

シミュレーション手法による麦-大豆体系の作業技術評価(1)

誌名	四國農業試験場報告 = Bulletin of the Shikoku Agricultural Experiment Station
ISSN	00373702
巻/号	45
掲載ページ	p. 167-181
発行年月	1985年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



シミュレーション手法による麦—大豆体系の作業技術評価

第1報 大豆播種作業の評価

糸川信弘・川崎 健・森田林逸

目 次

I 緒 言	167	III シミュレーション結果と考察	177
II シミュレーションの方法	167	1 機械走行の可能日数	
1 シミュレーション手法適用の考え方		2 播種作業の所要日数	
2 播種作業モデルの作成と情報の定式化		3 シミュレーション手法適用上の問題	
1) 気 象		IV 結 言	179
2) 土 壌		V 摘 要	180
3) 機械作業		引用文献	180
3 モデルの適合性の検証		Summary	181

I 緒 言

近年我が国では、農産物の国際競争力を強化する観点から、低コスト化を前提とした農業生産技術の総合評価の必要性が強調されている。とくに、水田利用再編を推進する立場から、現在、シミュレーション手法の適用による転換畑での麦—大豆体系の生産技術評価の研究が農研センターを始めとして6地域農試を中心に進められている。四国農試においても体系化研究班を組織して、10ha規模の集団転作を想定した麦—大豆体系を取り上げ、1982年から研究を実施している。

従来の体系化研究は、基本となる作付体系や作業技術体系をもとに、組立実証試験にその重点が置かれていたが、農業生産システムをとりまく外乱要因は数多くかつ複雑で、数年間の実証研究では、技術体系の適用範囲などその評価は必ずしも十分とは言えなかった。一方、農業をめぐる流動的な情勢に対応して、短期間に適用技術体系を評価することが近年増々重要になっており、従来の体系化研究手法に替る新しい評価手法が求められている。この点、シミュレーション手法は、農業生産システムのような理論的な解析手法で取り扱えない不確定要素を含むシステムの解析に適している。本研究は、麦—大豆体系の個別作業技術を規制する気

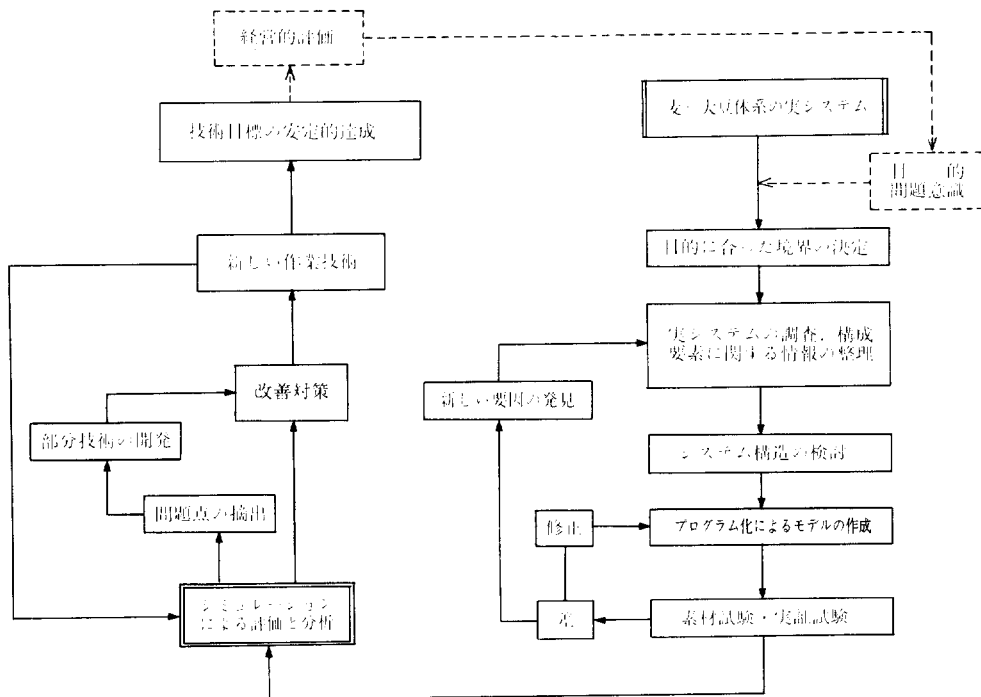
象を中心とした不確定環境要因の影響をシミュレーション手法を適用して検討し、個別作業技術の適用限界を明らかにしようとするものである。

四国地域の大豆は、稈麦や小麦の収穫後、蔓化や病虫害の被害を避けるために、中間型の品種を用いて6月中旬から7月上旬にかけて播種するのが慣行である。しかし、この時期は梅雨期と重複するために、降雨によって圃場が軟弱化して機械作業に支障をきたしたり、苗立ち率の低下などの湿害を受けやすい。すなわち、大豆の播種作業は天候に支配されやすい不安定な特質を持っており、大規模な集団転作を推進するためには、機械による作業可能面積などを体験的推計ではなく十分根拠のある科学的手法により事前評価することが重要である。本報告では、降雨条件、土壌条件による機械走行および大豆播種作業の可否判定をシミュレーション手法を用いて行い、播種作業機械の装備量や負担面積を決定するための作業限界条件を策定する。

