



# ブラジル農業研究協力プロジェクト 研究報告書(その3)

JICA LIBRARY



1025216C13

1983年12月

国際協力事業団  
農業開発協力部

国際協力事業団	
受入 月日 '84. 5. 18	763
	867
登録No. 10302	ADT

## は じ め に

本プロジェクトは「技術協力に関する日本国政府とブラジル連邦共和国政府との間の基本協定」（昭和45年9月22日署名）、第2条に基づき締結された「ブラジルにおける農業研究協力に関する日本国政府とブラジル連邦共和国政府との取極」（昭和52年9月30日署名）により当初5か年間の協力として発足し、その後ブラジル側の要請に基づき年間の延長が合意され、昭和60年9月29日までの予定で協力が進められている。

本プロジェクトの目的は、ブラジルのセラード地域における農業生産技術システム確立に必要な研究に対する協力を実施するもので、これまでに日本から第1次長期専門家として6名、第2次6名、又短期専門家8名を派遣しており、現在第3次として7名の長期専門家が研究をつづけている。

本報告書は、昭和56年12月1日から昭和58年12月30日までに派遣された短期専門家6名の研究報告書を取りまとめたものである。先に印刷された第1次長期専門家研究報告書（1981年1月、農開技J R 8 1 - 2 4）及び短期専門家報告書（1981年12月、農開技J R 8 2 - 1）とあわせ広くご利用いただければ幸いである。

昭和58年12月

国 際 協 力 事 業 団  
農 業 開 発 協 力 部 長  
田 内 堯



昭和56年12月1日から昭和57年11月30日までに派遣された  
短期専門家（農業研究分野のみ）一覧

分野	氏名	派遣期間	赴任時現職
土壌物理	久保田 徹	1981 12 4 ~1982 3 3	農林水産省中国農業試験場 環境部土壌肥料第2研究室
生物的防除 (昆虫)	村上 陽三	1982 1 8 ~1982 3 7	九州大学農学部付属生物的防除 研究施設
植物病理	島 貫 忠 幸	1982 3 18 ~1982 6 17	農林水産省草地試験場 病理研究室
土壌排水	古 畑 哲	1982 6 14 ~1982 8 31	農林水産省農業環境技術研究所 化学部土壌第3課土性第2研究室
農業気象	桜 谷 哲 夫	1982 6 14 ~1982 8 31	農林水産省九州農業試験場 畑作部気象災害研究室
植物栄養	安 藤 忠 男	1982 7 2 ~1982 9 16	広島大学生物生産学部生産基礎学 講座植物環境分析学研究室
リモート センシング	安 田 嘉 純	1982 3 19 ~1982 4 14	千葉大学工学部天然色工学 研究施設



# 目 次

## はじめに

1	Final Report Submitted to CPAC-Physical Properties of Cerrado Soils and their changes caused by cultivation of arable crops Toru KUBOTA .....	1
2	セラードの農業開発と研究協力 久保田 徹 .....	35
3	セラードオキシソルの圧密層によるダイズ根の伸長阻害 久保田 徹 .....	38
4	セラードの柑橘園におけるカイガラムシとアブラムシの寄生蜂(予報) 村 上 陽 三 .....	45
5	Identification of species and races to the causal agent of Stylosanthes Anthracnose in Brazil Tadayuki SHIMANUKI .....	57
6	ブラジルにおける Stylosanthes 炭そ病菌の種と寄生性の分化について 島 貫 忠 幸 .....	63
7	Soil moisture change during the dry season on the Varzea of CPAC field Akira FURUHATA .....	85
8	CPAC圃場のバルゼアにおける乾期の土壌水分の動態 古 畑 哲 .....	111
9	Final Report Submitted to CPAC Tetsuo SAKURATANI .....	121
(1)	Method for Estimating Potencial Evapotranspiration from Climatic Data in Cerrados .....	123
(2)	Measurements of Leaf Temperature of Weat in the Field .....	155
10	X-ray Fluorescence Spectrometry of the Cerrad Soils Tadao ANDO .....	159
11	Application of Remote Sensing on Cerrado Regional Evaluation Yoshizumi YASUDA .....	209
12	リモート・センシングの情報を“加工”する 安田 嘉純 .....	237



Final Report  
submitted to CPAC  
from  
Toru Kubota  
JICA Short Term Expert  
in Soil Physics  
(Feb., 26, 1982)

Contents

1. Report on "Physical properties of Cerrado soil and their changes caused by cultivation of arable crops" .....
2. Research Recommendation .....
3. Laboratory Manual .....
4. List of parts of apparatus to be purchased for Soil Physics Laboratory .....
5. Research diary .....

10/10/10

Physical properties of Cerrado soils and their changes  
caused by cultivation of arable crops

Toru Kubota

Joaquim Luiz Castelo Branco

I. Introduction

For the successful cultivation of Cerrado soil into annual arable crops such as soybean, maize or upland rice, improvement of chemical properties of soil and efficient use of soil water are essentially important. Therefore several studies on how to extend plant available soil depth by diminishing aluminum toxicity have been carried out 1). From these studies it was found that deep application of lime or phosphoric fertilizers and the choice of sulfur-carrying amendment materials are effective in obtaining deep penetration of crop roots and consequently in lessening susceptibility of "veranico" damages. These provide useful bases for cultivation practice in Cerrado agriculture. Nevertheless there has been lack of data on physical properties concerned with veranico countermeasures.

Latosol, a major great soil group of Cerrado soils, has been believed to possess good physical properties because of its granular structure, or loamy texture in the field, and its good drainage. These properties suit tillage operation by tractors. However, the soil lacks in stable large structure characteristically due to its low active clay and abundant sesquioxides. This nature may influence the growth of crops to appreciable degrees, and evaluation of this aspect is necessary for the establishment of soil management. †

The purpose of the present study is to investigate physical properties of Cerrado soils and their possible alteration due to continuous cultivation.

II. Methods

1. Sampling sites

1) São Gotardo, Minas Gerais (Jan. 14, 1982)

A field ..... Natural Cerrado vegetation. .

B field ..... Conventional cultivation of soybean for 8 years.

C field ..... Conventional cultivation for 4 years followed by direct planting for 4 years of soybean.

2) Souza Lima, Goiás (Jan. 26, 1982)

D field ..... Conventional cultivation of soybean for 8 years.

E field ..... Conventional cultivation of soybean for 4 years.

3) CPAC, Brasília

F field ..... Natural Cerrado vegetation, Chapada, Red-Yellow Latosol  
(Dec. 30, 1981)

G field ..... Conventional cultivation of soybean for 4 years.  
Chapada, Red-Yellow Latosol (Feb. 3, 1982)

H field ..... Conventional cultivation of maize of 8 years, Cerradon,  
Dark Red Latosol (Feb. 12, 1982)

2. Soil profile observation and sampling methods

Soil pits with one meter depth were prepared. The soil profiles were differentiated into five to seven layers or horizons based on pedogenic characteristics and on difference in compactness of soil. Immediately after digging the pit, undisturbed soil core samples were taken into cylindrical metallic tins with 100 cm<sup>3</sup> in volume (20 cm<sup>2</sup> x 5 cm) by using a core sampler. Twelve soil cores were collected from one layer.

Careful observation of the root growth and hardness of soil was made for the profile.

3. Analytical procedures

1) Moisture content and bulk density of soil

The moisture content and bulk density of soil were determined gravimetrically with three replication.

2) Air permeability coefficient of soil

For the same core samples served for the bulk density determination, air permeability coefficient was measured by the Air Permeability Measurement Apparatus (DAIKI Gasometer), following the procedure described in the Laboratory Manual in the present report.

3) Mechanical impedance of soil under equilibrium with pF 3.0 moisture tension.

Saturated core samples with three replication were equilibrated with moisture tension at pF 3.0 by using the Pressure Plate Apparatus (DAIKI 350). The operation procedure of the apparatus was described in the

Laboratory Manual. For Cerrado soils 24 hours of the pressure loading was suitable to obtain the equilibrium. After equilibrated, core samples were taken out from the apparatus and mechanical impedance of soil at the bottom surface of the core was measured by using the YAMANAKA Soil Hardness Meter. Two or three reading of the meter were capable per one core sample.

4) Three phase volume of soil

Volumes of solid, water and air phases of soil were determined with two replications by using the Three Phase Volume Meter (DAIKI 100), following the procedure described in the Laboratory Manual.

5) Moisture retention characteristics of soil.

pF 0 ~ pF 2.0 (10 ~ 100 cm H<sub>2</sub>O)

Saturated core samples were placed on porous ceramic plates of the Low-Suction Moisture Determination Apparatus (IKEDA T-6). After operating suction with 10 cm H<sub>2</sub>O in height for 7 to 12 hours, the volume of squeezed water from the soil sample was recorded volumetrically. The suctions of 32 cm H<sub>2</sub>O and 100 cm H<sub>2</sub>O were given successively and volumes of each squeezed water were recorded. For Cerrado soils loading of the suction for seven hours was enough to obtain the equilibrium.

By adding these components of soil water to the moisture content of soil at pF 2.0 (7.4 cm Hg) which was determined by using the Pressure Plate Apparatus moisture contents by volume at pF 0, pF 1.0 and pF 1.5 were obtained.

pF 2.0 ~ pF 3.0 (7.4 cm Hg ~ 74 cm Hg)

After finishing the determination of moisture at pF 0 ~ pF 1.5, the same soil cores were saturated with water and transferred to the Pressure Plate Apparatus. Moisture contents at pF 2.0, pF 2.7 (37 cm Hg) and pF 3.0 (74 cm Hg) were determined gravimetrically by using the apparatus.

pF 4.0 ~ pF 4.2 (10 atm. ~ 15 atm.)                      afbfea

After finishing pF 3.0 determination, the same samples were centrifuged to obtain the moisture contents at pF 4.0 and pF 4.2.

6) Twenty grams of fresh soil and 50 ml of water were put in 100 ml volumetric cylinder. After shaking vigorously twenty times by hand, the cylinder was placed on the table. After 7 to 12 hours standing the

volume of soil sediments was measured. For the fresh soil, moisture contents were determined at the same time.

Sedimentation volume was expressed by volume (cc) per 1 g dry soil.

### III. Results and discussions

#### 1. Physical properties of soils under natural vegetation

##### 1) CPAC Chapada soil

Analytical data of Chapada soils with different depth are shown in Table 1 ~ 3.10 and Fig. 2.

Chapada soils under natural vegetation had characteristically low bulk densities, ranging from 0.85 to 1.06 g/cm<sup>3</sup>. They were especially low in cultivated layer soil and deep subsoil. They had high contents of non-available pores (smaller than pF 4.2), 20 ~ 26% in volume, and also high contents of non-capillary pores (larger than pF 2.0) except for the compact layer soil. Thus available pores (pF 2.0 ~ pF 4.2) were comparatively low, being 8 to 10% in volume. The available moisture storage capacity of soil per 1 m deep soil amounted to 87.3 mm/m.

In the field observation a compact layer with high mechanical impedance was found at the depth from 20 cm to 40 cm. Because soil hardness is dependent on soil moisture, it is desirable to measure soil hardness at a constant moisture tension. In this study mechanical impedances at

3.0 tension which occurs frequently in the field condition were measured in the laboratory. The results showed the existence of a distinct compact layer in the soil profile. The maximum impedance was 22 kg/cm<sup>2</sup>, which exceeded the critical value to impede the root penetration of ordinary arable crops.

Matric potentials of soil moisture in terms of pF in the field condition are shown in Table 1. The vertical difference of matric potentials in the soil profile suggested that the plant roots might uptake soil water vigorously at the soil depth from 30 to 40 cm and soil water might be moving to this layer both from upper and lower horizons. Because the potential changed abruptly at this layer, it was also considered that this layer possesses comparatively low water conductivity.

Air permeability coefficient K of soil varied from 0.2 cm/sec to 2 cm/sec and was closely related with bulk density of soil.

## 2) São Gotardo soil

Analytical data of São Gotardo soil under natural vegetation are shown in Tables 4 ~ 7, and Fig. 1.

Bulk densities of the soils were low, ranging from 0.85 to 0.96.

Characteristics of soil porosity was generally similar to that of CPAC Chapada soil. A distinct compact layer was not observed in this soil. However, examination of mechanical impedance at pF 3.0 indicated that there was a slightly compact layer at the depth between 25 to 40 cm.

Vertical distribution of soil moisture potentials in the profile was rather even, indicating the smooth movement of soil water in the profile.

## 2. Physical properties of continuously cultivated soil

### 1) São Gotardo soil under soybean cultivation

Physical properties of São Gotardo cultivated soil are shown in Tables 4 ~ 7 and Fig. 1.

As shown in the tables and Fig. 1, the existence of distinct compressed layer at the subsurface horizon was observed both in the field under conventional cultivation for 8 years and in the field under 4 years conventional cultivation followed by 4 years direct planting of soybean. Correspondingly, soybean roots were observed to be plenty in top soil, very few in the compressed subsurface soil, and a few in the subsoil from 50 to 60 cm in depth.

The compressed layer soil exerted mechanical impedance enough to impede the root growth when the moisture content was at pF 3.0. Conventional cultivation seemed more effective and detrimental in soil compressibility compared with direct planting. However, direct planting tended to produce the compressed layer at comparatively shallow position and the root growth was rather restricted in the surface soil.

Pattern of matric potential distribution of soil water in the field C suggested that there was vigorous water uptake by soybean in top soil, and also the appreciable degrees of water uptake in the soil at around 50 cm depth, which corresponded well to the distribution of the roots of soybean.

2) Souza Lima soil under soybean cultivation

In the survey of Souza Lima the comparison of soil physical properties was made between D field which had been nearly free from the veranico damage in 1981 and E field which had been suffered from the severe damage. Both fields located adjacently each other.

In the profile observation it was recognized that D field had been cultivated deeply, nearly up to 25 cm or more whereas E field had been cultivated shallowly.

Both soils had distinct compressed layers beneath the cultivated soils (Table 9). The available moisture storage capacity did not differ much each other, being 110.8 mm/m in D field and 121.5 mm/m in F field.

3) CPAC Chapada under soybean cultivation

As shown in Table 3, Chapada soil under soybean cultivation for 4 years by conventional practices was observed to have a distinct compressed layer.

4) CPAC Cerradon under maize cultivation

As shown in Table 3, Cerradon soil under maize cultivation for 8 years had not a compressed layer to impede critically the root penetration. Considerable amounts of maize roots were observed in the soil below 40 cm in depth.

Soybean is known to be sensitive to soil structure. This is probably due to high demand of oxygen by rhizobium as well as its root ecology. In the reports by Kawasaki et. al. 3) and Iwata et. al. 2), roots of soybean grown on Terra Roxa penetrated deeply with deep distribution of rhizobium, and vice versa in those grown on Cerrado soil.

Where a compressed subsurface layer exists, the root may be penetrable only when soil is wet. Thus depletion of soil moisture become quite adverse not only as water shortage to the crop but also for extension of the root zone itself. Moreover, as shown in Table 7, air permeability of soil was reduced greatly by wet moisture conditions, especially in the compressed subsurface layer soil. It is highly probable that shallow distribution of roots and rhizobium of soybean often observed on Cerrado soils may have been caused by soil structural properties as well as some chemical properties. Countermeasures against the soil compression will be necessary.

In the present study, compact soil layers were observed even in the virgin land. Assumably it might have been formed irreversibly by soil desiccation by plant uptake of water under natural vegetation during the dry season. This process seemed possible in Latosol which lacks in swelling properties. The existence of originally formed compact layers may affect soil productivity when the land is brought into cultivation. Deep plowing can be expected to be beneficial not only for amendment of soil chemical properties but also for improvement of soil structural properties.

It was consistently observed that available moisture holding capacity was higher in cultivated layer soil than other parts of soil in the horizon, showing the favorable effect of organic matter on soil porosity. Especially high value of available moisture holding capacity was observed in top soil under direct planting of soybean (field C) where slight accumulation of organic matter was observed at the surface. On the whole cultivation had not brought about soil structural depletion in top soils.

There have been many studies on "the maturing process of upland soil" caused by cultivation in Japan. The main processes are 1) morphological changes in humus, 2) changes in colloid chemical properties from hydrophobic to hydrophilic properties according to the processes 1) and adsorption of acidoid added by cultivation, and 3) consequent increase in sedimentation volume of soil.

In this studies sedimentation volume of soil was tested for Chapada soil under 4th year cultivation. As shown in Table 10, the sedimentation volume was rather reduced by continuous cultivation. However it was observed that coarse soil granules which are abundant in virgin soil had turned into finer particles by cultivation, resulting in the volume reduction. This fact and darker color of cultivated soil may be indicative of acquirement of hydrophilic properties by soil through cultivation. It was presumed that soil might become more erodible for a certain period after cultivation of virgin lands. Cares should be taken for this aspect in the arable cropping in Cerrado.

#### IV. Summary

Physical properties of Cerrado soil and their alteration caused by continuous cultivation of arable crops were investigated.

CPAC Chapada virgin soil was observed to have a compact layer in the soil profile so as to affect the root growth of arable crops when brought into cultivation.

Among six sites surveyed of continuously cultivated fields, five possessed compressed subsurface layers which may impede the root growth of soybean when the soil moisture conditions were at the tension of pF 3.0. Countermeasures for the structural degradation of soil by tillage are necessary.

Table 1. Physical properties of Chapada virgin soil

Soil depth (cm)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Air permeability (cm/sec)	Avail. moist. holding capacity (vol. %)	Avail. moist. storage capacity (mm/m)	Moist. cont. int the field (vol. %)	Matrix potential in the field (pF)
0 ~ 10	0.85	2.6	10.5		39.2	1.53
10 ~ 20	0.93	2.0	9.3	87.3	34.1	1.85
20 ~ 30	1.04	0.34	8.9		34.8	1.94
30 ~ 45	1.06	0.13	9.2		31.9	2.96
45 ~ 60	0.96	1.0	8.8		33.2	1.91
60 ~ 100	0.87	1.8	7.9		32.0	1.90

Table 2. Moisture retention characteristics of Chapada virgin soil

Soil depth (cm)	pF - moisture relationship (vol. %)						
	pF 1.0	1.5	2.0	2.7	3.0	4.0	4.2
0 ~ 10	55.0	39.6	33.1	29.4	28.4	24.6	22.6
10 ~ 20	48.2	36.4	33.1	30.1	28.7	25.6	23.8
20 ~ 30	44.1	39.2	34.2	31.2	29.7	27.0	25.3
30 ~ 45	47.2	40.0	35.1	32.6	31.8	27.7	25.9
45 ~ 60	52.3	46.2	30.5	26.4	25.3	22.8	21.7
60 ~ 100	53.1	44.9	28.7	24.9	24.4	21.9	20.7

Table 3. Physical properties of CPAC cultivated soil

Field	Soil depth (cm)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Avail. moist. holding capacity (vol. %)	Mechanical impedance at pF 3.0 (kg/cm <sup>2</sup> )
G	0 ~ 5	0.89	9.1	4.4
	10 ~ 15	1.00	7.3	15.0
	20 ~ 25	1.18	9.0	17.7
	30 ~ 35	0.99	6.7	16.4
	40 ~ 45	0.95	7.7	6.3
	50 ~ 60	0.97	9.5	5.5
	60 ~ 65	0.89	8.3	3.8
H	0 ~ 12	1.13	11.5	4.5
	15 ~ 20	1.10	10.9	9.2
	20 ~ 30	-	-	10.0
	30 ~ 40	1.10	8.5	7.5
	40 ~ 50	1.04	7.8	7.1
	60 ~ 70	1.03	8.6	5.1
	80 ~ 90	0.97	9.6	3.7

Table 4. Physical properties of São Gotardo Soil

	Soil depth (cm)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Air permeability K (cm/sec)	Avail. moist. hold. cap. (vol. %)	Moist. cont. in the field (vol. %)	Matric potential in the field (pF)
A	5 ~ 10	0.93	1.9	14.2	31.1	2.59
	20 ~ 25	0.96	2.1	10.6	33.2	2.29
	30 ~ 35	0.95	1.0	12.9	37.2	2.04
	50 ~ 60	0.84	3.4	12.2	33.4	2.28
	70 ~ 80	0.90	0.82	12.0	35.5	-
				(116.1 mm/m)		
B	5 ~ 15	0.89	3.2	13.8	33.8	2.69
	15 ~ 20	1.08	0.14	12.4	40.8	2.03
	20 ~ 25	1.10	0.25	10.7	39.6	2.26
	30 ~ 35	1.02	0.50	9.7	37.1	2.02
	35 ~ 40	0.96	0.77	9.8	37.2	1.93
	50 ~ 60	0.91	1.90	11.4	34.5	2.39
	80 ~ 90	0.89	1.20	12.1	35.3	2.08
				(117.6 mm/m)		
C	0 ~ 5	0.92	0.64	17.5	35.4	2.37
	10 ~ 15	1.07	0.20	12.7	38.6	2.15
	20 ~ 25	1.06	0.32	10.2	38.6	2.06
	30 ~ 35	0.99	0.68	10.0	37.4	1.90
	50 ~ 60	0.90	2.7	11.8	34.1	2.18
				(119.4 mm/m)		

Table 5. Volume % of three phase of São Gotardo Soil

A. Natural				B. Conventional tillage				C. Direct Planting			
Soil depth	Soil	Water	Air	Soil depth	Soil	Water	Air	Soil depth	Soil	Water	Air
(5 ~ 10) cm	33.6	30.6	35.8	(0 ~ 15)	32.3	32.7	35.0	(0 ~ 5)	31.9	32.7	35.4
(20 ~ 25)	33.5	33.9	32.6	(15 ~ 20)	39.1	40.0	20.9	(10 ~ 15)	37.4	37.7	24.9
(30 ~ 35)	33.6	36.0	30.4	(20 ~ 25)	36.9	37.0	26.1	(20 ~ 25)	36.7	37.3	26.0
(50 ~ 60)	31.8	34.1	34.1	(30 ~ 35)	37.0	36.6	26.4	(30 ~ 35)	34.3	36.4	29.3
(70 ~ 75)	32.2	36.9	30.9	(35 ~ 50)	34.7	37.4	27.9	(50 ~ 60)	34.1	37.2	28.7
				(50 ~ 60)	32.8	36.8	30.4				
				(80 ~ 90)	31.3	35.3	33.4				

