たり成分施用量は、この期間に約三・〇倍に激増した。このことは、坪当たり株数の増加とともに、水稻生育中期の徒長軟弱化傾向を助長し、七月平均気温および日照時間の生産規制力を高めた(作柄指数との部分相関係数は、平均気温とが〇・二四八、日照時間とは〇・四〇一)と推測される。なお施肥量の急増と密植化とは、後期重点施肥法が普及した第IV期にもみられ、この期間にも七月日照時間の生産規制力の上昇が認められている。

第三期・戦争混乱期(昭和八〜二九年)は、太平洋戦争をはさむ激動期にあたり、反収の漸増と不安定とを特徴とする時期である。気象条件も多少不安定であり、昭和九年、二〇年、二六年、二八年は冷害年であった。

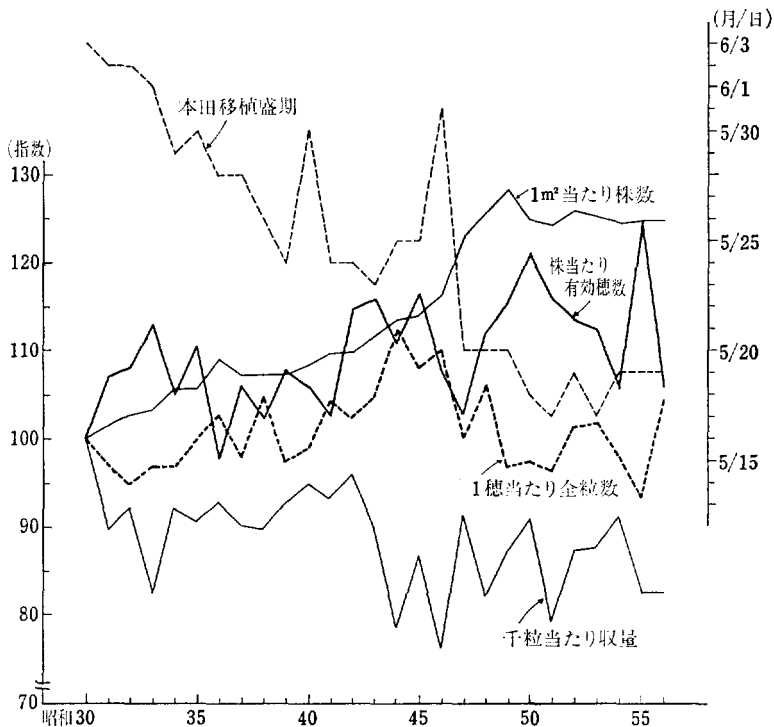
この期間の最大の特徴は、労働力と生産資材の不足である。農業恐慌下の米価低落期にも一貫して伸び続けていた金肥消費量も、昭和一四年の肥料統制実施(昭和二五年に解除)を契機に減少に転じ、その後の戦争拡大とともに激減し、昭和二〇年には昭和一四年水準の一三・五%にまで低下した。⁽¹³⁾再び戦前水準に回復したのは、昭和二五年になってからであった。労働力不足のため堆肥生産も不足気味で、肥料不足に対処して、大國早生、日の丸、尾花沢一号、等の少肥性品種の作付け、分施肥法、

大苗密植法が奨励されたものの、登熟期後半の肥切れ傾向(秋落)が強まった。このことは、九月日照時間の生産規制力を高めたと推測される。

第四期・戦後収量激増期(昭和三〇〜四五年)は、終戦直後の混乱期からわが国経済もようやく立ち直り、農業生産資材も潤沢に回回り始め、技術革新もめざましく、収量が激増した時期である。特に、保護苗代の普及、新農薬・除草剤の開発、後期重点施肥法の成立は、土地基盤整備事業の実施とともに、収量激増を実現する上で大きな力を発揮した。この期間は気象条件にも恵まれており、大きな冷害年もなかった。

昭和一七年に長野県の萩原豊次によつて考案された油紙保温折衷苗代は、本県では油紙に代わるビニールの出現と相俟つて、ビニール保温折衷苗代および畑苗代として昭和三〇年ごろより急速な普及をみた。昭和三〇年には本田面積の一一%を占めるにすぎなかった保護苗代(折衷苗代と畑苗代)の普及率は、昭和四五年には八二%に達した。⁽¹⁴⁾これに伴つて健苗早植が実現し(第五図)、寒冷地稲作の最大の難点であった生育前半の栄養生長量の十分な確保が実現された。このことは、保護苗代の普及に伴つて、七月平均気温の生産規制力が低下したことに現われている。第三図と第四図によると、昭和四〇年、四九年の七月低温は、反収にほとんど影響を与えていない。

