

表層土壌の物理性が種子の出芽に及ぼす影響

山田宣良

EFFECT OF PHYSICAL PROPERTIES
OF SURFACE SOIL
ON SEEDLING EMERGENCE

Noriyoshi YAMADA

Effect of some physical properties of soil on seedling emergence of some kinds of crops were investigated both under laboratory and field conditions.

In laboratory test, under the constant condition of temperature and moisture of soil, germination and emergence of soybean, rice and wheat were experimented using four kinds of soils differing in their compacted stress, respectively.

In a field of sandy soil, emergence tests of naked barley, soybean and sweet corn were carried out each two times from 1982 to 1987.

As a result of these emergence tests, though there are a little differences among the kinds of crops, it is proved that the gas phase of soil influences most significantly on seedling emergence, and especially in field, three phases including gas phase influence on it.

Furthermore, as an experimental result on relation between three phases and air permeability of soil, air permeability under 10^{-4} cm/s proves to prevent seedling emergence remarkably.

Therefore, under profitable conditions of temperature and moisture, keeping air permeability of soil over 10^{-4} cm/s seems necessary for satisfactory seedling emergence.

土壌の物理性が種子の出芽に及ぼす影響を、室内試験及び圃場試験によって検討した。室内試験では、温度と水分とを一定にした条件下で、4種類の土壌について締固め応力を変えて、大豆、水稲、小麦の出芽試験を行った。又、圃場試験では、1982~87年にハダカ麦、大豆、トウモロコシの出芽試験を、それぞれ2回ずつ行った。

その結果、作物別に程度の差はあるものの、一般に土壌の物理性の中では、気相率が種子の出芽に対して最も大きな影響を及ぼし、特に圃場では三相分布全体が関連していることが判明した。

そして三相分布と通気性との関係を求める実験により通気性が 10^{-4} (cm/s) のオーダーになると、発芽・出芽率の低下が顕著となることを見出され、温度や水分が出芽に好適な条件下では、通気性を良好に保つことが、播種後の土壌管理として重要であるものと考えられる。

結 言

土壌表面におけるクラストの形成が、作物の栽培上いくつかの弊害をもたらすことはよく知られているが、最も問題となるのは、播種直後の降雨によって形成されたクラストが、種子の出芽を妨げる点であろう。土壌の水分、硬度、通気性などの諸物理性が、種子の出芽に及ぼす影響について

は、これまでにいくつかの研究が行われているが、単一作物や単一物理性をとりあげたものが多い。

たとえば、Hanksら^(1,2)は小麦を主体にして、土壌水分やクラスト強度などが異なる条件下での出芽試験を行い、いくつかの知見を得ているが、水分の影響のみが強調されすぎているきらいがある。

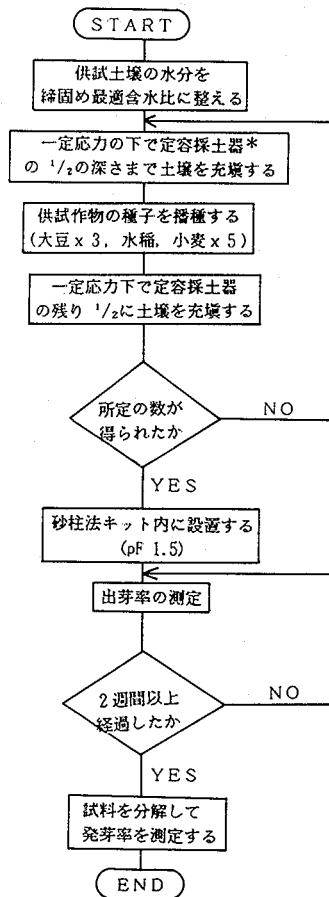
井之上らは、幼芽の抽出力の測定を目的としてストレインメータを試作し⁽³⁾、それを主としてイネ科作物の出芽試験に適用した一連の研究を報告しているが、その値と土壌の物理性との関連には不明な点が多い。

本論文では、これらの研究成果をふまえ、実際的な見地から土壌の物理性と種子の出芽との関係を検討しようと試みた。

出芽・発芽率の土性別検討

1. 実験の基本的条件

種子の出芽に対する土壌の物理性は、温度>>水分>構造（団粒径）の順に影響を及ぼすことが知られており⁽⁴⁾、温度と水分の条件を一定にしてはじめてそれ以外の因子の影響が検討可能となる



