

転換畑圃場内における土壌物理性の変動

安 中 武 幸*

Variability of Soil Physical Properties
in Rotational Paddy Fields

Takeyuki ANNAKA

Farm Utilization Division,
Kyushu National Agricultural Experiment Station

1. はじめに

圃場でのかんがい・排水および土層改良を考える時、土壌物理性の調査が不可欠である。しかし、面的広がりをもつ圃場レベルで、その調査結果を評価することは難しいことである。

面的広がりを持つ圃場・農地土壌の物理性の把握に関して、一圃場規模での一斉調査が乾燥密度と自然含水比について実施され、正規分布の適合性、必要標本数、サンプラーサイズ（測定スケール）等の検討が行われている。¹⁾

しかし、それ以外の物理性に関するデータは少なく、また圃場内での変動の実態が十分に明らかにされてはい

ない。そこで、一圃場内での種々の土壌物理性の変動の実態を把握するため、3種類のサンプリング調査を実施した。すなわち、1地点の測定値を評価するための集中サンプリング、圃場全体での変動傾向把握のための方眼サンプリング、および、方眼サンプリングを補足するためのサンプリング間隔と延長を変えた直線サンプリングの3種類である。測定項目は、乾燥密物、飽和透水係数、粗間隙量、正常生育有効水分量、pF 4.2含水比、および、真比重、収縮比、収縮限界、水中沈定容積、 N_2 -比表面積である。そして、得られたデータを作土層と耕盤層および主に構成粒子に支配される項目と主に土壌構造に支配される項目に区分して、圃場内変動を検討した。

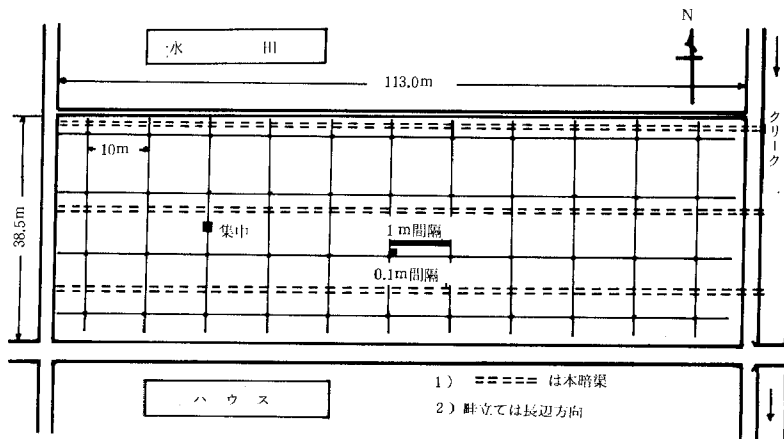


図-1 調査圃場の概要と採土位置

* 九州農業試験場

2. 調査およびデータ処理法

1) 調査圃場の概要

調査圃場(図-1)は佐賀市の西, 小城郡三日月町にあり, 標高3.5mの河海性沖積土地帯に位置する。土壌は細粒灰色低地土(佐賀統)に分類され, 「粘土鉱物の種類はモンモリロナイトを主体とし, これに若干のパーミキュライト, クロライト等が加わっている」²⁾とされている。土性は, 国際土壌学会法によれば, 作土層および耕盤層はLi C, それ以下ではHCである。

調査圃場は1970年に圃場整備が実施され, その後, 暗渠排水が施工され, 短辺方向には深さ30cmに数m間隔の弾丸暗渠が繰返し施工されている。作付けは, 従来水稲-大麦の二毛作体系であったが, 1982年に畑地に転換され, 大豆-大麦の作付けが行われている。採土は, 1982年, 83年の11月大豆刈取り後実施した。

2) 調査方法

① サンプルング

図-1に示した地点で, 集中サンプリング(0.5m×0.5mから25点:作土層), 方眼サンプリング(10m×10mに1点, 計44点:作土層, 耕盤層), 直線サンプリング(0.1m間隔, 1.0m間隔各11点:作土層)を実施した。

集中サンプリングは, 畦間と均平化した後に100cm³円筒を打ち込み実施した。

方眼サンプリングは, 10m×10mの格子点を畦部に統一して実施した。畦を5cm削った状態で作墾層を, 作土層を除き耕盤が現われた深さから耕盤層を各々100cm³円筒とビニール袋に採取した。なお, 採土に3日間を要した。

