

## 1993年5月から10月までの中国瀋陽地区の 大豆畑の土壤水分変動状況について

張 玉龍・郭 玉文・加藤 誠\*・安富六郎\*\*

Some Observations on Soil Water Properties of  
Soybeans Field in SHEANYANG Area.

Chang U RONG · KAKU U Bun · Makoto KATO\* and Rokuro YASUTOMI\*\*

Faculty of Agriculture, Shenyang Agricultural University

\* Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*\* Yamazaki Research Institute

### Abstract

This report describes the change of soil water properties of SHENYANG Agricultural University Experimental Farm for 6 months, from May to October in 1993.

In order to study the properties, soil moisture suction was measured in the depth of 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm and 70 cm from ground surface at 6 : 00 PM every day.

After the soil suction in the farm was measured, soil samples were obtained in the each depth from ground surface.

Soil moisture characteristic curves were determined by soil moisture external method and the soil gravity and the soil grain size distribution were measured from the samples.

By scaling the data of each soil moisture characteristic curves, scaling factors were calculated.

The following results were obtained :

(1) The water retentivity was influenced by not only the depth but also soil properties, for examples, the grain size distribution and the dry density.

(2) Rainfall during summer in 1993 was ordinary level. Rainfall of some months were very different from the normal year.

Conditions in the soil water were very good for the growth of some vegetables in the field.

(3) The soil layer in the depth of 20cm and 30cm was very important for the vegetables growth, while it was found that the soil water supply layer under the 30 cm was also important.

(4) Soil moisture extraction pattern in the field was classified in all layer soil moisture extraction pattern.

**Key words** : Soil moisture suction, Soybeans, Scaling, Soil moisture Characteristics Curves, Soil moisture extraction pattern

### 1. はじめに

東北平野の、東経 122°25'~123°48', 北緯 41°12'~42°17'に位置し、湿润-半湿润温暖大陸性気候型に属し、モンスーンに強く影響されている。瀋陽地方は中国の重要な

図-1 に示す中国瀋陽地区は瀋陽市を中心とし、中国の

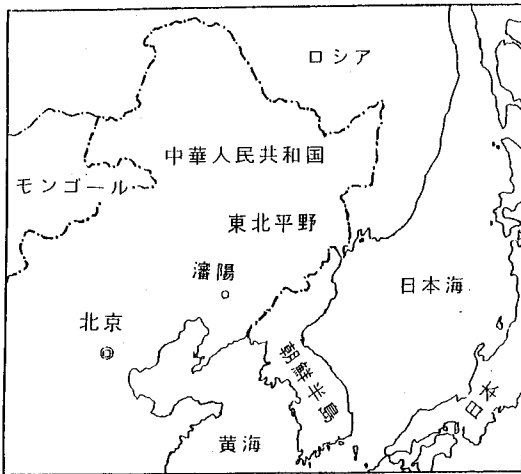


図-1 中国の瀋陽地区

Fig. 1 Location of Sheanyang area.

農業地帯として、昔から良く知られている地区である。主な作物は、トウモロコシ、コウリヤン、大豆や水稲などがある。近年来、中国では、水資源の緊迫に伴って農業用水をさらに有効的に利用し、農地の生産性を一段とアップするように努力しているところである。この要求に応じて、1993年5月から10月の間、この地域の大豆畑の土壌水分の変動状況を調べ、その土壌の保水性、土壌水分特性曲線の空間変動性と、圃場土壌の水分供給の特徴について検討した。1993年の春から秋にかけて、降雨の様子から、異常気象と思われていたが、干ばつから好運なことにも免れることができた。その時の土壌水分変動のデータが得られたのでここに紹介する。この種の研究は竹中(1964)もおこなっている<sup>1)</sup>。