*応力は $10^4 \sim 5 \times 10^6 \text{ Pa}$

体積は大豆：100ml

水稲, 小麦：50ml

図-1 出芽試験の手順

ものと考えられる。

そこで、ここでは室内において、4種の土壌に対して3種の作物の種子を播種し、土壌の密度のみをパラメータとした出芽試験を行った。その順序は図-1に示すとおりである。すなわち、温度は供試全試料を約0.1m³の狭い範囲内の、一定深さに播種することにより均一条件とみなし、水分は、締固め最適含水比で充填した試料に対し、pF1.5に設定した砂柱法キット内に設置して、均一条件と見なした。

出芽率は、播種後2週間観測し、2週間後に試料を分解して、未出芽の個体を含んだ発芽率を調査した。又、対応する土壌の物理性としては、密度の測定から算出した三相分布と、土壌硬度計によって実測した貫入抵抗とを考察の対象とした。その結果は表-1～3に示すとおりである。

2. 各作物の出芽・発芽率について

表-1は、大豆（金成1号）を各々の物理的条件に対して12個ずつ、合計96個の種子を供試して行った実験結果である。

この表から分かるように、締固め応力が小さい（粗充填）場合には、大豆の発芽率、出芽率共に100%となっており、供試土壌や種子そのものには、問題はなかったものとみなせる。

物理性との関連では気相率と最も良好な対応を示し、最適含水比の場合には、気相率が高いほど発芽・出芽率が高くなっていることが分かる。

その他の因子としては、個々の土壌でみると固相率、貫入抵抗などが発芽・出芽と関連をもっているが、土性にかかわらず定量的に区分できるような、一般的傾向は認められない。

表-2は、水稻（セトホマレ）を各々の物理的条件に対して20粒ずつ、合計160粒を供試して行った実験の結果である。

ここでも、気相率と発芽・出芽率との間に正の相関がみられるが、発芽率については、大豆の場合ほど高い有意性ではなく、固相率または乾燥密度と同程度の影響にとどまっている。

全般的傾向としては、由良山土を除いて出芽率=発芽率となっているが、由良山土では両者に極端な差があり、水稻の場合には気相率が一定値（約15%）以下になると、主として出芽率が低下する結果となっている。

表-3は、小麦（セトコムギ）を各々の物理的条件に対して20粒ずつ、合計160粒を供試して行っ

表-1 出芽試験結果（大豆）

締固め応力	由良山土		五色台土		郷土		農学部土	
	大	小	大	小	大	小	大	小
含水比 (%)	24.0	24.0	39.5	39.5	12.5	12.5	17.0	17.0
乾燥密度 (t/m ³)	1.51	1.12	1.15	0.91	1.70	1.38	1.60	1.29
固相率 (%)	57.1	42.3	41.8	33.0	63.9	51.8	61.1	49.4
液相率 (%)	36.2	26.9	44.8	35.9	21.2	17.3	27.1	21.9
気相率 (%)	6.7	30.8	13.4	31.1	14.9	30.9	11.8	28.7
貫入抵抗 (10 ⁵ Pa)	5.3	1.4	10.2	7.0	40.0	7.7	8.0	1.2
発芽率 (%)	83	100	92	100	100	100	58	100
出芽率 (%)	42	100	33	100	83	100	50	100

表-2 出芽試験結果 (水稻)

締固め応力	由良山土		五色台土		郷土		農学部土	
	大	小	大	小	大	小	大	小
含水比 (%)	24.0	24.0	39.5	39.5	12.5	12.5	17.0	17.0
乾燥密度 (t/m ³)	1.54	1.37	1.08	0.85	1.53	1.28	1.43	1.23
固相率 (%)	58.3	51.9	39.2	30.9	57.6	48.2	54.9	47.3
液相率 (%)	37.0	33.0	42.6	33.6	19.2	16.0	24.4	21.0
気相率 (%)	4.7	15.1	18.2	35.5	23.2	35.8	20.7	31.7
貫入抵抗 (10 ⁵ Pa)	5.6	4.0	9.6	6.6	12.0	7.6	6.8	1.3
発芽率 (%)	75	100	80	95	80	100	85	100
出芽率 (%)	0	60	80	95	80	100	85	100

表-3 出芽試験結果 (小麦)