Table 6. Moisture retention characteristics of São Gotardo Soil

	Soil depth (cm)	pF 0	pF 1.0	pF 1.5	pF 2.0	pF 2.7	pF 3.0	pF 4.0	pF 4.2
A	5 ~ 10	69.2	57.4	47.6	38.2	29.8	27.8	25.1	24.0
	20 ~ 25	63.3	58.1	45.1	35.5	30.0	28.6	26.2	24.9
	30 ~ 35	61.8	54.6	49.3	37.6	30.6	28.7	26.2	24.7
	50 ~ 60	59.0	55.5	50.4	37.8	31.9	30.0	27.0	25.6
	70 ~ 75	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0 ~ 15	61.5	58.1	50.3	38.5	33.7	32.7	26.3	24.7
	15 ~ 20	55.0	53.2	53.0	41.0	36.2	34.3	30.4	28.6
	20 ~ 25	51.0	49.8	48.6	41.2	36.9	36.0	32.2	30.5
	30 ~ 35	54.5	52.0	48.5	37.2	33.3	32.1	29.0	27.5
	35 ~ 40	57.0	55.4	46.9	35.5	31.9	30.6	27.2	25.7
	50 ~ 60	55.0	54.4	49.6	37.2	32.4	30.9	27.4	25.8
	80 ~ 90	58.8	57.8	50.2	36.0	30.1	29.0	25.5	23.9
C	0 ~ 5	67.5	65.3	58.6	40.8	30.6	29.1	24.8	23.3
	10 ~ 15	57.7	55.9	53.4	39.9	34.0	31.6	28.9	27.2
	20 ~ 25	54.3	52.7	48.7	38.9	35.3	32.9	30.4	28.7
	30 ~ 35	57.8	56.0	48.9	34.4	29.5	28.0	25.8	24.4
	50 ~ 60	60.8	58.9	52.3	35.8	29.2	27.8	25.3	24.0

Table 7. Effect of moisture condition of soil on air permeability coefficient K

	Soil (depth)	(pF 1.5)	(pF 3.0)
		cm/sec	cm/sec
B field	0 ~ 15 cm	$1.13 \times 10^{-1}$	$5.41 \times 10^{-1}$
	15 ~ 20	$6.11 \times 10^{-2}$	$1.57 \times 10^{-1}$
	20 ~ 25	$2.23 \times 10^{-2}$	$3.97 \times 10^{-1}$
	30 ~ 35	$5.49 \times 10^{-2}$	$5.91 \times 10^{-1}$
	35 ~ 40	$9.18 \times 10^{-2}$	$7.84 \times 10^{-1}$
	50 ~ 60	$4.27 \times 10^{-1}$	1.37
80 ~ 90			
C field	0 ~ 5	$8.37 \times 10^{-3}$	$2.42 \times 10^{-1}$
	10 ~ 15	$8.44 \times 10^{-3}$	$2.30 \times 10^{-1}$
	20 ~ 25	$3.64 \times 10^{-2}$	$4.13 \times 10^{-1}$
	30 ~ 35	$7.22 \times 10^{-2}$	$6.10 \times 10^{-1}$
	50 ~ 60	$5.83 \times 10^{-1}$	2.14

Table 8. Available moisture holding capacity of Souza Lima soil

D					
Soil depth	Avail. moist. holding capacity (%)	Avail. moist. storage capacity (mm/m)	Soil depth	Avail. moist. holding capacity (%)	Avail. moist. storage capacity (mm/m)
0 ~ 10 cm	13.8		0 ~ 10	13.9	
12 ~ 17	12.6	110.8 mm/m	15 ~ 20	10.7	121.5 mm/m
22 ~ 27	9.6		22 ~ 27	9.0	
32 ~ 37	10.3		32 ~ 37	10.5	
50 ~ 60	11.2		42 ~ 47	12.6	
70 ~ 80	10.3		52 ~ 57	13.6	
			80 ~	12.5	

Table 9. Mechanical impedance and bulk density of Souza Lima soil

D		E	
Field condition	Mechanical impedance (kg/cm <sup>2</sup> )	Mechanical impedance (kg/cm <sup>2</sup> )	Bulk density
0 ~ 10cm	0.8	1.6	0.83
10 ~ 15	8.3	11.2	
15 ~ 20	11.8	12.2	1.07
20 ~ 25	13.8	13.8	1.06
25 ~ 30	11.8	10.2	
30 ~ 35	12.8	10.0	1.00
35 ~ 40	9.5	9.1	
40 ~ 45	6.8	7.7	1.01
45 ~ 50	6.6	5.5	0.98
50 ~ 60	5.4	5.7	
60 ~ 70	4.2	3.9	0.84
70 ~ 80	3.3	2.5	

Table 10. Sedimentation volume of chapada soil  
(mean of 3 replication plots)

<u>Treatment during 4 yrs. cultivation</u>		Sedimentation volume	
(Level of fertilization)	(Initial plowing)	(Planting)	(Mean of 3 replication plots)
High	Deep	Direct	1.18 cm <sup>3</sup> /g
High	Deep	Conventional	1.14
High	Deep	Direct	1.25
High	Deep	Conventional	1.19
Medium	Shallow	Direct	1.18
Medium	Shallow	Conventional	1.18
Medium	Shallow	Direct	1.18
Medium	Shallow	Conventional	1.17

Virgin soil

1.26

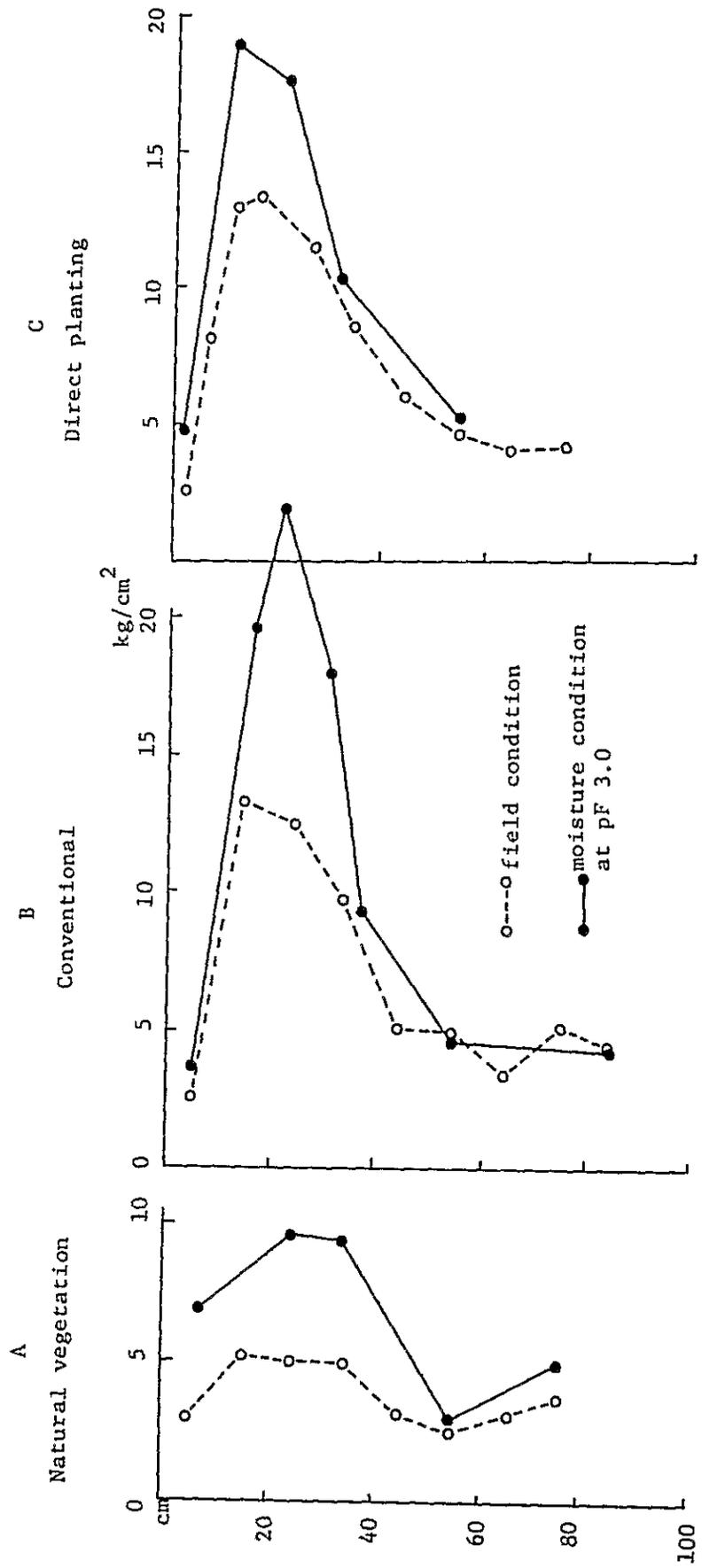
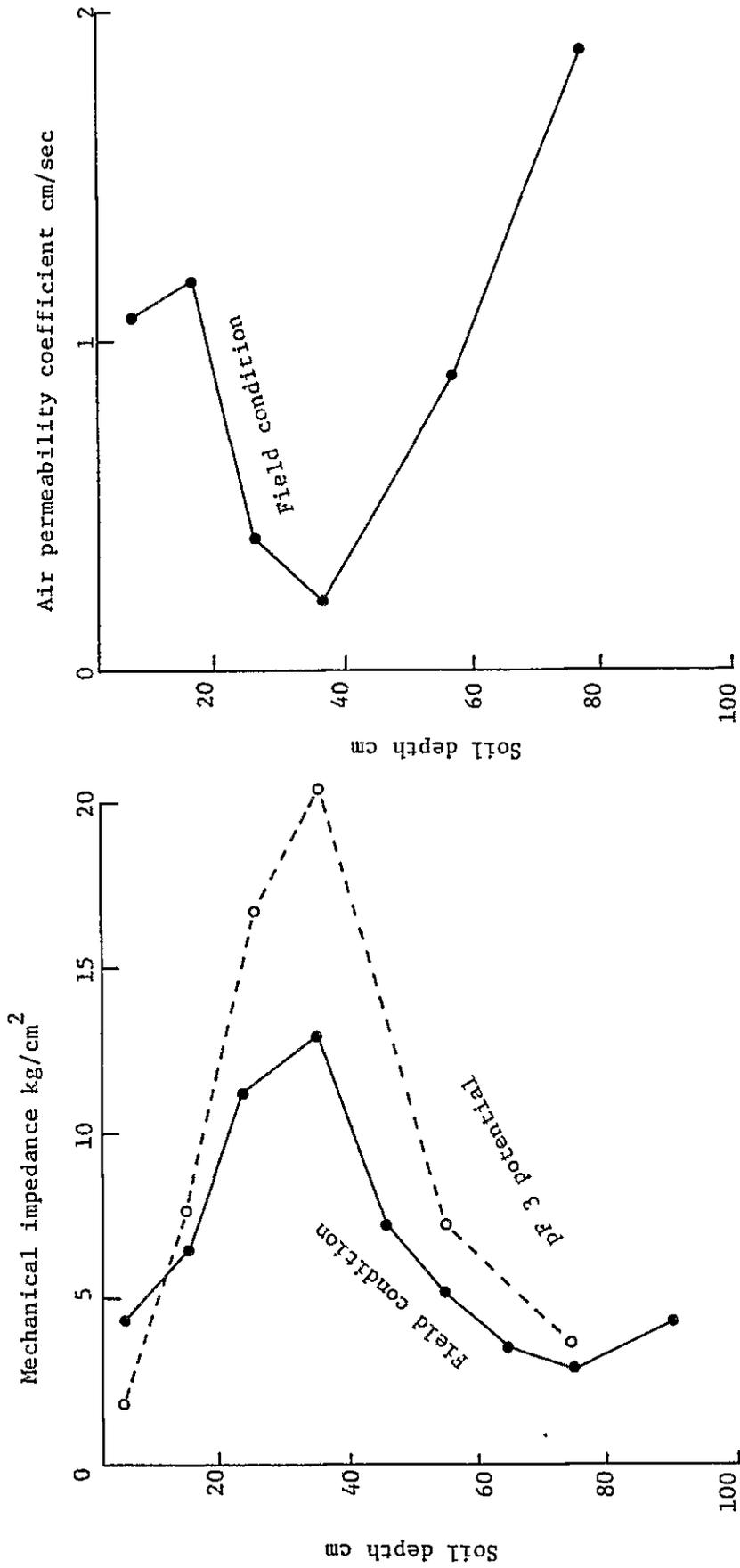


Fig.1 Mechanical Impedance of Soil under Soybean Cultivation (São Gotardo)

Fig.2 Mechanical impedance and air permeability of Chapada soil under natural vegetation (F field)



## Acknowledgement

The authors would like to express their sincere acknowledgement to Dr. Elmar Wagner, Director General of CPAC for providing them the opportunity to study Cerrado soil and for his administrative support. The authors are greatly indebted to Mr. Edson Lobato, Director of the Research Department, and Dr. Morethson Resende, Head of the soil Division of CPAC, for their kind arrangement in their research activities and valuable suggestions in conducting the research.

The authors would like to express the most gratitude to Dr. Tamotsu Ogata, the leader of JICA team dispatched to CPAC from Japan for his continued support and advices to the research. Many thanks are also due to Mr. Morishige Ike and Mr. Michikazu Fukuhara, members of JICA team, and Mr. Wantuyr Caixeta Vieira, for their sincere help and efforts in soil sampling and laboratory analysis.

## Reference

1. North Carolina State Univ.: Agronomic - economic research on soils of the tropics, Annual Reports for 1975 ~ 1978-1980.
2. Iwata, F., Dedeczek, R.A., and Kawasaki, H.: Improvement of cultivation of soybean and wheat in Cerrado, Report on Agric. Res. Project in Cooperative with Brasil, JICA, Jan. 1981.
3. Kawasaki, H., Iwata, F., and Mesquita, M.V.: The growth of soybean roots in Cerrado soil, Report on Agric. Res. Project cooperation with Brasil, JICA, Jan. 1981.

## Research Recommendations

Following researches are recommended in order to establish the rational soil management in Cerrado agriculture.

1. Studies on significance of addition of acidoids such as silicate, phosphate and humate in alteration of surface chemical properties of Cerrado soil.
2. Evaluation of minimum or zero tillage combined with stubble mulch for improvement of
  - a. soil water economy
  - b. soil structural properties
  - c. erosion and crop disease control
3. Investigation of seasonal (monthly) change in soil moisture status in relation to
  - a. toposequence
  - b. soil management
  - c. farming system

Research diary

Dec. 7 ~ 11 (1981)

Receiving orientation of CPAC activities and discussion of Research Programme during the stay with Mr. Edson Lobato, and Dr. Morethson Resende.

Dec. 13 ~ 18

Visiting research institutions in São Paulo state.  
São Paulo Agricultural Research Institute, Campinas.  
Faculty of Agriculture, São Paulo Univ. Piracicaba.  
Faculty of Soil, Paulista Univ. Botucatu.

Dec. 21 ~ 25

Research planning and discussion with soil researchers in CPAC.  
Test of ceramic filters of Low-Suction Soil Moisture Apparatus.

Dec. 28 ~ Jan. 1 (1982)

Operation of Low Suction Soil Moisture Apparatus.  
Soil sampling of CPAC Chapada.

Jan. 3 ~ 8

Repairing and operation of Three Phase Volume Meter (DAIKI 100).  
Repairing of Auto Pressure Controller of The Pressure Plate Apparatus.  
Measurements of moisture retention characteristics of soil.  
Determination of air permeability of soil by The Air Permeability Measurement Apparatus.  
Preparation of Laboratory Manual.

Jan. 11 ~ 16

Visiting CPA, Paracatu, and PADAP, São Gotardo, Minas Gerais.  
Soil sampling at PADAP.

Jan. 18 ~ 23

Laboratory analysis of soil samples collected.  
Mechanical impedance of soil under pF 3 moisture tension.  
Air permeability coefficient.  
Volume of three phase of soil.

Jan. 25 ~ 30

Soil survey and sampling at Souza Lima (Edson Lobato, João Pereira, Jan. 26).  
Soil sampling of Terra Roxa near CPAC (João Pereira, Jan. 27).  
Laboratory analysis.  
Making of the sand suction apparatus for moisture determination of low suction ranges.

Feb. 1 ~ 7

Laboratory analysis as same as Jan. 18 ~ 23.  
Determination of absolute density of soil by picnometer.  
Visiting São Paulo (Feb. 5 ~ 7) to present lecture in NIKKEI Agricultural technology seminar ABETA.

Feb. 8 ~ 13

Soil sampling of CPAC Cerradon.  
Laboratory analysis as same as Jan. 18 ~ 23.  
Determination of sedimentation volume of soil.

Measurement of hydraulic conductivity of soil.

Feb. 15 ~ 19

Test of the Pressure Membrane Apparatus.

Preparation of final report.

Moving of physics Laboratory to the new building.

Feb. 21 ~ 26

Preparation of final report.

Presentation of the report to CPAC.

List of parts of apparatus to be purchased for  
Soil Physics Laboratory

1. Parts of Low Suction - Soil Moisture apparatus  
(IKEDA T-6)  
Sample holder installed with ceramic filter plate 12 vessels
  
2. Parts of Three Phase Volume Meter (DAIKI)  
Pressure check pipe four pipes
  
3. Parts of Pressure membrane apparatus (DIK-320)
  - 3-1) Membrane 20 dozen
  - 2) Wrench installed with torc meter one
  - 3) Compressor (50 atm.) one
  
4. Soil sampler for 100 ml core (DIK-121) one
  
5. Vacuum desiccator
  - $\phi$  20 cm two
  - $\phi$  30 cm two

## Laboratory Manual

### 1. Three-Phase Volume Meter

Volume of Air phase of soil core can be determined volumetrically by this apparatus. By combining this data with gravimetric determination of the moisture content of soil, three phase volume of soil (solid, liquid and air) can be obtained.

The apparatus was devised by Dr. Misono in Japan, based on Boyle's law,  $PV = \text{constant}$ , where P is pressure of gas and V is volume of gas.

It consists of two rooms which are connected each other by a cock.

The air volume of each room is adjusted to be equal (zero adjustment in the procedure). When a certain amount of oil is introduced to these separated rooms, pressure generated in one room is equal to that in the other room. Here, placing of a soil core sample in one room produces different air pressures each other on adding a given amount of oil.

The difference in pressure between two rooms can be adjusted to be equal by adding known amounts of oil to one or both rooms. Thus volume of soil (solid and liquid) is measurable volumetrically.

### Precedures

1. Close the sample holder room in Fig. 1.

Open cock K.

Open cock  $K_1$ , raise oil up to the middle of burette  $B_1$  by pushing handle of pump  $P_1$ , and close cock  $K_1$ .

Open cock  $K_3$ , raise oil up to the middle position of burette  $B_3$  (usually at 60 ml).

Open cock  $K_2$ , raise oil into the two pressure checking pipes up to the lower mark line, and close cock  $K_2$ .

2. Open the sample holder room. Place sample holder, one metal core, and standard metal pieces totalling  $60 \text{ cm}^2$  in volume.

(A) Close cock K.

Open cock  $K_2$  and raise oil up to the higher mark line of the pipes. When miniscuses of oil in both pipes do not reach the mark lines at the same time, air volume of two separated rooms are not equal. In this case, open cock K after lowering oil to the lower mark, and adjust

the height of oil in the burette  $B_1$  using cock  $K_1$  and pump  $P_1$ . Close cock  $K$ , raise oil of pipes and check the pressures (B).

Repeat the procedure (A) ~ (B) until air volumes of two rooms become equal (Zero adjustment).

3. After zero adjustment is completed, slide the cursor of burette  $B_1$  so that zero ml line of cursor comes to the position of oil meniscus in the burette.

4. Open cock  $K$ .

Open sample holder room, replace a metal core with a soil core sample, and close the room.

Close cock  $K$ .

Raise oil in the pressure check pipes to the higher mark line. In case there is no coincidence in oil raising in both pipes, open cock  $K$  and adjust the height of oil in burette  $B_1$ . (If over-scaling occurred, adjust the height of oil in burette  $B_3$  ....  $Y$  ml). When the coincidence is obtained, read the height of oil in Burette  $B_1$  ( $X$  ml).

$(60 + X + Y)$  ml indicates the volume of solid plus liquid phase of the soil sample.

#### Caution

1. Changes in air temperature of the system should be avoided.

#### 2. Pressure Plate Apparatus

Moisture contents of soils at loading pressures from 0.1 atm to 1.2 atm can be measured by this apparatus.

#### Procedures

1. Set the pressure plate (A in Fig. 2) in the pressure plate vessel and connect the vinyl tube as shown in Fig. 1. Moist the ceramic plate until free water can remain on the plate.

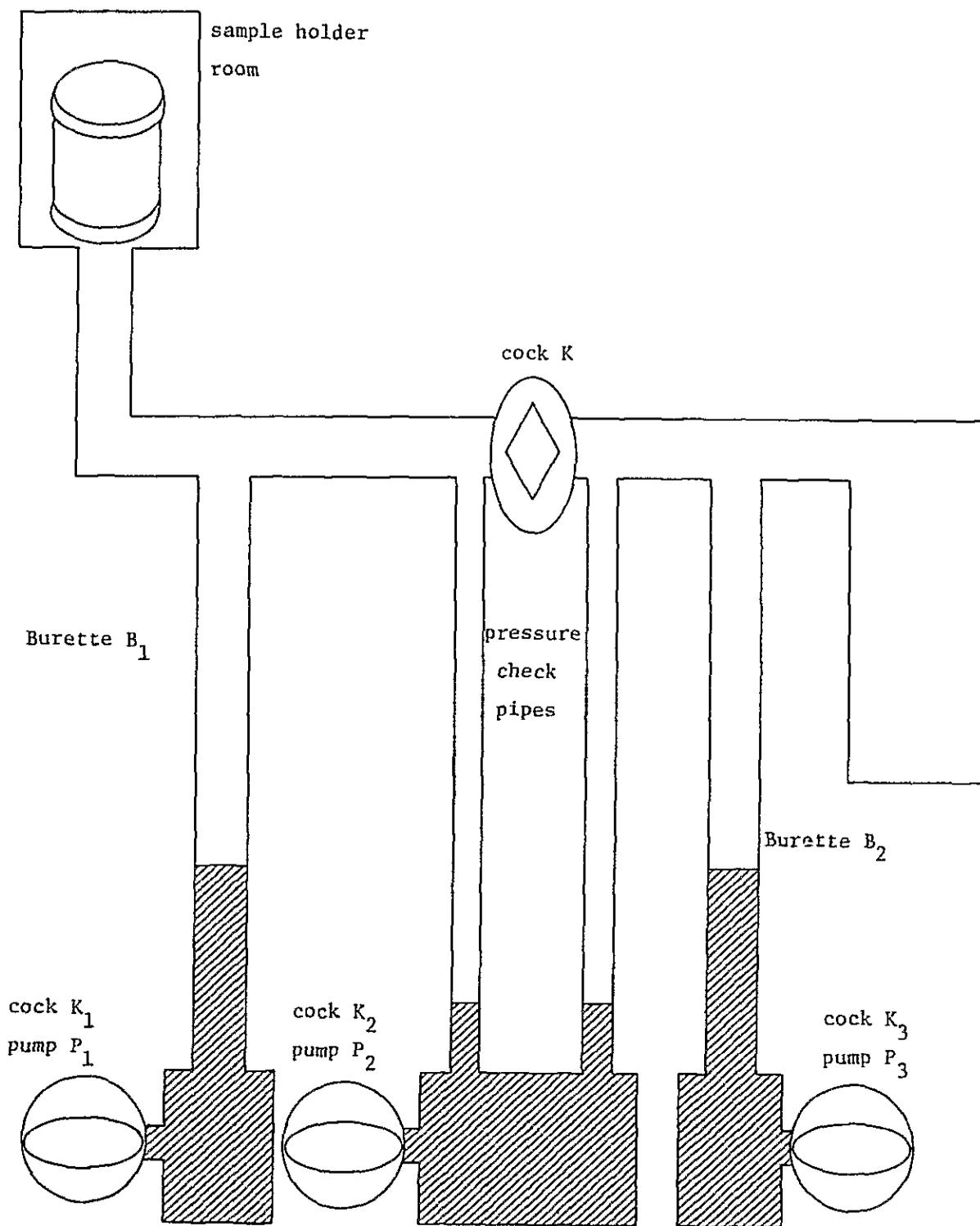
Put saturated soil cores with filter papers at the bottom on the plate.