## 2. 実験方法

試験地は瀋陽農業大学附属農場の畑に設け、土壌は沖積土である。作付け作物は大豆であり、5月10日に種を蒔き、9月24日に収穫した。土壌水分のサクシジョンの変化の測定にはU型水銀柱式テンションメーターを使用した。テンションメーターのポーラスカップを10cm, 20cm, 30cm, 50cm, と70cmの深さに埋設し、それぞれの深度における土壌水分のサクシジョンを測定した。

測定は、1993年5月23日から1993年10月13日まで、毎日午後6時に水銀柱の読みを記録した。また、日降雨量をもあわせて測定した。そして、圃場における土壌水分サクシジョンの測定が終了した後、テンションメーターの素焼きカップの近傍において100cm<sup>3</sup>のコアサンプラーで同一深さに毎に各三個の土壌試料を採取した。その土壌試料を減圧脱気飽和处理の後、吸引法と加圧板法

で脱水過程の土壌水分特性曲線を求めた。

サクシジョンの測定範囲は0~100KPaである。その後、サンプラー中の土壌を取り出し、乾燥密度や粒度組成などの基本的物理性を測定した。粒度組成の測定にはピベット法を使用した。

## 3. 実験結果

実験地の土壌の主な物理的性質を表-1に示した。表-1から分かるように、各層から採取した十五個の試料の粒度に差がみられる。10cm, 20cmと30cmの深さの試料は比較的同じ粒度組成を示している。50cmの深さの試料は他の試料より粒径0.02-0.25mmの細砂分とそれ以下では粘土分がやや少なくなり、粒径0.02-1.0mmの砂分が多くなっている。

一方、70cmの深さの試料は他の試料と比べると、粒径>1.0mmの砂分は全くなく、粒径1.0-0.25mmの砂分はわずかで、0.05-0.25mmの細砂分が多くなっている。70cmの深さの試料の内、十四番の試料は粘土分を多く有し、全部の試料の乾燥密度は最大が1.58g/cm<sup>3</sup>、最小が1.18g/cm<sup>3</sup>と変動幅が大きい。各層の平均値と深度別に乾燥密度を比較すると、深度70cm>深度30cm>深度50cm>深度10cm>深度20cmの順になっている。

土壌の有機物含有量はその含有量の高い層として深度10cm, 20cm, 50cmのグループと、低い層として深度30cm, 70cmのグループに分けられる。

ここで述べた土壌の物理的性質のプロフィールの差は沖積母材に関してもたらされたものと考えている。例えば、沖積の過程における母材の粒度や乾燥密度などは水の流れに影響され、大きく影響をもたらすものであるからである。

また、測定期間中のサクシジョンと日降雨量の測定結果を図-2に示した。

## 4. 考 察

### 1. スケーリング係数から見た土壌の保水性

測定された土壌水分特性曲線のデータはその曲線を表す各種の推定式の中から式(1)が良い近似を示すことを松川ら(1983)、張ら(1993)は前の研究で報告した<sup>3)</sup>。

$$S = [1 + (ah)^n]^{-m} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、Sは土壌水分飽和度、 $S = \theta/\theta_s$ 、 $\theta$ と $\theta_s$ はそれぞれ土壌水分含量(cm<sup>3</sup>・cm<sup>-3</sup>)と飽和土壌水分含量(cm<sup>3</sup>・cm<sup>-3</sup>)であり、hは土壌水分サクシジョン(Mpa)、a, n, mは定数である。ここで得た十五個の試料の定数や飽和体積含水率を表-2に示した。