第5図 本田移植盛期と収量構成要素の推移



資料：東北農政局山形統計情報事務所『水稻作況標本筆調査』（各年）より作成。

一方、大正一〇年より県立農業試験場で実験が続けられてきた分施肥法の研究は、当時急速な進歩をとげていた水稻栄養生理理論の成果を受けて、昭和四〇年ごろに開花結実し、「区分施肥法」と呼ばれる本県独自の後期重点施肥法を確立した。この「区分施肥法」の普及に伴って施肥量も増大し、反当たり投入肥料成分量は、この期間に約一・八倍に急増した。このことは、第Ⅱ期で説明したと同様に、七月日照時間の生産規制力を高めたと推測される。

さらに、DDT、BHC、パラチオンと続いた殺虫剤および有機水銀系殺菌剤の出現は、作期の移行、多肥化、密植化に伴って危険率の高まったメイチュウ類や稲熱病の発生を未然に防ぐ上で大いに威力を発揮した。2-4-D、MCP、PCP等の植物ホルモン系除草剤や動力耕耘機の普及は、稲作労働の省力化とともに、無効分けつの抑制や倒伏防止、深耕

による肥料受容量の増大効果もあわせもっていた。

第Ⅴ期・米生産調整期（昭和四六・五七年）は、昭和四四年の自主流通米制度の発足および米生産調整実施を契機として、本県の水稲生産目標が増産から良質米生産に移した時期である。この期間は、昭和四五年以降急速に普及した田植機の出現によって、米作中型機械化一貫体系が成立した時期であるが、収量はむしろ停滞気味で、気象条件も不安定だったために、反収変動も拡大した。

自主流通米制度の発足を契機に、本県の水稲作付品種の構成は、従来の強稈多肥多収品種から、ササニシキ、キヨニシキ、さわのはな、等の銘柄品種にその比重が移ってきた（第六図）。ちなみに昭和五七年度の本県銘柄品種の作付面積率は八八・三％に達しており、米等級検査結果における一等米割合も八二・八％（全国平均六三・八％）の高率である。⁽¹⁷⁾ 熟期が多少遅れる銘柄品種の作付面積が拡大したことは、田植機の普及に伴う稚苗および中苗植えの拡大、栽植密度の上昇（第五図）とともに、登熟期の気象感受性を高め、八月の平均気温および日照時間、九月平均気温の生産規制力を高めたと推測される。⁽¹⁸⁾

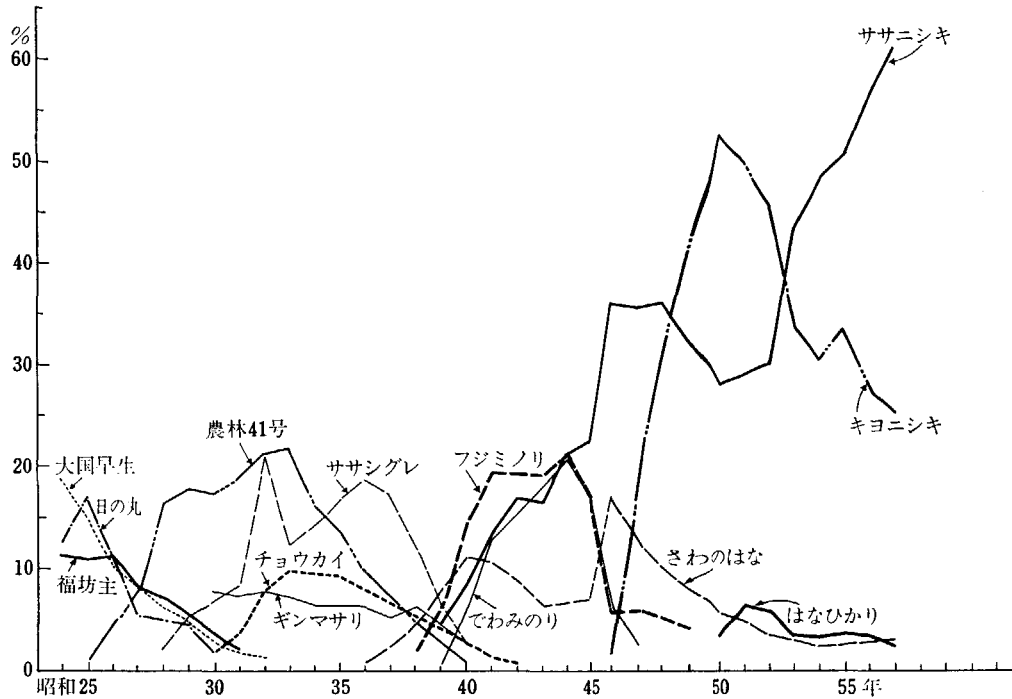
第Ⅳ期、第Ⅴ期の収量決定の構造を、四つの収量構成要素——平方メートル当たり株数、一株当たり有効穂数、一穂当たり全もみ数、千もみ当たり収量——の生産弾力性の推計値から検

