

シンポジウム

## 圃場の作業性と排水性 —圃場の作業性評価の問題点—

井上久義\*

Problems about evaluation of  
field operation.

Hisayoshi Inoue

Kyushu National Agricultural Experiment Station

### Summary

Field operation is related closely with field drainage and soil physical conditions. Criteria for the field operation have been described on basis of soil physical characteristics of fields.

However, field condition is extremely heterogeneous and data obtained from the field shows great variability.

In this paper, problems were pointed out for processing the soil physical data obtained from fields in order to estimate field conditions. And also, especially with relation to the field drainage, it was examined on basis of a simulation, dimension of samples required to get a representative value of hydraulic conductivity of a field with shrinkage cracks.

As a result, it is made clear that a sample which has a diameter two or three times larger than intervals of the cracks would offer the representative value of the hydraulic conductivity of the field.

**Keywords:** field operation, drainage, heterogeneity, hydraulic conductivity, sample size

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69,75-82, 1994)

### 1. はじめに

圃場においては、いかに多くの作物を生産するかを最大の目標として、土壌状態、水分状態、養分状態等を作物の生育にとって最適なものにするため各種の働きかけがなされている。また、圃場では作物を生産するために耕耘、播種、栽培管理、収穫などの数多くの作業が行われており、これを効率的に行うための条件を整備することも生産の場として重要な要素となっている。

圃場作業において、耕耘、砕土等という作業は、作物生育の培地としての土壌の物理的性質を改善するために重要な作業である。これには非常に多くの労力が必要とされるため、かつてよりこれを軽減するための土壌条件（易耕性）を整備することが強く求められてきた。近年においては、トラクタ等の導入によって圃場作業の機械化が大きく進展し、これらの作業の軽減が大幅に進めら

\*九州農業試験場

キーワード：透水係数、試料の大きさ、排水、走行性、易耕性、

れてきた。しかしながら、この時、こうした作業機械が圃場内を走行するための環境整備（走行性）も圃場条件整備において不可欠な要素となっている。

このような中で、これまで圃場作業または圃場における機械走行に関わる数多くの研究がなされてきた。これらの成果に基づき、圃場作業の条件整備、評価のための基準策定はいまのところ概ね完成されているものと考えられる。しかしながら、こうした基準においては基本的なデータの取扱いの面からいくつかの解決すべき問題点が内包されている。これらの解決に向けた検討を行うことは、単に圃場の作業性のみならずそれに関わる多くの分野の研究発展にとっても非常に重要なことと考えられる。

本報告では、こうした視点から、圃場作業に関わるこれまでの研究成果をレビューし、特に排水性の観点から、

データの取扱い上の問題点を整理して報告する。

2. 研究のレビュー

(1) 圃場の作業性

圃場の作業性については大きく二つの面からこれまで検討されてきた。一つは易耕性であり一つは機械の走行性である。

耕耘などの作業は、機械が今日ほど発達していない頃、畜力・人力を主体として行われた。この場合、作業性に関わる研究は、この作業をいかに軽くし得るか、能率良く行い得るのかということを中心に進められた。つまり易耕性に関する検討が主流であった。これは、機械化が進んだ今日でも、機械作業の能率を上げ、エネルギーロスを減らす上で重要な研究課題である。

易耕性は土壌の構造や水分状態との関係が深く、この面からの多くの研究が行われた。Atterberg<sup>1)</sup>は、土が示す塑性や粘着性等の性質は、含水量により現れ方が異なり、それは土壌の付着力、凝集力によっているというコンシステンシの考え方を示した。Haines<sup>4)</sup>は粒子間の水膜に生じる表面張力を基礎として凝集力の理論的な考察を行った。そして、これらの考え方に基づいて、Nichols<sup>11, 12)</sup>は犁耕の際の抵抗力となる剪断力、付着力、摩擦力などの発生とコンシステンシとの関係を明らかに

した。一方、機械作業を考えるにあたっては被牽引機械の牽引抵抗を評価する必要がある。このことについて、Bekker<sup>2)</sup>は機械の沈下量と牽引抵抗の関係を、土壌の粘着性と摩擦性に基づく変形係数いわゆる土質係数を導入することによって表現した。