表-2より各試料の水分特性曲線の土壌含水率の実測

表-1 土壌試料の物理的性質  
Table 1 Soil physical properties

土層深 (cm)	試 料	粒 度 組 成 (mm, %)					乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	有 機 物 (%)
		>1.0	1.0-0.25	0.25-0.02	0.02-0.002	<0.002		
10	1	2.2	12.7	47.4	20.5	17.2	1.31	2.17
	2	3.9	11.7	44.4	20.3	19.7	1.26	2.39
	3	4.5	13.6	46.8	19.7	15.4	1.40	1.68
20	4	3.1	12.5	46.9	20.5	17.0	1.32	2.65
	5	5.7	12.6	43.5	19.8	18.4	1.18	2.37
	6	3.3	12.4	46.7	20.4	17.2	1.29	2.73
30	7	6.9	14.2	42.4	20.5	16.2	1.39	1.36
	8	3.6	16.3	43.9	19.2	17.0	1.50	1.63
	9	8.9	13.3	40.7	20.4	16.7	1.58	1.48
50	10	5.3	20.5	40.8	20.4	13.0	1.37	2.60
	11	8.9	17.7	38.4	22.0	13.0	1.51	2.15
	12	4.9	17.7	43.9	19.4	14.1	1.44	1.48
70	13	0.0	6.9	57.7	20.6	14.8	1.57	1.61
	14	0.0	3.6	42.7	31.3	22.4	1.50	1.36
	15	0.0	6.3	57.5	23.0	13.2	1.58	1.56

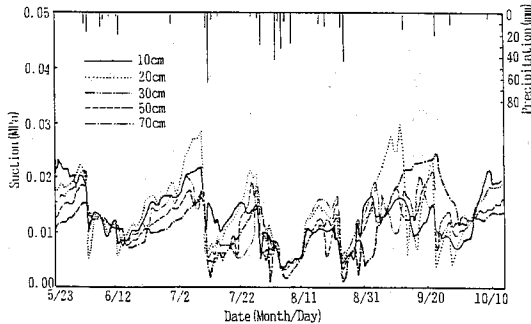


図-2 1993年の5月から10月までの中国瀋陽地区におけるサクションと日降雨量の観察データ

Fig. 2 Suction and the rainfall in Sheanyang area from May to October in 1993.

値と、推定式による推定値との相関係数がすべて0.99以上に達していることから、式(1)が良い近似効果を持っていることが分かる。

表-2に示したように土壌水分曲線の推定式の定数は、試料により著しく異なり、定数 a, n, m と、表-1の土壌の物理的性質のデータとの関係に対する相関分析を行った。それらの相関関係は一応直線型と推定し、得られた結果の一例を表-3に示した。表-3より土壌の乾燥密度、飽和土壌含水率と定数 a, n との相関係数が、粒径 >0.25

mmの砂の含量と定数 m との相関係数がそれぞれ1%または5%有意水準に達し、すなわち乾燥密度、飽和含水率 > 25 mm 砂の含有量が土壌水分特性曲線の形状を決定する要因であるとの結果を得た。定数 a, n, m と有機物含有量や他の粒度分との相関性を検討した結果、相関係数はすべて5%の有意水準に達していなかった。

この相関分析の結果、各深度毎の試料 a, n, m が異なることより推察して、土壌水分特性曲線は、深度の間のみならず同じ深度の間でも異なっていることより、空間変動性を有することがわかる。

そのため、土壌水分特性曲線を灌漑計画などに持ち込もうとする時、統一的な手法で妥当性のある土壌水分特性曲線を決定する必要がある。

そこで、測定した各深度毎の土壌水分特性曲線にスケールング技法を適用して、各深度毎のスケールング土壌水分特性曲線を求めた。

表-4にスケールング土壌水分曲線の推定式とスケールング係数を示した<sup>3)</sup>。表中の  $\alpha$  は各深度毎の試料から得られたスケールング係数である。

表-4の土壌水分特性曲線の推定式を使用して、求めた各深度毎の土層のスケールング土壌水分特性曲線を図-3(a), (b)に示した。ただし、図-3(b)は横軸の土壌含水率は各土層のスケールング土壌水分特性曲線の推定式より計算された飽和度とその三個の試料の飽和土壌含水

表-2 供試土壌の水分特性曲線の推定式の係数

Table 2 Coefficients of estimated soil-moisture characteristic curves on test pieces