討した結果は、第Ⅵ表のようになった。第Ⅵ表と第五図によると、全県では、密植化の進行した第Ⅳ期には、平方メートル当たり株数の生産弾力性推計値が高く、密植化による増収効果が大きかったことを示している。しかし、第Ⅴ期になると、この生産弾力性推計値は低下しており、密植化による増収効果が頭打ちの状態に達しつつあることを示唆している。一方、一穂当たり全もみ数、千もみ当たり収量の生産弾力性推計値が上昇していることは、これら収量構成要素が決定される幼穂形成期以降の水稲生育の比重が、収量決定の上で高まっていることを示しており、第Ⅰ表で認められた八月、九月の気象要因の生産規制力が高まっていることを裏付けている。

庄内・最上両地区については、分けて依存度の高い庄内地区で、一株当たり有効穂数の生産弾力性推計値が上昇していること、最上地区では、第Ⅳ期の平方メートル当たり株数の生産弾力性推計値が極めて高く、密植化による増収効果が大きかったこと、最近も千もみ当たり収量の生産弾力性推計値のみが上昇していること、等が指摘される。収量構成要素の変動係数は、機械植えの普及により制御範囲の拡大した平方メートル当たり株数を除いて、気象条件の厳しい最上地区で高かった。

(7) 大正二年の牛馬耕面積率は、全県で三七・八％、特に庄内地区では七八・三％であった（鎌形 勲『山形

第6図 水稻主要品種の本田作付面積比率の推移



資料：山形県『山形県における米作統計——市町村別累年反当収量並びに主要品種作付面積の変遷——』（1969年），食糧庁長官官房調査課『米穀の品種別作付状況』（各年）より作成。

第6表 収量に対する収量構成要素の生産弾力性推計値

	m ² 当たり 株数	1株当たり 有効穂数	1穂当たり 全もみ数	千もみ当 たり収量	説明力 (R ²)
〈庄内地区〉					
第Ⅳ期(昭30~45)	1.1122	0.8825	0.9595	0.7785	0.9831
第Ⅴ期(昭46~56)	1.0340	1.0033	1.0147	0.7330	0.8749
〈最上地区〉					
第Ⅳ期(昭30~45)	1.3286	0.9947	1.0725	0.7737	0.9868
第Ⅴ期(昭46~56)	1.0323	0.8329	0.9916	0.9616	0.9570
〈全 県〉					
第Ⅳ期(昭30~45)	1.1045	0.9163	0.9648	0.8245	0.9940
第Ⅴ期(昭46~57)	0.7063	1.0726	1.2089	1.0331	0.9940

資料：第3図に同じ。

注. 説明力(R²)は、4つの収量構成要素を説明変数とする自然対数型の重回帰式の決定係数である。

県稲作史』、農業総合研究所、研究叢書第二九号、一九五三年、二〇三頁。

(8) 鎌形 勲『前掲書』、二〇七頁。

(9) 五十嵐は山形県における明治以降の稲作技術の展開過程を分析する際、各時期の技術体系を構成する部分技術を「攪乱技術」と「関連技術」とに分類し、この両者の均衡・不均関係より、各時期の技術体系の特徴と技術発展のメカニズムの説明を試みている(五十嵐憲蔵「稲作技術の発展と体系化に関する研究——水田単作地帯を対象として——」、『農業技術研究所報告H』第三号、一九六五年)。