作業の機械化が進展すると、トラクタなどの自走車両の圃場内での沈下や滑りを考慮した走行性が問題となる。このことについてBekker<sup>3)</sup>は上記の沈下量を表わす式に土壌の剪断～歪みの関係を加えることによって表現した。また、ブラウの牽引抵抗と土壌へのコーンの貫入抵抗の間には密接な関係があることをStone & Williams<sup>15)</sup>が明らかにし、McKibben & Hull<sup>8)</sup>は車輪の転がり抵抗と貫入抵抗の関係を一次式で表した。これらに基づき、米国のWES (Waterways Experiment Station) は自走車両の走行性をコーン貫入計による貫入抵抗 (Cone Index) で表わすことを提唱した。

圃場の作業性に関わる基本的な研究の流れを示すと以上のようなになる (図-1)。圃場の作業性は、貫入抵抗等の土の動的性質が大きな影響を与えているが、この動的性質は土と水の関係、土壌構造・孔隙特性が深く関わっている。つまり、圃場の作業性は土壌の物理性と密接な関係にあるといえる。

(2) 圃場の排水と作業性

圃場における作業性については上記のような基本的な成果が示されたが、次に、これを圃場に適用し圃場作業のための基準化が図られた。わが国においては、農林省特別研究「大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究」(1964~1967)<sup>13)</sup>を中心として1960~1970年代に水田を対象として数多くの研究が行われた。

易耕性については、付着力、剪断抵抗など種々の面からの検討が行われたが、これらの特性は土壌水分・構造の影響を強く受けるため、コンシステンシを指標とした検討も行われた。例えば、八木<sup>2)</sup>はコンシステンシ指数 (I<sub>c</sub>)を指標として圃場の作業性を検討し、I<sub>c</sub>が1の時に牽引比 (進行低下率50%の時の牽引力を機体総重量で割った値)は最大となり、I<sub>c</sub>が0より小さくなると牽引比は急激に低下することを示した。また、中野<sup>10)</sup>は塑性限界値と圃場含水量の比を指標として易耕性を表現しようとした。こうした研究の中で、コンシステンシは土壌が乾燥することによって変化する (山崎<sup>24)</sup>)ということに基づき、圃場の乾燥によって易耕性が改良されることが明らかにされた (中野<sup>10)</sup>等)。

長崎<sup>9)</sup>は、機械の走行不能が主にスリップと沈下によることから、表面の硬度だけでなくかなりの深さまでの土壌硬度相が大きく関係するとして、コーンペネトロメータを用いて得られた土壌硬度相による機械の走行性の基

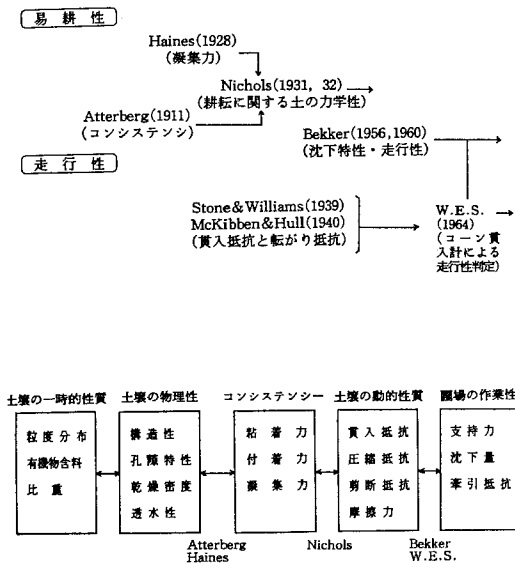


図-1 作業性に関わる基本的な研究の流れ

Fig. 1 Outline of the fundamental researches about field operation.

表-1 水田におけるトラクタ作業の走行可能性の基準

	作業不可		作業可能		作業容易	
	タイヤ	クローラ	タイヤ	クローラ	タイヤ	クローラ
(適用条件)						
滑り率 (%)	20<	5<	20~10	—	10>	3>
走行部沈下量 (cm)	12<	12<	12~3	—	3>	3>
(走行判定基準)						
円錐貫入抵抗 (rg/cm <sup>2</sup> )	2.5	1.5	2.5~5.0	1.5~3.0	5.0	3.0
矩形板沈下量 (cm)	9.5	15.0	9.5~4.5	15.0~5.0	4.5	5.0
コンシステンシ指数	0.2	—	0.2~0.5	—	0.5	—

大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究 (農林水産技術会議<sup>13)</sup> より