なお、本報告の取りまとめにあたり、御指導、御助言をいただいた四方俊一栽培部長をはじめ四国農試体系化研究班の各位に深く謝意を表する。

II シミュレーションの方法

1 シミュレーション手法適用の考え方



第1図 シミュレーション手法適用の考え方

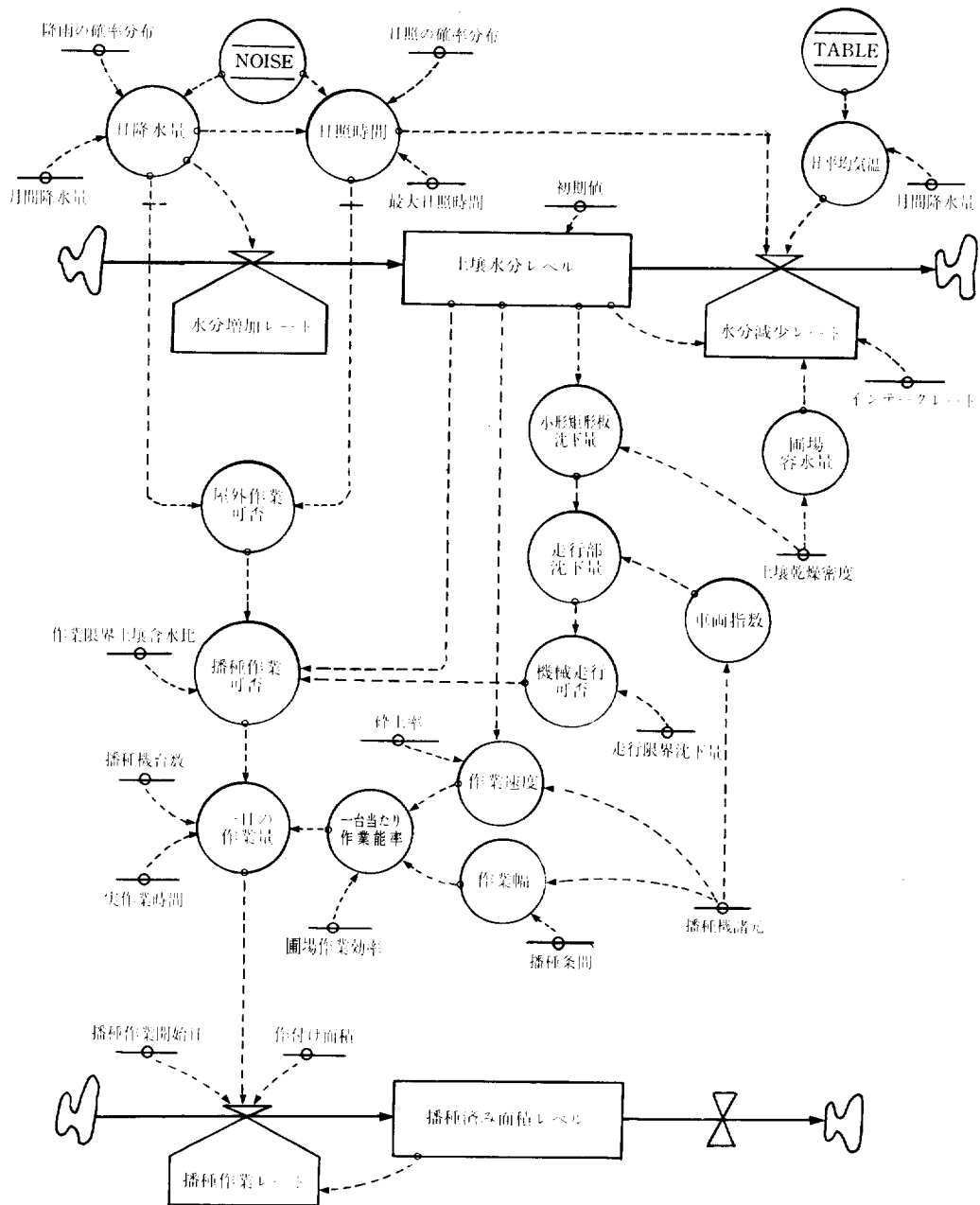
農業のように生物を内包するシステムは、システムを構成する要素が多様かつ複雑であり、要素の入出力関係は非線形性が強く、しかも、降雨や気温などのように人為的なコントロールの困難な気象条件に支配されているのが特徴である。現状では、各要素相互の因果関係に関する基礎データが不十分であるので、このような条件下でシミュレーション手法を適用する場合に、全ての情報を網羅したモデルを構築することは非常に困難でありかつ非効率である。とくに農作業システムでは、シミュレーションの目的を明確にし、モデルの範囲を限定して適用することにより、少ない要因でも有効性を発揮する場合も少なくない。農作業モデルは、作物、土壌および機械・労力の基本要素から構成され、制御不可能な環境条件のもとで、種々の生産条件を入力して、生産性の効率化を図ることが目的である。農作業システムの境界外には、当然最終目的である経営評価に至るシステムが存在するが、営農現場に有益な作業技術上の情報を得ることが本シミュレーションの目的であるので、作業技術の評価上支障のない範囲でシステムの境界を設定している。

麦・大豆体系の個別作業技術へのシミュレーション手法の適用についての具体的な考え方、手順を第1図

に示した。前段では、適正規模、機械装備量の策定などの明確な目的を踏まえてモデルの境界を設定し、現実の事象をよりの確に再現し得るモデルを構築することが大切であり、後段では、モデルの境界条件を念頭にパラメータを変更して目的とする情報を得ながら、技術目標の安定的達成をコンピュータで検討する。有効なモデルが構築されれば、従来の実証試験に替って経費と時間を大幅に削減することが可能となり、コンピュータ技術の発展とともにシミュレーション手法は有力な農業技術の評価手法となりつつある。

本研究では、システムダイナミックスの手法を用いたが、本手法は自動制御理論の考え方に基づいて企業や社会システムなどを分析する目的で開発されたものであり³⁾、そのフローダイアグラムはシステム全体の動的状況が理解しやすく、しかも、基礎データの少ない現状では、農業者の貴重な経験的情報を容易に組み入れられるなどの特徴がある¹⁰⁾。農作業システムの評価への適用事例としては池田¹⁾・2)ら、金子⁵⁾・6)らの報告があり、その有効性が確認されている。

なお、播種作業モデルのプログラム化にあたっては、農林水産研究計算センターのACOS 6アプリケーションのDYNAMO/F-6を用いた⁸⁾。



第2図 播種作業モデルのフローダイアグラム

2 播種作業モデルの作成と情報の定式化

農業は“気象”という人為的コントロールが不可能で、しかも現状では中長期的予測の不確実な環境条件下で営まれている。とくに、農作業については気象要因の影響は絶大で、気象条件によって機械の質と量が決

定されるといっても過言ではない。播種作業モデルは基本的に①気象、②気象に大きく影響される土壤条件、③土壤の物理性に規制される機械作業の3部門に区分される。モデル構成要素の因果関係を示した播種作業モデルのフローダイアグラムを第2図に示した。なお、本モデルでは、麦収穫後の大豆播種作業において、22

馬力トラクタに装着したロータリシードによる耕耘同時播種を想定している。

1) 気象

四国地域の気候区は、温暖寡雨多照の瀬戸内と高温多雨の南海の両区に大別されている。第3図に、高松(香川県)と高知(高知県)の1951年から1980年までの各月の月間降水量の平均値および標準偏差を示した。高知地区は高松地区の2~3倍の降水量となっているほか、両地区とも年次による月間降水量の変動が相当大きいことがわかる。

農作業を考える場合、気象要因の中で最も重要なのは降雨である。その年次変動が大きいことは、気象条件を加味した地域特有の作業技術の確立を困難にしている一つの要因である。しかし、気象の正確な予測が難しい状況下では、次善の策として、降水量の多少と作業の可否程度との関係を把握することにより、特定作業技術の定着範囲を推定することは可能であり、シミュレーション手法の有力な適用場面である。本モデルでは、1951年から1980年までの6月および7月の高松と高知の月間降水量を100mmごとに分類し、各区分ごとに月平均気温や無降雨率および日降水量の確率分布を調査してシミュレーションに供した。なお、気象要素としては石東の報告⁴⁾を参考に日降水量、日平均気温および日照時間を採用した。また、気象データは気象庁から提供されている気象データファイルサービスを利用した。

(1) 無降雨率

月間の無降雨日数の割合は、当然のことながら月間降水量に大きく影響される。第4図に月間降水量の各区分における30年間の無降雨率の平均値を示した。回帰式は次式で表わされる。

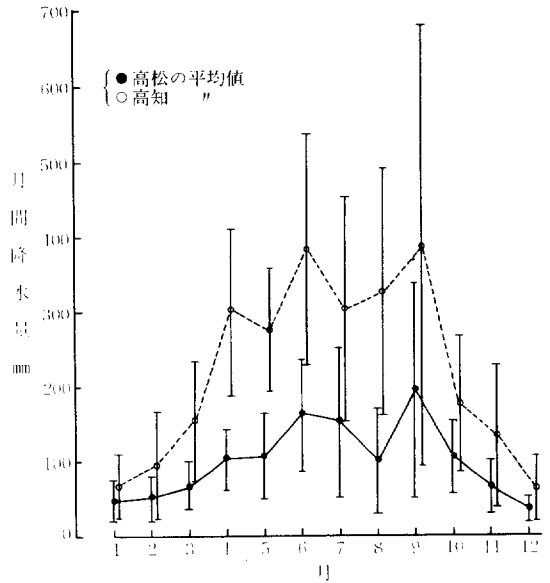
n = 1.28 - 0.14 ln Rm(1)

n: 無降雨率

Rm: 月間降水量(mm)