直線サンプリングは, 畦の作土層について方眼サンプリングと同じ方法で実施した。

なお, 集中サンプリングと方眼サンプリングは1982年11月, 直線サンプリングは1983年11月に行った。

② 測定項目と測定方法

100cm³円筒試料で乾燥密度, 飽和透水係数, 粗間隙量(飽和含水量-pF1.5含水量), 正常生育有効水分量(pF1.5含水量-pF3.0含水量), pF4.2含水量比を, 攪乱試料により真比重, 収縮限界, 水中沈定容積, N₂-比表面積を測定した。なお, 真比重, 水中沈定容積は湿潤土を, N₂-比表面積, 収縮比, 収縮限界は風乾細土(0.42mmフルイ通過分)をそれぞれ用いた。

N₂-比表面積はカウンターソープ表面積測定装置を用いて測定した。これは, N₂ガスをキャリアーガスとして用い, N₂ガスの土粒子表面への吸着によるガス濃度変化を電気伝導度変化として検知するものである。比表面積の計算はB. E. T1点法に基づき, その精度は約10%で

ある。

その他の項目については, 従来法^{3)~7)}によった。なお, 飽和透水係数は変水位法, pF1.5含水量は砂柱法, pF3.0, 4.2含水量は遠心法によった。

3) データ処理方法

不攪乱試料は各地点1連の測定結果を, また攪乱試料は各地点2~3連の測定結果の平均値をもとにして, 以下のデータ処理を行った。

- ① 標本の平均, 分散, 標準偏差の計算
- ② 変動係数(100×標準偏差/平均)の計算
- ③ 分布特性の検討

(a) 畦と畦間の等分散性, 平均の差の検定

集中サンプリングデータについて, F-検定, T-検定により等分散性および平均の差の検定を行い, 母集団の同一性を検討した。

(b) 正規性, 対数正規性等の分布の適合度検定

方眼サンプリングデータについて, ヒストグラムを作成し, 確率紙プロット, χ^2 -検定により分布特性の検討を行った。

④ 自己相関係数⁸⁾の計算

方眼サンプリングデータについて, 土壌物理性の空間的変動の特徴を調べるため, 次式により長辺方向について(図-2)自己相関係数を計算し, 検討を行った。

$$\text{長辺方向 } R(K) = \frac{N-1}{N-4K-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{m-K} \sum_{j=1}^n (x_{i,j} - \bar{x})(x_{i+K,j} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{i,j} - \bar{x})^2}$$

$$\text{短辺方向 } R(L) = \frac{N-1}{N-11L-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n-L} \sum_{j=1}^m (x_{i,j} - \bar{x})(x_{i,j+L} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{i,j} - \bar{x})^2}$$

N: 標本数 (N = m × n)

$x_{i,j}$: (i, j) 地点の測定値

$x_{i+K,j}$: (i+K, j) 地点の測定値

$x_{i,j+L}$: (i, j+L) 地点の測定値

\bar{x} : 平均値

K, L: ラグ K, L = 0, 1, 2

なお, ラグは測定値系列において相関をとる間隔を表す。ただし, 圃場での実際の間隔は, これにサンプリング間隔をかけた値となる。

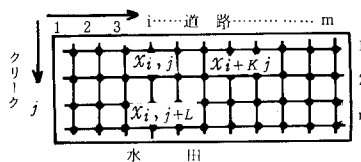


図-2 自己相関数の計算方法

3. 結果および考察

1) 畦と畦間の土壤物理性の相違

集中サンプリングは、作土層について畦と畦間を含む50cm×50cmの領域で実施し、畦から15試料、畦間から10試料を得た。畦は大豆根が残っておりかなり膨軟であったが、畦間は営農作業による転・踏圧のためか土壤構造が密になっているようであった。

採土時含水比は、畦で54.1%、畦間で54.8%とほとんど差はなかったが、畦間の10試料間の変動が大きかった。乾燥密度、粗間隙量、飽和透水係数は、いずれも畦間の土壤構造がより密であることを示した。すなわち、畦間の方が畦よりも乾燥密度が大きく、粗間隙量、飽和透水係数が小さくなっている。しかし、正常生育有効水分量は、畦間の方が大きな値を示し、粗間隙量とは逆になっ