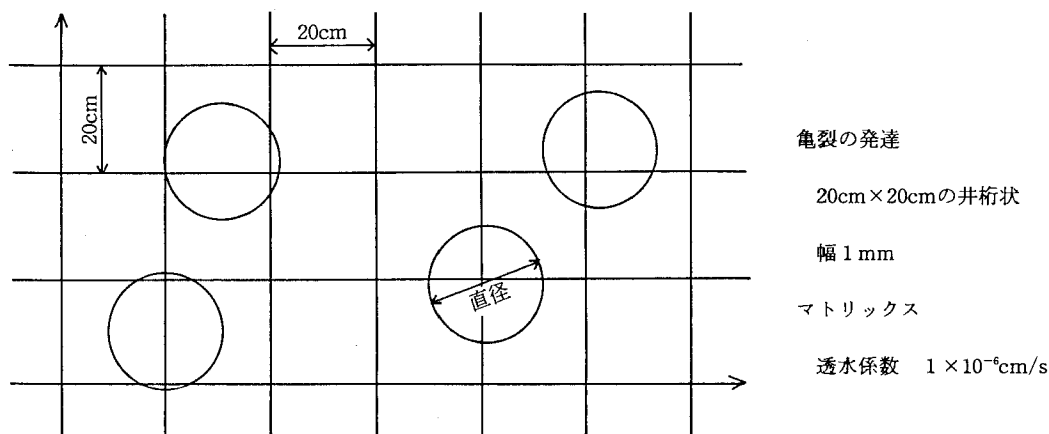


図-2 試算の方法

Fig. 2 Conditions for the calculation

準化を試みた。その後、こうした考えに基づき、農業土木試験場を中心にコーンペネトロメータを用いて地耐力のデータが集積され (田地野ら<sup>18, 19)</sup>, 山口ら<sup>21, 22)</sup> など), 水田における走行性の基準が示された (表-1)。また, 多田ら<sup>16)</sup> は水田の地耐力の回復のためには, 地表水や地表残水を迅速に除去することが必要であり, このためには圃場排水を強化することが必要であることを示した。一方, 川崎<sup>7)</sup> は, 水田が乾田化することによる土壌の孔隙特性の変化 (pF1.5~pF2.5 or pF3.0に相当する間隙量の減少) が, 圃場の落水後の乾燥を早め, その結果, 圃場の地耐力の増強につながることを示した。

易耕性や走行性という圃場の作業性は土壌構造・孔隙特性に密接に関係している。この作業性を改善するためには, 土壌を乾燥することによって構造・孔隙特性を変化させる必要があるが, このためには圃場の排水を強化していく必要があることが以上の研究で明らかにされた。

### 3. 排水性評価の問題点

圃場の作業性は土壌の物理性と密接な関係があり, 作業性の改善には圃場の排水性が深く関係している。このため, 圃場における作業性を評価するためには土壌の透水性などの物理的特性を示す基礎的なデータを集積していく必要がある。この時, 圃場は極めて不均一であり, 得られたデータも非常に大きなばらつきを示すことが多い。この不均一な場から得られたデータをどのように処理していくかが作業性を評価する上で極めて重要な課題となる。

#### (1) 試料の大きさ

圃場には根の穴や亀裂などのいわゆる大孔隙が多数存在している。この大孔隙は容積的には土壌中に占める割合は小さいが, その透水性に対しては極めて大きな影響を与えている。例えば, 10cm x 10cmのほとんど水を通さない粘土の試料に直径1mmの穴が開いている場合, その容積は  $0.8 \times 10^{-2}\%$  でほとんど無視し得る程度であるが, 穴が開いているために透水性は  $2 \times 10^{-3}$  cm/sにも

なってしまうものと計算される。

さらに、圃場においては、乾燥収縮に伴い発達した亀裂が非常によい水みちとなり、排水に大きな影響を及ぼすことはよく知られている。例えば、透水係数が $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$ cm/sにすぎない重粘土の圃場の心土に亀裂が発達した場合を考える。亀裂は幅1~2mmで、およそ20cm間隔に深さ約70cmまで発達しており、水平断面上での亀裂の長さは10m/m<sup>2</sup>程度であった。この時、水はほとんどがこの亀裂のみを流れ、横浸透する場合の透水係数は $10^{-2}$ cmオーダーにもなることが知られている<sup>5,6)</sup>。

このように、透水性に大きな影響を及ぼす亀裂などの大孔隙を含む圃場における透水性(排水性)を評価するにあたっては、亀裂などの大孔隙の役割を評価し得る試料の大きさについて検討しておく必要がある。