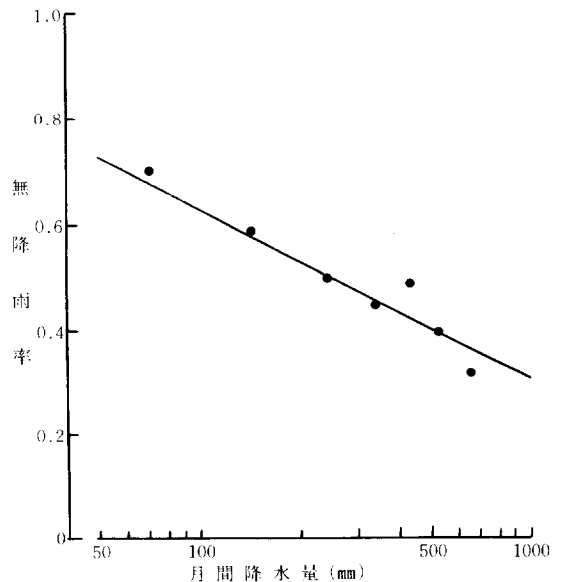
(2) 日降水量

地域の降雨パターンを知ることは、農作業モデルを構築する場合に重要である。本モデルでは、月間降水量の多少によって降雨パターンが一義的に決まるものと仮定して、月間降水量区分別にカイ二乗検定によって日降水量が一様分布とみなせる日降水量の区間を設定し、その各区間の確率分布を求めて一様乱数で日降水量を発生させた。第1表に月間降水量と日降水量の確率を示した。なお、日降水量が0.1mm以下の場合は無降雨とした。



第3図 1951~1980年の高松と高知の月間降水量

注1) 上下●は標準偏差を表す。
2) 気象庁提供の気象データファイルサービスより作成。



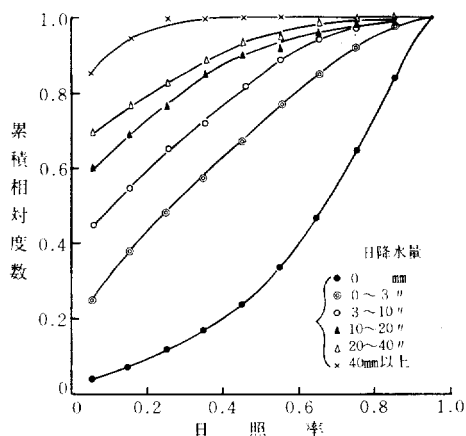
第4図 月間降水量と無降雨率

第1表 月間降水量と日降水量の確率

単位：%

日降水量(mm)	月間降水量(mm)					
	100以下	100~200	200~300	300~400	400~500	
0.1-	3	41.3	36.1	32.0	26.9	26.7
3 -	10	35.8	27.1	23.6	27.2	18.2
10 -	20	11.2	19.4	18.2	14.3	18.2
20 -	40	10.1	10.6	15.0	14.9	17.6
40 -	70	1.7	5.9	8.9	12.3	9.7
70 -	120	0	0.9	2.0	3.4	4.2
120 -	250	0	0	0.2	0.9	5.5
データ数	179	454	440	349	165	

注) 1951~1980年の高松と高知の6,7月データより。



第5図 降雨後の日照率とその確率

注) 日照率 = $\frac{\text{日照時間}}{\text{30年間の最大日照時間}}$

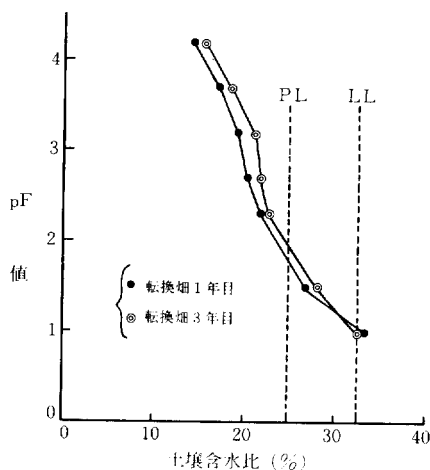
(3) 日平均気温

日平均気温は土壌面蒸発に大きく影響する。過去30年間の半旬別平均値をテーブル関数で表し、標準偏差1.9℃でランダムに日変化させた。また、月間降水量が増大すると月平均気温が低下することを考慮して、月間降水量が100mm増加すごとに日平均気温を0.5℃の割合で低下させている。

(4) 日照時間

蒸発散量に関与する日照のウェイトを定量的に把握することは難しい。本モデルでは、灌がい用水量を決定する場合に簡便で適合性が高いといわれているBlaney-criddleの方法⁹⁾を参考にして、気温とともに日照時間を土壌水分の変動要素とするモデルとした。

また、本モデルでシミュレーションする場合の時間単位は1日である。気象データも同様に1日単位で記



第6図 供試土壌の保水性(中粗粒灰かつ系灰色低地土)

注) 四国農試土壌肥料第1研究室資料による。

録されているが、夜間に降雨があっても昼間は晴天という場合も多い。農作業の可否を論ずる場合には1日の時間単位では不適當であるが、日照要素を用いることにより、一層きめ細かな作業可能日数の把握が可能となる。本モデルでは、降雨があっても日照率が0.6以上の場合には終日作業可能、0.3~0.6の場合は半日作業可能としている。第5図に日降水量別の日照率の平均値を示したが、無降雨の場合は全日数の約70%が日照率0.5以上であるのに比べ、日降水量が40mm以上の場合には90%以上が日照率0.1以下であり、日照時間も日降水量と大きな相関があることがうかがえる。

2) 土 壤

第2図に示したように、本モデルでは地下水位が十分低いものと考えその影響を捨象し、土壌への主要な水分供給源は降雨であるとみなしている。一方、水分増加レートとともに土壌水分レベルを支配する排水のレートは複雑である。地形、土性、気象、作物条件などが関与し、現状ではその全ての因果関係を定量的に把握することは不可能である。本モデルでは、土壌の水分減少レートを制御する要素として、圃場容水量(24時間容水量)、インタークレート、土壌水分レベルおよび日平均気温と日照時間を取り上げた。なお、本モデルに供した基礎データは四国農試圃場(香川県善通寺市)で収集した。土壌は中粗粒灰かつ系灰色低地土で、四国地域では一般的土壌である。土壌の保水性を示すpF-含水曲線を第6図に示したが、供試した大

豆播種圃場は乾田で排水性が良く、転換畑としては良好である。

(1) 土壌含水比の増加

降雨による土壌水分の増加を一義的に決定することは難しい。降雨強度や降水時刻、土壌への浸潤能、表面排水の難易などが関与する。しかし、現状ではこれらの要因の因果関係を明らかにすることは極めて難しく、本モデルでは特定圃場の土壌水分増加データを用いざるを得なかった。供試圃場の日降水量と増加した土壌含水比の関係をプロットすると第7図となる。増加含水比の回帰式は次式で表わされる。

$$i = 3.56 \ln Rd - 3.4 \dots \dots \dots (2)$$

i : 降雨による土壌の増加含水比(%)

Rd : 日降水量(mm)

日降水量50mm以上のデータが不足しているが、本モデルでは50mm以上の降雨についても(2)式を適用し、土壌水分レベルが異常に大きくなる場合には、過去の経験をもとに、土壌水分減少レートで調整した。なお、第7図の増加含水比は、1983年5月から12月までの降雨前後の土壌を100cc採土円筒でサンプリングして測定したものであり、表面から5cmまでの平均含水比である。

(2) 土壌含水比の減少

土壌水分の減少量を規制する要因は前述したように複雑である。圃場内に自記式のテンシオメータを設置して、大豆ウネおよび大豆ウネ近傍の裸地の深さ10cmにおける土壌水分の変動を測定した。本モデルは播種作業モデルであるので、作物条件の影響が比較的小さい1983年6~7月、10~11月の供試圃場裸地における測定値を選んで重回帰分析を行うと次式となる。