土層深 (cm)	試料	推定式の定数			$\theta_s$	$r^{(a)}$
		a	n	m		
10	1	2708.693	6.4853	0.0189	0.4627	0.994
	2	5345.081	14.4877	0.0072	0.4640	0.991
	3	2573.297	7.4188	0.0159	0.4388	0.991
20	4	1945.042	5.1759	0.0175	0.4183	0.999
	5	5496.365	14.4895	0.0078	0.4640	0.994
	6	2647.218	6.2532	0.0152	0.4490	0.996
30	7	3466.202	10.3124	0.0111	0.4305	0.996
	8	1946.406	5.2510	0.0206	0.4155	0.999
	9	1534.999	4.8401	0.0179	0.3827	1.000
50	10	1295.515	4.8412	0.0296	0.4513	0.996
	11	1994.229	5.8374	0.0248	0.4385	0.999
	12	1282.591	4.6121	0.0274	0.4221	1.000
70	13	1775.334	4.9419	0.0150	0.4031	1.000
	17	1962.267	5.5483	0.0122	0.4132	0.997
	15	2879.008	7.5127	0.0094	0.3863	0.997

a) 土壌含水率の実施値と推定式による推定値との相関係数である (n=11)。

表-3 a, n, m と土壌の物理性との相関係数

Table 3 Coefficients of correlation with parameters "a, n, m" and physical properties

	a	n	m
乾燥密度	-0.649**	-0.624*	0.229
飽和土壌含水率	0.542*	0.533*	-0.006
>0.25 mm 砂分	-0.113	-0.021	0.608*

\*\* は 1% 有意水準, \* は 5% 有意水準である。

率の平均値との積として得られた図である。

次にスケールリング土壌水分特性曲線を各深度の土層の土壌水分特性曲線としてその保水性を考察する。

図-3によると、深度が70 cmの土層から採取した試料の土壌水分特性曲線からは、サクションの変化に対し、他の試料と比較して、飽和度や土壌水分の変化が少ないことを示している。

同一のサクションに対する土壌の飽和度または含水率は、採取深度が70 cmの試料が一番大きく、採取深度が50 cmの試料が一番小さい。

サクションが100 KPaにおいて試料深度70 cmと50 cmの飽和度は、それぞれ68.2%と49.2%で、平均飽和含水率で換算して得た体積含水率は、27.3%と21.0%で

ある。すると、その他の試料の土壌水分特性曲線は、深度70 cmと50 cmの試料の土壌水分特性曲線の間にあるが、その順位は飽和度をもとにした曲線と含水率をもとにした曲線と異なっている。これは飽和含水率が大きい試料は必ずしも土壌水分特性曲線の勾配が緩くないことを示している。

一方、試料の深度が異なるばかりではなく、同じ土層深さの三個の試料の土壌水分特性曲線のスケールリング係数が異なっていることより、土壌水分特性曲線は、かなり異なる形状となることが予測される。三個のスケールリング係数の差が最大となる試料は深度20 cmの試料であり、次は、深度30 cmの試料で、深度10 cmの三個の試料のスケールリング係数の差が一番小さいことより、揃っている試料と考えても良い。このようなことから、土壌水分特性曲線をもとに土壌の保水性を考慮した灌漑計画を行う場合、土壌の三次元的に広がる土壌水分特性の変動性を考慮することが必要であると考えられる。このような空間変動性の処理には、通常、多くのデータからスケールリング係数の統計学的な平均値を取り出し、一般化する方法が取られる。最近では、コンピューターのめざましい発達のため、土壌調査を小区画毎に多数実施し、そのデータをもとにスケールリング土壌水分曲線を精度良く求められるので、妥当性のある小区画毎の灌漑水量の

表-4 層別に求めたスケーリング土壤水分特性曲線  
**Table 4** Scaling soil-moisture characteristic curves with soil layers