締固め応力	由良山土		五色台土		郷土		農学部土	
	大	小	大	小	大	小	大	小
含水比 (%)	24.0	24.0	39.5	39.5	12.5	12.5	17.0	17.0
乾燥密度 (t/m ³)	1.55	1.38	1.03	0.92	1.61	1.23	1.45	1.24
固相率 (%)	58.7	52.3	37.6	33.5	60.5	46.2	55.5	47.5
液相率 (%)	37.2	33.2	40.8	36.4	20.2	15.4	24.6	21.0
気相率 (%)	4.1	14.5	21.6	30.1	19.3	38.4	19.9	31.5
貫入抵抗 (10 ⁵ Pa)	7.6	4.0	13.5	9.6	17.0	5.5	5.2	1.5
発芽率 (%)	0	30	85	100	80	95	90	100
出芽率 (%)	0	15	25	55	0	95	90	100

た実験の結果である。

土壌の物理性が発芽・出芽率に及ぼす影響は、大豆や水稻の場合と比較的類似した傾向を示しているが、農学部土を除く他の土壌では、発芽率と出芽率との間に極端な差がみられる場合が多く、その意味で小麦は、出芽の際に土壌の物理性の影響を受けやすい作物であるといえるであろう。

3. 発芽・出芽率と気相率との関係

以上の結果を総合的に判定するために、これらの作物の発芽・出芽率を、締固め最適含水比のときの気相率との関係で示すと、図-2のようになる。

図-2からわかるように、大豆と水稻とは出芽率、発芽率ともに類似した傾向を示し、気相率30%ではほぼ100%の出芽、発芽が期待できる。また、気相率10%の増加によって出芽率は24~28%、発芽率は6~9%、それぞれ増加している。

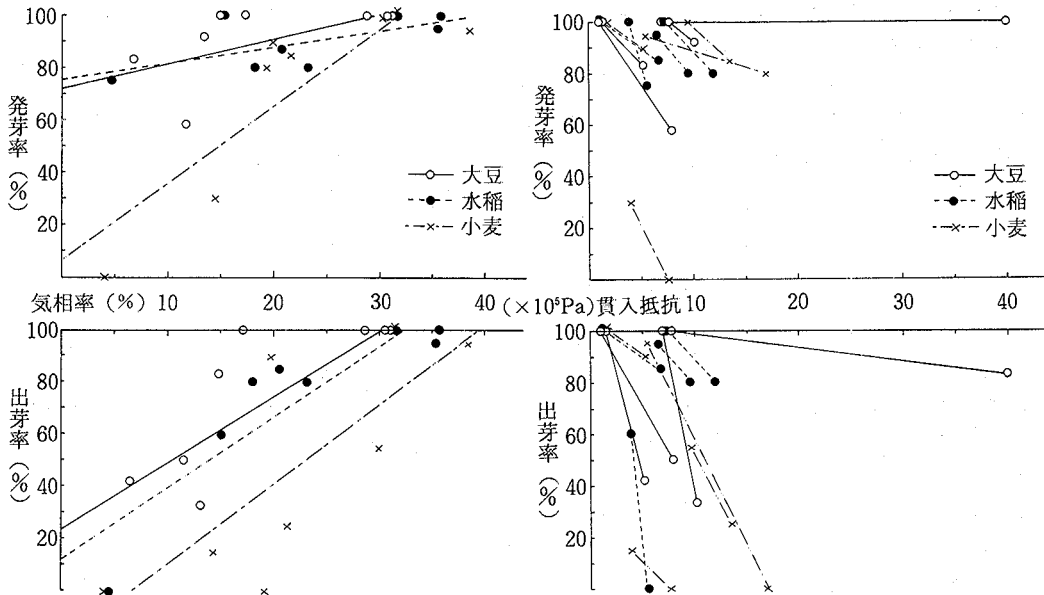


図-2 土壌の気相率と種子の発芽・出芽率との関係

図-3 土壌の貫入抵抗と種子の発芽・出芽率との関係

それに対して小麦の場合は、気相率20%では出芽率約40%、発芽率約65%と著しく低い。ただし、気相率10%の増加に伴い出芽率、発芽率ともに30%以上増加しておりその影響は大きい。

渡辺ら⁽⁵⁾は、20種の作物の種子の水中発芽能力と、土壌の緊密性との関連を検討し、両者の関連性が高いこと、水稻は最も水中発芽能力が高く、小麦はそれが最も低い作物であることを示している。水中発芽能力を一定の気相率におきかえてみると、今回の実験結果もそれを支持しているものと考えられる。