(10) 乾田馬耕の急速な普及による当時の稲作技術体系の跋行性を示唆する事例として、明治四四年の庄内地区を中心とした稲熱病の発生をとりあげることができる。明治四〇年の牛馬耕面積は、全県の九四％が庄内平野に集中していた。明治四四年の稲熱病の発生は、特に庄内地区で激甚で、同年の作柄は、他の三地区では一・二割の増収であったのにたいして、庄内地区だけは三七％の減収であった(山形県『山形県史・農業編(中)』、一九六九年、六五～六頁)。

(11) 鎌形 勲『前掲書』、二七八頁。

(12) 鎌形 勲は、『前掲書』のなかで、当時、山形市の水稲反収が、施肥量過多のために反収が低下したこと

を指摘している。(鎌形 勲『前掲書』、二六四～二七六頁)。

(13) 山形県『前掲書』、二七五頁。

(14) 農林省統計情報部『作物統計』。

(15) 「区分施肥法」の成立経過については、山形県立農業試験場『山形県立農業試験場八十年史』(一九七七年)を参照。当時の水稻栄養生理理論の発達と後期重点施肥法の成立経過については、村山登『収獲漸減法則の克服』(養賢堂、一九八二年)を参照。

(16) 農林省農林経済局統計調査部作物統計課『水稻一〇アール当たり収量の重回帰分析(Ⅰ)』(一九七二年)の「分析に用いた基礎データ」(米生産費調査からの推計値)を参照。これによると、特に昭和四二年、四三年には、追肥回数、施肥量が一時的に急増した。

(17) 食糧庁長官官房調査課『米穀の品種別作付状況』(一九八二年)。

(18) 稚苗および中苗の機械植えは、出穂期を遅らせ、葉数を減らすために、耐冷性を低下させることが指摘されている(例えば、星川清親『稚苗・中苗の生理と技術』、農山漁村文化協会、一九七六年)。しかし、本県の場合は、田植期が早まったために、出穂期の遅延傾向は認められない。昭和五四年度の稚苗および中・成苗植えの本田面積率は、それぞれ、五四%、四二%で

《ノート》 技術進歩と生産規制要因の変遷

あった(東北農政局山形統計情報事務所『山形県における稲作の動向と作柄要因の解析』、一九八〇年)。

六、おわりに

以上、山形県水稻生産の歴史的経過を事例として、技術進歩に伴う気象要因の生産規制力の消長について検討を行なった。

気象要因の生産規制力の発現は、気象要因自体の変動によっても当然影響を受けるものの、各期間の稲作技術および収量水準に応じて変化することが認められた。技術体系の跛行性がみられる期間には、気象要因による収量変動は大きく、技術体系の均衡的發展期のそれは軽少である。施肥量急増期には、水稻生育中期の徒長軟弱化傾向が強まるため、七月日照時間の生産規制力が上昇し、戦争混乱期の肥料不足期には、登熟期後半の肥切れ(秋落)のため、九月日照時間の生産規制力が上昇した。保護苗代の普及による健苗早植えの実現により、七月平均気温の生産規制力は低下したが、昭和四四年の自主流通米制度発足を契機とした銘柄品種作付けの拡大と、田植機による稚苗・中苗植えの普及により、最近では再び、登熟期気象要因の生産規制力が上昇している。庄内・最上両地区についても、全県での分析結果とほぼ同様の傾向が認められたが、自然条件の厳しいといわれている最上地区で、気象要因の生産規制力が一般に高い。

最後に、本稿の分析上の問題点として、平年反収の推計に回帰法を採用したこと、分析期間を五つに区切った際の時代区分の基準、生産規制力の発現に対する気象要因自体の変動効果と、稲作技術体系の変化による効果とを截然と識別することができないこと、等の諸点が指摘される。これら分析上の問題点に関しては、今後さらに検討を加えていきたい。

〔付記〕 本稿をまとめるにあたって、資料収集および聴取り調査の段階で、山形県農林水産部農業技術課、山形県立農業試験場、東北農政局山形統計情報事務所、本研究所積雪地方支所の方々のご協力をいただいた。またデータ解析の段階では、稲葉弘道研究員のご指導をいただいた。ここに衷心より深謝の意を表する。