ていた。また、pF4.2含水比にはほとんど差が認められなかった。

図-3は、畦と畦間の土壤物理性に有意な差があるか検定した結果であり、全体の値(25試料についての平均および標準偏差)を1とした時の比で表示してある。正規確率紙プロットによると直線から外れる点がいっつか存在し、正規分布とみなすことが難しい物理性もあるが、ここでは全て正規分布を仮定して、分散および平均の差の検定を行った。

F-検定によれば、分散に $\alpha = 5\%$ で有意差が認められる項目はなく、全て等分散とみなされる。等分散のもとで、平均の差に関するt-検定を行ったところ、 $\alpha = 5\%$ で乾燥密度、粗間隙量、飽和透水係数(対数値)に有意差が認められた。これは、耕起・細土等によって形成される粗構造が、畦間ではその後の営農作業による転・踏圧等のため破壊され、それに関わる物理性に有意差が

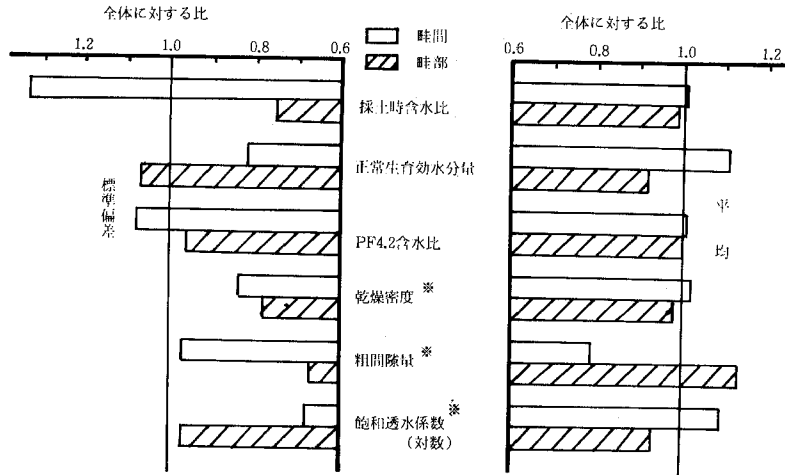


図-3 集中サンプリングにおける畦と畦間の土壤物理性の比較

※ 有意水準5%で平均に差が認められる項目

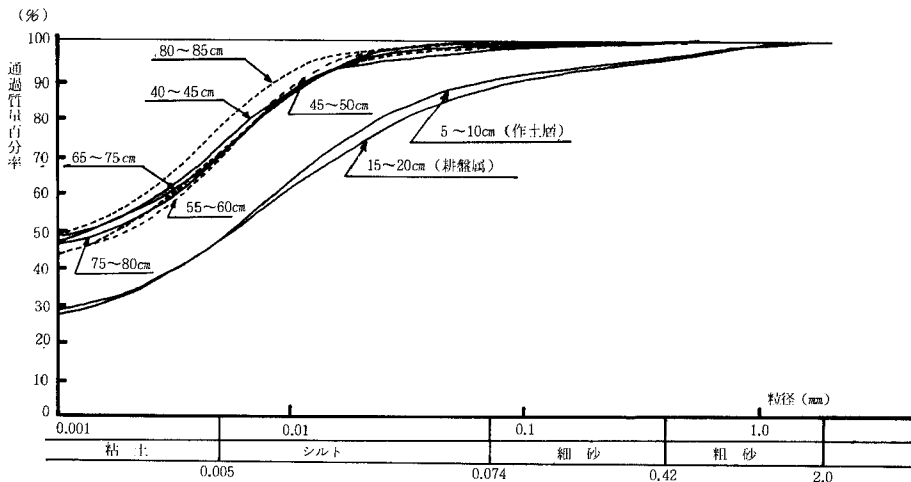


図-4 調査圃場の深さ別粒径加積曲線

転換畑圃場内における土壌物理性の変動

生じることを示している。

一方、正常生育有効水分量は、試料間に変動が大きく、有意なものとは言えなかった。

2) 作土層と耕盤層の土壌物理性の相違

水田土層は自然のおよび人為的に形成されたものであり、本調査圃場においても作土層、耕盤層、心土層への区分が明瞭であった。図-4は調査圃場の深さ別粒径組成を表わしたものである。40cm以下の土性はHCではほぼ一様である。一方、作土層(5~10cm)および耕盤層(15~20cm)はLiCとやや粗粒質になっている。また、作土層と耕盤層には粘土含有量に差はないが、シルト・砂含有量に若干の違いがあり、耕盤層の方がやや砂分が多くなっている。