又、大豆の場合、水稻と同程度の発芽・出芽率が得られた原因として、室内実験の特殊条件があげられる。すなわち、大豆の種子は、発芽前に吸水によって著しく膨張し、100ml定容採土器内の土壌の体積増加が無視できない量となった。

従って、大豆の発芽時における実際の気相率は、計算値をかなり上回り、発芽に対してより好条件となっていた可能性が高い。

現在、畑作物の根群域が具備すべき物理的条件として、固相率<50%、保水量(液相率)>8%などとともに、空気率(気相率)>15%が提唱されているが⁽⁶⁾、今回の実験のように比較的土壌水分が多い条件では、気相率15%は小麦の種子の出芽にはやや小さすぎる値のように思われる。

4. 発芽・出芽率と気相率以外の物理性との関係

土壌の温度や水分が一定の条件の下で、気相率以外に種子の発芽・出芽に影響を及ぼす因子については、これまでに多くの研究がなされており、密度(1.8g/cm³)⁽⁷⁾や土壌強度(18bar)⁽⁸⁾などが、制限因子として定量的に提言されている。

このうち、土壌密度は前述の気相率との関連性が高く、又土壌強度(貫入抵抗)によってある程度代用できるものと考え、ここでは貫入抵抗を取り上げて、発芽・出芽率との関係を図-3に示した。

図-3からわかるように、個々の土壌についてみると貫入抵抗と発芽・出芽率とは密接な関係を持ち、ほとんどすべての場合、貫入抵抗が減少すれば発芽・出芽率は増大している。

しかしながら、貫入抵抗が40kgf/cm²でも発芽率100%出芽率85%(郷土、大豆の例)となる場合が

あるにもかかわらず、貫入抵抗 5.6kgf/cm^2 でも出芽率0% (由良山土、水稻の例) の場合や、貫入抵抗 7.6kgf/cm^2 でも発芽率0% (由良山土、小麦の例) の場合もみられる。

従って、今回の実験のように、温度や水分が適正な条件下では、土壌の貫入抵抗が発芽・出芽の制限因子となるような「しきい値」は明白ではなくなるものと考えられる。

同様な傾向は、固相率及び乾燥密度と発芽・出芽率との関係にも見出すことができ、これらの因子は、土壌水分や気相率を通じて、間接的に発芽・出芽率に影響を及ぼしているものと考えられる。

畑地における出芽率の検討

前章で検討を行った、土壌の物理性と種子の発芽・出芽率との関係は、100mlの円筒内で、一定の温度、水分の条件下において行ったものであり、現地への適用性が問題となる。そこで、香川大学農学部構内実験圃場(砂質灰色低地土の畑地)において、1982~87年度に行った出芽試験(文献⁹⁾よりデータの一部を引用)との対比を試みた。そのうち、気相率と出芽率との関係は図-4に示すとおりである。

図-4における供試作物はハダカ麦(1982, 83年度)大豆(1983, 84, 86年度)及びトウモロコシ(1985, 1987年度)であるが、作物別の出芽傾向に有意な差がみられなかったので、同一図上に示している。

図-4からわかるように、気相率と出芽率の間には正の相関があり、一次回帰の結果からみると、気相率10%の増加により出芽率5%の増加が期待できる。しかしながら図-4から判断すると、気相率30%以上と以下とで傾向が異なるように思える。