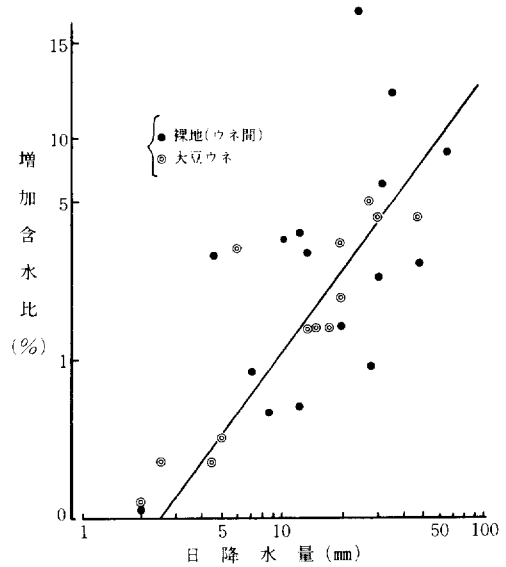
$$j = \text{EXP} (5.77 \ln Ws + 0.073N - 22.3) \dots \dots \dots (3)$$

j : 1日の単位気温当たりの土壌含水比減少量(%/°C/日)

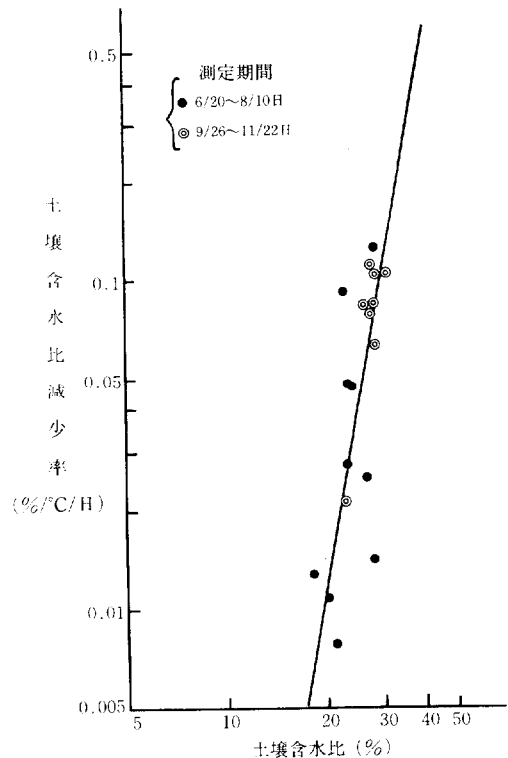
Ws : 土壌含水比(%)

N : 日照時間(hr)

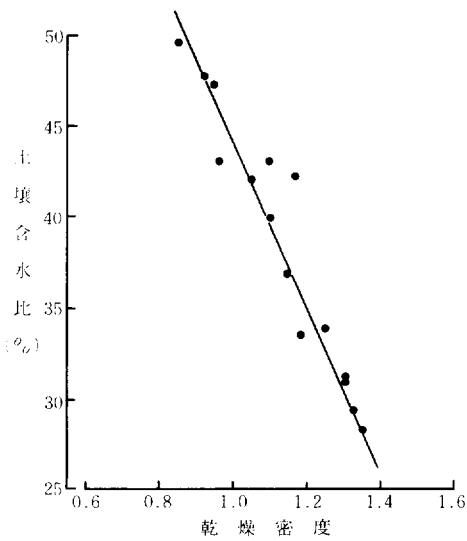
土壌含水比の減少量は土壌水分レベルと日平均気温の影響が非常に大きく、(3)式の重相関係数は0.826である。今回実測したデータの範囲では、日照時間の含水比減少量への影響は小さいが、前述した理由で日照時間を説明変数として導入している。参考までに、第8図に土壌水分と1日の単位気温当たりの土壌含水比の減少量の関係を示した。ただしこれは土壌含水比が約34%以下の場合である。大雨により土壌水分レベルが34%以上に増大した場合は、第9図に示した乾燥密



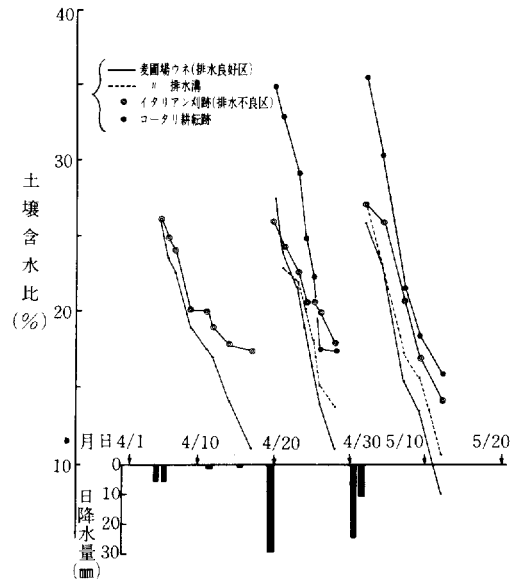
第7図 降雨による土壌水分の増加量



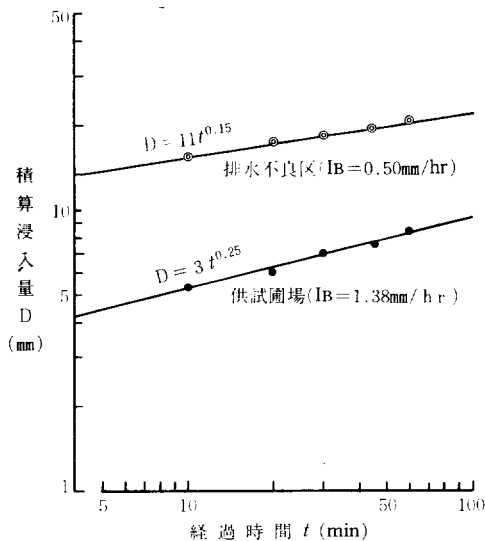
第8図 土壌含水比と単位気温当たりの土壌水分の乾減量



第9図 乾燥密度と圃場含水量



第11図 土壤水分の実測例



第10図 浸入曲線

度による圃場含水量の差や経験的事実を考慮した。すなわち、土壤含水比が圃場含水量時の含水比+10%以上に達したときの含水比の減少量は、(3)式と関係なく、圃場含水量時の含水比との差の半分とし、土壤含水比が34%より大きく、圃場含水量時より小さい場合には翌日の土壤含水比は圃場含水量時の含水比-1%になるものと仮定してモデルを組み立てた。

また、土壤水分の減少割合は、土壤排水の良否に大

きく影響されるが、供試圃場の降雨(給水)の積算浸入量は第10図のとおりとなり、ベーシックインタープレートIBは1.38mm/hrであった。一方、シミュレーションを実行する場合の対照区として、後述するように同じ土性の排水不良地域の測定値も同図に示したがIBは0.50mm/hrで供試圃場の約1/3程度の排水性である。

ここで、土壤の乾燥密度、排水の良否による土壤水分の変化の特徴を把握するため、降雨後の土壤含水比の実測値を第11図に示した。麦圃場およびイタリアン刈跡地はそれぞれ第10図に示した、供試圃場、排水不良区に対応する。排水良好区の麦圃場および排水不良区のイタリアン圃場とも降雨直後の土壤含水比はほとんど差はないが、排水不良区の1日当たりの土壤含水比の減少量は時間の経過とともに小さくなっている。一方、排水良好区に隣接した圃場におけるロータリ耕跡地は、耕耘によって土壤が膨軟化し、乾燥密度が小さいため降雨後の保水量は大きい、含水比の減少割合は排水良好区と同程度である。厳密に言えば、第11図は植生の異なる地点での4~5月の測定値であり、大豆の播種時期と若干異なるが、ロータリ耕区も含め、土壤含水比の遞減傾向は大差ないものと推察される。

3) 機械作業

シミュレーションする場合の機械作業部門の特徴は、要素相互の因果関係は比較的明らかであり、定量的に

捉えることができるが、パラメータの組合せの数が多くことである。本モデルでは播種機械として、第2表に主要諸元を示したロータリシードによる耕起同時播種に限定してその作業可否を検討する。個々の機械の作業可否については、供試機からの類推が十分可能であり、他の播種機械については割愛する。