表-1は方眼サンプリング結果を集計したものである。測定項目を主に構成粒子に支配される項目と主に土壌構造に支配される項目に区分して示してある。表-1から水中沈定容積以外は明らかに作土層と耕盤層の値に差が認められる。まず構成粒らに支配される項目の測定値をみると、真比重、 N_2 -比表面積、収縮比は作土層の方が小さく、pF4.2含水量、収縮限界は耕盤層の方が小さくなっている。これらは、作物遺根等の有機物含水量、物質の移動・集積条件、乾燥・湿潤条件等の違いによるものと思われる。次に土壌構造に支配される項目の測定

結果から、耕盤層が浸透抑制・支持力発現層として機能していることが分かる。これは、作土層が耕起・細土化されるのに対して、耕盤層は乾燥収縮や機械の転圧による圧縮が支配的であることが原因と考えられる。

変動係数については、 N_2 -比表面積と乾燥密度を除いて、土壌構造に関する項目の方が粒子特性に関する項目より大きな値を示している。土壌構造が土粒子の配列によることを考えれば、その物理的性質を発現するために関与する要因が多くなるから、この傾向は当然のことと言えよう。 N_2 -比表面積の大きな変動係数については、後で述べるように圃場内の位置によって大きな変動があったことが原因であると考えられる。また、作土層と耕盤層との比較では、正常生育有効水分量以外の項目で作土層よりも耕盤層の方が大きな値を示しており、特に粗間隙量と飽和透水係数で大きい。

分布特性においても、作土層が飽和透水係数以外で正規分布とみなされるのに対し、耕盤層では収縮限界が対数正規分布を示すことを初め、かなり異なった様相を示している。

3) サンプリング延長・間隔と変動係数

表-2は直線サンプリングの結果と同一直線上にある方眼サンプリングの測定値から変動係数を計算して整理したものである。延長1mと10mの比較では、変動係数

表-1 各物理項目の統計量および分布特性(方眼サンプリングによる)

層位 項目	作 土 層				耕 盤 層				
	平均	標準偏差	変動係数(%)	分布特性	平均	標準偏差	変動係数(%)	分布特性	
主に構成粒子に支配される項目	真比重	2.580	0.038	1.5	正規分布	2.633	0.063	2.4	正規分布
	N_2 -比表面積 m^2/g	12.6	2.6	21	2つの正規分布	16.2	4.2	26	正規分布
	水中沈定容積 cm^3/g	1.90	0.054	2.8	正規分布	1.87	0.151	8.1	3つの値を除くと2つの正規分布
	pF4.2含水量%	41.7	3.8	9.1	正規分布	32.4	3.3	10	1つの値を除くと正規分布
	収縮比 ¹⁾	1.33	0.034	2.6	正規分布	1.45 (1.45)	0.041	2.8	対数正規分布
	収縮限界 ¹⁾ %	35.3	2.2	6.1	正規分布	29.6 (29.6)	2.2	7.4	対数正規分布
主に土壌構造に支配される項目	乾燥密度 g/cm^3	0.972	0.043	4.4	正規分布	1.289	0.063	4.9	正規分布
	粗間隙量 ²⁾ %	10.1	3.3	33	正規分布	0.8	1.1	134	0を除くと2つの正規分布
	正常生育有効水分 ³⁾ %	7.3	2.1	29	正規分布	4.0	0.6	16	正規分布
	飽和透水係数 ¹⁾ cm/s	2.5×10^{-4} (7.8×10^{-5})	3.2×10^{-4}	129	対数正規分布	1.1×10^{-6} (8.8×10^{-7})	2.0×10^{-6}	182	対数正規分布

1) () は対数正規分布を仮定した場合の中央値

2) 飽和含水量-pF 1.5含水量

3) pF 1.5含水量-pF 3.0含水量

表-2 サンプル延長・間隔と変動係数 (作土層)

項目	延長 間隔	1 m	10 m	100 m
		0.1 m	1 m	10 m
主に構成粒子に支配される項目	真 重 比	—	—	1.7
	N ₂ -比表面積 m ² /g	2.6	2.2	13
	水中沈定容積 cm ³ /g	1.0	1.8	2.3
	pF4.2 含水比 %	14	12	11
	収 縮 比	1.2	2.2	2.4
支配にされぬ項目	収 縮 限 界 %	2.5	3.2	6.4
	乾燥密度 g/cm ³	3.6	3.2	3.8
主に土壌構造に支配される項目	粗 間 隙 量 %	10	14	27
	正常生育有効水分 %	7.2	6.2	22
	飽和透水係数 cm/s	31	60	102