Close the tap of the vessel tightly.

Open the release valve (B) of the vessel.

2. Connect a compressor to the auto pressure controller (C in Fig. 2), and connect the pressure plate vessel to the controller by pressure resistant rubber

Fig. 1 Schematic Figures of Three Phase Volume Meter



tube.

3. Close evacuation valve (D in Fig. 3) and open both release valve (E) and pressure valve (F) of the controller.

Put on the main switch (G), and put on the equilibrium switch (H). Then the compressor operates.

4. Adjust the height of wire lead (I in Fig. 3) in the mercury manometer (pressure reading manometer) to obtain a given pressure (J). As far as wire lead does not touch the surface of mercury, the compressor is kept to operate.

5. Adjust the height of wire lead (K in Fig. 3) in the mercury manometer (evacuation manometer) in the right side (L) at a slightly higher position than that of pressure reading manometer.

In case rising of room temperature causes higher pressure in the closed system, this manometer (L) works so as to release the excess air through electromagnetic bulb in the system.

6. Close release valve (B) and (E). Then mercury in the manometer rises until it touches the wire lead, and thus a constant pressure is kept.

7. Leave the system for 24 hours to obtain the equilibrated moisture content of soil.

8. Open release valve (B and E), and put off the main switch. Confirm that the pressure in the system has dropped to the atmospheric pressure.

9. Open the vessel and weigh the soil cores.

#### Remarks

Use the same sample repeatedly in the determination of soil moisture under different levels of pressures. Usually moistures at 0.1 atm (74 mm Hg), 0.5 atm (370 mm Hg) and 1.0 atm (740 mm Hg) are measured successively in order to obtain moisture retention characteristics of soil.

#### Caution

1. Because the high pressure is given to the system, don't open the vessel during operation.

2. The system, especially the compressor should be kept without any loading pressure after the use.

3. Vapor of mercury is very toxic. Scattering of mercury on the floor is never permitted.

4. The pressure plate vessel can not be used for pressures lower than the atmospheric pressure.

### Maintenance

1. Mercury in the manometer should be cleaned sometimes by the normal procedure.

### 3. Air Permeability Measurement Apparatus

The apparatus is shown schematically in Fig. 4.

Pour water in the drum of apparatus, and float the cylinder of air tank in water in the drum.

Shut the cock to connect air tank with soil sample.

Release valve A and B, and pull out the cylinder. Close the both valves and float the cylinder in the drum.

Release valve B slowly until the cylinder sinks to zero point, and close the valve.

Open the cock and measure the time needed for the cylinder to sink up to 1,000 cm<sup>3</sup> mark. During loading of air to soil sample, read the pressure of air by manometer attached to the apparatus.

Air permability coefficient K is calculated by Darcy equation,

$$q = A K \frac{\Delta P t}{L}$$

where q is volume of air permiated (1,000 cm<sup>3</sup>), A is section area of soil sample (20 cm<sup>2</sup>), L is length of soil core (5 cm), and t is time by second.  $\Delta P = P_1 - P_2$ , where P<sub>1</sub> is pressure at inlet and P<sub>2</sub> is pressure at outlet. Therefore  $\Delta P$  correspond to the reading of the manometer in terms of H<sub>2</sub>O height (cm).

Fig. 2 Pressure Plate Apparatus

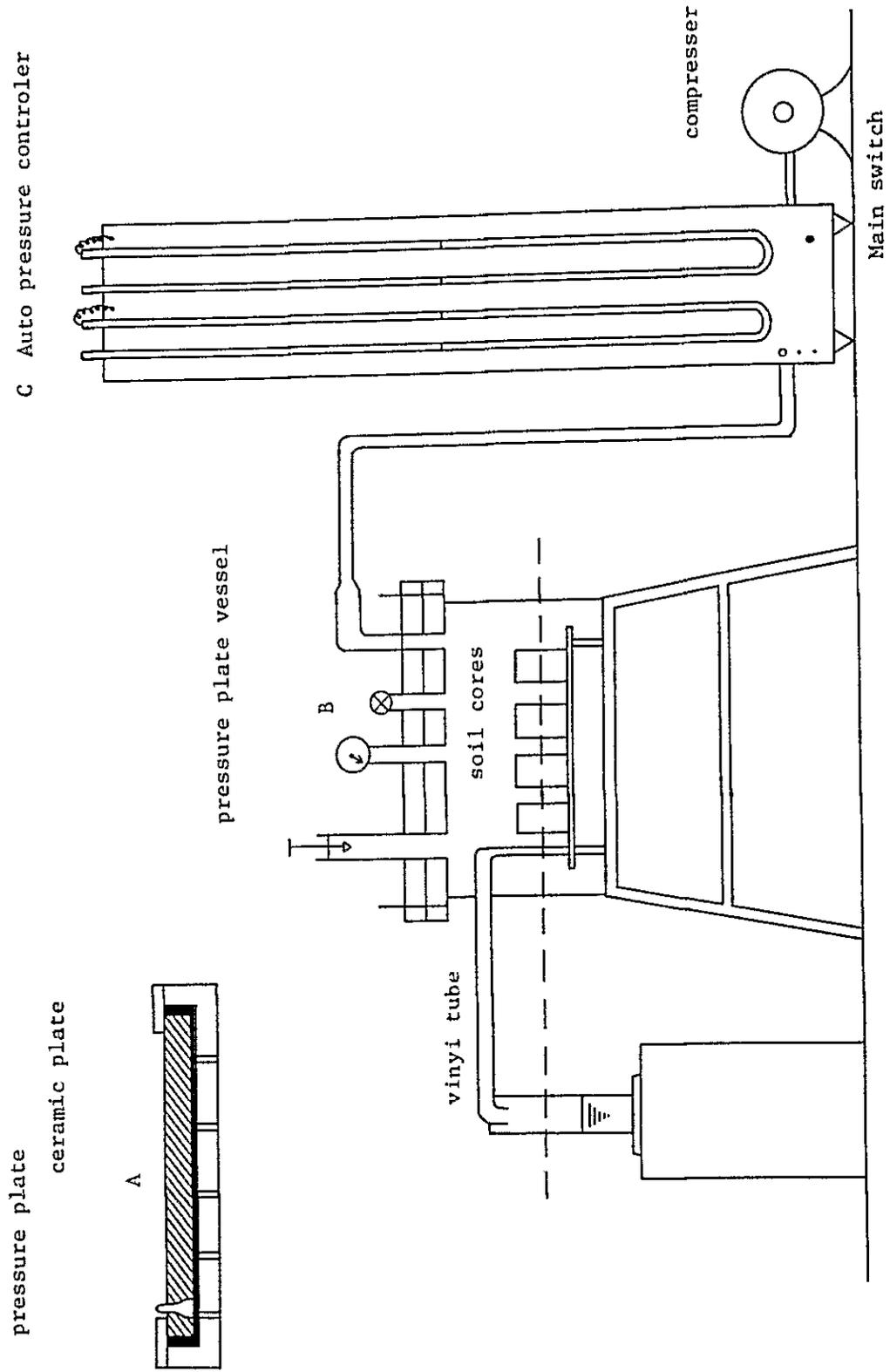
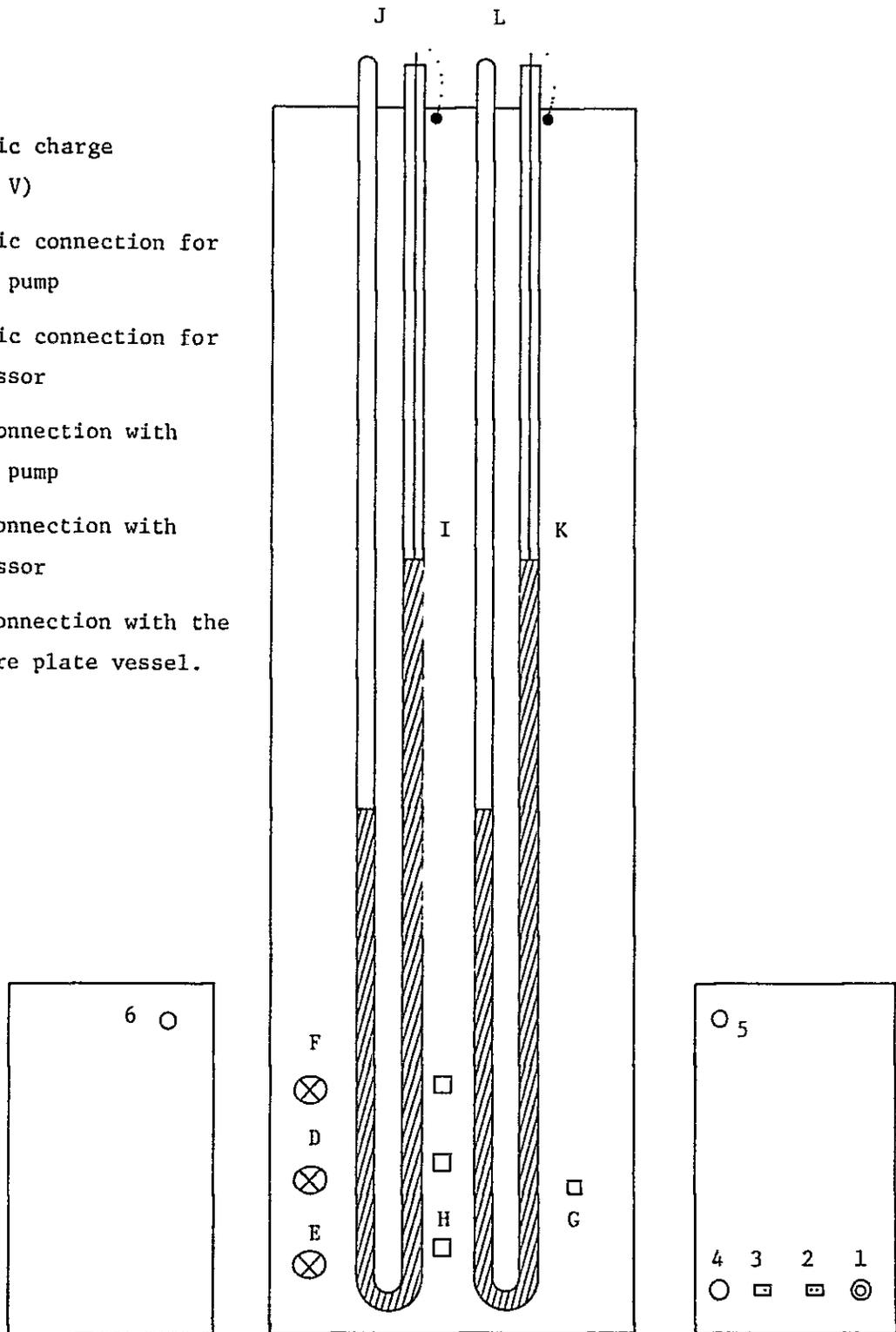


Fig.3 Auto Pressure Controller

1. ... electric charge (220 V)
2. ... electric connection for vacuum pump
3. ... electric connection for compressor
4. ... tube connection with vacuum pump
5. ... tube connection with compressor
6. ... tube connection with the pressure plate vessel.



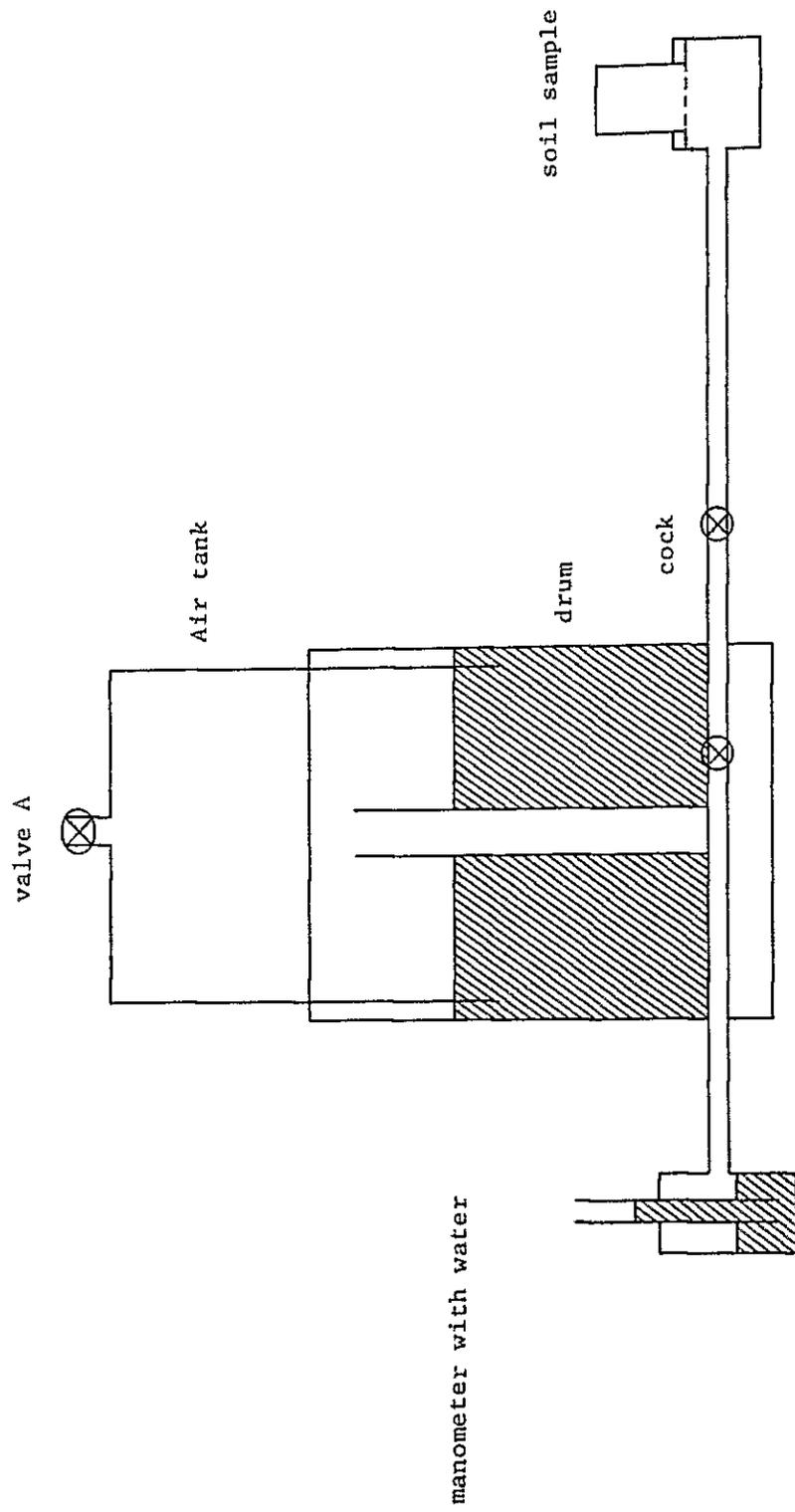


Fig. 4 Air Permeability Measurement Apparatus (DAIKI)

# セラードの農業開発と研究協力

久保田 徹

## 1. 出発

ブラジル中央部の高原台地には日本列島が5つ程もすっぽりおさまる広さのセラードと呼ばれる地域がある。ここは人類に残された数少ない未開発可耕地の一つであるが、近年世界の注目を集めながらブラジルの国威をかけた農業開発が始まった。総面積1億8千万ha、そのうち耕作適地5千万haという気も遠くなる広さにて、半乾燥地とはいえ農業ポテンシャルは計り知れない。セラードに近代的農業が定着発展し得るか否かはブラジル経済はもとより世界の食糧事情に大きな影響を及ぼす。我が国は1977年に締結された日伯技術協力協定に従って、セラード地域の農業生産技術の開発を図るための農業研究協力を進めており、現在5年目を迎えている。この事業の一環として国際協力事業団を通じてセラード農業研究所（通称CPAC）に派遣され、3か月間土壌物理性測定法の指導と土壌調査を行った。

1981年12月、初冬の成田を飛び立ち、30数時間も乗りっぱなしのあと、ようやく地球の裏側のリオデジャネイロに着いた。リオからブラジリアまで約1時間半の飛行は大部分がセラードの上を飛ぶ。空から見たセラードは緑の大地をひっかいたように方々に道が運らなり、人跡未踏とは到底言えない解放的疎林に見えた。古くから放牧に利用されてきた故であろうか。ところで国内線機内にはもう日本人は見当たらず、いよいよブラジル人の社会に入ったのだが、白人、黒人、混血など多人種混成の乗客は気安さと親しみを感じられ、あまりストレスはなくて、これは以後大変ありがたかった。

ブラジリア空港には尾形 保団長はじめ長期派遣の研究協力団員と家族の方々まで全員で出迎えて下さった。雨季に入って間もない頃にて樹々の緑は鮮かにレンガ色の土壌と美しいコントラストを作っている。そしてなつかしい熱帯の風が体を吹き抜けると、時差ボケでふらふらしながらも“やるぞ”という気持ちにさせられる。

## 2. セラード農業研究所

CPACはブラジリア郊外に車で約1時間のところ、原野の中にある。3,500haの敷地の一角に簡素な管理・実験室棟、ガラス室、作業室、倉庫などを配した小じんまりした研究所であるが、近くに大きな本館が我が国の援助で建設中で、落成移転が済めば装いを新たにす。今年で設立9年目を迎え、セラード入植と歩みをとりにしている。研究者総勢約80名の年齢構成も非常に若く、いかにも揺籃期の研究所である。

しかしながらCPACはセラードはもとより広く熱帯畑作の実践に役立つ成果を圃場試験から着実に繰り出しつつある。特に開畑時の土壌改良や干害軽減策などのアグロノミーにおいてユニークな研究が進められ、国際的評価も高い。これらの多くは創設以来久しく続いた合衆国ノースカロライナ州立大学との共同研究に負うところが大きく、その間に適確に配置された長期圃場試験によるものが多い。引き続いての日伯研究協力に伴う機材や施設の拡充は研究所の飛躍的發展にはずみをつけることになるであろう。

CPACの研究プロジェクトは、①セラード資源の調査と評価、②セラードの土壌・気候・資源の利用、③セラード営農システムの確立の3課題があり、研究協力は主に②に組み込まれて実施されており、大豆の不耕起栽培と緑肥による地力増強の2つの大型長期圃場試験が行われている。これらの成績は近い将来必ず生ずるであろう合理的農耕法は何かという問に対して重要な指針を与えるものと期待されていた。また土壌肥料、作物、病害、虫害の各専門別に各地の入植地や試験場の圃場を対象に指導と調査が行われていた。

CPACの建物に入って最初に驚かされたことは、どの部屋からも音楽が常時流れているのである。タンゴ、シャンソン、ビートルズ、などなど。時にはクラシックも鳴る。各部屋のスピーカー毎に音量調節ができ、厭なら消せるのだが、大概の部屋では鳴らしながら仕事をしていた。気のいいテクニコ（分析専門の技能職）が、これはベサメ・ムーチョだ、あれはヨーコ・オノだといっていちいち教えてくれる。分析の仕事もはかどるようだった。どういふ訳かお国のサンバはあまりかけないようだったが、血が昇って仕事どころでなくなるのかも知れない。それから、勤務中に何杯も、恐らく10回ほどコーヒーを飲む。毎朝どの研究室にも熱いのが入ったポットが配られ、小さい紙コップで非常に甘い味のものを一口で飲む。このコーヒーと昼食の牛肉の食べ過ぎで、着任早々下痢の洗礼を受けることになる。遠くにピラニアが棲むというLago Bonita（美しい湖）という名の湖がキラキラ輝いている。すぐ窓の外にはアフリカン・チューリップの花木がゆれている。カンナの花にやって来る蜂鳥が実験室に舞い込むこともあった。

## 3. セラードの土壌と農業

セラードの景観は概して赤い地面の見えるサバンナ様の疎林であったが、樹木は厚い樹皮とねじれ曲がった枝や幹を持つものが多く、これはアルミニウム障害などセラード土壌の特質に起



CPAC構内のセラード。遠景の湖はLago Bonita、中央の白い建物は管理・実験室棟など。

因する。地形が準平原であることから分かるように古い地質年代より地表層が風化にさらされ(中世代にさかのぼる地形も残っている)、水に溶ける成分は殆んど溶脱して鉄とアルミニウム水酸化物ばかりの残った特別に肥沃度の低いラトソルが生成している。多くの熱帯土壌では賦存の地力によって開墾後何年間かはかなりの収量をあげることかでき、捨て作りの収奪農業が可能であり、これがしばしば荒廃を導く。これに対してセラード土壌は石灰、リン酸等の土壌改良を施さない限り通常の作物は収獲皆無であり、雑草も生えない。即ち、あるレベル以上の投資をしないと農業が成立しないという特徴をもつ。この特質及び受蝕性の低い地形と土壌性質(主にオキシソルに属す)などの立地条件にあり、セラードの畑地開発が荒廃につながる危険性は非常に小さいように思われた。セラードを拓くという国家の決断は国土保全の見地からは正しい選択であったと思う。

セラード開畑地の主作物は大豆、小麦、陸稲である。場所によって年降雨量は1,000~1,600ミリ、標高は数百~千二百メートル程の幅で異なり、緯度は南緯5~23°の幅にある。したがって作付方式は場所によって異なるが、主に雨季の雨量によって1毛作か2毛作が決まり、イモチ病発生の温度要因によって稲の栽培可否が決まる。ミナスジェライス州南部では雨季に大豆一小麦2毛作が普通であるが、同州北部やゴイアス州では大豆、陸稲、小麦の1作しか作れない所が多い。また標高の比較的低いマトグロッソ州では陸稲の作付けが多いという。

ところで、これらの作物は土壌改良資材を施し、降雨分布にさえ恵まれればかなり高い収量が得られる。例えば、ハラカソのサンタマリア農場では開墾2年目であったが、造成時に苦土石灰、溶リン、塩化カリを3-3-0.1t/ha施し、作物別に経済的施肥を行った上で予想収量は大豆1.7t、陸稲1.5t、トウモロコシ2.7t、小麦1.25t/haであった。そして開墾後の熟畑化と共に収量は漸増して行くことが認められている。即ち、セラードの耕作歴が最も古く8年目を迎えたサンゴタルドの農園では大豆収量は6作目まで漸次増大し、以後は一定になった。