土層 (cm)	推 定 式	試 料	$\alpha$
10	$S = [1 + (3.748 h)^{10.3019}]^{-0.0108}$	1	1.0721
		2	1.0562
		3	0.8717
20	$S = [1 + (4.800 h)^{8.5287}]^{-0.0114}$	4	0.3497
		5	2.1249
		6	0.5253
30	$S = [1 + (2.684 h)^{6.0895}]^{-0.0170}$	7	1.7664
		8	0.8638
		9	0.3698
40	$S = [1 + (1.849 h)^{4.7962}]^{-0.0293}$	10	0.9206
		11	1.4230
		12	0.6564
50	$S = [1 + (2.006 h)^{5.2390}]^{-0.0138}$	13	0.9560
		14	0.7824
		16	1.2616

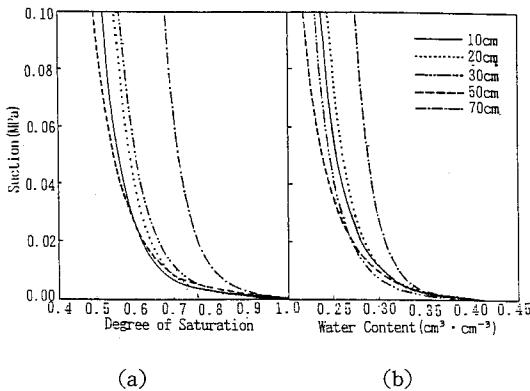


図-3 スケーリング後の土壤水分特性曲線

Fig. 3 Soil-moisture characteristic curves after scaling.

見積りが容易となると思われる。

2. 圃場の土壤水分の変化

土壤中の水分のサクシオンは、土壤表面蒸発と蒸発散と降雨に影響される。観測期間中には深度 10 cm の土層では、4~23 KPa に、深度 20 cm では、3.7~30 KPa に、深度 30 cm では、3.8~21.5 KPa に、深度 50 cm では、3~21.3 KPa に、深度 70 cm では、0.7~24.5 KPa の範囲に変化した。

スケーリング係数と表-4 に示された土壤水分特性曲線の式より、これらの土壤水分サクシオンを飽和度に換

表-5 中国瀋陽地区における5~9月の降雨量 (mm)  
**Table 5** Rainfall from May to September in Sheyang area

年 度	5月	6月	7月	8月	9月
1961~1984年平均	55.9	85.1	167.7	155.2	71.3
1993年	18.4	98.2	136.2	213.3	48.7

算すれば、それぞれ深度 10 cm では、0.751~0.604、20 cm では、0.837~0.573、30 cm では、0.872~0.620、50 cm では、0.860~0.585、深度 70 cm では、0.988~0.742 となっている。

中国瀋陽地区は大陸性気候型で、四季が顕著に現れ、夏に降雨が集中している。表-5 に 1993 年 5 月から 9 月までの降雨量と 1961 年から 1984 年までの 24 年間の同時期の降雨量を示した。1993 年の降雨の状況について地元では、異常気象であると思われていたが、月別の降雨量は表-5 に示したように 5 月は明らかに平年の降雨量より少なかったに対して、8 月には多かったことが分かった。

この地区では春には雨が少なく、土壤水分の不足のため、種の発芽に影響がしばしば発生するが、1993 年にはこのような異常現象は経験されていない。

一般的に pF 1.5 から 2.0 (土壤水分サクシオンは 3 から 10 KPa に相当する) における圃場容水量、pF 2.7

から3.0 (土壌水分サクシオンは50から100 KPaに相当する) における土壌含水量を作物生長が容易となる土壌水分量、すなわち毛管連絡切断含水量とすれば、土壌水分を観測した期間では、二週間程度降雨がなかったにも係わらず土壌水分サクシオンの最大値は、30 KPa程度であり、このような雨の少ない異常気象と思われた年においても、干ばつの被害は発生しなかった。