の多少減少する項目もあるが、延長が100mになると、pF4.2含水比以外は全て増大している。すなわち、一般的にはサンプル延長・間隔の増大に伴い変動係数が増大すると言える。N₂-比表面積は、延長1mおよび10mで変動係数2.6%、2.2%を示しながら、延長100mで13%に増大することと、方眼サンプリングの結果から考えて、圃場内の位置による変動が大きいが推察される。pF4.2含水比の変動係数は延長の増大とともに減少しているが、測定誤差の影響が考えられ、乾燥密度と同様にはば一定の値を持つと考えた方がいいと思われる。

図-5は変動係数の傾向が明らかに異なる乾燥密度と飽和透水係数について、その測定値の変動実態を表わしたものである。横軸は直線上におけるサンプリング地点を表わしており、実際の距離はそれにサンプリング間隔をかければ得られる。乾燥密度ではどの延長・間隔でも同程度の変動幅しか示さないが、飽和透水係数では、延

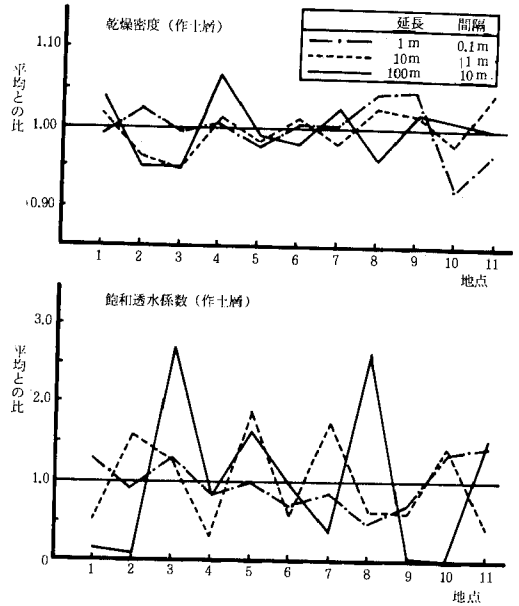


図-5 サンプル延長、間隔と物理性変動

長・間隔が大きくなる程変動幅が大きくなっている様子がよく分かる。

4) 土壌物理性の面的変動

土壌物理性の面的変動を検討するため、図-6にヒストグラム、図-7に平均値による2領域区分、図-8に自己相関係数を示す。ここでは主に構成粒子に支配される項目としてpF4.2含水比、主に土壌構造に支配される項目として、変動係数の小さい乾燥密度と変動係数の大きい飽和透水係数を選んで、これらについて示してある。