セラード畑作の最大の阻害要因は干ばつである。雨季の栽培期間の中ほどにベラニコと呼ばれる小乾期が突発して甚大な被害をもたらす。CPACも農園もこれの対策に最も力を注いでいる。目下のところ対策の要諦は作物根を如何に下層へ上げるかということに置かれている。カルシウムやリンを30cm程に深層施用すれば大豆の根の下方伸長を助けてベラニコに際しても土壌水分吸収が容易となり、葉の水分ストレスが軽減されて収量低下が抑制されることが実証されており、改良資材の深耕施用が一般に定着している。更に開墾後の年数と共に土壌中の可給態リンが作土表層に偏在化し、これが根の下方伸長を妨げることが研究協力により明らかにされた。最近のCPACの成績では硫酸根肥料や石膏資材を用いるとカルシウムが下方に動き易くなることに気付いて、これらによる下層土の改良と干害対策が試みられつつあり、成り行きが注目される。

セラードを車で走ると道路沿いにユーカリとマツ類の並木や林をよく見かける。この2つはブラジリア緑化の代表樹木である。種々試みられた植林樹種の中でこの2種がセラードに適したという。帰国後筆者が調べたところではユーカリの根も松の根と同様によくマイコライザと共生する特徴をもち、この辺りに適合の鍵がありそうに思われた。マイコライザは稀薄な土壌中のリンや水を何センチメートルも離れた部位から植物根まで運搬できるので、リンや水分に乏しいセラードでは重要な働きをするらしい。たまたまCPACには最近ロザムステッドを退役された微生物学者バーバラ・モス女史が研究中であった。ある日マイコライザのポット接種試験を見せて頂いたが、ソルガム、豆類でプラスの接種効果か認められ、特にスタイロサンテスで良好な生育が得られていた。

最後に土壌物理性にふれたい。セラード土壌は鉄・アルミニウム加水物の作用で親水性の低い粒状物質からなる土壌構造をもち、易耕性、透水性は良い。機械作業や出芽のためのdithは非常に良い土壌である。しかしながら大型の土壌構造が殆んど発達していないことと膨潤収縮性のない不活性粘土から成ることから機械踏圧で容易に圧密層を形成し、一旦生成すると自力で構造を回復できない。この層はpF3程度の弱い乾燥でも著しく硬くなり、作物根の貫入を妨げる。このような圧密層がセラード開畑地の作土直下にかかなり普遍的に形成しており、耕作年次とともに硬度を増す。また未耕地においても存在する場所があることが調査によって分かった。実際に心土破砕の必要を感じている耕作者の話も聞くことができた。この問題が干害対策上重要であることは言うまでもない。圧密層の地域的分布と成因について組織立った調査を行う必要がある。またこれを契機に従来のアルミニウム障害をめぐる化学性偏重の研究から一歩踏み出して新しい研究へ進展することを希っている。

#### 4. おわりに

ブラジル滞在中色々な人達のお世話になった。特にサンゴタルドやハラカツの農園で活躍されている日系人、ブラジリアや近郊の野菜農園に生活されている日系人から頂いた数々の御親切は、その人達の採手の獰さとともに生涯忘れられない。また、何よりも長期派遣の研究協力チームの方々、尾形 保団長、坂工弥寿雄、阿部登、池 盛重、巽依田和典、福原道一専門家及び土生幹夫調整員の各位には仕事から日常生活に至るまで大変お世話になった。心より謝意を表します。

# セラードオキシソルの圧密層によるダイズ根の伸長阻害<sup>\*1</sup>

久保田徹<sup>\*2</sup>・BRANCO, J. L. Castelo<sup>\*3</sup>・池 盛重<sup>\*4</sup>

キーワード セラードオキシソル, 圧密層, ダイズ根の伸長, 土壌硬度, 土壌通気性

## 1. はじめに

ブラジルのセラードオキシソルに生育する作物の根は浅層に分布する特徴をもつ<sup>1)</sup>。この現象に対して従来より下層土の劣悪な化学性、すなわちアルミニウム毒性<sup>2)</sup>と低養分レベル<sup>3)</sup>に原因が求められてきた。Sainchez<sup>4)</sup>によれば、このような浅い根域と低い土壌保水能のためにセラードの作物は干害を被りやすい。そしてセラードの畑作において干害対策は不可欠であり、下層土の土壌改良によって根の下方伸長を促すことが重要とされている<sup>5)</sup>。土壌改良資材を深耕により深くまで施用することは根の下層分布割合を高め、葉の水分ストレスを軽減し<sup>6)</sup>、しばしば増収につながることを報告<sup>7)</sup>されており、開畑時の深耕土壌改良はセラードの農家に定着しつつある。

しかしながらセラードオキシソルの物理性の知見は乏しく、根の浅層分布の現象および深耕効果の解析についても物理性の役割が明らかにされていないように思われる。不活性粘土と鉄・アルミニウム酸化物を構成粒子とするオキシソルは粒状構造 (granular) と構造の発達不良 (massive) を形態学的特徴としており<sup>8)</sup>、膨潤収縮性にも欠けるため作物培地として特異な物理的性質をもつであろう。大型模塊化を伴うセラード畑作開発を成功させるためにはそれらの性質の十分な理解が必要と思われる。この目的で2, 3の物理性を調査したところ、ダイズの根群発達を下層土の硬度と孔隙性に大きく支配されていることを認めたので報告する。

## 2. 調査方法

1981/82年雨季に土壌調査を行った。おもにダイズ生育下の畑と隣接未耕地に1mの試坑を掘り、断面形態と

根群発達状況を観察し、各土層層別または10~20cm間隔に100mlの円筒で土壌試料を垂直方向に採取して物理性測定と化学分析に供した

### 1) 調査地点

aからhの8地点を調査した

a: ミナスジェライス州サンゴタルド, フルトパラナイバ開拓計画農業試験場, 緩波状地形の台地上部平坦面, セラード植生\*下の暗赤色ラトソル, 土性 HC.

b: aに隣接する開畑8年目のダイズ連作畑 (品種クリスタリナ, 開花期直前), 深耕開畑後8年間慣行耕起栽培.

c: bに隣接する開畑8年目のダイズ連作畑 (品種クリスタリナ, 開花期直前), 深耕開畑後4年間は慣行耕起, その後4年間は不耕起栽培, 1981年干ばつ時の被害が大きかった.

d: ブラウリア連邦区, セラード農業研究所, 緩波状地形の斜面下部, セラード植生を開畑後8年目のトゥモロコン連作畑, 暗赤色ラトソル, 土性 HC.

e: ブラウリア連邦区, セラード農業研究所, 台地上部平坦面, セラード植生\*下の赤黄色ラトソル, 土性 HC.

f: eに隣接する開畑4年目のダイズ連作畑 (品種クリスタリナ, 開花期).

g: ゴイアス州ソウザ・リマ農園, 台地上部平坦面, 深耕開畑後8年目のダイズ連作畑 (品種クリスタリナ, 開花期), 赤黄色ラトソル, 土性 LiC.

h: gに隣接する浅耕開畑後4年目のダイズ連作畑 (品種クリスタリナ, 開花期), 1981年干ばつの被害が甚大であった.

### 2) 測定方法

(1) pF-水分曲線: 円筒試料につき素焼板を用いた吸引, 加圧法, 遠心法の組み合わせにより脱水過程を2~3速で測定した。全孔隙量は土壌の仮比重と真比重より計算した。

(2) 土壌硬度: 円筒試料を加圧板法により pF 3 の水分ポテンシャルに平衡させたのち, 円筒試料の底面に山中式硬度計を貫入。1円筒につき3箇所を4速で測定

\*セラードは植生形態からセラードソ, セラード, カンボ・スージョ, カンボ・リンボに分けられ, セラードソからカンボ・リンボに向かって木本から草本植物優勢に推移し, biomass が減少する<sup>9)</sup>。

<sup>\*1</sup> 本報告は昭和58年4月日本土壌肥科学会京都大会において発表した。

本研究は国研協力事業団ブラジル農業研究協力プロジェクトの一環として実施された。

<sup>\*2</sup> 農林水産省中国農業試験場 (721 広島県福山市西深津町)

<sup>\*3</sup> Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Brasília

<sup>\*4</sup> 農林水産省北海道農業試験場 (061-01 札幌市豊平区千ヶ丘1)

昭和58年2月24日受理

日本土壌肥科学雑誌 第54巻 第5号 p.389~395 (1983)

した。別に通常の方法で野外での測定を行った。

(3) 通気係数：大起理化学製ガスメータにより、現地水分状態または  $pF 1.5$  に平衡させた円筒試料を3連で測定した。通気量、通気時間、空気圧勾配から Darcy 式により  $K_t$  を計算した。

(4) 化学性の分析：円筒試料を風乾細土として分析に供した。有効陰イオンは Mehlich 溶液 ( $0.05 M HCl-0.0125 M H_2SO_4$ ) で浸出した。交換性塩基の含有率は風乾細土の容量基準によって表示した。

### 3. 調査結果

#### 1) 土壌断面形態と根の分布状況

調査地点の土壌断面形態を代表して未耕地 a と隣接耕地 b の例を以下に記す。

地点 a：まばらな低い木本とおもにイネ科植物の植栽で、ところどころに地面が露出する。

A<sub>11</sub> 層：0~10 cm, にぶい赤褐色 (5 YR 5/4) の HC, 強度に安定な粒状の粘成単位からなる全体的には無構造、碎易、中・細孔含む、湿、中・細根含む、境界平坦漸変。

A<sub>12</sub> 層：10~17 cm, 赤褐色 (5 YR 4/6) の HC, 粒状、無構造、碎易、中・細孔含む、湿、中・細根含む、平坦漸変。

B<sub>1</sub> 層：17~30 cm, 明赤褐色 (5 YR 5/8) の HC, 粒状、無構造 (発達微弱な五角塊状構造あり)、碎易、中・細孔含む、湿、中・細根含む、平坦漸変。

B<sub>2</sub> 層：30~100 cm, 明赤褐色 (5 YR 5/8) の HC, 粒状、無構造、碎易、中・細孔含む、湿、中・細根含む。

地点 b：開花期直前のダイズ畑。

A<sub>p1</sub> 層：0~18 cm, にぶい赤褐色 (5 YR 4/4) の HC, 粒状、無構造 (発達微弱な団粒構造あり)、碎易、中・細孔含む、湿、細根浅層に含む、耕土層、平坦明瞭。

A<sub>p2</sub> 層：18~30 cm, 赤褐色 (5 YR 4/6) の HC, 粒状、無構造、圧密、碎易、細孔含む、湿、細根わずかにあり、深耕土壌改良層、波状漸変。

B 層：30~100 cm, 明赤褐色 (5 YR 5/8) の HC, 粒状、無構造、上部圧密、碎易、中・細孔含む、湿、40~60 cm に細根わずかにあり。

調査 8 地点の断面形態はいずれも粗砂以下の大きさの粒子からなる碎易な無構造の集合体であり、亀裂が観察されなかった。円筒試料を  $105^{\circ}C$  に乾燥しても、A<sub>p1</sub> 層はわずかに収縮する傾向があるが、A<sub>p2</sub>、B 層土壌は全く収縮しなかった。調査地点中トウモロコシ連作畑の d にはごく発達微弱な五角塊状構造が含まれていた。粘着

性、可塑性はどの土壌とも弱であった。

耕地土壌には d を除く 5 地点のダイズ連作畑において耕土層直下に顕著な圧密層が認められた。これは隣接する未耕地、耕地 a, b, c の比較から開畑およびその後の耕作によって形成された圧密層であることが明らかであった。また未耕地ではセラドン植生下の a には欠いていたが、セラドン植生下の e には深さ 35 cm のあたりに圧密層が認められ、その成因は明らかでない。

耕地におけるダイズ根の分布は A<sub>p1</sub> 層に集中し、主根と、低~高次分枝根が圧密層上部の浅い位置に傘状または水平状に発達していたが、地点 c 以外では圧密層下の膨軟土層 (40~60 cm) にも高次分枝根と思われるひげ状の細根がわずかに認められた。不耕起栽培圃場 c は耕起栽培圃場 b よりも根の成層分布がいっそう著しかった。なお d 地点ではトウモロコシ根は約 70 cm 深までの下層土中にもかなりの密度で分布していた。

#### 2) 土壌の仮比重、孔隙分布、硬度および通気係数

土壌の仮比重、水分保持特性、硬度および通気係数をそれぞれ第 1 図、第 1 表、第 2 図、第 2 表に示した。

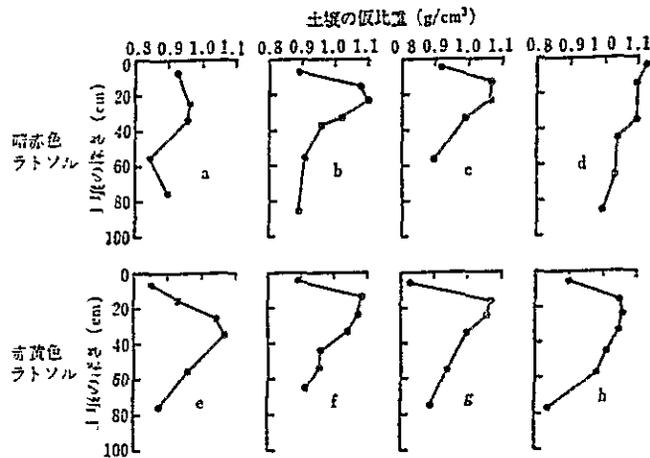
仮比重は 0.9~1.1 の範囲にあり、d 以外の耕地では深さ 15~30 cm の位置で最大値をもち、4 年または 8 年の耕作によって顕著な圧密層が形成されていた。

代表地点 a, b, c の孔隙分布は圧密層と c の耕土表層を除く土壌では  $pF 1.5$  の粗孔隙量が 15~22% と高かった。また全体に  $>pF 4.2$  の無効微細孔隙が 24~30% と多かった。

$pF 2\sim 4.2$  の有効水保持能は、a 116, b 118, c 119, d 96, e 87, f 83, g 111, h 122 mm/m であった。これらの値はタイ国主要畑土壌の平均値 87 mm/m<sup>11)</sup> に比べて概して高い。また各土壌とも  $pF 1.5\sim 2$  の孔隙量が 10% 以上と高く、わが国でしばしば採用される  $pF 1.5\sim 4.2$  の有効水保持能は 200 mm/m 以上となり、腐植質火山灰土にも匹敵する保水能であった。セラドンオキシソルの保水能は低いという記述<sup>16)</sup>があるが、調査地点のそれは低くはなかった。

耕地 b, c の圧密層の孔隙分布を非圧密下層土または未耕地 a と比較することにより、圧密層では  $<pF 1.5$  の粗孔隙がおおよそ 1/2~1/3 に減少し、代って  $>pF 4.2$  の微細孔隙が増加した。また圧密層では  $pF 1\sim 1.5$  の孔隙が少ないことが認められた。

土壌硬度は現地含水状態において 1~16 kg/cm<sup>2</sup> の範囲にあり、圧密部位では 14~16 kg/cm<sup>2</sup> の硬度を示した。圧密部位の硬度は  $pF 3$  水分状態ではいっそう発達し、18~25 kg/cm<sup>2</sup> の値であった。これら圧密部位の硬度は後述のとおり根の伸長を阻害しうる大きさである。



第1図 セラードオキシソルの仮比重

第1表 土壌の水分保持特性

(容量%)

地点	土壌の深さ (cm)	水分吸引圧							
		pF 0*	pF 1.0	pF 1.5	pF 2.0	pF 2.7	pF 3.0	pF 4.0	pF 4.2
a	5~10	66.3	57.4	47.6	38.2	29.8	27.8	25.1	24.0
	20~25	65.7	59.1	45.1	35.5	30.0	28.6	26.2	24.9
	30~35	66.4	54.6	49.3	37.6	30.6	28.7	26.2	24.7
	50~60	62.9	55.5	50.4	37.8	31.9	30.0	27.0	25.6
b	0~15	65.3	58.1	50.3	38.5	33.7	32.7	26.3	24.7
	15~20	59.4	53.2	53.0	41.0	36.2	34.3	30.4	28.6
	20~25	58.6	49.8	48.6	41.2	36.9	36.0	32.2	30.5
	30~35	62.2	52.0	48.5	37.2	33.3	32.1	29.0	27.5
	35~40	64.4	55.4	46.9	35.5	31.9	30.6	27.2	25.7
	50~60	66.3	54.4	49.6	37.2	32.4	30.9	27.4	25.8
c	0~5	66.4	65.3	58.6	40.8	30.6	29.1	24.8	23.3
	10~15	60.4	55.9	53.4	39.9	34.0	31.6	28.9	27.2
	20~25	60.4	52.7	48.7	38.9	35.3	32.9	30.4	28.7
	30~35	64.8	56.0	48.9	34.4	29.5	28.0	25.8	24.4
	50~60	67.0	58.9	52.3	35.8	29.2	27.8	25.3	24.0

\* 土壌の仮比重と真比重から計算した。

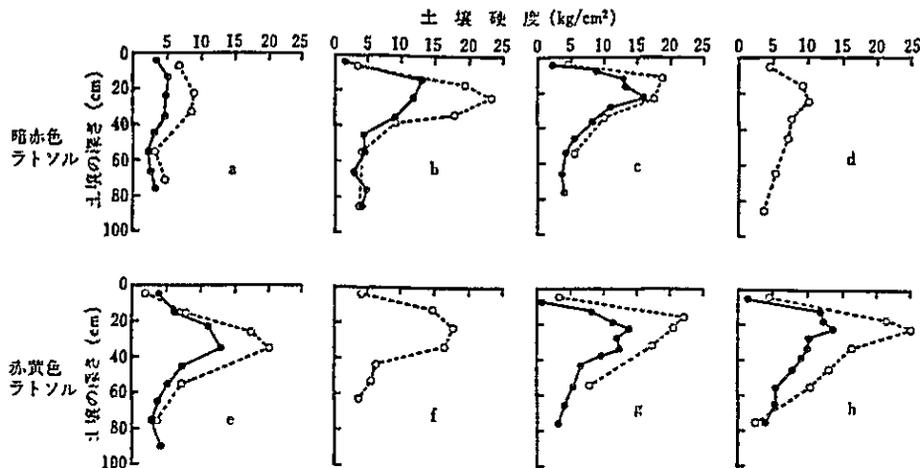
通気係数  $K_t$  は pF 1.8~2.7 の範囲にある現地水分状態において未耕地土壌と非圧密層土壌では 0.4~3.7 cm/s であったが、圧密層では 0.06~0.3 cm/s と非常に低かった。また pF 1.5 水分状態では  $K_t$  はいっそう低い値を示した。

通気係数の測定例が少ないので、比較のために中国農業試験場においてダイズ栽培下の各種畑土壌 (18 m<sup>2</sup> 枠試験圃場) について 0~10 cm 耕土の  $K_t$  を測定した (第2表)。測定日の前9日間に合計 150 mm の降雨があり、測定時の土壌水分は pF 2.3 以下の湿潤状態にあった。赤色土、黄色土、褐色森林土、腐植質火山灰土、灰

色低地土の  $K_t$  は 7~24 cm/s であり、この数値に比べるとセラードオキシソルの耕土はかなり低い  $K_t$  をもつといえる。また地点 c と h は 1981 年の干ばつ時に特異的に萎凋被害の大きかった圃場であるが、それらの耕土の  $K_t$  は 0.4~0.6 cm/s ととくに低いことが認められた。

両地点ともダイズ根の浅層水平分布がとりわけ著しかったことから通気性が根群分布に大きな影響を及ぼすことが推察された。

3) 土壌の pH、交換性塩基、有効態 P の垂直分布  
代表地点 a, b, c における土壌の pH、交換性塩基、有効態 P および腐植含量の垂直分布を第3表に示した。



第2図 セラードオキシソルの土壤硬度  
実線は現地測定値、点線は pH3 水分状態の測定値。

耕地 b, c では交換性 Ca, Mg, および K の含量は概して表層ほど高く、深さとともに減少した。この塩基の分布と対応して土壌の pH は表層土壌ほど高い。そして b, c とも少なくとも 20~25 cm の深さまでには酸性矯正目標値の pH 5.5<sup>1)</sup> 以上にほぼ改良されていることが認められた。有効態 P は表層の浅い位置に著しく偏在した。

酸性矯正をされている b, c の第 2 層 (b 15~20 cm, c 10~15 cm) にはダイズ根はほとんど分布しなかったことはその伸長阻害の主因がアルミニウム障害ではないことを示唆している。

#### 4) 土壌の水中沈定容積

未耕地 e とそれと隣接する開畑 4 年目の耕地 f の表層土の沈定容積を比較した (第 4 表)。深さ 0~10 cm の生土の乾土 20 g 相当量を 100 ml メスシリンダーにとり純水を 60 ml まで加えて一定時間振とう後 100 ml としてから静置し、沈定容積をはかった。

未耕地土壌には直径 2 mm 程度の比較的大きい粒子が含まれているのに対して耕地土壌ではそれが減少し、全体に単位粒子が微細化しており、その結果水中沈定容積は耕地土壌が未耕地土壌よりも約 6% 低かった。また未耕地土壌が逆やかに均質な沈定をするのに対して耕地土壌は沈定時間が長く、2 層に境界をもって沈定した。このように 4 年のダイズ連作によって土壌の分散性が高まることが認められたが、このことは耕作年次とともに耕土層の通気性が不良化することを、また熟化過程で土壌の受蝕性が大きくなることを示唆している。

## 4. 考 察

セラードオキシソルに栽培されるダイズの根の形態は特異的で、主根が浅い位置で伸長を停止し、代って多くの分枝根を発生して、それが傘状、水平状をなして浅層に分布することが報告されており<sup>2), 3)</sup>、この現象は本調査においても観察された。セラードオキシソルにおける作物根の下層への生育不良について SÁNCHEZ<sup>4)</sup> は下層土のアルミニウム毒性が根域を制限するとの考え方を示している。吉田<sup>5)</sup> は同土壌で栽培したトウモロコシとダイズの根が櫛形分枝という外部形態と組織内のアルミニウム分布の両点において水耕アルミニウム障害の個体と類似することからアルミニウム毒性を主因と考えたが、組織内にアルミニウムが検出されても形態異常を生じない場合があること、土壌の交換性アルミニウム量と障害発生程度が必ずしも一致しないことから今後検討を要する問題であるとしている。川崎ら<sup>6)</sup> はダイズ根が開畑初年目には下方に伸長するが耕作年次とともに表層分布化することを認め、同時に有効態 P の表層偏在化が進行することから、その分布様式が関与するものと推定した。しかしながら本調査ではこれら化学性起因説では説明しにくい現象として、①強酸性で有効態 P のほとんど含まれない下層土にも膨軟な部位にダイズ根がわずかに分布する 경우가多い、②圧密層を欠く圃場でトウモロコシ根が下層土にも分布する、③酸性改良土壌でも圧密層にはダイズ根が貫入しにくいことが観察され、土壌物理性が大きな影響を及ぼしているものと理解された。以下にセラードオキシソルの土壤硬度、孔隙性、通気性がダイズ根

第2表 土壌の通気係数  $K_t$

地点	土壌の深さ (cm)	マトリックポテンシャル (pF)	$K_t$ (cm/s)
a	5~10	2.59	1.94
	20~25	2.29	2.07
	30~35	2.04	1.02
	50~60	2.28	3.44
	70~75	—	0.82
b	0~15	2.69	3.14 (0.11)
	15~20	2.03	0.14 (0.061)
	20~25	2.26	0.25 (0.022)
	30~35	2.02	0.50 (0.055)
	35~40	1.93	0.77 (0.092)
	50~60	2.39	1.90 (0.43)
	80~90	2.08	1.20
c	0~5	2.37	0.64 (0.0084)
	10~15	2.15	0.20 (0.0084)
	20~25	2.06	0.32 (0.036)
	30~35	1.90	0.68 (0.072)
	50~60	2.18	2.67 (0.58)
e	2~7	1.53	2.58
	12~17	1.85	1.95
	22~27	1.94	0.34
	32~37	2.96	0.13
	52~57	1.91	1.02
	72~77	1.90	1.78
g	0~10	—	3.70
	12~17	—	0.060
	22~27	—	0.17
	32~37	—	0.32
	50~60	—	0.87
	70~80	—	1.84
h	0~10	—	0.37
	15~20	—	0.14
	22~27	—	0.11
	32~37	—	0.24
	42~47	—	0.34
	52~57	—	0.43
80~90	—	2.47	

( ) 内は pF 3 水分状態.