すなわち、図中の破線で示したように、気相率が30%以下の場合には、回帰直線の勾配はより大

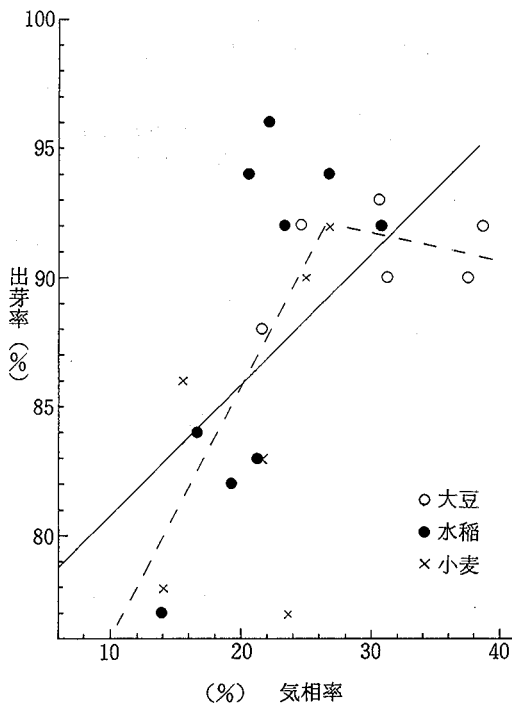


図-4 気相率と出芽率との関係

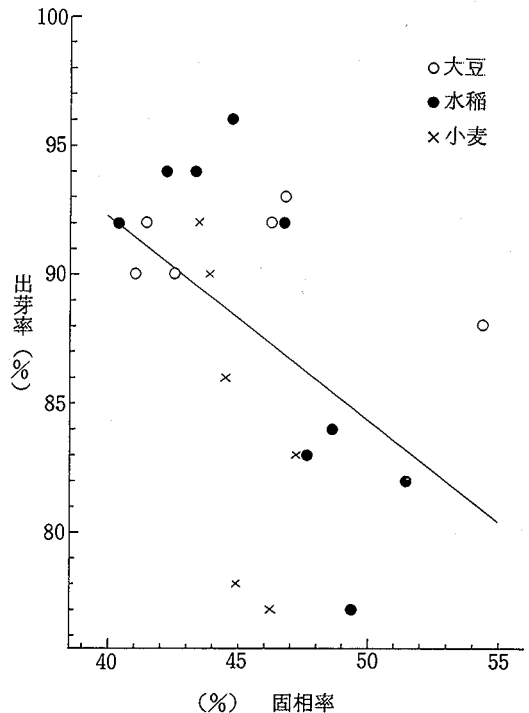


図-5 固相率と出芽率との関係

きくなり、気相率が出芽率に及ぼす影響大となるが、30%以上の場合には気相率が増加しても出芽率は増加していない。

この結果は、室内実験の場合と異なり、土壌水分が制御されていないことによるものと考えられる。すなわち、気相率30%以上の場合には、液相率（土壌水分）が相対的に小さく、それが出芽に影響を及ぼした可能性が高い。

そこで、気相率と液相率の双方が出芽率に及ぼす影響をみるために、固相率（100-気相率-液相率）と出芽率との関係を図-5に示した。

図-5からわかるように、データにややバラツキはあるものの、固相率と出芽率の間には有意な負の相関がみられ、固相率10%の減少に対して出芽率8%程度の増加が期待できる。すなわち、土壌水分の制御が十分に行えない畑地における出芽率は、気相率のみならず液相率によっても影響を受け、固相率や乾燥密度とは負の相関をもつことが想定できる。

また、液相率（土壌水分）との間に有意な相関が得られなかったのは、一般に播種の際には温度や水分が適正な時期を、人為的に選定しているためではないかと考えられる。

総 合 考 案

今回の実験の結果、表層土壌の物理性が種子の出芽に及ぼす影響は、温度や水分を一定にした条件（室内試験）では気相率が重視され、畑地における試験では気相率を含む三相全体が注目される。そこで、三相分布と土壌の透過性との関係から、より詳細な検討を試みた。

室内実験に供試した土壌の三相（固相率：S、液相率：W、気相率：A）と通気係数、（不飽和）

表-4 通気性・透水性と三相分布との関係

	S (%)	W (%)	A (%)	乾燥密度 (t/m ³)	通気係数 (cm/s)	透水係数 (cm/s)
由良山土	48.9	31.0	20.1	1.29	1.8×10^{-2}	4.3×10^{-5}
	54.2	34.3	11.5	1.43	5.4×10^{-4}	—
	47.3	30.0	22.7	1.25	1.2×10^{-2}	1.1×10^{-5}
	50.4	31.9	17.7	1.33	1.5×10^{-4}	1.3×10^{-5}
五色台土	34.5	37.5	28.0	0.95	1.3×10^{-2}	4.2×10^{-5}
	32.7	35.6	31.7	0.90	3.5×10^{-2}	2.1×10^{-5}
	25.5	27.7	46.8	0.70	2.2×10^{-1}	5.1×10^{-5}
	37.1	40.3	22.6	1.02	2.8×10^{-3}	5.8×10^{-5}
郷土	43.2	14.4	42.4	1.15	8.0×10^{-2}	—
	53.4	17.8	28.8	1.42	1.3×10^{-2}	4.5×10^{-5}
	47.7	15.9	36.4	1.27	3.2×10^{-2}	1.4×10^{-5}
	50.8	16.9	32.3	1.35	2.2×10^{-2}	—
農学部土	45.2	20.1	34.7	1.18	3.7×10^{-3}	2.2×10^{-5}
	51.3	22.8	25.9	1.34	1.3×10^{-3}	—
	46.4	20.6	33.0	1.21	4.8×10^{-3}	—
	41.4	18.4	40.2	1.08	1.5×10^{-2}	3.4×10^{-5}