(1) 機械の走行性

軟弱地帯における機械の走行可否判定については数多くの研究成果があり、そのための測定器も各種のものが製作されている。本モデルでは、農機研式土壤抵抗測定器(SR-2型)の小型矩形板(25×100mm)を用いて機械走行可否を判定した。

土壤の力学的特性は土壤水分によって大きく変化する。供試圃場の塑性限界は含水比25.0%、液性限界は32.5%である。麦(跡)圃場およびロータリ耕耘圃場における土壤含水比と30kgfの垂直荷重を加えた場合の小型矩形板沈下量との関係は第12図に示した通りである。含水比の増加とともに沈下量は指数的に増加する。ただし供試圃場は深さ20cm前後に耕盤があるため最大沈下量は10cm程度になっている。麦(跡)圃場およびロータリ耕耘跡の深さ5cmまでの平均乾燥密度はそれぞれ0.97、0.95 g/cm³でありあまり差異はないが、沈下量はかなり異なっている。これは麦圃場は根群の発達によって地耐力が増加していることと、深さが増すにつれて乾燥密度が増加していることに起因しているものと推察される。本モデルにおいては、乾燥密度と圃場容水量の関係から推測して、麦(跡)圃場の深さ10cmまでの平均乾燥密度1.2 g/cm³とした。

他方、軟弱地の機械走行可否を判定する有力な指標として車両指数が提唱され、その実用性も確認されている⁷⁾。転換畑圃場における降雨後の走行可否判定にも十分適用できるものと思われるので、本モデルでは同指標により播種機械の走行性を検討する。

ホイール型車両の車両指数は次式で示される。

$$VI = 117 - \frac{1}{\frac{W_f}{W_r} + 3} \left(250 - \frac{135W_r}{w^2 dm} \right) \dots(4)$$

VI: 車両指数

W_f: 駆動されない車輪(通常前輪)の分担荷重(kgf)

W_r: 駆動車輪(通常後輪)の分担荷重(kgf)

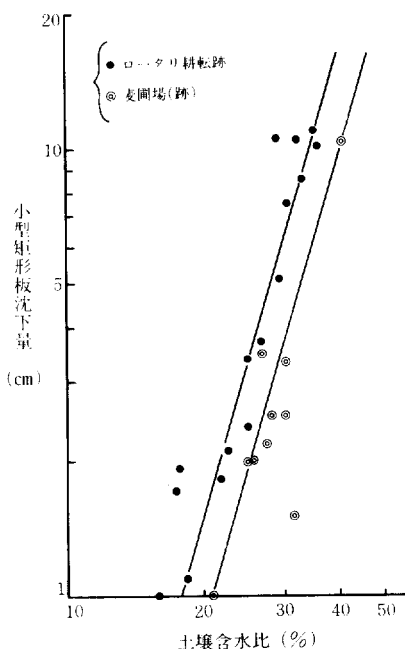
w: タイヤ幅(in)

d: リム径(in)

m: 駆動輪数

第2表 播種機械(ロータリシード)の主要諸元

トラクタ	全長(mm)	2565
	全高(mm)	1815
	全幅(mm)	1340
	全重(kgf)	1050
	最大出力(PS)	22(2500rpm)
ロータリ部	耕幅(mm)	1350
	爪本数(本)	32
	重量(kgf)	220
播種部	ユニット数(台)	2
	重量/ユニット(kgf)	15.5
	種子ホッパー容量(l)	3
	播種条間(mm)	750



第12図 土壤水分と小型矩形板沈下量

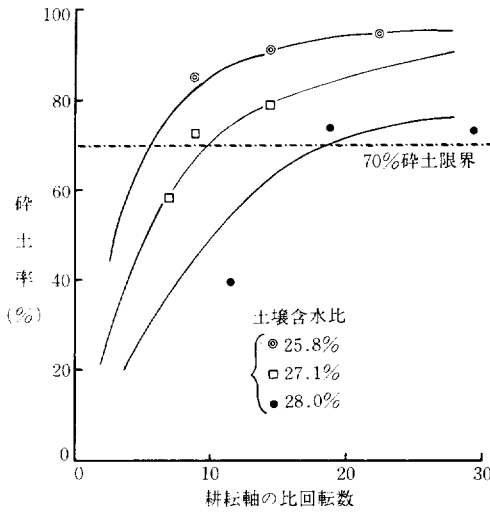
また、車両指数と走行部沈下量の関係は

$$s = \frac{VI}{45} \cdot z \dots\dots\dots(5)$$

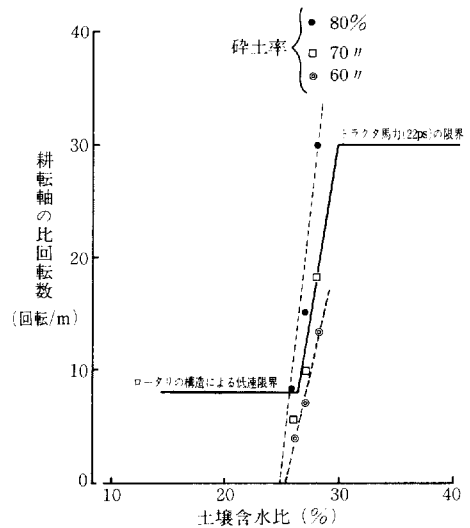
s: 走行部沈下量(cm)

z: 30kgfの垂直荷重を加えた場合の小型矩形板の沈下量(cm)

本モデルでは金須らの走行性判定基準⁷⁾に基づき、播種機走行部(トラクタ車輪)の沈下量の限界値を5cmに設定した。なお、(5)式の走行部の沈下量は、ラグ先端までの深さではなく、次式で表示される平均沈下量を指す。



第13図 ロータリ回転数と碎土性



第14図 碎土率別の耕耘軸の比回転数

$$s = s_1 - h + \frac{A}{p} \dots\dots\dots(6)$$

- s : 走行部沈下量(cm)
- s₁ : ラグ先端部沈下量(cm)
- h : ラグ高さ(cm)
- A : ラグ一個の断面積(cm²)
- p : ラグのピッチ(cm)

(2) 播種作業の可否判定

播種作業の可否を決定する要因としては、機械走行部沈下量の外に、降雨の有無による屋外作業の可否や播種機械への土壌の付着による作業限界などがある。日降水量が40mm以上の場合には作業不能として、それ以外は前述したように日照率によって屋外作業可否を判定する。また、機械への土壌の付着などによる播種作業の限界土壌含水比は、経験上から判断して29%とした。つまり、播種作業は、機械走行、屋外作業および作業限界土壌水分条件の三つが満たされて初めて可能となる。

(3) 碎土率

播種後の苗立ちや、除草剤の効果を高めるためには、播種時の碎土の状態を良好にすることが大切であり、麦跡の碎土率はロータリの耕耘軸の比回転数と土壌含水比ではほぼ決定される。第13図に供試ロータリシードによる碎土率（土塊径2cm以下の重量百分率）の測定値を示した。大豆播種の限界碎土率を70%とすると、耕耘軸の所要比回転数は第14図となり、22馬力のトラクタでは比回転数が8～30回転/mくらいが実用的な播種作業の範囲であろう。ロータリ耕耘軸の回転数を

292rpmで一定とすると、70%の碎土率を確保するため土壌含水比に対応して作業速度を0.16～0.61m/sの範囲で調節する必要がある。なお、ロータリ耕耘軸の比回転数とは、ロータリシードが1m前進する間の耕耘軸の回転数をいう。