中国農試試験土壌の作土の通気係数

土 壌	土 性	マトリックポテンシャル	$K_t$ (cm/s)
灰色低地土	CL	<pF 2.3	17.1
赤 色 土	CL	〃	6.7
黄 色 土	SL	〃	24.2
褐色森林土	SL	〃	24.4
腐植質火山灰土	HC	〃	7.4

群発達をいかに支配するかを論議する。

TAYLOR ら<sup>13)</sup>によれば、ワタの種子根は中・粗粒質土壌において 15 kg/cm<sup>2</sup> の土壌硬度で著しい伸長阻害を受け、25 kg/cm<sup>2</sup> ではほとんど伸長を停止する。GILL ら<sup>13)</sup>によれば、多くの植物の根は 9~13 パールの垂直方向の膨圧を生ずる。滝嶋ら<sup>14)</sup>によれば、水稻幼植物の根は 10 kg/cm<sup>2</sup> で伸長を停止するが、粗粒質洪積土壌は細粒質沖積土壌よりも臨界硬度が低い。これらの報告から 15~20 kg/cm<sup>2</sup> の硬度は一般作物根の伸長を大きく阻害すると推察される。一方 GREACEN ら<sup>15)</sup>は根の貫入力に関する既往の報告を整理しているが、硬度の測定方法、土壌および供試植物の種類が異なると臨界硬度は 8~50 パールにばらつく。そのなかでエンドウの臨界硬度が飽和の団粒状粘土では 24 パール、ねり返し粘土では 10 パールであり、構造によって異なることが注目される。

土壌構造の有無は臨界硬度の実験的決定に大きな影響を及ぼすと考えられる。構造の発達した土壌では断面面積の大きい構造体の硬度と面積は小さいが根の貫入を許す構造面間の硬度は異なり、前者で測定する臨界硬度は高くなるものと思われる。これに対してオキシソルのような粒状無構造土壌においては硬度計の測定点は即根の伸長環境であり、このような土壌では構造土壌よりも低い臨界硬度が得られるであろう。この無構造土壌の特徴と現地での根の観察結果から、セラードオキシソルではダイズ根に対して 15 kg/cm<sup>2</sup> の硬度で十分に伸長阻害要因になりうるものと推定した。ダイズ連作耕地には 5 調査地点のいずれにおいても現地水分または pH 3 水分状態で 15 kg/cm<sup>2</sup> 近傍またはより大きな硬度を発達させる圧密層があり、その硬度が一義的にダイズ根群の下方伸長を阻むものと結論した。

WIERSUM<sup>16)</sup>によれば、固い培地への根の貫入は根の太さと培地の孔隙径に直接支配される。直径 200  $\mu$ m の根はより大きな孔隙に欠ける砂 (<800  $\mu$ m) の単粒構造を貫入できない。また貫入を阻止された根は先端上部のところに多くの分枝根を発生する特徴がある。

一般にダイズの主根、1次分枝根は比較的太く、先端部でも 600  $\mu$ m 以上あるものと観察される。一方第1表に示すとおり圧密層には <pF 1.5 の孔隙、すなわち直径 100  $\mu$ m 以上の孔隙が約 7% 含まれる。しかしながら構成粒子の直径は最大限 2 mm であるので、仮に粒状無構造の圧密層を 2 mm 粒子の単粒構造とみなすならばその孔隙径は最大限 600  $\mu$ m にすぎない。実際には粒径が細砂以下の粒子も多く含まれるから圧密層の最大孔隙はいっそう小さい。この培地が根の膨圧以上に固さを発

第3表 土 壌 の 化 学 性

地点	土 壌 の 深 (cm)	pH H <sub>2</sub> O 1:1	pH KCl 1:1	交換性塩基 (me/100ml)			腐 植 (%)	有効態P (ppm)
				Ca	Mg	K		
a	5~10	4.76	4.45	0.03	0.04	0.06	3.91	0.8
	20~25	4.94	4.71	0.01	0.03	0.03	2.88	0.1
	30~35	4.65	4.91	0.01	0.01	0.03	2.47	0.1
	50~60	4.79	5.12	0.01	0.01	tr.	2.16	0.2
	70~75	5.30	5.24	0.01	0.01	tr.	2.06	0.1
b	0~15	6.64	6.10	5.15	2.65	0.12	4.43	13.9
	15~20	6.37	5.47	3.26	1.66	0.18	3.91	0.6
	20~25	5.20	4.75	0.86	0.36	0.07	3.19	0.3
	30~35	5.04	4.61	0.25	0.16	0.09	3.09	0.2
	35~40	4.82	4.64	0.28	0.11	0.07	2.68	0.2
	50~60	4.42	4.91	0.21	0.11	0.02	2.37	0.2
	80~90	4.28	5.46	0.04	0.03	0.02	1.75	0.4
c	0~5	6.43	5.84	5.61	2.04	0.13	4.12	51.8
	10~15	6.02	5.46	3.47	0.91	0.07	3.50	2.5
	20~25	5.58	4.94	1.01	0.39	0.13	2.88	0.4
	30~35	4.84	4.90	0.26	0.08	0.03	2.47	0.1
	50~60	4.76	5.00	0.08	0.02	0.02	2.37	0.1

第4表 土 壌 の 水 中 沈 定 容 積

土 壌	3区平均値 (ml/g)		
未耕地 e	1.26		
耕地 f			
	開畑および耕作法		
施肥	開畑時 起	ダイズ 栽培法	
多	深 耕	不耕起直播	1.18
多	深 耕	慣 行	1.14
多	普通耕	不耕起直播	1.25
多	普通耕	慣 行	1.19
中	深 耕	不耕起直播	1.18
中	深 耕	慣 行	1.18
中	普通耕	不耕起直播	1.18
中	普通耕	慣 行	1.17

達させた場合には太さによる根に対するフィルター作用を發揮すると想像される。川崎ら<sup>9)</sup>によるセラードダイズ根のモノリス調査では、深さ 10 数 cm まで太い低次分枝根が密に分布し、より深い土層にはごく細い根が網状に分布する様子が示されているが、これは圧密層の孔隙径によるフィルター作用を反映しているものと理解できる。Wiersum が観察した分枝根多発の形態変化もセラードダイズの根系形態に類似するようと思われる。

セラードオキシソルの通気係数は圧密層ではきわめて低い膨軟な耕土においてもわが国の一般畑土壌に比べて低い傾向があった。また根の浅層分布がとくに著しく、過去の干ばつ被害の大きかった 2 つの地点では耕土の通

気係数がともに非常に低いことを認めた。ダイズや根粒菌と共生するマメ科植物の根は特異的に高い酸素要求量をもつ<sup>17,18)</sup>。一方、マメ科作物はニンパク、オオムギに比べてより低い土壌炭酸ガス分圧によって根の生育障害を受ける<sup>19)</sup>ことが報告されている。セラード圧密層は土壌ガス交換においても好ましくないが、耕土層においても通気性が劣る点でとりわけダイズに対して根の表層分布を促す要因をもつものと思われる。そして湿状態ではそれがいっそう助長されるものと思われる。

セラードオキシソルの低い通気性はその粒状無構造と構成 3・2 酸化物ゲル粒子に基づく曲りくねった孔隙経路 (tortuosity) に起因すると推察される。腐植質火山灰土と赤色土も比較的低い通気係数をもつことも、それを示唆している。しかしながら今後の検討を要する問題である。

以上のことからセラードオキシソルにおけるダイズ根の垂直伸長障害と分枝根多発の現象は耕土直下に出現する圧密層の硬度と孔隙性におもに起因するものと結論した。さらに根群の浅層分布には土壌ガス交換も関与しているものと推察した。

対策については、従来の深耕土壌改良は有効であり、心土破砕の効果も期待できよう。しかしながら、軽しゅう碎易の粒状構造をもつオキシソルは圧密層を生成しやすいと考えられるので開畑当初から機械の踏圧を極力回避することが重要で、そのための農耕法の開発が望まれる。団粒構造を発達させる土壌管理も大事であろう。さ

らに作物、品種によって土壌物理性の感応は異なるので適性作物の選定が重要と思われる。

## 5. 要 旨

セラードオキシソルに生育するダイズは根群発達が浅い特徴をもち、従来土壌化学性に原因が求められてきたが物理性の関与が明らかでなかった。そこで暗赤色ラトソルと赤黄色ラトソルの耕地、未耕地計8地点につき2、3の物理性と開畑耕作に伴う変化およびダイズ根伸長への影響を調査した。

1 セラードオキシソルは碎易な粒状無構造を特徴的にもち、仮比重は0.9~1.1の範囲にあり、 $< pF 4.2$ の無効微細孔隙に富むが、有効水保持能も比較的高かった。

2 開畑4または8年目のダイズ連作畑には5調査地点のいずれにも耕土直下に圧密層が存在した。圧密層は湿の現地水分または  $pF 3$  水分状態で作物根の貫入を阻害しうる  $15\sim 25 \text{ kg/cm}^2$  の硬度を発達させ、ダイズ根の大部分は圧密層上部に分布した。酸性矯正された土層であっても圧密部位には根の貫入がほとんど認められなかった。

3 圧密層では直径  $100 \mu\text{m}$  以上の粗孔隙が激減しており、また構成粒子が粗砂以下の粒径をもつために最大孔隙径は小さく、この孔隙特性がたいダイズ根に対してフィルター作用を発揮するものと推察した。

4 通気係数は膨軟な耕土層においてもわが国畑土壌に比べて低い傾向があり、根の浅層分布の著しい畑でとくに低い値を示した。酸素要求量の高いダイズに対しては通気性不良も根の表層分布を促すものと推察した。

以上のことからセラードオキシソルにみられるダイズ根群の浅層分布は圧密層の硬度、孔隙性および耕土層も含めた低い通気性におもに起因する現象であると推定した。

謝 辞 本研究はブラジル農業研究協力プロジェクトの一環として国際協力事業団よりブラジル農牧研究公社セラード農業研究所に派遣された期間に実施された。貴重な機会と有益な助言を賜ったプロジェクト団長尾形保博士、農林水産省技術会議および事業団の関係者各位、ならびに研究の便宜を与えられた同研究所 Elmar WAGNER 所長、Edson LOBATO 研究部長に深甚の謝意を表します。

## 文 献

1) SÁNCHEZ, P.A.: Advances in the Management of Oxisols and Ultisols in Tropical South America; in Proceedings International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, Tokyo, p.535~566 (1977)

- 2) 川崎 弘・岩田文男・MESQUITA, M. V.: セラードにおける大豆根群の発達, 日伯農業研究協力プロジェクト(セラード研究協力)研究報告書, EMBRAPA-CPA Cerrados-国際協力事業団, p.72~78 (1980)
- 3) DEDECK, R.A.・岩田文男・川崎 弘: セラードにおける大豆・小豆栽培法の改良, 同上, p.67~71 (1980)
- 4) REICHARDT, T. K.: Soil Physico Chemical Conditions and the Development of Roots; in Proceedings of Symposium on Soil/Root System, Londrina, p.105~114 (1980)
- 5) 吉田武彦: 作物根のアルミニウム障害, ブラジル農業研究協力プロジェクト研究報告書(その2), 国際協力事業団開発協力部, p.10~18 (1981)
- 6) RANZANI, G.: ブラジル・セラードの土壌, セラードに関するシンポジウムⅢ抄訳, p.31~56, 熱帯農業研究センター(1977)
- 7) LOBATO, E., GOCCERT, W.J. and RESENDE, M.: Improvement and Fertilization of the Savannas in Brasil; in Proceedings International Symposium on Distribution, Characteristics and Utilization of Problem Soils, Tsukuba, TARC, p.309~319 (1981)
- 8) North Carolina State University: Agronomic-Economic Research on Tropical Soils; in Annual Reports, Soil Sci. Dept., Raleigh (1975, 1976~77)
- 9) BANDY, D.E. and MUSGRAVE, R.B.: Management of Water Stress Period. *ibid.*, p.65 (1975)
- 10) FERREI, M.G.: セラードの植物生態, セラードに関するシンポジウムⅣ抄訳, p.1~20, 熱帯農業研究センター(1981)
- 11) KUSOTA, T., VERAPATTANANIRUND, P., PIYAPONGSE, P. and PHETCHAWEE, S.: Improvement of the Moisture Regime of Upland Soils in Thailand; in Proceedings Symposium on Distribution, Characteristics and Utilization of Problem Soils, Tsukuba, TARC, p.351~372 (1981)
- 12) TAYLOR, H.M., ROBERSON, G.M. and PARKER, J.J.: Soil Strength-Root Penetration Relations for Medium to Coarse-Textured Soil Materials. *Soil Sci.*, 102, 18~22 (1966)
- 13) GILL, W.R. and BOLT, G.H.: Pfeffer's Studies of the Root Growth Pressures Exerted by Plants. *Agron. J.*, 47, 166~168 (1955)
- 14) 滝嶋康夫・佐久間宏: 土壌の圧縮および硬度が水稲の根系発達ならびに生育におよぼす影響に関する研究, 農技研報 B, 21, 255~328 (1969)
- 15) GREAGEN, E.L., BARLEY, K.P. and FARRELL, D.A.: The Mechanics of Root Growth in Soils with Particular Reference to the Implications for Root Distribution; in Proceedings 15th Easter School in Agric. Sci. 'Root Growth,' Univ. of Nottingham, p.256~269 (1968)
- 16) WIERSUM, L.K.: The Relationship of the Size and Structural Rigidity of Pores to Their Penetration by Roots. *Plant Soil*, 9, 75~85 (1957)
- 17) BERGERSON, F.J.: Biochemistry of Symbiotic Nitrogen Fixation in Legumes. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 22, 121~140 (1971)
- 18) 阿江教治・仁菜宏保: 水田転換畑が大豆の生育に及ぼす影響(第3報), 大豆根系における酸素消費量と土壌物理性について, 土肥要旨集, 29, 46 (1983)
- 19) STOLWIJK, J. A. J. and THIMANN, K.V.: On the Uptake of Carbon Dioxide and Bicarbonate by Roots, and Its Influence on Growth. *Plant Physiol.*, 32, 513~520 (1957)

# セラードの柑橘園におけるカイガラムシ とアブラムシの寄生蜂（予報）

九州大学農学部生物的防除研究施設

村 上 陽 三

## 緒 言

ブラジルでは、柑橘類は最近急速に成長しつつある作物のひとつで、その生産量はアメリカに次いで世界第二位、加工ジュースの輸出においては世界第一位である。柑橘害虫の面ではブラジルは、世界の他の国々に比べてその被害が著しい地域の一つであり、この国における柑橘産業の発展は、多くの種類の害虫による被害に直面している。Gallo *et al.* (1978)によると、ブラジルで柑橘を加害するカイガラムシとアブラムシは18種記録されている。カイガラムシの中では、*Orthezia praelonga*（ハカマカイガラムシ科）、*Chrysomphalus ficus*、*Lepidosaphes beckii*（= *Mytilococcus beckii*）、*Pinnaspis aspidistrae*、*Parlatoria ziziphi*（= *P. ziziphus*）（以上マルカイガラムシ科）の5種が重要害虫である（Caetano, 1980；Nakano, 1982）。アブラムシでは、*Toxoptera citricidus* がトリステザ・ウイルスの媒介者としてよく知られている（Müller, 1980）。これらのカイガラムシやアブラムシを攻撃する天敵としては、テントウムシ、ショクガバエ、アザミウマ、クサカゲロウなどの捕食虫と、7種の寄生蜂、6種の病原微生物がブラジルから記録されている（Gallo *et al.*, 1978；Gravena, 1980）。

筆者は1982年1月9日から約2か月間、ブラジル国セラード農牧研究センター（EMBRAPA/CPAC）に滞在し、柑橘を加害するカイガラムシとアブラムシの生物的防除に関する研究に従事する機会に恵まれた。この間筆者は主としてブラジリア連邦区内のいくつかの柑橘園で、カイガラムシとアブラムシの寄生蜂について調査を行い、若干の新知見を得ることができた。併せてブラジルにおけるこれらの柑橘害虫の生物的防除について、今後の研究の発展に関する二、三の示唆を与えることができた。

## 材料及び方法

ブラジリア連邦区内の下記の柑橘園から、カイガラムシが加害していた葉及び果実、アブラムシが加害していた新葉を採集した。

- (1) セラード農牧研究センター圃場（Planaltina），1月14日及び1月29日。
- (2) 宮野氏園（Núcleo Bandeirante），1月15日。
- (3) 古屋氏園（Taguatinga），1月15日。

- (4) 早川氏園 ( Alexandre de Gusmão ), 1月16日及び1月26日。
- (5) ブラジリア農業高校 ( Planaltina ), 1月20日及び2月1日。
- (6) 鈴木氏園 ( Alexandre de Gusmão ), 1月26日。
- (7) 杉本氏園 ( Alexandre de Gusmão ), 1月26日。
- (8) 松永氏園 ( Núcleo Rural de Tabatinga ), 2月16日。

採集したカイガラムシは植物体からはずし、長さ1.5 cm内径1 cmの試験管に入れて綿栓をし、羽化した寄生蜂を同定して個体数を調べた。寄生率を調べるため実体顕微鏡下で寄生された個体と寄生されていない個体を識別した。被寄生個体には、寄生蜂の脱出孔又は蛹莢の残っている個体と、解剖によって寄生蜂の蛹又は幼虫を確認できた個体を含めた。アブラムシは新葉のままシャーレに入れ、寄生蜂幼虫の老熟によってマミー化するのを待った。

セラード以外の柑橘園におけるカイガラムシとアブラムシについて調査するため、2月9日にサンパウロ州リメイラ ( Limeira ) 市の近くのコンシャウ ( Conchal ) にある Fazenda Agua Branca を訪れた。

## 結 果

ブラジリア連邦区内の柑橘園で確認されたカイガラムシとアブラムシは第1表に示す9種であった。そのうちアカホシマルカイガラムシ Chrysomphalus ficus Ashmead, ミドリカタカイガラムシ Coccus viridis ( Green ), ミカンクロアブラムシ Toxoptera citricidus ( Kirkaldy ) の3種が重要で、他の4種のカイガラムシと2種のアブラムシは低密度で重要でないと思われた。アカホシマルカイガラムシとミドリカタカイガラムシはともに、セラードを開墾してすぐ植栽した幼木で特に被害が著しく、成木や開墾後1年又は数年間大豆や野菜を栽培したのち植栽した幼木では、さほどの被害は見られなかった。ミカンクロアブラムシは、セラードのすべての調査園と、サンパウロ州コンシャウの柑橘園で高密度であったが、被害は幼木で著しかった。しかしトリスデザ・ウイルス病の発生は認められなかった。

以下各カイガラムシ及びアブラムシの寄生蜂についての調査結果を述べる。

### 1 アカホシマルカイガラムシ

セラード農牧研究センター圃場で採集したアカホシマルカイガラムシから、第2表に示す5種の寄生蜂が羽化した。このうち Aspidiotiphagus lounsburyi ( Berlese et Paoli ) が優占種であり、Marietta sp. と Signiphora sp. は二次寄生蜂と思われる。この園では本種が大発生しており、寄生率は第3表に示すように幼虫で高く雌成虫で低い。幼虫に対する寄生率と葉当たり寄主数の関係は第1図に示すように、比較的 low 密度 ( 葉当たり100頭以下 ) の葉では寄生率が極めて高く、高密度の葉では低い傾向が見られた。

### 2 ミカンカキカイガラムシ

1月16日に早川氏園で採集したミカンカキカイガラムシ Lepidosaphes beckii ( Newman )

から、3頭の Aphytis sp. B が羽化した。寄主密度が極めて低かったため寄生率を推定することはできなかった。松永氏園では本種を1頭のみ採集することができたが、介殻の下から寄生蜂の蛹糞が発見された。

### 3 ヒメクロカイガラムシ

1月16日に早川氏園で採集した31頭のヒメクロカイガラムシ Parlatoria ziziphi (Lucas) から寄生蜂は1頭も羽化しなかった。また寄生蜂が寄生した痕跡も発見できなかった。

### 4 ハランナガカイガラムシ

ブラジリア農業高校圃場で採集したハランナガカイガラムシ Pinnaspis aspidistrae (Signoret) から、4種の寄生蜂が羽化した。そのうちの2種は鈴木氏園で採集した本種からも羽化した(第4表)。優占種は A. lounsburyi と Arrhenophagus sp. であった。前者は雌雄の幼虫から羽化した。後者は雄幼虫のみから羽化した。また鈴木氏園ではこの2種のうちでも Arrhenophagus sp. が優占種であった。Aphytis sp. C と Encarsia sp. B はいずれも雌からのみ羽化した。

寄生率は調査園によって著しく異なり、鈴木氏園では極めて低く、ブラジリア農業高校圃場では最も高く、松永氏園では中程度であった。寄生率が低かった鈴木氏園では寄主はかなり高密度であったが、他の2園では比較的 low 密度であった。一般的傾向としては、雌よりも雄に対する寄生率が高かった(第5表)。

### 5 ミドリカタカイガラムシ

鈴木氏園で採集したミドリカタカイガラムシから2頭の Coccophagus sp. (ツヤコバチ科) が羽化した。寄生率は極めて低かった(第6表)。

### 6 ワタカイガラムシの一種

松永氏園で2頭のワタカイガラムシの一種、Pulvinaria flavescens Bréthes を採集したが、寄生蜂は羽化しなかった。

### 7 アブラムシ類

ミカンクロアブラムシ、ユキヤナギアブラムシ Aphis citricola van der Goot、ワタアブラムシ Aphis gossypii Glover いずれも寄生蜂及びその痕跡を発見することができなかった。