このため、亀裂の発達した場を想定して、試料の大きさとその試料が示す透水性の関係について試算を行い、透水性評価のために必要な試料の大きさについて検討を行った。

(2) 試算の方法

試算に当たっては、上述の亀裂が発達した粘土質圃場を想定して、その亀裂の発達状況(密度10m/m<sup>2</sup>、約20cm間隔、幅1~2mm)に基き、幅1mmの亀裂が20cm間隔に井桁状に発達している場(100m×100m)を考えた(図-2)。ここに、ある大きさの円をランダムに発生させ、その円を試料の大きさとみなして、その中に存在する亀裂の長さから透水係数を計算した。

透水係数の計算にあたってはマトリックス部分の透水係数を $1 \times 10^{-6}$ cm/sとし、亀裂部分での水の移動はHagen-Poiseuille則に従うものとして次式で表した。なお、水温は20℃とした。

$$q_c = \frac{g \cdot \rho \cdot d^3}{12 \cdot \eta} \cdot \text{grad}H \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $q_c$ は単位長さの亀裂を伝わる流量(cm<sup>3</sup>/s)、 $g$ は重力加速度(cm/s<sup>2</sup>)、 $\rho$ は水の密度(g/cm<sup>3</sup>)、 $d$ は亀裂の幅(0.1cm)、 $\eta$ は水の粘性係数(g/cm<sup>3</sup>・s)、 $\text{grad}H$ は動水勾配(=1)をそれぞれ示す。

試料内(直径:Rcm)の亀裂の長さをLcmとする時、試料の浸透量(Qcm<sup>3</sup>/s)は次式のように表わされる。

$$Q = L \cdot q_c + q_m \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 $q_m$ はマトリックス部分の浸透量(cm<sup>3</sup>/s)。この時、試料の平均浸透速度(q cm/s)は(3)式のように表され、また、ダルシー則(4)式を仮定すると、 $\text{grad}H = 1$ の時、平均浸透速度と透水係数(K)は等

しくなる。そこで、(1)~(3)式で求められる平均浸透速度を用いて試料の透水性を評価した。

$$q = Q / A \quad \dots \dots (3)$$

(但し  $A = \pi R^2 / 4$  試料の面積)

$$q = K \cdot \text{grad}H \quad \dots \dots (4)$$

(3) 小さな試料での計算結果

図-3-1(1)は土壌調査でよく使用されるサンプルの大きさである直径5cmの場合の計算によって求められた透水係数の度数分布を示す(試料数500)。この時の分布形状はいわゆる対数正規分布に近い形を示した。しかしながら、階級をさらに細かくした場合の度数分布をみると(図-3-2(1))、この分布形状は大きく二つの分布から成り立っているとみなすことができる。一つは、亀裂を含まないマトリックスでの透水性の分布である。今回の計算においては、マトリックス部分の透水係数はすべて一定で $1 \times 10^{-6}$ cm/sとしたが実際はなにがしかの分布を持つであろう。そして、他の一つは含まれる亀裂の密度に伴う分布である。前述のように試料にわずか

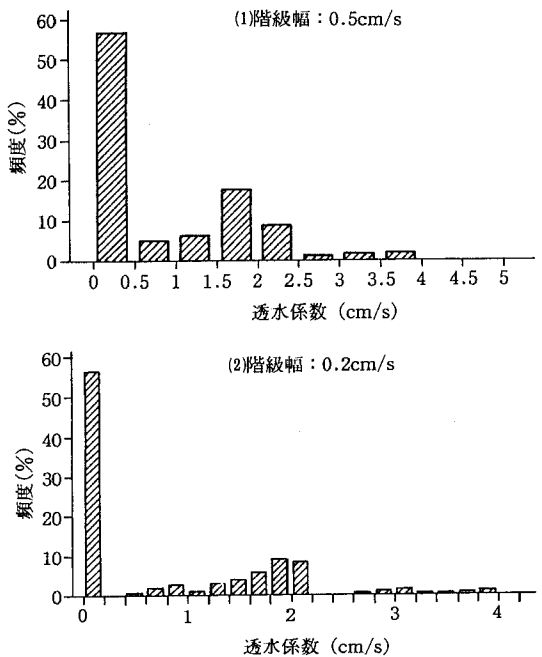


図-3 直径5cm試料の場合の透水係数計算値の頻度分布(試料数=500)