(4) 1日当たりの作業量

1日当たりの作業量は、機械の装備量や実作業時間など種々の要因に制約される。本モデルでは播種機械を一台、1日の実作業時間を6時間に固定してシミュレーションしているの、作業機の台数や作業時間が異なる場合は比例計算で求める。また、作業能率を規制する大きな要因の一つに、圃場の面積や形状に起因する圃場作業効率があるが、本モデルでは既往のデータを参考にして、圃場作業効率を次式で求めた。

$$\eta = 0.85H + 40 \dots\dots\dots(7)$$

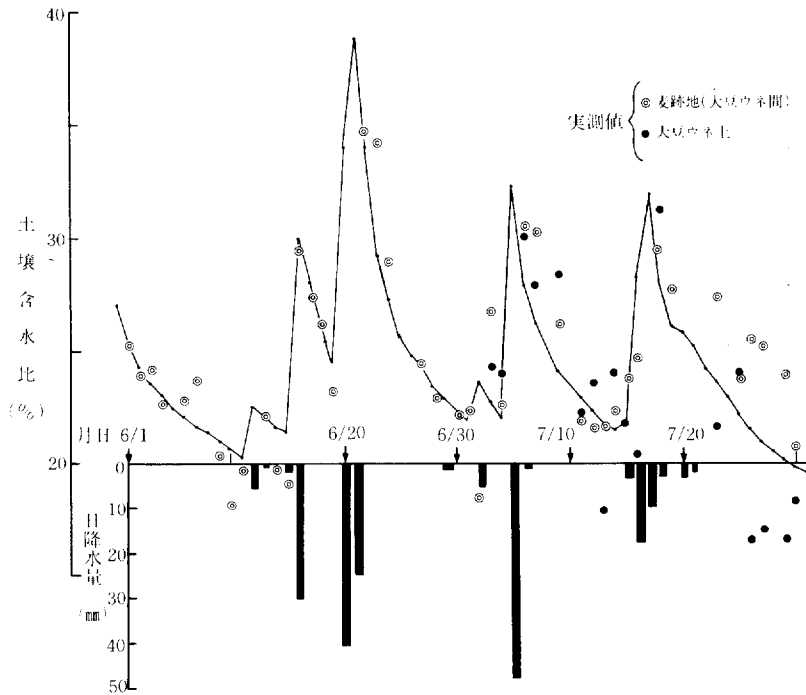
η : 圃場作業効率(%)

H : 1筆当たりの面積(a)

その他、播種条間によって作業幅が決まるが、本モデルでは中耕培土作業を考慮して条間を75cmと若干広めに設定した。

3 モデルの適合性の検証

シミュレーション手法と適用する場合の最大の問題は、実際の現象を説明し得る再現性のあるモデルが構築できるか否かである。モデルの妥当性を客観的に判断する方法は、現在見あたらず、シミュレーションの



第15図 シミュレーションモデルの適合性

目的によってモデルの構築者が適宜判定しているようである。

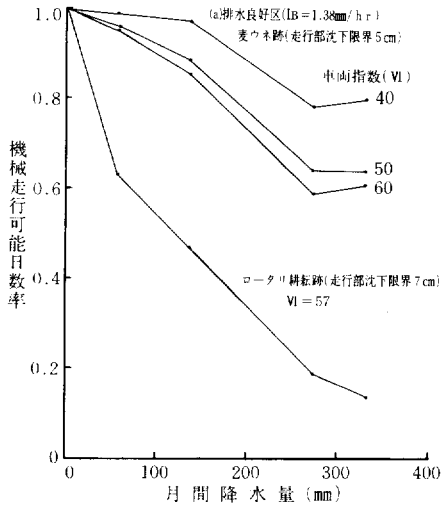
機械作業を前提とした場合、播種作業モデルの中で最も重要なのは土壌水分モデルである。実際の気象データを用いた土壌水分のシミュレーション値と実測値がどの程度一致するかによって、実用可能な播種作業モデルか否かを判定することができる。第15図に1983年6月、7月の土壌水分の実測値とシミュレーションの実行結果を示した。なお、土壌含水比は深さ5cmまでの平均値で、100ccの採土同筒を用いて測定した。6月の稈麦収穫跡地におけるシミュレーション値は比較的実測値とよく適合しているが、大豆を播種した6月23日以降は大豆の生長繁茂とともにバラツキが大きくなっている。とくに7月の高温の影響を受け、大豆ウネとウネ間との水分差が大きくなっている。このシミュレーション結果からモデルの適合性を少しでも客観的に判定するために、土壌含水比の実測値を真値と仮定して、シミュレーション値との標準誤差を求めると2.0%であった。ただし、大豆播種後はウネとウネ間の平均値を用いている。すなわち、68%の実測値がシミュレーション値の±2%以内に位置していることを意味

第3表 各種車両の車両指数と沈下係数の例⁷⁾

機 種	車両指数	沈下係数
歩行用トラクタ(籠車輪)	37.0	0.9
ホイール型トラクタ(ゴムタイヤ)	54.8	1.5
“(セミクローラ)	38.2	0.9
クローラ型トラクタ	43.8	0.9
コンバイン	43.3	0.9
湿地用ブルドーザ	26.0	0.6
水陸両用車	0.0	0.0

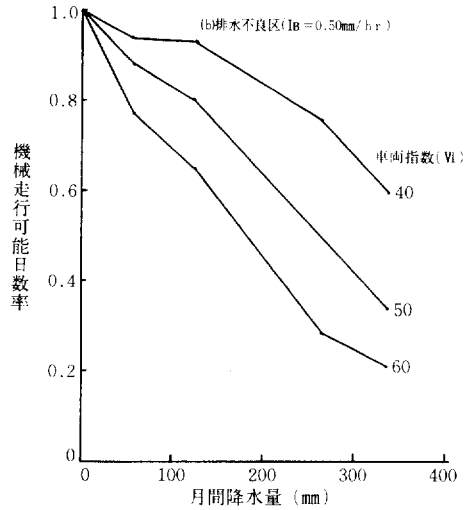
注) 沈下係数 = $\frac{\text{走行部沈下量}}{30\text{kgfの垂直荷重を加えた場合の小型坩研板沈下量}}$

している。実圃場の土壌含水比のバラツキを考慮に入れると、比較的適合性の高い土壌水分モデルと言える。農作業モデルを構築する場合、筆者の経験では、土壌含水比の実測値とシミュレーション値との標準誤差は、実用上3%ぐらいまで許容されよう。ただし、この判定法は一つの目安であり、厳密に言えば、誤差の正規性の検定などの問題も残されている。



第16図 月間降水量と月間機械走行可能日数

注) 機械走行可能日数率=月間機械走行可能日数/30日



第17図 月間降水量と月間機械走行可能日数

III シミュレーション結果と考察

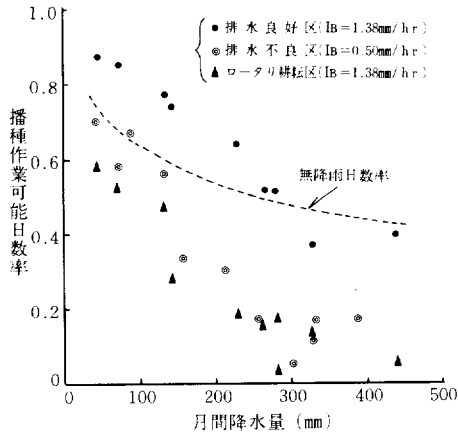
1 機械走行の可能日数

全ての走行機械は車両指数で表わすことができる。第3表に各種車両の車両指数と沈下係数の例を示した。車両指数が小さいほど、機械走行部の沈下量が少なく、軟弱地での走行に適していることを示している。第16図、第17図に麦跡地の排水良好区（ベークインテークレート、 $I_B=1.38\text{mm/hr}$ ）と排水不良区（ $I_B=0.50\text{mm/hr}$ ）における、車両指数の異なった場合の1か月当たりの機械走行可能日数率のシミュレーション例を示した。数値は走行部沈下量の限界を5cmとした5年間のシミュレーションの平均値である。排水良好区においては月間降水量が増大しても、機械走行可能日数率はさほど低下せず、月間降水量が300mmでも0.6以上の走行可能日数が期待できる。また、車両指数の差異による機械走行可能日数率の変動幅も小さい。しかし、ベークインテークレートが0.50mm/hrの排水不良区では、機械走行可能日数率は月間降水量の増大とともに大きく減少している。また、車両指数により機械走行可能日数率も著しく異なって表れる。これは、圃場排水の良し悪しが作業機械の走行可否に大きく関与し、排水が不良になるほど車両指数の影響が顕著で、クローラ型車両のような車両指数の小さな車両が梅雨期の作