## 考 察

セラードの中央に位置するブラジリア連邦区内の柑橘園では一般にカイガラムシは低密度であったが、アカホシマルカイガラムシとミドリカタカイガラムシが一部の園で大発生していた。これらのカイガラムシは、セラードを開墾した直後に柑橘類を植栽した場合、特にその幼木で被害が著しかった。そのような園では雑草が殆ど生えておらず裸地に近い状態であり、多食性捕食者は極めて低密度であった。このような貧弱な生物相と寄主特異的な寄生蜂の欠除が、これらのカイガラムシの大発生の原因と思われる。セラード開墾後野菜を栽培した後に柑橘を植栽した園で

は、雑草もよく繁っており多食性捕食者も多く、被害は比較的軽微であった。

アカホシマルカイガラムシが多発していた樹では、Aspidiotiphagus lounsburyi が幼虫に対してかなり高い寄生率で寄生していたが、この寄生蜂は多食性で種々のマルカイガラムシ類の幼虫に寄生し、寄主個体群の抑圧に重要な役割を果たしていない。

このカイガラムシは東洋原産で、世界各地の熱帯・亜熱帯に広く分布し、多くの種類の天敵が記録されている。DeBach and Rosen (1976)によると、これらの天敵のうちで有力なものでは7種の寄生蜂であり、その中にはブラジル原産のAphytis costalimai (Gomes)が含まれている。これらの寄生蜂の中でも特にAphytis holoxanthus DeBach は極めて効果的な天敵として有名であり、世界各地に導入されて顕著な効果を発揮している。すなわち1956年に香港からイスラエルに初めて導入されて以来、テキサス、フロリダ、メキシコ、ブラジル、ペルー、アルゼンチン、南アフリカ、エジプト、レバノン、オーストラリアにも導入され、それぞれ定着した (DeBach et al., 1971; Rosen and DeBach, 1978, 1979)。

ブラジルへは1962年にカリフォルニアから導入され、1970年には成功したという結果が得られている (DeBach, 1971)。この寄生蜂はアカホシマルカイガラムシの寄主特異的な寄生蜂で、卵、1齢幼虫以外のあらゆるステージの寄主を攻撃する。寄主の大きさによって単寄生又は多寄生 (2~3頭) する。室内ではシロマルカイガラムシ Aspidiotus nerii Bouché (= A. hederæ (Vallot)) やサボテンシロカイガラムシ Diaspis echinocacti (Bouché) でも十分飼育増殖が可能で、前者で飼育した場合27~32℃では卵から成虫まで14日を要する (Rosen and DeBach, 1978)。セラードの柑橘園ではこの寄生蜂は認められないので、国内の定着地又は外国から本種を導入する必要がある。

ミドリカタカイガラムシが多発していた園での本種に対する寄生蜂の寄生率は極めて低く、本種に対する寄主特異的な寄生蜂の欠除が大発生の原因であろうと思われる。本種は世界中の熱帯・亜熱帯に広く分布し、ブラジル原産と考えられている。しかしこのカイガラムシに対する生物的防除の努力はこれまで殆ど行われていない。ハワイでは1908年にメキシコから導入されたテントウムシの一種、Azya luteipes Mulsant によってかなりの程度防除に成功したが、1960年にフィジーから輸入したテントウムシ Coelophora atrolineata Fairm. はその後定着が確認されていない。またカリフォルニアから1964年に導入したトビコバチの一種 Metaphycus luteolus (Timberlake) もこのカイガラムシに適応しなかった。一方プエルトリコでは1945年にツヤコバチ科の寄生蜂 Coccophagus caridei (Bréthes) と C. fallax Compere 及びテントウムシ Azya sp. がブラジルから輸入されたが、定着の結果は記録されていない。バーミューダでは1951年にトリニダードからテントウムシ A. luteipes を、またジャマイカから別のテントウムシ Chilocorus cacti (L.) を導入して、地域的にある程度効果があった (Bartlett, 1978)。今後ブラジル国内で効果的な天敵の探索を行い、セラードの柑橘園へ導入する必要がある。

ミカンカキカイガラムシはセラードの調査園では極めて低密度で、寄生蜂としては Aphytis sp. B が確認された。このカイガラムシに対しては 1962 年にカリフォルニアから Aphytis lepidosaphes Compere が導入され、ブラジル国内数箇所では放飼された。放飼後 6 か月目にはリオデジャネイロ郊外とレンフエで定着が確認されており、1970 年には防除に成功したことが確認された (DeBach, 1971; Rosen and DeBach, 1978)。この寄生蜂はミカンカキカイガラムシの寄主特異的寄生蜂で、1948 年中国広東省からカリフォルニアに導入され、その後テキサス、フロリダ、メキシコ、チリー、ペルー、エクアドル、ブラジル、イタリア、キプロス、ギリシャに導入された。このうち、カリフォルニアとメキシコの一部を除いて顕著な防除効果を発揮している。カリフォルニアであまり効果的でないのは、冬から春にかけて寄生蜂の幼生期の死亡率が高いためである (Rosen and DeBach, 1978)。セラードの柑橘園で確認された Aphytis sp. B が A. lepidosaphes かどうかは、今のところ明らかでない。

ヒメクロカイガラムシ、ハランナカイガラムシ、ワタカイガラムシの一種については、いずれもセラードの調査園では被害のない程度に低密度であったが、天敵特に寄生蜂がこれらのカイガラムシの密度にどのような役割を果たしているかは不明である。

ミカンクロアブラムシが調査したすべての園で大発生していたのは、明らかに有効な天敵が欠除しているためであろうと思われる。ブラジルからはアブラバチ科の Lysiphlebus (= Aphidius) testaceipes (Cresson) がこのアブラムシの寄生蜂として記録されているが (Gallo et al., 1978)、この寄生蜂は新北区、新熱帯区、オセアニアにかけて広く分布する、極めて寄主範囲の広い多食性寄生蜂であり (Mackauer and Starý, 1967)、あまり有効な天敵であるとは思われない。日本では中尾 (1962) 及び加藤 (1968, 1969) によって 18 種の捕食虫 (テントウムシ科 8 種、ショクガバエ科 6 種、ヒメカゲロウ科 2 種、クサカゲロウ科 2 種) と 1 種の寄生蜂が、このアブラムシの天敵として記録されている。その中でも特にアブラバチ科の Lysiphlebia (= Lysiphlebus) japonica (Ashmead) はミカンクロアブラムシの発生期間中長期にわたって活動し、攻撃率も最も高い天敵であり、特に夏芽の初期に発生したミカンクロアブラムシの密度がまだ十分上昇していない時には、アブラムシの個体群を抑圧する効果が高い (加藤, 1969, 1970)。この寄生蜂は香港、台湾、朝鮮、日本などの東アジアに分布し (Mackauer and Starý, 1967)、日本では北海道から奄美大島に至る各地で記録されている (Takada, 1968)。また多食性の寄生蜂で、日本からはミカンクロアブラムシのほか 12 種のアブラムシが寄主として記録されているが (Takada, 1968)、柑橘園ではユキヤナギアブラムシよりもミカンクロアブラムシに対して高い寄生率は示し、後者に対して特異的に作用する (加藤, 1969)。将来ブラジルの柑橘園へこの寄生蜂を日本から導入することによって大きな効果が期待されるものと思われる。

## 謝 辞

本研究は国際協力事業団の短期専門家としてブラジル国セラード農牧研究センターに派遣されていた期間に行った研究であり、国際協力事業団とブラジル農牧研究公社(EMBRAPA)による財政的負担に対して感謝する次第である。また研究の遂行に種々の便宜を与えられたセラード農牧研究センター所長 Elmer Wagner 博士、同次長 Edson Lobato 博士、セラード研究協力プロジェクトの日本チーム団長尾形保博士に対して、更に本研究に協力して下さった長期派遣専門家の阿部登氏(農林水産省熱帯農業研究センター)とカウンターパートの Gilson Westin Cosenza 博士(セラード農牧研究センター)、並びに園田正徳氏はじめ多くのブラジリア在住の日系農家の方々、寄生蜂を同定して下さいました愛媛大学農学部立川哲三郎博士に対して深甚の謝意を表する次第である。

## 摘 要

ブラジリア連邦区内のセラード地帯における柑橘園から、1982年1~2月の期間にわたる調査によって、6種のカイガラムシと3種のアブラムシを確認し、それらの寄生蜂を記録した。

- (1) アカホンマルカイガラムシから5種、ミカンカキカイガラムシから1種、ハランナガカイガラムシから4種、ミドリカタカイガラムシから1種の寄生蜂を記録した。
- (2) アカホンマルカイガラムシから発見された寄生蜂はいずれも、寄主個体群の抑圧に重要な役割を果たしておらず、すでに1962年にカリフォルニアからブラジルに導入して定着した寄生蜂 Aphytis holoxanthus を、セラードの柑橘園に導入する必要がある。
- (3) ミドリカタカイガラムシに対しては今のところ有力な天敵がみつかっていないので、本種の原産地と思われるブラジル国内で有効な天敵を探索して、セラードの柑橘園に導入する必要がある。
- (4) ミカンクロアブラムシからは寄生蜂が全く発見されなかったが、日本で本種の個体群を抑圧している寄生蜂 Lysiphlebia japonica をブラジルの柑橘園に導入することが望まれる。

## 引用文献

- Bartlett, B. R. (1978) Parasites and predators introduced against arthropod pests: Coccidae. In, Introduced Parasites and Predators of Arthropod Pests and Weeds: A World Review (Agriculture Handbook No. 480). (C. P. Clausen ed.), Washington D. C., USA:USDA, pp. 57-74.
- Caetano, A. A. (1980) Tratamento fitossanitário do pomar cítrico. In, Citricultura Brasileira, Vol. 2 (O. Rodriguez e F. Viégas eds.), Campinas, São Paulo, Brazil: Fundação Cargill, pp. 623-641
- DeBach, P. (1971) The use of imported natural enemies in insect pest management ecology. In: Proc. Tall Timbers Conference on Ecological Animal Control by

Habitat Management, No. 3, February 25-27 1971, Tallahassee, Florida, pp. 211-233.

- DeBach, P. and D. Rosen (1976) Armoured scale insects In: Studies in Biological Control. (V. L. Delucchi ed.), Cambridge, England: Cambridge University Press, pp. 139-178
- DeBach, P., D. Rosen and C. E. Kennett (1971) Biological control of coccids by introduced natural enemies. In: Biological Control. (C. B. Huffaker ed.), New York, N. Y., USA: Plenum Press, pp. 165-194
- Gallo, D., O. Nakano, S. S. Neto, R. P. L. Carvalho, G. C. de Batista, E. B. Filho, J. R. P. Parra, R. A. Zocchi e S. B. Alves (1978) Manual de Entomologia Agrícola. São Paulo, S. P., Brasil: Editora Agronomica Ceres, 531p.
- Gravena, S. (1980) Controle integrado de pragas dos citros. In: Citricultura Brasileira, Vol. 2 (O. Rodriguez e F. Viégas eds.), Campinas, S. P., Brasil; Fundação Cargill, pp. 643-690
- 加藤 勉 (1968) 柑橘園におけるアブラムシの大発生と天敵の働き。応動昆中国支部会報10:19-23。
- 加藤 勉 (1969) 柑橘園のアブラムシに対する各種天敵の特異性。応動昆中国支部会報11:20-27。
- 加藤 勉 (1970) ミカンクロアブラムシに対する寄生蜂 Lysiphlebus japonicus Ashmead のミカン夏芽における寄生活動。応動昆中国支部会報12:1-6。
- Mackauer, M. and P. Stary (1967) Index of World Aphididae. Paris, France: Le François, 195p.
- Müller, G. W. (1980) Moléstias de vírus e micoplasmas de citros. In: Citricultura Brasileira, Vol. 2 (O. Rodriguez e F. Viégas eds.), Campinas, S. P., Brasil; Fundação Cargill, pp. 565-607.
- Nakano, O. (1982) Integrated control of citrus pests. In: The Third Japan-Brazil Symposium on Science and Technology, Proceedings of Symposium, Tokyo, Japan, pp. 200-204
- 中尾舜一 (1962) 福岡市近郊一柑橘園の昆虫相(柑橘園昆虫群集の生態学的研究第4報)。昆虫30:50-71。
- Rosen, D. and P. DeBach (1978) Parasites and predators introduced against arthropod pests: Diaspididae. In: Introduced Parasites and Predators of Arthropod Pests and Weeds: A World Review (Agriculture Handbook No. 480). (C. P. Clausen ed.), Washington D. C., USA: USDA, pp. 78-128

Rosen, D. and P. DeBach ( 1979 ) Species of Aphytis of the World ( Hymenoptera: Aphelinidae ). Jerusalem, Israel: Keter Publishing House Jerusalem, Ltd., 801p.

Takada, H. ( 1968 ) Aphididae of Japan. Insecta Matsumurana 50: 67-124, 20 pls.

第1表 ブラジリア連邦区内の柑橘園で確認されたカイガラムシとアブラムシ

( 1982年1~2月 )

種 名	科 名	発 生 状 況
アカホシマルカイガラムシ <u>Chrysomphalus ficus</u>	マルカイガラムシ科	セラード農牧研究センター圃場で大発生
ミカンカキカイガラムシ <u>Lepidosaphes beckii</u>	マルカイガラムシ科	すべての園で認められたが低密度
ヒメクロカイガラムシ <u>Parlatoria ziziphi</u>	マルカイガラムシ科	早川氏園でのみ確認、極めて低密度
ハランナガカイガラムシ <u>Pinnaspis aspidistrae</u>	マルカイガラムシ科	すべての園で認められたが被害のない程度
ミドリカタカイガラムシ <u>Coccus viridis</u>	カタカイガラムシ科	セラード農牧研究センター圃場と鈴木氏園の幼木で大発生
ワタカイガラムシの一種 <u>Pulvinaria flavescens</u>	カタカイガラムシ科	松永氏園でのみ確認、低密度
ミカンクロアブラムシ <u>Toxoptera citricidus</u>	アブラムシ科	すべての園で大発生、成木では被害なし
ユキヤナギアブラムシ <u>Aphis citricola</u>	アブラムシ科	セラード農牧研究センター圃場で確認、低密度
ワタアブラムシ <u>Aphis gossypii</u>	アブラムシ科	セラード農牧研究センター圃場で確認、低密度

第2表 アカホシマルカイガラムシから羽化した寄生蜂

(セラード農牧研究センター圃場、1982年1月)

種名	科名	羽化個体数	
		1月14日採集の寄主	1月29日採集の寄主
<u>Aspidiotiphagus lounsburyi</u>	ノヤコバチ科	1	64
<u>Encarsia</u> sp. A	ノヤコバチ科	0	1
<u>Aphytis</u> sp. A	ノヤコバチ科	0	1
<u>Marietta</u> sp.	ノヤコバチ科	1	2
<u>Signiphora</u> sp.	クロノヤコバチ科	0	1

第3表 アカホシマルカイガラムシに対する寄生蜂の寄生率

(セラード農牧研究センター圃場、1982年1月)

寄主のステージ	調査日	調査寄主数	被寄生寄主数	寄生率
幼虫	1月29日	993	743	74.8
雌成虫	1月14日	1054	3	0.3

第4表 ハランナガカイガラムシから羽化した寄生蜂

(ブラジルア連邦区、1982年1~2月)

種名 (科名)	寄主の性	羽化個体数		
		ブラジルア農業高校圃場		鈴木氏園
		1月22日採集の寄主	2月1日採集の寄主	1月26日採集の寄主
<u>Arrhenophagus</u> sp. (トビコバチ科)	雄	198	-	42
	雌	0	0	0
<u>Aspidiotiphagus lounsburyi</u> (ツヤコバチ科)	雄	113	-	0
	雌	10	2	2
<u>Aphytis</u> sp. C (ツヤコバチ科)	雄	0	-	0
	雌	3	0	0
<u>Encarsia</u> sp. B (ツヤコバチ科)	雄	0	-	0
	雌	0	1	0

第5表 ハランナガカイガラムシに対する寄生蜂の寄生率

(ブラジリア連邦区、1982年1~2月)

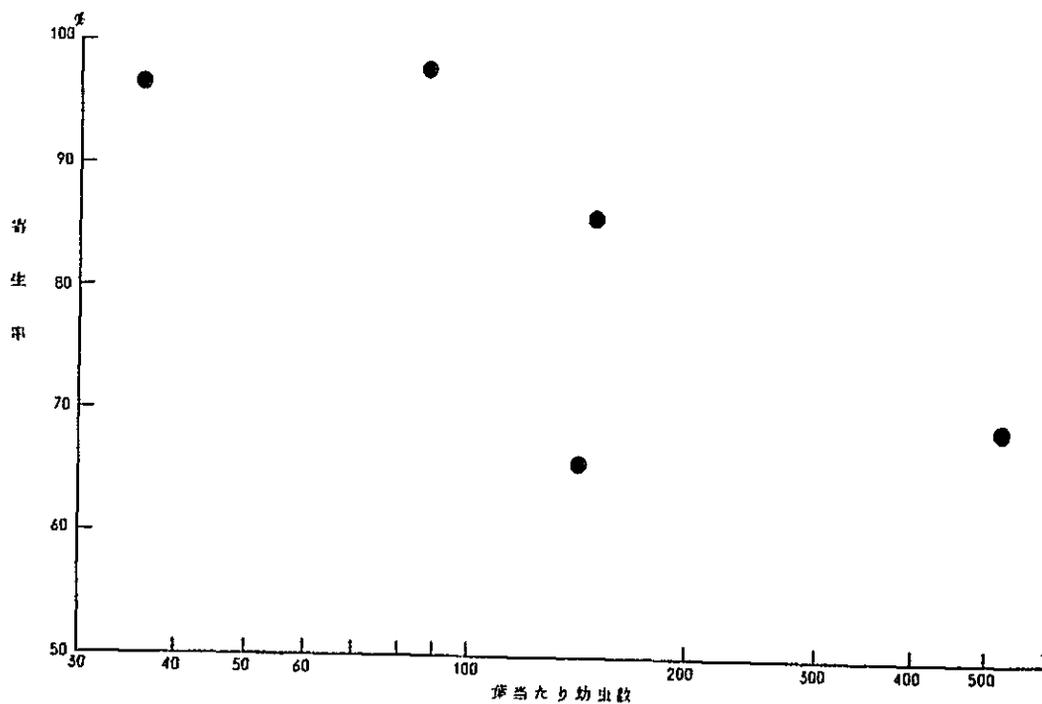
調査園	寄主 採集日	寄主の性	調査寄主数	被寄生寄主数	寄生率
鈴木氏園	1月26日	雄	1778	24	1.3
		雌	291	1	0.3
ブラジリア農 業高校圃場	2月1日	雄	690	522	75.7
		雌	36	22	61.1
松永氏園	2月16日	雄	183	50	27.3
		雌	8	1	12.5

第6表 ミドリカタカイガラムシに対する寄生蜂の寄生率

(ブラジリア連邦区、1982年1月)

調査園	寄主採集日	調査寄主数	被寄生寄主数	寄生率
早川氏園	1月16日	105	2	1.9
鈴木氏園	1月26日	143	2	1.4

第1図 アカホシマルカイガラムシの幼虫に対する寄生率と寄主密度との関係



## SUMMARY

Parasitoids of Scale Insects and Aphids on Citrus in the  
Cerrados Region of Brazil (Preliminary Report)  
(Hymenoptera: Chalcidoidea)

Yôzô Murakami

Institute of Biological Control, Faculty of Agriculture,  
Kyushu University 46-13, Fukuoka 812, Japan

Six species of scale insects and three species of aphids as well as their parasitoids were recorded from citrus orchards in Brasília D.F. in the Cerrados region in January - February 1982.

(1) The parasitoids recorded from scale insects are as follows: Five species from Chrysomphalus ficus, one species from Lepidosaphes beckii, four species from Pinnaspis aspidistrae, and one species from Coccus viridis.

(2) Effective control of Ch. ficus can not be achieved by any parasitoids found in the Cerrados. It is suggested that Aphytis holoxanthus be introduced into citrus orchards in the Cerrados area from areas in Brazil where the parasitoid has been established after importation in 1962.

(3) Since effective parasitoids of C. viridis have not been found, effort should be directed toward discovery of beneficial species in Brazil, which is presumably be the source country of the pest.

(4) No parasitoids of Toxoptera citricidus were found in the Cerrados area. It is suggested that the parasitoid, Lysiphlebia japonica be introduced into Brazil from Japan, where the parasitoid has been reported as the most effective natural enemy of the aphid.



Identification of species and races to the causal  
agent of Stylosanthes Anthracnose in Brazil

Tadayuki Shimanuki

HOKKAIDO NATIONAL AGRICULTURAL  
EXPERIMENT STATION

HITSUJIGAOKA, TOYOHIRA-KU, SAPPORO 061-01, JAPAN

(Present address: NATIONAL GRASSLAND RESEARCH  
INSTITUTE, NISHINASUNO, TOCHIGI 329-27, JAPAN)

June, 1982



## Identification of species and races to the causal agent of Stylosanthes Anthracnose in Brazil

As for species of causal agent Stylosanthes Anthracnose, several papers had been reported already in America and Australia<sup>1, 6, 7, 8, 9</sup>).

And then, at present, causal agents of Stylosanthes Anthracnose are known as Colletotrichum gloeosporioides (Penz.) Sacc. and C. dematium f. sp. truncata (Schw.) v. Arx. Sonoda (1973)<sup>8</sup>), Baldion (1975)<sup>1</sup>) and Irwin (1978)<sup>2</sup>) had presented some evidence to the presence of races with C. gloeosporioides.

In Brazil, the occurrence of this Anthracnose was reported already in 1973<sup>5</sup>), but at present, there are only few reports about Stylosanthes Anthracnose.

The main object of this reports is to identify species and races to causal agent of Stylosanthes Anthracnose in Brazil for testing to variental resistance.

### Materials and methods

Diseased lesions of Stylosanthes Anthracnose were collected from wild or cultivated plants in Brasília-D.F. (EMBRAPA-CPAC), Jatui, Araguari and Paracatu. Small pieces of diseased leaves (approximate 25 mm<sup>2</sup>) were sterilized in 5% solution of Qboa for 3 min, and were rinsed with sterilized water in several times. After those pieces were put on oat meal agar (OMA) in petri dish, they were incubated at 27°C. The isolates separated by upper method were transfered to OMA, PDA (potato dextrose agar) and V-8 agar (200 ml V-8 juice, 3 g CaCO<sub>3</sub>, 15 g agar/1 l) in petri dishes, and then, were incubated at 27°C during two weeks. These isolates were compared with cultural character of colony, and conidia formed on PDA or OMA were observed and measured under the microscope. Appressoria produced from germ tube of the spores or mycelia were cultured by a drop of spore suspension on the slide glass in the moist petri dishes at 27°C during 36 ~ 48 hr. were observed under the microscope.

### Results and discussion

#### 1. Collection of isolates in Brazil and spore morphology.

Eighty-eight isolates were separated from lesions formed on leaves of seventy-six varieties or lines in six species of Stylosanthes, which is planted in field of CPAC. On the other hand, six isolates were separated from wild or

cultivated plants at Jatui, Araguari and Paracatu (Table 1, 2). Five isolates (from S. guianensis) and three isolates (from S. capitata) collected in CPAC were curved spores (Plate I-3). Besides them, other isolates were straight spores (Plate I-1).