Fig. 3 Frequency distributions of the calculated hydraulic conductivities. (In case of 5 cm diam. samples, number of the samples=500)

でも亀裂が含まれることによって浸透量（透水性）は急増する。そして、浸透量は含まれる亀裂量によって大きく影響される。このため、試料が示す透水係数は試料中に含まれる亀裂量の分布に左右されることになる。

もし、このようなことが圃場のサンプリングにも見られるとすれば、小さな試料で透水性を代表させようとする時、亀裂を含まない（または亀裂が連続しない）時の分布と（連続する）亀裂の密度による分布の二つの分布を一つの分布として扱っていることになる。

透水性に大きな影響を及ぼす亀裂などの大孔隙を含む圃場において圃場を代表し得るようなデータを得るためには、どの試料の中にも圃場と同程度の密度で亀裂が含まれていることが必要となろう。このためには、常に圃場と同程度の亀裂を含み得る試料の大きさについての検討が必要となる。

#### (4) 試料の大きさの検討

図-4は、計算によって求められる透水係数の最大値、最小値および平均値の変化の様子を示す。これは、試料の大きさを変え、それぞれの大きさの試料500個について求めた値である。この場合、500個の平均値はあまり変わらないものの、試料が大きくなると最大値、最小値が急速に平均値に近づき、データのばらつきが減少していく。

図-5は、試料直径が4cm, 10cm, 20cm, 40cmの場合の度数分布を示す。試料の直径が亀裂の間隔（20cm）を越えると試料の中には必ず亀裂が含まれるようになり、当然のことながら、マトリックス部分の分布が消滅する。そして、さらに試料が大きくなるとある値に向けてデータが集まっていく様子がわかる。

つまり、試料の直径を大きくすることによってデータのばらつきが急速に減少し、非常に少ないデータで圃場の透水性を代表し得るようになるものと考えられる。

次に、どの程度の大きさの試料があれば圃場を代表するデータが得られるのかということについて検討する必要がある。このため、図-6には、試料の大きさによる変動係数の変化を示す。ただし、ここでは透水係数の最大値と最小値の差を平均値で割った値を変動係数と呼ぶものとする。この変動係数は、直径が20cmより小さな場合には非常に大きな値を示し、そして、20cmを越えたとしばらく振動し、直径50~60cmになると4%程度となり、以降単純に減少するという変化傾向を示した。どの程度の精度でデータを求めるのかにもよるが、この場合、一つの目安として、変動係数の振動がなくなる直径50~60cmあれば、ほぼ安定した代表値が得られるものと考えられる。

これらから、どの場所でサンプリングをしても、ある

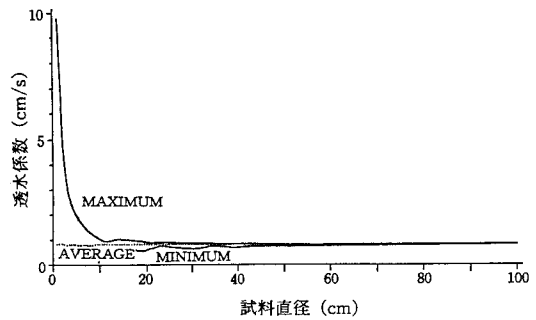


図-4 試料の大きさによる透水係数計算値の変化

Fig. 4 Change in the calculated hydraulic conductivities with sample dimension

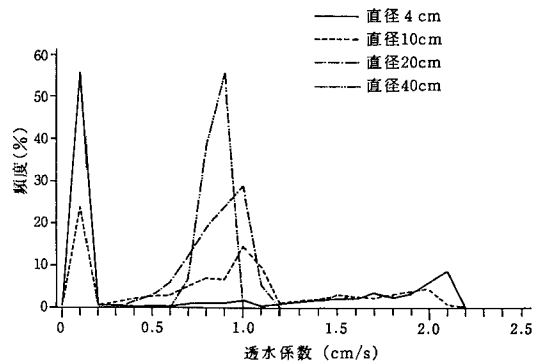


図-5 試料の大きさによる透水係数計算値の度数分布の変化

Fig. 5 Change in the frequency distributions with sample dimension.