業機械として適していることを示唆している。圃場の排水条件が劣悪で、降水量の多い地域では、車両指数の小さな作業機械の開発は、作業期間を拡大するうえでも有効である。ただし、これは作物条件を無視した場合であり、畑作物で湿害に弱い大豆の場合は別の面から制約されるので、基本的には排水対策を十分施すことが肝要であろう。一方、排水条件が良好でも、第16図に示したように、ロータリ耕などにより土壌が膨軟化した場合も機械走行可能日数率は大幅に低下する。ロータリによる耕耘の後雨に遭遇し、圃場に入れなくなることはよく経験する所であるが、第11図に示した実測値からも、機械走行可能日数率の大幅な低下は十分首肯できる。

2 播種作業の所要日数

前述した気象、土壌、機械作業の三つの基本部門から構成される播種作業モデルのシミュレーションを実行し、月間降水量別に1か月当たりの播種作業可能日数率および1haの作付面積を処理するのに要する播種作業日数を求めると第18図、第19図となる。同一の月間降水量でも乱数の発生の差異、すなわち雨の降り方の差異によって作業可能日数率や作業所要日数に差が出ている。第18図の排水良好区の作業可能日数率と無降雨率を比較すると、月間降水量が約250mm以下の場合、作業可能日数率の方が0.15前後大きい。250mm以上では逆に約0.05小さくなっている。これは第1表



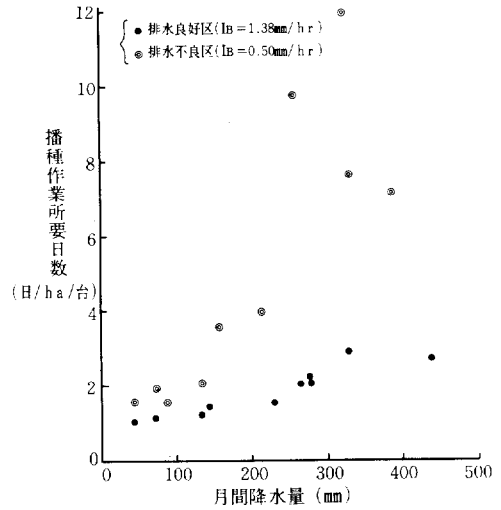
第18図 月間降水量とロータリシ
ーダによる月間播種作業
可能日数

注) 播種作業可能日数率=月間播種
作業可能日数/30日

に示したように、月間降水量が少ない場合は播種作業に影響の少ない小雨の確率が高いのに対し、月間降水量が多い場合は大雨の確率が高いことに起因している。このことは排水不良区で顕著に現れており、表面排水条件が同一であるとすると、土壤中の重力水の排除が緩慢な場合は、日降水量の多少が直接作業可能日数率に影響する。排水不良区では排水良好区に比べ約0.3も大幅に作業可能日数率が低下している。また、前述した機械走行可能日数率と比較すると、制約条件の多い分だけ0.1~0.2程度作業可能日数率の方が小さくなっている。

以上のシミュレーション結果は、寡雨地帯である月間降水量約150mmの高松地区の排水不良田と、多雨地帯である月間降水量約350mmの高知地区の排水良好田における月間の作業可能日数率がほぼ等しいことを意味している。四国地域は地下水位が低く、排水性の良好な灰色低地土の割合が66%で、全国平均よりも著しく高くなっているが¹¹⁾、土地基盤の改良・整備が著しく遅れていることと、転換畑はややもすると条件の悪い所が選定されることを考慮すると、排水対策の重要性を認識することができよう。排水不良田においては表面排水や営農排水を実施することは当然であるが、排水良好田においても田植期における地下水位の上昇や隣接田からの横浸透などに留意することが大切である。

第18図に示したロータリ耕耘区の播種作業可能日数



第19図 月間降水量とロータリシ
ーダによる1ha当り
の播種作業所要日数

注) 播種作業所要日数=播種作業期間
/播種済み面積。

率は、第11図に示した実測例から類推して、排水良好区の含水比に一率に5%加算し、播種作業可否条件を作業限界土壌水分のみでシミュレーションした例である。土壌含水比が小さくなると、このような単純なモデルでは実際の現象と適合しないが、今問題となっている土壌含水比が30%前後の高水分域における作業可否判定には十分活用できるものと思われる。乾田でも一旦耕耘すると排水不良区にも増して作業可能日数率が低下することは注目すべきことであり、作業手順や播種方式を検討する場合の参考となる。

第19図に示した1haを播種するのに要する日数は、排水不良区のバラッキが大きく、とくに月間降水量が多くなるとその傾向は強くなっている。具体的には、第19図によって概ね負担面積や機械の所要台数を求めることができる。例えば、稈麦や小麦跡にアキシロメやタマホマレなどの中間型の大豆を播種する場合に、収量性などを考えると作業適期間は6月中旬から7月上旬までの約1か月間と考えられているが、その期間に本研究で想定している10ha規模の集団転作地域の播種作業を完了させるためのロータリシダの所要台数についてはつぎのことが言える。月間降水量が500mm以下の場合、排水良好な乾田では1台のロータリシダで10haの播種作業が可能であるが、排水不良な転換畑では、月間降水量が約150mm増加することにより1台の割合で播

種機械の台数を増やすことが必要となる。これは換言すると、月間降水量が多く、しかも排水が良好でない場合は、機械装備量が過大となって経済的に採算が合わなくなることを示唆しており、別途、経済効果の点からの検討もされねばならない。本報告は、高松と高知の気象データおよび四国農試圃場におけるデータを用いたシミュレーション実施例であるが、四国各地域の現地に適用する場合は、土壌型や排水条件にあわせてパラメータを変更する必要がある。

3 シミュレーション手法適用上の問題点

農作業は作物の生育状況と無縁ではあり得ず、農業者は日々作物の生育状況を観察しながら作業を決定している。農作業のシミュレーションモデルを構築する場合、この作物条件との関わり合いを導入することは非常に難しい。今回報告した播種作業の場合は、この作物条件を考慮に入れていないので比較的容易にモデル化が可能であった。一方、確率モデルで表現される気象要素が、土壌や作物に作用したときのアウトプットとしての土壌水分や生産量などについての情報が、地域や品種間の差異が大きいことと相まって非常に乏しく、解析的研究はいうに及ばず、定量的かつ系統的に把握しかねているのが実状である。このような状況の中で、モデル構築上重要と思われる要因について多変量解析、とくに重回帰分析などの手伝を用いて分析した結果を直接意思決定関数としてモデルに組み込んでも、必ずしも現実の事象との適合性が向上するとは限らない。これはデータ数の不足や相関係数が要因間における変動の同時出現度であって、要因間の因果関係の度合を表わすものでないことに起因しているものと推察される。したがって、数多くの要因を説明変数として取り込んで多変量解析するよりも、モデルが適用される場合を念頭に置いて要因やデータを取捨選択する方がモデルの適合性が良い場合も多い。この辺は今後の研究に俟つ所が大きい。シミュレーションモデルを構築する場合にもかなり経験的知識が必要である。