pF4.2含水比は、作土層で正規分布、耕盤層では1つの値を除けば正規分布とみなせる。図-7をみると、作土層ではクリーク側から大きな値を示す領域と小さな

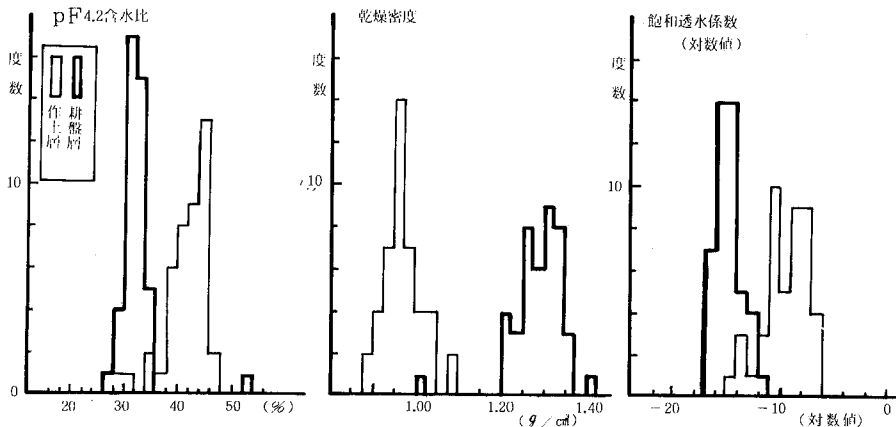


図-6 ヒストグラム

転換畑圃場内における土壌物理性の変動

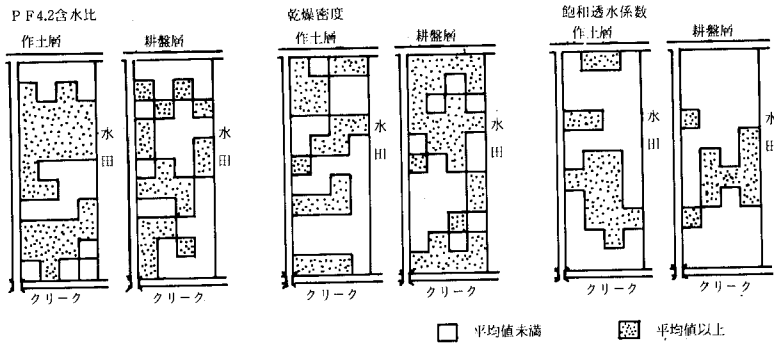


図-7 平均値による2領域区分

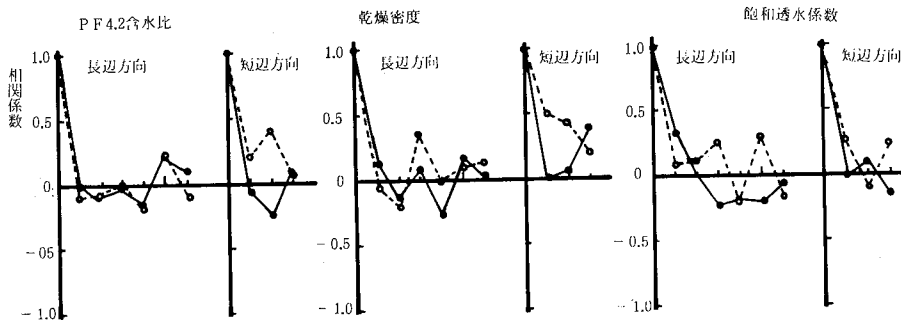


図-8 自己相関係数

値を示す領域が交互に現われている。また、短辺方向に注目すると、作土層では帯状の連続性がみられるが、耕盤層ではそれが弱くなっている。図-8の自己相関係数においても、これらの傾向が現われている。すなわち、長辺方向では作土層、耕盤層ともに同様の傾向をもち、間隔50mで低いながらも正の相関を有している。これは、大きな値を示す領域と小さな値を示す領域が交互に現われることと一致している。また、短辺方向では、作土層が間隔10m, 20m, 30mいずれも正の相関を有するのに対し、耕盤層は10m, 20mで負の相関を示し、この方向の大きな値あるいは小さな値の連続的分布状況と一致している。

乾燥密度は、作土層、耕盤層ともに正規分布とみなし、変動係数は4%程度と小さい。しかし、2領域区分図および自己相関係数によれば、それ程強くはないにしても、圃場内の位置による値の変動が存在する。すなわち、作土層では長辺方向に30m間隔の周期性と短辺方向に帯状の連続性が認められる。また、耕盤層では長辺方向の上・下端で大きな値、中央部で小さな値を示すことが認められる。

飽和透水係数は対数正規分布とみなされ、値の変動が大きく、小さな値の方に歪んでいる。図-7から、作土

層、耕盤層ともに圃場中央付近に大きな値を示す領域が存在することが分る。

以上のことから、土壌の物理性の面的変動が単一の正規分布または対数正規分布とみなせる場合でも、位置に無関係にランダムな分布を示すとは限らないことが分かる。

5) 作土層の N_2 -比表面積の面的変動

作土層の N_2 -比表面積および耕盤層の水中沈定容積、粗間隙量は2つの正規分布の合成とみなされた。そのうち最も明瞭な作土層の N_2 -比表面積について、ヒストグラム、平均値による2領域区分、自己相関係数を示したのが図-9である。自己相関係数は長辺方向に高い正の相関を有し、短辺方向は20m以上で負となる。これは、水田側が小さな値、道路側が大きな値を示し、しかも長辺方向より短辺方向の変動が大きいくことをよく表わしている。これらは圃場内の微地形と関連した土壌水分環境の違いを反映するものと思われる。

なお、圃場内におけるこのような土壌物理性の分布の特徴が組合わせ暗渠施工による排水促進、周辺の土地利用の違い、圃場内微地形等の要因とどのように関連するのかについて、今後検討していきたい。