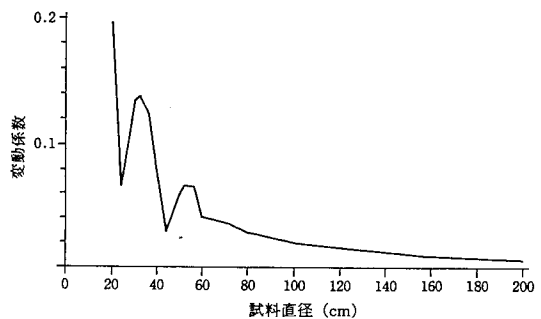


図-6 試料の大きさによる透水係数計算値の変動係数の変化

Fig. 6 Change in the coefficient of variation with sample dimension.  
(Coefficient of variation = (maximum value - minimum value) / average)

一定の透水係数を得るための試料の大きさとしては、概ね直径50~60cm程度つまり亀裂の間隔の2~3倍程度の直径が必要となるものと推定される。

亀裂の存在状態自体、圃場における一つの物理量であるので、今回の試算に用いたように圃場内で全て同じ密度で存在することはなく、何らかの分布を示すであろう。このため、実際の圃場においては、当然、この試算結果とは幾分違った結果となろうと考えられる。しかしながら、特に不均一の影響を受けやすい透水性等の代表値を求めるにあたっては、試算によって示したように、試料の大きさを常に考慮していくことが非常に重要であると考えられる。

#### 4. 作業性評価のためのその他の問題

作業性評価のために必要な物理的データの集積にあたっての一つ問題として、試料の大きさについて取り上げた。不均一な圃場においてデータを取るためには、このほか注意しなければならない点がある。これらについては詳しく述べることはできず問題点を列挙するのみにとどめざるを得ないが、データを処理し作業性を評価する上で重要な問題となるものと考えられる。

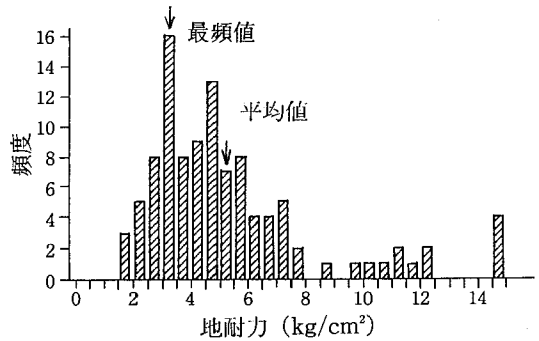
##### (1) 面的広がりへの検討

コーンペネトロメータによる地耐力のデータなどは、広がりを持つ圃場の中でかなり大きなばらつきを示す(多田ら<sup>17)</sup>)。ある一定の基準値に基づいて機械の走行性を判定する場合、このようなデータをどのように処理して行くかが問題となる。

図-7-1(1)は、農業工学研究所内にある火山灰ロームの試験圃場において深さ35cmにおける地耐力を測定した結果の度数分布を示す。圃場は畑状態で測定はSR-II型の土壌硬度計を用いた結果である(1989.8月測定)。この場合、地耐力の頻度分布は $2.0\text{kg/cm}^2$ から $15\text{kg/cm}^2$ 以上まで広い範囲にわたり、最頻値は $3.5\text{kg/cm}^2$ であるが、平均値は約 $5.4\text{kg/cm}^2$ となる。この平均値で圃場の走行性を評価すると、基準(表-1)からはタイヤ型トラクターでは「作業容易」の範疇(円錐貫入抵抗 $5.0\text{kg/cm}^2$ 以上)に属するが、圃場の多くの部分は $5.0\text{kg/cm}^2$ 以下を示すことになる。

図-7-2(2)は同圃場の深さ35cmにおける地耐力の分布状況を示す。これによると地盤の硬い( $5\text{kg/cm}^2$ 以上)部分が圃場中央に帯状に集中している状況がわかる。このような圃場における地耐力の分布状況は統計処理によって求められる標準偏差や平均値といった値から推定することは困難である。今後、圃場の大区画化が進展すれば一枚の圃場の中で異なる地耐力特性等を持ついくつかの領域に分けられる可能性が大きくなるものと考えら

(1) 地耐力の頻度分布 (試料数=105)



(2) 地耐力の圃場内分布

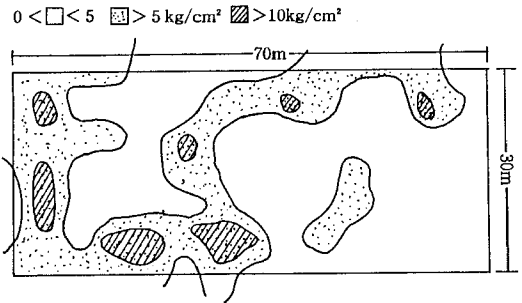


図-7 地耐力の分布 (火山灰ローム圃場 深さ35cm)