長期間にわたって現象を説明し得る意思決定関数が得られない場合は、次善の策として、コンピュータが曲線を微小区間の直線に置き換えて近似的に計算しているように、ある区間を設定して適合性の高いパラメータを採用せざるを得ない。本報告の土壌水分モデルについても6月、7月以外の期間についての適合性はあまりよくない。本モデルでは作物条件を取り入れていないので当然であるが、年間の土壌水分を的確に再現

できるモデルを構築するためには基礎データがまだまだ不足している。また、相互の因果関係を明確にした解析的研究の不足から、外形的、表面的な現象をデータ化してモデルに組み込まざるを得ないが、これはモデル完成後のシミュレーション実行段階において、パラメータの取り得る範囲に限界があることを意味する。例えば、本報告の土壌水分モデルについても、厳密に言えば、比較的月間降水量の少ない地域でのデータを基に、意思決定関数を決めているのであり、多雨地帯にそのまま適用できない可能性も大きい。しかし、膨大な労力をかけて種々の状況下でのデータを収集することが事実上できない以上、一つの手掛りとして使用せざるを得ない。要するに、シミュレーション手法は、その限界を知ったうえで、当面の問題点を定量的に、迅速に概算するために活用するものであって、数値の信頼性はさほど高いものとは言えない。

また、シミュレーション手法は不確定要素を含む大規模で複雑な問題に有効性を発揮すると言われている。しかし、一足飛びに検証の困難な精度の低い大モデルを構築するよりは、現状では、モデルの範囲を限定縮小してその適用事例を積み重ねる方が、検証は容易であり、有効利用の近道であると思われる。同時に、農作業に関するシミュレーションモデルは、長い時間をかけて、多くの地域に適合できるようモデルやパラメータを修正、変更していく過程を経て、次第に有効性を発揮するであろう。

IV 結 言

農作業を取りまく環境条件は千差万別である。種々の条件下の機械作業可否状況を瞬時にシミュレーションするのが理想であるが、残念ながらそのような状況にはない。再三述べているように、各分野の既往のデータがシミュレーションに適するように整理統合されていないことと解析的研究が比較的少ないことに大きな原因がある。本報告は播種作業についてシミュレーション手法を適用した事例報告であるが、シミュレーション手法の手順およびその有効性や限界を広く理解していただくことを意図したものである。今後の他分野における同手法適用の参考になれば幸いである。なお、播種作業モデルのプログラムは、収穫作業モデルとの変数の整合性の問題もあるので次報の付表で登載する。

V 摘 要

西南暖地においては、大豆の播種時期が梅雨に重なり、播種作業上の障害となっている。とくに転換畑において大豆の集団化による規模拡大を想定した場合に、播種作業の可否条件を定量的に明らかにすることは重要である。麦収穫後の異なった気象や圃場排水条件下における大豆播種作業の可否程度を、シミュレーション手法を適用して検討した。

1) 圃場における播種機械の走行可能日数は、降水量の増大とともに低下するが、圃場の排水が不良なほどその低下割合が大きくなるとともに、車両指数(VI)による差異も増大する。月間降水量250mmにおけるホイール型トラクタ(22馬力, VI=57)の走行可能日数率は排水良好区(ベーシックインタークレート, IB=1.38mm/hr)において約0.65であるが、排水不良区(IB=0.50mm/hr)において約0.4となる。

2) 播種作業の可能日数は月間降水量の増大とともに低下する。22馬力トラクタに装着したロータリシードを想定した場合、排水良好区では月間降水量250mmにおける播種作業可能日数率は約0.5であるが、排水不良区では同降水量で0.2以下となり、その低下割合は著しい。

3) 1ha当たりの播種作業所要日数は、月間降水量とともに増大する。特に排水が不良なほど指数的に増加し、そのバラツキも大きい。播種作業の適期間30日、作付面積10haを想定すると、排水良好区では400mm程度の月間降水量でもロータリシード1台で播種作業が可能であるが、排水不良区では月間降水量が約150mm増加するごとに1台ずつ増加する必要がある。

引 用 文 献

- 1) 池田 弘・加藤明治・窪田哲夫(1974): 乾燥牛糞の生産と利用に関する研究 第2報 牛糞乾燥施設の運営のシミュレーション・モデルについて, 農作業研究, 75~84
- 2) 池田 弘・清水良彦・吉田 悟(1980): 技術組立研究へのシミュレーション手法の適用—肉用牛大規模繁殖経営の営農技術の評価と改善—, 農事試験報, 32, 1~92
- 3) 石田晴久・小林秀雄訳(J. W. フォレスター著)(1971): インダストリアル・ダイナミックス, 紀伊

国屋書店

- 4) 石東宣明(1980): 農業生産シミュレーションのための気象モデル, 農機学会誌, 42(1), 141~148
- 5) 金子一也・後閑宗夫・石井四郎・折茂佐重樹(1977): 稲麦二毛作における機械化技術の体系化とシミュレーション手法による評価, 農作業研究, 30, 52~60
- 6) 金子一也・遠藤靖夫・中島東吾・石井四郎・折茂佐重樹(1982): 稲麦作生産技術体系の評価と改善へのシミュレーション手法の適用, 群馬県農試報, 22, 1~14
- 7) 金須正幸・国府田佳弘・八木 茂・瀬山健次(1966): 乗用トラクタの走行・牽引および耕耘性能に関する研究, 農業機械化研究所報告, 2~36
- 8) 日本電気(1978): システムダイナミックス言語説明書, 1~102
- 9) 農業土木学会編(1979): 農業土木ハンドブック, 丸善, 197
- 10) 農業経営計量分析研究会編(1981): 農業生産のモデル化とシミュレーション, 農林統計協会, 191~226
- 11) 四国農業試験場編(1982): 四国農業の動向と技術的問題点, 28~46

Assessment of Farm Work Operations in Soybean-Barley
Cultivation System with Computer Simulation
I Assessment of Soybean Seeding Operations

Nobuhiro ITOKAWA, Ken KAWASAKI and RinitSU MORITA

(Received; August 27, 1984)

Summary

Seeding period of soybean and the rainy season overlap in southern part of Japan. It causes many difficulties for working performances of agricultural machineies. Especially, to enlarge the scales of soybean productions through the groupings of farmers, it is important to make clear the limitations of workability of seeding machinery quantitatively in the upland fields converted from paddy fields. Operating limitations of a soybean seeding machine under various weather and soil conditions were investigated by applying computer simulation method.

1) Trafficability of the vehicles in the fields reduces with the amount of monthly rainfall and it reduces much more in the poor drained fields, in which the trafficability reduces rapidly with the vehicle index (VI). In the case of 250mm monthly rainfall, trafficable days ratios (the ratio of days capable of travelling on the field during a month to 30days) of a 22ps Wheeled tractor (VI=57) were about 0.65 in the well-drained field (basic intake rate, $I_B=1.38\text{mm/hr}$) and those were about 0.4 in the imperfectly drained field ($I_B=0.50\text{mm/hr}$).

2) Probable seeding days ratios (the ratio of days capable of seeding during a month to 30days) decrease with the amount of monthly rainfall. In the case when a rotary seeder, which consists of two seeding units toolbar-mounted to rotary tiller, was used for soybean seeding, probable seeding days ratios were about 0.5 in the well-drained field at a monthly rainfall of 250mm, however, the ratios in the imperfectly drained field were about 0.2 at the same monthly rainfall which values were markedly small compared with those in the well-drained field.

3) Required average seeding days per hectare, which could be defined as 30days divided by seeded area during a month, by using a rotary seeder became greater with the amount of monthly rainfall. It should be noted that required average seeding days increased exponentially and tended to scatter as monthly rainfall increased in the imperfectly drained field. Regarding the suitable period for soybean seeding to be 30days, it is possible to seed 10 hectares by a rotary seeder in the well-drained field within monthly rainfall of 400mm, on the other hand, in the imperfectly drained field it needs one more seeding machine at an increase of every 150mm monthly rainfall.