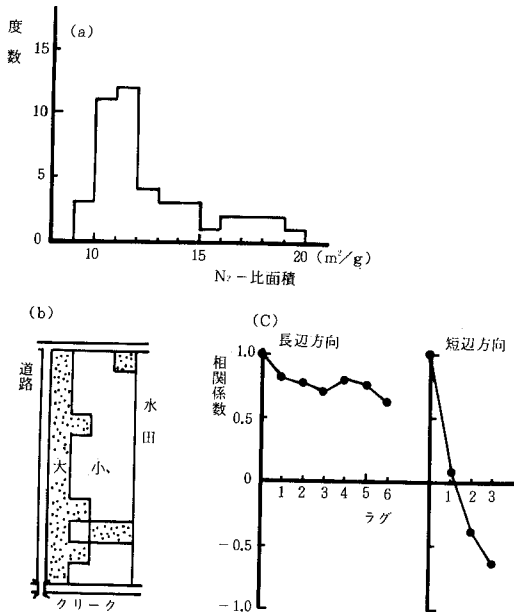


図-9 N_2 -比表面積の圃場内変動

(a) ヒストグラム (b) 平均値による2領域区分
(c) 自己相関係数

4. 摘要

クレーク水田地帯転換畑において、一圃場内での土壌物理性変動の実態調査を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 作土層において、畦と畦間では土壌構造に関わる乾燥密度、相間隙量、飽和透水係数に有意差が認められた。
- ② 作土層と耕盤について測定したほとんどの物理性項目に明瞭な差が認められた。
- ③ N_2 -比表面積、乾燥密度以外では、土壌構造に支配される項目の方が構成粒子に支配される項目より大きな

変動係数を示した。

- ④ サンプルング延長・間隔の拡大により、多くの物理性項目で変動係数が増大した。しかし、乾燥密度、pF 4.2含水比はほぼ一定値を示す。
- ⑤ 多くの物理性項目が正規分布または対数正規分布とみなせた。しかも、これらの測定値の分布には、大きな値を示す領域と小さな値を示す領域の存在が認められた。
- ⑥ 作土層の N_2 -比表面積は2つの正規分布の合成された分布形を示したが、これは、道路側で大きな値、水田側で小さな値を示すためであった。

5. 謝辞

本研究をまとめるにあたり有益な御教示を頂いた九州農業試験場根岸久雄部長、原喬室長、白谷栄作技官、研究実施にあたり多大な御協力を頂いた田中国枝、三根範俊（現在、五洋建設）各氏に心から謝意を表します。

引用文献

- 1) 東山 勇：農地土壌のサンプリングに関する基礎研究(XII)，農土論集，36，74~77 (1971)
- 2) 農林水産技術会議：稲麦を主体とする合理的作付け体系の確立に関する研究，推進会議資料，pp. 298~302 (1978)
- 3) 土の理工学性実験ガイド編集委員会：土の理工学性実験ガイド，農土学会，pp. 72~76 (1983)
- 4) 土質試験法改訂編集委員会：土質試験法，土質学会，pp. 36~61 (1979)
- 5) 同上 pp. 158~171
- 6) 土壌物理性測定委員会：土壌物理性測定法，養賢堂，pp. 177~182 (1972)
- 7) 同上 pp. 385~391
- 8) Hillel. D: Applications of Soil Physics, Academic Press., pp. 391~341 (1980)
(1985. 5. 13受理)

Summary

The investigation into the variability of ten parameters of soil physical condition was carried out on a rotational paddy field.

The results obtained are as follows:

1. In the plowed soil layer, significant differences existed between ridged and the unridged areas in such parameters as bulk density, macropore percent and hydraulic conductivity.
2. Significant differences existed between plowed soil and subsoil in almost all parameters in spite of similarities of soil textures.
3. Except for specific surface area and bulk density, the CV (the coefficient of variation) concerned with soil structure were larger than those concerned with soil texture.
4. When sampling area was increased, the CV for almost all parameters also increased, but the CV for bulk density and moisture content at pF 4.2 showed nearly constant values.
5. The set of observations for many parameters were normally or log-normally distributed. However the observations for many parameters were not always independent of field position.
6. The set of observations for specific surface area of plowed soil, which showed a synthesized distributions, was evidently divided into two region.