これは、経験的にも、この地域においては古くから畑地灌漑を行わなくても農業を行うことができたと言われていることから考えられることである。

また、図-2に示したように、五月下旬と、九月の末から十月十五日まで、深度10 cmの土壌水分サクシオンがその下層部のサクシオンより大きかった。それ以外の期間では下の土層よりも小さい時が多かった。これは六月の始めから大豆の葉が繁り、株が大きく生長し、地表面は葉で覆われていたからである。深度別に五層にわたり土壌水分サクシオンを測定したが、深度20 cmの土壌水分サクシオンの変動が一番激しく、その幅も大きかった。その次には30 cmの深度で変動が大きかった。この現象は、植物の根群が主に20から30 cmの深さに集中し、作物の吸水により土壌水分を消費したものとされる。この深度の土層は作物にとって、主要な給水層であると見なしでも良いと考える。

また、図-2から作物生育期間中では、深度70 cm程度の深さまでの土壌水分サクシオンも周期的に大きく変動していることが分かった。これは大豆の根系が直接に吸水することと、下層からの土層への毛管補給によって作物根から吸水されたもので、深度70 cm程度の土層からでも作物が消費する水の重要な供給源であることを示していると思われる。

このようなことから、この試験圃場の土壌水分消費性は、山崎ら(1977)の分類によれば全層消費型に属するものであると考える<sup>9)</sup>。

## 5. 結 論

1993年5月から10月にかけて中国瀋陽地区の大豆畑の土壌水分の変化の動態を観察した。そして、次のようなことが分かった。

(1) 沖積土の試験地の土壌の保水性は、土層の深度だけでなく、同一深度の土層においても変動性を持ち、試料の粒度や乾燥密度などの物理性によってその土壌水分特性曲線が変わる。

(2) 1993年の夏の降雨は例年に比較すれば、総雨量はあまり大きな差はなかったが、月別の雨量は著しく異なっていた。しかし、観測期間中における、土壌水分の状況は、大豆などの畑作物の生育にとって十分な降雨量

であった。

(3) 主な作物生育期間中は、深度が20から30 cmの土層は、作物に対し、重要な水分の供給層となっている。さらに、70 cmの深さの土層の水までも重要な給水源となっていることが分かった。

## 6. おわりに

灌漑計画を立てるとき、計画水分量を適切に見積もらなければならない。すると、その地区の土壌供試体の持つ土壌水分曲線を測定し、作付けされる作物が必要とする水分環境としての土壌水分の関係から計画用水量が見積られる。

本研究の結果、土壌水分特性曲線の変動は、水平方向のみならず、深度方向にも変動することがデータで示すことができた。また、作物の適切な栽培条件を把握した灌漑計画を立てるためには、土壌水分曲線の土壌中の変動のみならず、気象の条件が大きく影響をもたらす。しかし、最近では、異常気象という言葉が頻繁に聞かれる。1993年の瀋陽地区においてもそのような異常気象であったと思われる。しかし、本研究において、我々の実験圃場で大豆の生育と土壌水分に関する研究を始めたところ異常気象にも係わらず、土壌水分が作物の根域より下層からの水分補給が円滑に行われ、干ばつの被害を免れたことを知ることができた。農業にとて、気温や降雨量などの観測データは重要なデータには違い無いが、このような土壌水分の観測データは、作物栽培にとって最も直接的なデータであり、灌漑計画においては、そのデータの集積をおこない、土壌水分環境の把握が重要なことと考える。

## 参 考 文 献

- 1) 竹中 肇 (1964): 畑地における土壌水分張力と含水量の関係, 日本土壌肥科学雑誌, 第35巻, 第7号, 260~264.
- 2) 松川 進・相馬恒一 (1983): 土壌水分特性曲線(脱水分曲線)を表す新たな実験式, 農業土木学会 論文集, No. 104, 31~38.
- 3) 張 玉龍・加藤 誠・安富六郎 (1993): 土壌水分特性曲線のスケールングにおける推定式の評価, 農業土木学会論文集, No. 164, 11~19.
- 4) 張忠 源ら (1989): 瀋陽土壌, 中国遼寧科学技術出版社, 9~18.
- 5) 山崎不二夫 (1977): 農地工学 (下), 東京大学出版会, 409~415.

(受稿年月日 1995年4月6日)  
(受理年月日 1996年1月10日)