Fig. 7. Distribution of bearing capacities. (Volcanic ash soil, 35cm depth)

れる。このような場合、こうした分布状況をどのように表現し、また、それに基づき走行性などの作業性をどのように評価して行くのか今後の大きな問題となる。

##### (2) 深さ方向への検討

現在、水稲作の省力化、コストダウンを目指して水田の大区画化が進められている。この中で、大区画化による効果をさらにあげるためには、現在の45PS級トラクターを中心とする大型機械作業体系から70PS級以上のトラクターを用いる超大型機械作業体系の導入も検討されている。この時、これに対応した作業性評価のための新たな基準の整備、1haを超える大きな圃場での排水、特に表面排水技術の確立等が求められる。その他、こうした超大型機械作業体系下においては、機械の踏圧によるハードパンの形成が新たな問題として生じてくるものと考えられる。このことは、既に超大型機械による作業が行われている米国などではハードパン形成によって、根の生育不良による収量の減少、排水不良等大きな問題となり1970年代から研究が進められている。

図-8は、トラクタ走行による土壌(Sandy Loam)

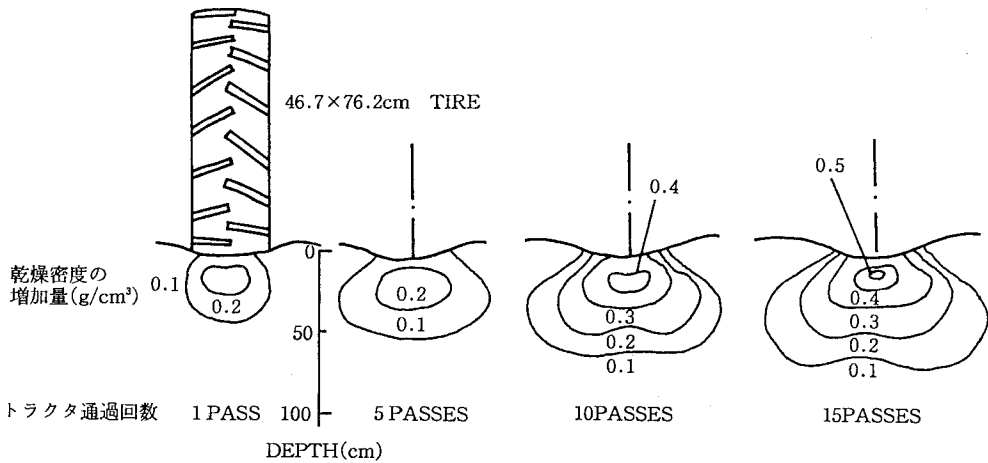


図-8 トラクター走行による乾燥密度への影響

(トラクター4670kg, スプレーワゴン牽引3424kg  
土壌: Sandy Loam, 初期乾燥密度=1.0~1.3g/cm<sup>3</sup>)  
Raghavan et al.<sup>14)</sup>より

Fig. 8 Distribution of change in soil dry density in a sandy loam soil after passes of 4670kg tractor trailing a 3424kg two wheeled sprayer wagon.

(after Raghavan et al.<sup>14)</sup>)

の乾燥密度への影響を示す。およそ4.7tonのトラクタが15回通過することによって深さ50cm以上までその影響が及んでいることがわかる (Raghavan et al.<sup>14)</sup>)。

圃場の中を70PS以上の重機が走行するようになると、このようかなりの深さまでその影響が及び厚いハードパンが形成されてくるものと考えられる。この時、その作物生育、排水などへの影響を評価し、それに対する対策を検討しておくことは、今後の土壤物理部門の重要な課題の一つとなるものと考えられる。

## 5. おわりに

圃場の作業性に土壤の物理性は深く関わっている。これまで両者の関係が数多くの研究の中で調べられ、作業性評価の基準が示されてきた。しかしながら、実際の圃場は極めて不均一であり、こうした基準を圃場に適用して行くためには、不均一な物理的特性をどのようにして的確に把握し、表現して行くかということが不可欠な要素となる。