透水係数との関係は表-4に示すとおりである。

表-4において、通気係数は大起理化製の土壌通気性測定器DIK-5001型により測定し、又透水係数(不飽和 \equiv pF1.5)は、吸引法によるpF-水分特性測定時の排水速度から算定した。ただし、排水時に定常状態が得られなかった試料の値は除外している。

この表からわかるように、三相分布、特に気相率(A)と通気係数との間には、一定の相関がみられ、気相率が等差級数的に増加すると、通気係数は等比級数的に増加している。それに対して、透水係数との間にはそれほど明確な差がみられない。その原因としては、いずれの土壌についても、透水係数が不飽和状態(pF1.5)の測定であったこと、測定値を吸引法の排水速度から換算したこと、などが考えられる。

表-4の試料は、出芽試験に供試したものではないので、直接定量化するには問題もあるが、図-2, 4, 5などと対比してみると、通気係数が 10^{-4} のオーダーになると発芽・出芽率の低下が著しくなる。すなわち、これらの結果からは、土壌の気相率が通気性を通じて、発芽率や出芽率に影響を及ぼしているものとみなすことができよう。

筆者はこれまでに、団粒率の増加によって種子の出芽率が安定すること⁽⁹⁾、固相率が減少して土壌構造が良好となること⁽¹⁰⁾などを明らかにしており、従って、表層土壌の団粒を形成し、維持していくことが、発芽・出芽率の安定に重要となる。

団粒を形成、維持する手段としては、粘土の客土と有機物やCa分の施用などの方法⁽⁹⁾や、ポリマーの施用による表層土壌の安定化⁽¹¹⁾が有効であることが示されており、又、クラストを除去する方法としては、簡易耕による表層土層の耕耘⁽¹²⁾が有効であるものと考えられる。従って、これらの圃場管理によって、より高い数値で安定した種子の出芽が得られることが期待できよう。

引用文献

- (1) HANKS, R. J. and F. C. THORP : Seedling emergence of wheat as related to soil moisture content bulk density, oxygen diffusion rate and crust strength, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **20**(3), 307-310 (1956).
- (2) HANKS, R. J. and R. C. THORP : Seedling emergence of wheat, grain sorgham and soybeans as influenced by soil crust strength and moisture content, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **21**(4), 357-359 (1957).
- (3) 井之上準ほか : ストレインメーターによる幼芽抽出力の測定, 日作紀, **35**, 161-167 (1966).
- (4) たとえばSCHNEIDER, F. C. and S. C. GUPTA : Corn emergence as influenced by soil temperature, matric potential and aggregate size distribution, *Soil Sci. Soc. Amer. Jour.*, **49**(2), 415-422 (1985).
- (5) 渡辺和之, 児玉敏夫 : 土壌の物理性と作物の生育および収量との関係 第I報, 日作紀, **33**, 409-413 (1965).
- (6) 小川和夫, 古畑哲 : 畑地における物理性と植生, 土壌の物理性と植物生育, PP 161-173, 東京, 養賢堂 (1979).
- (7) BARADE, S. B. and B. P. GHILDYAL : Effect of bulk density and seed placement on upland rice seedling emergence, *Agron. J.*, **60**(2), 240-241 (1968).
- (8) PARKER, Jr. J. J. and H. M. TAYLOR : Soil strength and seedling emergence relations I Soil type moisture tension, temperature and planting depth effects, *Agron. J.*, **57**(3), 289-291 (1965).
- (9) 山田宣良 : 作付体系下における団粒と作物栽培との相互作用, 農土論集, **140**, 1-6 (1989).
- (10) 山田宣良 : 団粒と土壌の理工学性との関係, 農土論集, **130**, 69-74 (1987).
- (11) HELALIA, A. M. and J. LETEY : Effect of different polymers on seedling emergence, aggregate stability and crust hardness, *Soil Sci.*, **148**(3), 199-203 (1989).
- (12) たとえば小川和夫, 渡辺治郎 : 簡易耕栽培の意義と問題点, 土壌の物理性, **55**, 13-24 (1987).

(1991年10月31日受理)