## 2. Cultural character

Cultural characters of colonies formed on the medium were compared among media of PDA, V-8 agar and OMA at 27°C during 2 weeks.

### 1) Straight spores

The isolates separated from S. guianensis and S. humilis were grey or black colonies with sparse aerial mycelia, and stromatic acervuli with many orange or bright brown spore masses were formed. The color of isolates from S. capitata, S. scabra, S. macrocephala and S. hamata were grey or black colonies with aerial mycelia elevated on the surface of PDA, V-8 agar and OMA media. And then, these colonies produced few stromatic acervuli with bright brown spore masses. Particularly, it was observed that the color of their colonies formed on OMA was salmon tinge. Some colonies grown on PDA and OMA made felting mat with the grey mycelia.

B-1 isolate produced many bright brown spore masses on PDA and OMA, and the color of mycelia of B-2 isolate was a salmon tinge on OMA. And then, color of B-3, B-6 and B-7 isolates were only black mycelia and didn't produce the spore masses on PDA, V-8 and OMA, but B-5 isolate was a salmon tinge on OMA. Numerous dark and sterile perithecia were produced in the turfs of mycelia on surface of agar.

Five isolates separated from field in CPAC produced the perithecia and ascospores (Plate II-1, 2).

### 2) Curved spores

The eight isolates separated from S. guianensis and S. capitata were same concerning with cultural characters on three media. It were observed that their colonies on PDA and OMA formed sparse light grey mycelia and stromatic acervuli with cream spore masses. Setaes on PDA and OMA were formed in all isolates.

## 3. Identification of species

The morphology and size of conidia in main isolates were showed as following two type and Table 6.

## 1) Straight spores

The conidia of isolates separated from S. guianensis, S. hamata and S. humilis were 16.4 ~ 20.0 X 5.1 ~ 5.2 $\mu$  in average, and size of those spores variegated frequently. Conidia cultured from S. capitata, S. scabra and S. macrocephala were 13.9 ~ 14.5 X 4.8 ~ 5.2 $\mu$ , and smaller than isolates cultured from S. guianensis, S. hamata and S. humilis. The conidial size isolated from Jatui, Araguari and Paracatu were variably and 12.5 ~ 19.9 X 4.3 ~ 5.2 $\mu$  in average. All isolates grouped by straight spores produced ellipsoid or irregular, dark brown appressoria within 8.2 ~ 12.7 X 6.1 ~ 7.6 $\mu$  in average on the slide glass at 27°C (Table 7 and Plate I-2).

From the criteria of von Arx<sup>12)</sup>, straight conidia with size within 12 ~ 19 X 4 ~ 6 $\mu$  in average key out to C. gloeosporioides. According to key of Sutton<sup>11)</sup>, isolates with straight conidia were 9 ~ 24 X 3 ~ 5 $\mu$  in size of average and appressoria were 6 ~ 20 X 4 ~ 12 $\mu$  in size of average. From upper results, it was recognized that this isolate was belong to C. gloeosporioides. From the morphology and size of conidia and appressoria, all isolates grouped by straight spores were identified as C. gloeosporioides.

The perfect (sexual) stage of C. gloeosporioides was known as Glomerella cingulata (Stonem.) Spauld and V. Shrenk. Numerous dark, sterile perithecia were observed among some isolates from CPAC and all isolates from Araguari and Paracatu in pure culture.

From cultural and morphological characters of C. gloeosporioides isolated in each localities of Brazil, they are recognized that these isolates were divided to two types. That is, one group was isolates separated from S. guianensis and S. humilis, and other group was isolates separated from S. capitata, S. scabra and S. macrocephala.

Irwin and Cameron<sup>2)</sup> distinguished two C. gloeosporioides types (A and B), among Australian isolate from Stylosanthes spp., by their pure-culture characters on PDA. Although cultural comparison on different media can only be made with difficulty, it appears that isolates from S. guianensis and S. humilis were similar to type A, and isolates from S. capitata, S. scabra and S. macrocephala were similar to type B. But, from results of inoculated test by Sonku et al.<sup>10)</sup>, pathogenicity of isolates separating from S. guianensis and S. humilis were very weakly or nothing against S. capitata, S. scabra, S. macrocephala and S. hamata. In opposition, the isolates separating from four species exhibited only weak pathogenicity against S. guianensis and S. humilis. Those symptoms were separated to irregular (to S. guianensis) and

spotted type (to S. capitata, S. scabra and S. macrocephala). From results in those inoculating test and cultural characters of colony on PDA and OMA, it was recognized that physiologic specialization among each species of Stylosanthes exists (Table 9).

## 2) Curved spores

Isolates separated from S. guianensis and S. capitata produced conidia within  $27.2 \sim 28.4 \times 2.8 \sim 3.9\mu$  in average (Table 6). According to the Arx's key, there are two species in case of separating by breadth of curved spores. One of them is C. graminicola in case of spores with  $5 \sim 7\mu$  breadth, other is C. dematium in case of  $3.5 \sim 4\mu$  breadth.

As our isolates were breadth with  $2.8 \sim 3.9\mu$ , they were seemed to belong to C. dematium. Also, C. dematium was divided into four form to pathogenicity by Arx. And then, pathogenicity of isolates to leguminosae was C. dematium f. truncata. But Lenne et al. (1978)<sup>3)</sup> had isolated curved spores from Stylosanthes spp. and had identified as C. dematium f. sp. truncata by Arx's key. Our isolates were same as results by Lenne et al. concerning with morphology of spores and appressoria (Plata I-4), but size of spores and appressoria were little larger than result of theirs. From those results, isolates with curved spores were identified as C. dematium f. sp. truncata by the Arx's key.

## Acknowledgements

I wish to express my hearty thanks to Dr. Elmar Wagner, Dr. Edson Lobato and Dr. Gilson Westin Cosenza of EMBRAPA-CPAC, Dr. Tamotsu Ogata and Dr. Yasuo Sonku of Japan-Brazil Cooperative Research Team. My thanks are also due to EMBRAPA and JICA for financial supports in the present study.

ブラジルにおける *Stylosanthes* 炭そ病菌  
の種と寄生性の分化について

植物病理短期専門家

島 貫 忠 幸 \*

北海道農業試験場

(〒061-01 札幌市豊平区羊ヶ丘1)

(\* 現 草地試験場

〒329-27

栃木県那須郡西那須野町千本松768)



Stylosanthes の炭そ病についてはすでにアメリカやオーストラリアで多数の報告<sup>1, 6, 7, 8, 9</sup>)があり、Sonoda ら<sup>9</sup>)、Lenne ら<sup>3</sup>)によれば病原菌は Colletotrichum gloeosporioides (Penz.) Sacc. と C. dematium f. sp. truncata (Schw.) von Arx の2種があるとされている。また、Sonoda ら<sup>8</sup>)、Baldion ら<sup>1</sup>)、Irwin ら<sup>2</sup>)によって C. gloeosporioides の菌株間には寄生性を異にする分化型の存在が報告されている。

ブラジルにおける本病の発生は1973年に報告<sup>5</sup>)されているが、それ以後、詳細な報告はなく、病原菌の種もまだ不明である。

この研究は現在CPACにおいて実施している本病の抵抗性品種・系統の検定法を確立するために行なったもので、ブラジルの2、3地点における野生種あるいは栽培種の Stylosanthes 炭そ病斑より菌の分離を行ない、病原菌の種を明らかにするとともに、接種試験によって寄生性を異にする分化型があるかどうかを検討した。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたっては長期専門家 孫工弥寿雄博士には試験材料の提供から成果のとりまとめまで大変お世話になった。心から感謝する。また、CPAC在任中、JICAの日本チームの尾形団長をはじめ、各位、土生調整員には非常にお世話になった。CPACのDr. Wagner、Dr. Edson、Dr. Gilson、その他の職員の皆さんからは多大の援助をうけた。これらの人々に厚くお礼を申し上げます。

## I. 実験方法および材料

菌の分離はBrasilia-D. F. (EMBRAPA-CPAC)、Jatai、Araguari およびParacatu の2州、1直轄区から採集した野生種ならびに栽培種の Stylosanthes 炭そ病々斑より行なった。分離方法は主に葉の病斑切片(約25mm<sup>2</sup>)をQboa 5%溶液に3分間浸漬して表面殺菌を行なった後、殺菌水で数回洗浄し、oat meal agar (OMA; Aveia 40gに水1ℓを加えて、1時間加熱し、寒天30gを加えたもの)上に置き27℃で培養した。単孢子分離はOMAを用いて、希釈平板法によって行なった。単孢子分離を行なった菌株はOMA、PDA (Difco potato dextrose agar)、V-8 agar (V-8 juice 200ml、CaCO<sub>3</sub> 3g、Agar 15g/1ℓ)に移植し、27℃で1~2週間培養し、菌そうの特徴、孢子形態、菌核形成の有無ならびに子のう殻の形成などについて観察した。孢子の形態観察は主にOMA、PDAに培養したものを使用した。付着器形成方法は孢子浮遊液を湿室に保ったスライドグラス上に点滴し、27℃で36~48時間培養し、発芽菌糸上に形成されたものを計測した。

病原性は Stylosanthes 6種、14品種・系統の幼苗に孢子浮遊液を噴霧接種し、形成された病斑によって確認した。まず供試品種・系統の種子をシャーレ内(1% Captan 溶液を含む)の湿室条件下で、2~3日間25℃で発芽させた後、V-4型ペーパーポットに移植した。接

種は播種56日目の苗(葉令2~4葉)に主要菌株の胞子浮遊液(胞子濃度 $1 \times 10^6$ ヶ/ml)を噴霧し、27℃、湿度100%に48時間保った。その後ガラス室に移し、2週間後に孫工氏らの方法<sup>10)</sup>(Lenneら<sup>3)</sup>の調査基準を一部修正)に従い発病調査を行なった。

病斑が spotted type になる場合

発病程度1	1苗当りの病斑数0
2	1~3
3	4~8
4	病斑多数
5	病斑多数形成し、落葉する
6	枯死

病斑が irregular type になる場合

発病程度1	1苗の全葉に対する
	病斑面積率 0
2	1~5%
3	6~20%
4	21~50%
5	51~100%
	落葉する
6	枯死

## II. 試験結果ならびに考察

### 1 ブラジル各地の菌株収集と胞子形態差

1982年3月下旬から4月上旬にかけてCPACで孫工専門家が実施中の Stylosanthes 炭そ病品種検定圃場に栽培されている Stylosanthes 6種7品種・系統から88菌株を、またJatai、Paracatu、Araguariの栽培種ならびに野生種より6菌株を分離した(第1.2表)。それぞれの分離菌株について希釈平板法により単胞子分離を行なった。その過程で胞子の形態を観察した結果、CPACの S. guianensis から分離した5菌株と S. capitata からの3菌株は分生胞子が鎌形(写真I-3)をしていた。それ以外の菌株はすべてこん棒形であった(写真I-1)。

### 2 分離菌株の培地上における特徴

分離した94菌株をPDA、V-8 agar、OMAに移植し、27℃で2週間培養し、培養的性質を調査した(第3.4.5表)。CPACの S. guianensis より分離した多くの菌株は各培地で菌糸は灰白色~黒色で、気中菌糸は余り顕著でなく、オレンジ色~うすかつ色の胞子塊

を多数形成した。

S. capitata、S. scabra、S. macrocephala、S. hamata よりの分離菌株はそれぞれの培地で、灰白色～黒色の気中菌糸が多く見られ、胞子塊は余り形成しなかった。しかし、OMA上でコロニーが鮭肉色を呈しているのが特徴的であった。また、ある菌株ではOMAおよびPDA上で灰白色の菌糸マットを局部的に形成するものもあった。

S. humilis から分離した4菌株のうち、2菌株は胞子塊を多数形成し、他の2菌株は胞子塊を余り作らなかった。

S. guianensis と S. capitata から分離した鎌形の胞子をもつ菌株はそれぞれPDAおよびOMA上で黒色の菌核を形成し、クリーム色の胞子塊が多数見られ、剛毛の形成も観察された。

また、CPACから分離した88菌株のうち、S. guianensis から分離した3菌株と S. capitata からの2菌株にOMA上で子う殻、子う、子う胞子の形成が認められた。

Jataiより分離したB-1菌株は各培地で胞子塊を多数形成したが、B-2菌株は気中菌糸が顕著で胞子塊は余り形成せず、OMA上で菌そうが鮭肉色を呈するのが特徴であった。またAraguari、Paracatuから分離したB-3、-5、-6、-7菌株はPDA、V-8 agarで黒色菌糸のみであり、OMAでB-5菌株は鮭肉色となったが、他の菌株は黒色菌糸のみであった。これらの菌株には子う殻、子う、子う胞子の形成がみられた。

### 3 Colletotrichum spp. の種の同定

分離菌株の中から主要菌株を選び種の同定に供試した。Arx<sup>12)</sup>、Sutton<sup>11)</sup>らによると Colletotrichum 属の種は最初、分生胞子の形態によって分類されるため、こん棒形の胞子と鎌形の胞子に分けて同定した。

#### (1) こん棒形の分生胞子をもつ菌株

各分離菌株の胞子の形態と大きさを第6表に示した。こん棒形の胞子は両端が丸く円筒形を示すものと、片方の端が少しとがっているものが存在し、各分離菌株でその比率が異なっていた。S. guianensis から分離した菌株の胞子は平均  $164 - 200 \times 51 - 52 \mu$  であったが、胞子の大きさに変異があつて大きいものと小さいものが混在していた。

S. capitata、S. scabra、S. macrocephala からの分離菌株はそれぞれ平均  $140 \times 4.8 \mu$ 、 $139 \times 4.9 \mu$ 、 $139 \times 4.9 \mu$  であり、S. guianensis からの分離菌株に比べていくぶん小さく、胞子の大きさには余り変異がなかった。S. hamata、S. humilis からの分離菌株は  $177 \times 51 \mu$ 、 $180 \times 51 \mu$  で S. guianensis からの分離菌株と同じ大きさを示した。CPAC以外の分離菌株はそれぞれの菌株によって大きさが異なっているが  $199 - 12.5 \times 4.3 - 5.2 \mu$  の範囲にはいつていた。

スライドグラス上で各分離菌株の付着器の形態と大きさを比較した(第7表)。その結果、各分離菌株間で形態などについて大きな変異はなく、付着器の形態は主に dark-brown

ellipsoid であり、中には irregular のものもあつて、大きさは平均  $8.8 - 10.8 \times 6.1 - 6.7 \mu$  であつた。B-1, -2, -3, -5 の菌株も同様の形態と大きさであるが、B-7 菌株はいくぶん大きい傾向にあつた(写真 I-2)。

Arx の Colletotrichum 属の検索表によれば、分生胞子がこん棒形、菌核の形成は少なく、胞子の大きさ平均  $12 - 19 \times 4 - 6 \mu$  のものは C. gloeosporioides に属す。また、Sutton によると、C. gloeosporioides の胞子の大きさは  $9 - 24 \times 3 - 4.5 \mu$  であり、付着器は clavate あるいは irregular で  $6 - 20 \times 4 - 12 \mu$  となっている。著者の分離菌株は胞子や付着器の大きさ、形態は Arx, Sutton の報告とほぼ一致するのでこれらの菌を C. gloeosporioides と同定した。

C. gloeosporioides は Glomerella cingulata (Stonem.) Spauld and V. Schrenk の分生胞子世代として知られている。分離菌株によつて培地上に子のう殻、子のう、子のう胞子の形成が認められた。(写真 II-1, 2)。特に、Araguari, Paracatu からの分離菌株は OMA 上で子のう殻などの形成が認められた。

アメリカやオーストラリアでも Stylosanthes 炭そ病菌は C. gloeosporioides と同定されているので、著者の分離菌株と上記の報告されているものを比較した(第9表)。S. guianensis と S. humilis からの菌株とそれ以外の Stylosanthes spp. からの菌株を比較すると、胞子の形態はほぼ同じであるが、胞子の大きさに若干の違いがあるとともに、S. guianensis と S. humilis からの菌株は培地上で多くの胞子塊を形成した。それ以外の Stylosanthes spp. からの菌株は胞子塊を余り作らず、OMA 上で菌そうが鮭肉色を呈するのが特徴的であつた。しかし、胞子の形態、大きさからは同種に属すものである。Irwin ら<sup>2)</sup> はオーストラリアで Stylosanthes の炭そ病菌に type A, B があつて、PDA 上で type A は菌糸生育が速く、pink spore mass をよく作るが、type B は菌糸生育が遅く、菌そうが pinkish tinge を呈すると報告している。これらのものと、著者の分離菌株を比較すると菌糸生育速度には差異がなかつたが、OMA 上における菌そうからみると、S. guianensis、S. humilis からの菌株は type A、それ以外の菌株は type B に類似している(第8, 9表)。また、孫工ら<sup>10)</sup> の報告によると S. guianensis からの分離菌株は S. guianensis のみに病原性を示し、病斑も irregular type となるが、S. guianensis 以外の分離菌株は S. guianensis にごく弱く、それ以外のものに強い病原性が認められ、病斑も共に spotted type になる。Irwin らもまた病原性を比較しており、type A は S. guianensis 以外のものに病原性を示し、病斑も spotted type となるが、一方の type B は S. guianensis のみに病原性を示し、病斑も irregular type となると報告している。このようにオーストラリアでの type A, B と著者らのものを比較すると、病原性と菌そうの形態は逆の結果となつた。

Lenne ら<sup>4)</sup> はアメリカで5~10月に菌を分離すると培地上で有性世代を作る菌系は少

ないが、10月～1月にかけては有性世代を作る菌系が多く分離されると報告している。我々もCPAC、Jataiの材料からは3月下旬～4月上旬にかけて分離したが、4月中旬に分離したAraguari、Paracatuからの材料はColletotrichum spp.の分離率は低く、分離された菌株には子のう殻の形成が見られた。このように時期によって分離される菌株が異なるかどうかは経時的に菌の分離を行なって更に検討する必要がある。

#### (2) 鐮形の分生胞子をもつ菌株

S. gutanensis から分離した菌株は $272 - 274 \times 28 - 36 \mu$ 、S. capitata からのものは $282 - 284 \times 35 - 39 \mu$ とほぼ同じ大きさであった。Arxによれば鐮形胞子の巾が $5 - 7 \mu$ のものをC. graminicola、 $35 - 4 \mu$ のものをC. dematiumとしている。これらと分離菌株を比較すると胞子の巾からC. dematiumに属するものである。またArxはC. dematiumの中で一定の寄主範囲をもつものでformを用いており、マメ科に寄生性のあるものはf. truncataとしている。しかし、Suttonによると胞子の巾が $2 - 25 \mu$ のものをC. dematium groupとし、 $35 - 4 \mu$ のものを寄生性によってC. circinatum、C. truncatum、C. capsici groupに分類しており、マメ科に寄生性のあるものはC. truncatumである。付着器の形態(第7表)はほぼ同じであるが、大きさが少し大きかった。このことから分離菌株はC. truncatumに属するものと思われる。しかしながら、アメリカでLenneら<sup>3)</sup>はStylosanthes spp.から鐮形の胞子を分離し、Arxの分類に従ってC. dematium f. sp. truncataと同定している。Lenneらの報告と分離菌株(第9表)を比較すると、胞子および付着器の形態は一致するが、いずれの大きさは分離菌株のほう若干大きかった。形態観察の結果から、鐮形の分生胞子をもつ菌株はArxの分類に従って、C. dematium f. sp. truncataと同定した。

#### 4. 病原性の有無

4月1日に14品種系統の種子を発芽処理を行なって、4月3日にペーパポットに移植した。しかし、試験実施中にブラソリアは冬に入り、ガラス室内の気温は夜間 $17^{\circ}\text{C}$ に低下し、Stylosanthesの生育は非常に悪くなった。5月26-27日にC. gloeosporioides、C. dematium f. sp. truncataの11菌株を接種した。

接種結果については追って報告する。

### III. 要 約

EMBRAPA-CPACのStylosanthes炭そ病品種比較試験圃場において76品種・系統の病斑より88菌株を分離培養し、またJatai、Araguari、Paracatuの野生種および栽培種より6菌株を分離し、共に種の同定に供試した。CPACで分離した88菌株のうち、8菌株は分生胞子が鐮形をしており、その他の菌株はすべてこん棒形であった。PDA (potato dextrose agar)、V-8 agar (V-8 juice,  $\text{CaCO}_3$ , agar)、OMA (oat meal agar)に

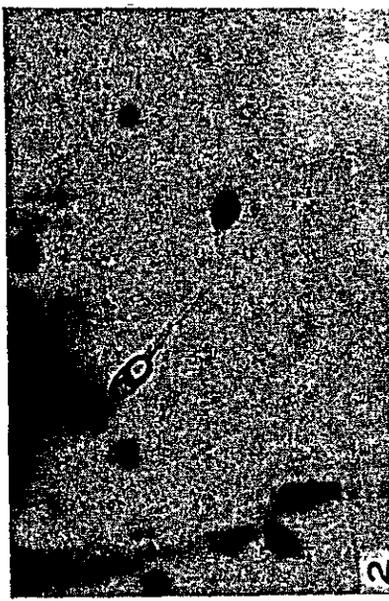
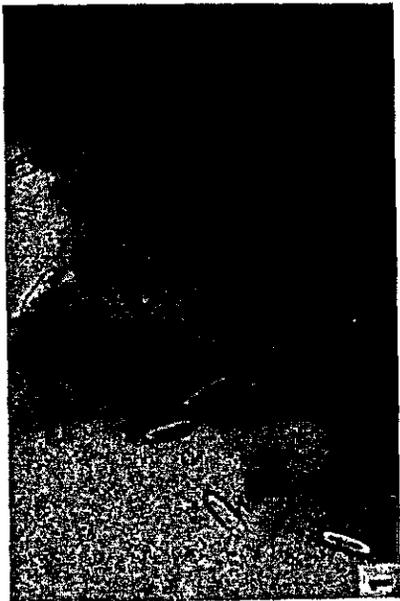
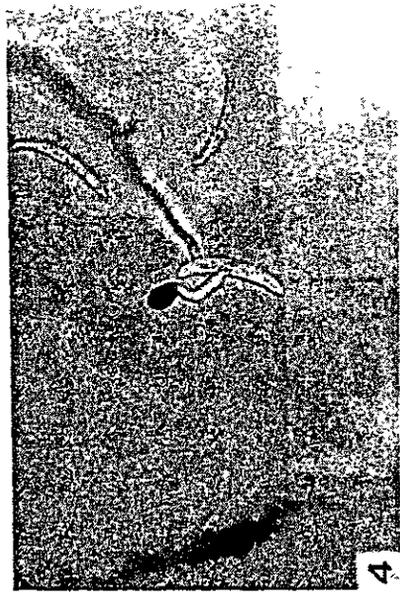
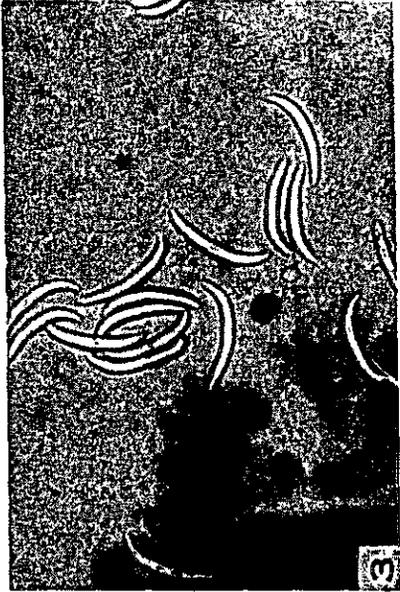
それぞれの菌を移植して菌そうの比較を行なった。こん棒形の胞子の場合、S. guianensis と S. humilis から分離した菌株は各培地で多数の胞子塊を形成した。一方、S. capitata、S. scabra、S. macrocephala、S. hamata からの分離菌株は各培地で、灰白色の気中菌糸をよく形成し、胞子塊の形成は余り認められなかった。しかし、OMA 上で菌そうは鮭肉色を呈するのが特徴的であった。また菌株の中には PDA、OMA 上で局部的に灰白色の菌糸マットを形成するものがあった。CPAC 以外の菌株はそれぞれの分離菌株によって異なっており、Paracatu、Araguari からのものは黒色菌糸のみで、培地上に子のう殻の形成が認められた。CPAC の圃場から分離した 88 菌株のうち、5 菌株にも子のう殻の形成が認められた。S. guianensis、S. hamata、S. humilis からの分離菌株の胞子の大きさは平均  $17.7 - 180 \times 5.0 - 5.1 \mu$  で、S. capitata、S. scabra、S. macrocephala からの分離菌株は  $139 - 142 \times 48 - 50 \mu$  であり、S. guianensis などに比べていくぶん小さかった。付着器の形態は各分離菌株とも ellipsoid か irregular で、大きさが  $88 - 108 \times 61 - 67 \mu$  であった。CPAC 以外の分離菌株は菌株によって大きさが異なっていたが、 $125 - 199 \times 43 - 52 \mu$  の範囲に入り、付着器の形態もほぼ同じであった。これらのことから Arx、Sutton の検索表に従って、こん棒形の胞子の菌株は Colletotrichum gloeosporioides (Penz.) Sacc. [ 有性世代 Glomerella cingulata (Stonem.) Spauld. and V. Schrenk ] と同定した。