このことは、単に圃場の作業性だけでなく、作物生育、養分移動さらには環境保護等農業に関わるあらゆる面での基本となることであり、土壤物理学で追究して行くべき中心的な課題の一つである。また、作物の栽培体系の変化に伴う土壤への影響を予測、評価しそれに対する対策を検討しておくこともわれわれの重要な課題の一つで

あると考えられる。

## 引用文献

- 1) Atterberg, A. 1911, ベーバー土壤物理学, Bayer, L.D. (野口彌吉, 福田仁志 訳) 朝倉書店 (東京), 1955より
- 2) Bekker, M.G. 1956, 田中孝, トラクタの牽引性能と土の力学性, 土壤の物理性, 25, 7-16, 1971より
- 3) Bekker, M.G. 1960, 金須正幸, 農業機械の走行可能性, 土壤の物理性, 14, 10-14, 1966より
- 4) Haines, W.B. 1923, The volume-changes associated with variations of water content in soil, J. Agric. Sci., 13, 296-310
- 5) 井上久義, 長谷川周一, 宮崎毅 1988, 亀裂が発達した圃場における水の横浸透, 農土論集, 134, 51-59
- 6) 井上久義 1988, 亀裂が発達した粘土質圃場における暗渠排水特性, 農土論集, 137, 25-33
- 7) 川崎哲郎, 久保博, 丹原一寛, 山中誠 1979, 基盤整備水田の管理と農地高度利用, 農土誌, 47, 921-927
- 8) McKibben, E.G., D.O. Hull 1940, Transport

- wheels for agricultural mechanics. VIII. Soil penetration tests as means of predicting rolling resistance, *Agric. Eng.*, 21, 231-234
- 9) 長崎明 1963, 水田における大型機械の走行能と土壌硬度相について, *土壌の物理性*, 9, 30-37
- 10) 中野啓三 1983, 重粘土転換畑における易耕性の評価—塑性限界とpF1.8含水比の関係, *土壌の物理性*, 48, 38-43
- 11) Nichols, M.L. 1931, The dynamic properties of soil. II. Soil and metal friction, *Agric. Eng.*, 12, 321-324
- 12) Nichols, M.L. 1932, The dynamic properties of soil. III. Shear values of uncemented soils, *Agric. Eng.*, 13, 201-204
- 13) 農林水産技術会議事務局 1969, 大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究, *研究成果*, 40
- 14) Raghavan, G.S.V., E. McKeys, M. Chassé, F. Mérineau 1976, Development of compaction patterns due to machinery operation in an orchard soil, *Canadian J. Plant Sci.*, 56, 505-509
- 15) Stone, A.A., I.L. Williams 1939, Measurement of soil hardness, *Agric. Eng.*, 20, 25-26
- 16) 多田敦, 安富六郎, 堤聡 1967, 粘土質の水田の地耐力に関する研究(Ⅰ)地耐力の年変化, *農土論集*, 21, 24-28
- 17) 多田敦, 安富六郎, 堤聡, 田淵俊雄, 1967, 粘土質の水田の地耐力に関する研究(Ⅱ)地耐力と地表排水の関係, *農土論集*, 21, 29-35
- 18) 田地野直哉, 橋本千寿子, 根岸久雄, 守谷貢, 森川正雄 1965, 耕地地耐力の研究 (1)耕地地耐力の測定法及び測定例, *農土試報告*, 3, 99-117
- 19) 田地野直哉, 橋本千寿子, 根岸久雄, 守谷貢, 森川正雄 1965, 耕地地耐力の研究 (2), *農土試報告*, 4, 31-61
- 20) 山口英太郎, 永石義隆, 岡晃, 村岡嘉郎 1966, 佐賀平野における大型農機導入に伴う水田地耐力の調査研究(Ⅰ), *農土試技報*, E-1, 1-43
- 21) 山口英太郎, 永石義隆, 岡晃, 村岡嘉郎, 山下恒雄 1967, 佐賀平野における大型農機導入に伴う水田地耐力の調査研究(Ⅱ), *農土試技報*, E-2, 1-46
- 22) 山口英太郎, 永石義隆, 山下恒雄 1968, 佐賀平野における大型農機導入に伴う水田地耐力の調査研究(Ⅲ), *農土試技報*, E-4, 1-43
- 23) 八木茂 1971, 農業機械と土壌水分量の関連について, *土壌の物理性*, 24, 27-31
- 24) 山崎不二夫 1965, 風乾がアッタベルグ限界に及ぼす影響, *農土論集*, 14, 46-48  
(受稿年月日 1993年12月2日)