鎌形の胞子の場合、PDA および OMA 上で黒色の菌核、剛毛を形成し、乳白色の胞子塊を多数形成した。胞子の大きさは S. guianensis と S. capitata から分離したものはほぼ同じで  $27.5 - 283 \times 37 - 42 \mu$ 、付着器は rounded あるいは irregular で  $93 - 98 \times 6.4 - 65 \mu$  であった。Arx の検索表によってこれらの胞子をもつ菌株を C. dematium f. sp. truncata (Schw.) von Arx と同定した。

## Literature Cited

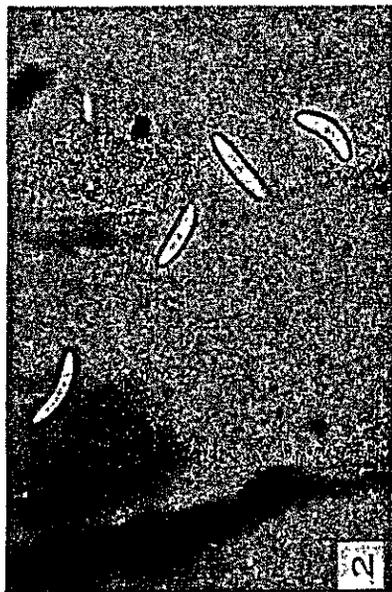
- 1) Baldion, R., Lozano J.C. and Crof B. (1975)  
Evaluación de la resistencia de Stylosanthes spp. a la anthracnose (Colletotrichum gloeosporioides).  
Fitopatología 10: 104 ~ 108
- 2) Irwin, J.A.G. and Cameron, D.F. (1978)  
Two Diseases in Stylosanthes spp. caused by Colletotrichum gloeosporioides in Australia and pathogenic specialization with one of the causal organism.  
Aust. J. Agric. Res. 29: 305 ~ 317
- 3) Lenne, J.M. and Sonoda, R.M. (1978)  
Occurrence of Colletotrichum dematium f. sp. truncata on Stylosanthes spp.  
Plant Dis. Repr. 62: 641 ~ 644
- 4) Lenne, J.M. and Sonoda, R.M. (1979)  
The occurrence of Colletotrichum spp. on Stylosanthes spp. in Florida and pathogenicity of Florida and Australian isolates to Stylosanthes spp.  
Tropical Grassland 13: 98 ~ 105
- 5) Ministerio da Agricultura Brazil (1973)  
Informacoes sobre algunas plantas forrageiras. Publicacao da Seccao de Agrostologia en Alimentacao dos Animaes No. I. Largo da Misericordia, Rio de Janeiro 100pp.
- 6) Óbrien, R.G. and Pont, W. (1977)  
Diseases of Stylosanthes in Queensland.  
Queensl. Agric. J. 103: 126 ~ 128
- 7) Pont, W. and Irwin, J.A.G. (1976)  
Colletotrichum leaf spot and stem canker of Stylosanthes spp. in Queensland  
Aust. Plant Pathol. Soc. Newsl. 5 No. 1 (Suppl.)
- 8) Sonoda, R.M. (1973)  
Incidence of Colletotrichum leaf spot and stem canker on introductions and slections of Stylosanthes humilis.  
Plant Dis. Repr. 57: 747 ~ 749
- 9) Sonoda, R.M., Kretschmer, A.K. Jr and Broimann J.B. (1974)  
Colletotrichum leaf spot and stem canker of Stylosanthes spp.  
Trop. Agric. (Trinidad) 51: 75 ~ 79

- 10) Sonku, Y., Shimanuki T. and Maria Jose D.C. (1982)  
Identification of species to the causal agent of Stylosanthes anthracnose  
in Brasil and their physiologic specialization.  
Sociedade Brasileira de Fitopatologia.  
XV Congresso Brasileiro de fitopatologia.
- 11) Sutton, B.C. (1980)  
The Coleomycetes. Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey, England.
- 12) Von Arx, J.A. (1957)  
Die arten der gattung Colletotrichum CDA.  
Phytopathol. Z. 29: 413 ~ 468.



The Morphology of spores separated from S. guianensis  
and their appressorium formed on the germ tube

- 1 and 2 Straight spores and appressorium of C. gloeosporioides
- 3 and 4 Curved spores and appressorium of C. dematium f. sp. truncata



Asci (1) and ascospores (2) of Glomerella cingulata  
formed on oat meal agar

Table 1 Number of isolates separated from Stylosanthes spp. in fields of CPAC

<u>Stylosanthes</u> spp.	Number of varieties or lines	Number of <u>Colletotrichum</u> spp. separated from plants	<u>Spore morphology</u>	
			Straight	Falcate*
<u>S. guianensis</u>	29	36	31	5
<u>S. capitata</u>	20	24	21	3
<u>S. scabra</u>	19	20	20	
<u>S. macrocephala</u>	3	3	3	
<u>S. hamata</u>	1	1	1	
<u>S. humilis</u>	4	4	4	
	76	88	80	8

\* curved spore

Table 2 Isolates separated from wild or cultivated species of Stylosanthes in Brazil (besides CPAC)

Wild or cultivated plants	Isolated number	Locality of collection	Separated date	Spore morphology	Separated plants
Wild	B-3	Araguari	18.04.'82	Straight	
Cultivated	B-1	Jatai	31.03.'82	Straight	<u>S. capitata</u> (CIAT-1318)
"	B-2	"	"	"	" (CIAT-2044)
"	B-5	Paracatu	18.04.'82	"	
"	B-6	"	"	"	
"	B-7	"	"	"	

Table 3 The cultural characters to colonies of isolates formed on potato dextrose agar

Characters of colony	Number of <i>Colletotrichum</i> spp. separated from <i>Stylosanthes</i> spp. in CPAC					Isolates in Brazil
	<i>S. guianensis</i>	<i>S. capitata</i>	<i>S. scabra</i>	<i>S. macrocephala</i>	<i>S. humilis</i>	
1. Colony: grey or black with sparse aerial mycelia	17				1	
2. Conidial masses: orange and abundance						
1. Colony: grey or black with sparse aerial mycelia	4	2				B-1
2. Conidial masses: light brown and abundance						
1. Colony: grey or black with well elevated aerial mycelia	9				1	
2. Conidial masses: orange or light brown and abundance						
1. Colony: grey or black with well elevated aerial mycelia		14	5	3	1	B-2
2. Conidial masses: light brown and few						
1. Colony: grey or black with well elevated aerial mycelia	1	5	5		2	
2. Dense felty patches with greyish mycelia						
3. Conidial masses: light brown and few						
1. Colony: black mycelia						B-3 B-5 B-6 B-7
1. Colony: grey						
2. Sclerotinia: black	5			3		
3. Conidial masses: cream						
4. Setae						

Table 4 The cultural characters to colonies of isolates formed on V-8 agar

Characters of colony	Number of <i>Colletotrichum</i> spp. separated from <i>Stylosanthes</i> spp. in CPAC					Isolates in Brasil
	<i>S. guianensis</i>	<i>S. capitata</i>	<i>S. scabra</i>	<i>S. macrocephala</i>	<i>S. humilis</i>	
1. Colony: black with sparse aerial mycelia	26	1				2
2. Conidial masses: orange and abundance						
1. Colony: black with well elevated aerial mycelia	1	1	1			
2. Conidial masses: orange and few						
1. Colony: white with well elevated aerial mycelia	3	2				B-1
2. Conidial masses: orange and abundance						
1. Colony: black with well elevated aerial mycelia	1	17	19	3	1	2
2. Conidial masses: light brown and few						B-2
1. Colony: grey with well elevated aerial mycelia	5	3				B-3 B-5
2. Sclerotia: black						B-6 B-7

Table 5 The cultural characters to colonies of isolates formed on oat meal agar

Characters of colony	Isolated number of <i>Colletotrichum</i> spp. separated from <i>Stylosanthes</i> spp. in CPAC						Isolates in Brasil	
	<i>S. guianensis</i>	<i>S. capitata</i>	<i>S. scabra</i>	<i>S. macrocephala</i>	<i>S. hamata</i>	<i>S. humilis</i>		
1. Colony: grey or black with aerial mycelia	1-2 9-2	3-3 12	7-2 13	9-1 17				
2. Conidial masses: light brown and abundance	18 28	21 30	26-1 35	26-2 (15)				
1. Colony: grey or black with sparse aerial mycelia	20*	32	36					
2. Conidial masses: light brown and abundance			(3)					
1. Colony: grey or black with aerial mycelia	1-1 10	3-1* 14	7-1 19	52-1* 52-2*		79-1 79-2	B-1	
2. Conidial masses: orange and abundance	25	29*		(8)	(2)		(2)	
1. Colony: grey with aerial mycelia				38 45	39 46	42 47	43 53	73 83
giving salmon tinge				54 88	55 (13)	56 (13)	87 97-2	71 100
								(16)
1. Colony: grey with aerial mycelia				40 89-2	44 90	89-1 90	92	80 (2)
giving salmon tinge								
2. Dense felty patches with greyish mycelia								(3)
								(1)
1. Colony: grey or black								80 81
								(2)
1. Colony: grey	8 20	16 22	17	42 49-2	49-1			
2. Sclerotia: black								
3. Conidial masses: cream and abundance				(5)				(3)
4. Setae:								

\* Perithecia were produced.

Table 6 The morphology and size of conidia separated from Stylosanthes spp.

Isolated number	<u>Stylosanthes</u> spp.	Morphology of spore	Size of spore		Conidia rounded at both ends (%)
			Length ( $\mu$ )	Breath ( $\mu$ )	
1	<u>S. guianensis</u>	Straight	20.2	5.1	10
3	"	"	16.5	5.0	78
10	"	"	16.4	5.2	30
14	"	"	18.3	5.1	37
32	"	"	18.2	5.0	62
8	"	Falcate	27.4	3.6	
16	"	"	27.2	2.8	4.2
17	"	"	27.8	3.2	
40	<u>S. capitata</u>	Straight	13.4	4.3	15
45	"	"	14.5	5.0	15
47	"	"	14.2	5.0	27
42	"	Falcate	28.2	3.5	3.7
49-1	"	"	28.4	3.9	
61	<u>S. scabra</u>	Straight	14.2	4.8	7
62	"	"	13.5	5.0	7
63	"	"	14.1	4.9	8
73	<u>S. macrocephala</u>	Straight	15.2	5.0	16
86	"	"	13.2	5.0	10
76	<u>S. hamata</u>	Straight	17.7	5.1	12
79-1	<u>S. humilis</u>	Straight	18.3	5.2	48
80	"	"	17.7	5.0	34
B-1	<u>S. capitata</u>	Straight	15.1	5.0	66
B-2	"	"	12.5	4.9	4
B-3	Wild <u>stylosanthes</u>	"	18.9	5.0	20
B-5	Cultivated <u>Stylosanthes</u>	"	16.0	5.1	19
B-6	"	"	15.4	4.3	7
B-7	"	"	19.9	5.2	80

Table 7 The morphology and size of appressoria produced on the slide glass

Isolated number	<u>Stylosanthes</u> spp.	Morphology	Size of appressoria	
			Length ( $\mu$ )	Breath ( $\mu$ )
1	<u>S. guianensis</u>	Ellipsoid	9.0	7.4
3	"	"	9.9	6.1
8*	"	Rounded or irregular	9.3	6.4
40	<u>S. capitata</u>	Ellipsoid or irregular	9.7	6.6
88	"	"	9.1	6.1
49-1*	"	Rounded or irregular	9.8	6.5
63	<u>S. scabra</u>	Ellipsoid or irregular	10.1	7.0
86	<u>S. macrocephala</u>	"	10.8	6.1
76	<u>S. hamata</u>	"	8.8	6.6
79	<u>S. humilis</u>	"	8.6	7.1
80	"	Ellipsoid	8.9	6.8
B-1	<u>S. capitata</u>	Ellipsoid or irregular	9.7	6.5
B-2	"	"	9.2	6.4
B-3	Wild <u>Stylosanthes</u>	"	9.3	6.9
B-5	Cultivated <u>Stylosanthes</u>	"	8.2	6.9
B-7	"	"	12.7	7.6

\* curved spore

Table 8 Mycelial growth of Colletotrichum gloeosporioides  
per 24 hr at 27°C

Isolated number	<u>Stylosanthes</u> spp.	Medium		
		OMA	PDA	V-8 agar
1	<u>S. guianensis</u>	12 <sup>mm</sup>	9 <sup>mm</sup>	8 <sup>mm</sup>
3	"	16	16	12
40	<u>S. capitata</u>	9	10	10
63	<u>S. scabra</u>	9	10	10
86	<u>S. macrocephala</u>	8	10	9
76	<u>S. hamata</u>	11	14	13
80	<u>S. humilis</u>	14	11	13
B-1	<u>S. capitata</u>	13	16	14
B-3	Wild Stylosanthes	11	13	17
B-5	Cultivated Stylosanthes	9	-	5
B-7	"	12	-	12

Table 9 Comparison with already and authors reports concerning with the morphology and size of spores and appressoria

(1) <u>Colletotrichum gloeosporioides</u>		Lenne* (ONA)	Irwin and Cameron** (PDA)
(medium)	Author (PDA)		
Type	Isolates from <u>S. guianensis</u> <u>S. humilis</u> <u>S. macrocephala</u>	A	B
Spore morphology	Straight	Straight	Straight rounded at both ends 43 ~ 80%
Spore size ( $\mu$ )	17.7 ~ 18.0 x 5.1	12.7 ~ 17.5 x 3.4 ~ 3.7	14.4 ~ 17.5 x 4.3 ~ 4.5 16.6 ~ 17.0 x 4.37 ~ 4.38
Cultural characters	Orange ~ bright brown conidial masses	Orange spore mass	Pinkish tinge
Appressoria	Dark brown ellipsoid or irregular 8.6 ~ 10.8 x 6.1 ~ 7.4 (on the slide glass)	Dark brown broadly ellipsoid 7.6 ~ 8.8 x 5.3 x 6.3 (on ONA)	
Pathogenicity	Pathogenicity against <u>S. guianensis</u>	Pathogenicity against <u>S. capitata</u> <u>S. scabra</u> <u>S. macrocephala</u> <u>S. hamata</u>	Pathogenicity against <u>S. humilis</u> <u>S. scabra</u> <u>S. guianensis</u>
Lesion	Irregular type	Spotted type	Common Black in colour Light in the centre and surrounded by dark margin Blighted and showing the characteristic black discoloration

(2) Colletotrichum dematium f. sp. truncata

(medium)	Author (OMA)	Lénne* (OMA)
Spore	Curved conidia Isolate from <u>S. guianensis</u> 27.5 x 4.2 $\mu$ Isolate from <u>S. capitata</u> 28.3 x 3.7 $\mu$	Curved conidia 22.1 ~ 24.3 x 2.4 ~ 2.7 $\mu$ (22.9 x 2.6)
Appressoria	Rounded or irregular brown 9.3 ~ 9.8 x 6.4 ~ 6.5 $\mu$	Rounded cinnamon-brown 6.3 ~ 6.8 x 4.4 ~ 4.6 $\mu$

\* Lenne, J.M. and Sonoda, R.M. (1978)

Plant Dis. Repr. 62: 641 ~ 644

\*\* Irwin, J.A.G. and Cameron, D.F. (1978)

Aust. J. Agric. Res. 29: 305 ~ 317



Soil moisture change during the dry  
season on the Varzea of CPAC field

Akira FURUHATA\* and Morishige IKE\*

\* JICA short term expert, Department of Soils and Fertilizers,  
National Institute of Agricultural Sciences.

\*\* JICA long term expert, Livestock Division, The Hokkaido National  
Agricultural Experiment Station.



## I. Introduction

During the dry season of Cerrados region, the greater part is not suitable for crop cultivation, but so-called Varzea, depression land in Portuguese, is considered to be possible to grow crops. A lot of Varzea was left uncultivated and not used effectively.

Recently a national project for improving Varzea to utilize all the year round has been carried out by the Ministry of Agriculture. According to the plan on crop cultivation, the crops introduced there are, in the rainy season, mainly rice, and in the dry season corn, bean, wheat, vegetable and also rice if possible.

The area ratio of Varzea among Cerrados region is eight percent, but the total area comes up to 15 million ha. Utilizing of Varzea in the dry season is very important for food supply in Brazil.

Freire et al<sup>1)</sup> reported on the soils of Varzea in Minas Gerais State that Low Humic Gleysols, Humic Gleysols, Organic soils and Alluvial were distributed, and most of the soils showed high content of hydrogen and aluminum ions, and low base saturation. Reis et al<sup>2)</sup> observed on the soil properties of Gleysols and Organic soils in CPAC field that bulk density, water retention curve and permeability were different between these soils, and both soils showed low pH, high content of aluminum ion and low soil fertility.

Soil moisture change in Varzea has not been investigated yet. The purpose of this report is to investigate, (1) the relation between soil and microtopography, (2) soil physical properties concerning the soil moisture, (3) the change of ground water table, capillary potential and the available moisture in field during the dry season, by taking the Varzea of CPAC field as an example.

## II. Method

### 1. Inspection site

The Varzea and its neighboring land located on the north part of CPAC field were used for the inspection. Open ditch drainage had been installed already in the Varzea.

### 2. Soil profiles and microtopography

Soil profiles were observed at pits, auger-holes and open ditches. The items of observation at the pits were soil horizons, soil texture, soil color, soil structure, humus, compactness, plasticity, mottles and concretions, gley

horizons and spots, distribution of plant roots and ground water table. Those at auger holes and open ditches were soil horizons, soil texture and soil color.

Compactness was determined by means of Yamanaka's cone-penetrometer. Gley horizons and spots were examined by spraying with 2,2'-dipyridyl solution which shows a positive ferrous reactions. When the reaction appeared immediately and distinctly on a hydromorphic horizon, a letter "G" was attached to the name of the horizon, but otherwise "g".

Microtopography was measured by using a transit.

### 3. Soil physical properties

Three phase volume of soil, saturated permeability and soil pore size distribution were determined. Soil samples were taken into cylindrical tins of 100 cm<sup>3</sup> in volume. Three soil cores were collected from one horizon. The insertion direction of the cores was vertical at the first horizon, and horizontal at the other horizons.

Volume of solid, water and air phases of soil was determined with a three-phase volume apparatus (Daiki-No. 100 type). Saturated permeability was taken on a soil permeability apparatus (Daiki-II type). Soil pore size distribution was measured by a sand column method at pF 1.5, and a centrifuge method at pF 2.7 and pF 4.2.

### 4. Soil moisture in fields

The inspection points were decided by taking into consideration of soil types, cultivated or plowed condition, and distance from open ditches.

For the determination of the available moisture of topsoil, three 100 cm<sup>3</sup> -soil cores were collected from each layer of 0 ~ 5 cm, 7.5 ~ 12.5 cm, 15 ~ 20 cm and 22.5 ~ 27.5 cm in depth on ten points. These core samples were dried in an oven, and then weighed. The moisture content at pF 4.2 was defined as the lowest limit of the available moisture. It was obtained by using a pressure membrane apparatus (Daiki 320 type).

Soil water suction was measured with tentimeters (Ikeda S-7 type) installed into the depth of 20 cm on five points. Ground water table was inspected in the auger holes of 1 m in depth by a U-tube, as well as water table on the open ditches. The location of the inspection points is shown in Fig. 1.

### III. Result

#### 1. The relation between soil and microtopography

CPAC field is located on a gently sloping terrace. Length of the longest slop is about 4 km, and the gradient is 6.7° in upper, 4.5° in middle and 1.6° in lower position. In the lowest position, there is a river.

The Varzea is distributed in a width of 300 to 500 m adjacent to the river. Soils in the Varzea reflect the moisture condition influenced by the position on microtopography, forming a hydrocatena. In this report, soils of the Varzea are defined to have the characteristic horizons influenced by water within 50 cm deep from the soil surface. Six soil profiles including a neighboring point of the Varzea are shown as follows.

##### No. 38 Hydro Latosols, Gleyic Ferralsols (FAO)

- Ap : 0 ~ 13 cm brown (7.5 YR 4/4), LiC, weak fine blocky st., medium compactness (20 mm), very plastic, common roots, wavy clear boundary
- B<sub>1</sub> : 13 ~ 21 cm bright brown (7.5 YR 5/6), LiC, weak fine blocky with weak fine granular st., medium compactness (20 mm), very plastic, few roots, smooth sharp boundary
- B<sub>2</sub> : 21 ~ 56 cm bright brown (7.5 YR 5/8), LiC, weak fine granular st., loose (16 mm), plastic, few roots, gradual boundary
- B<sub>g</sub> : 56 ~ 100 cm bright brown (7.5 YR 5/6), LiC, loose (15 mm), plastic, few roots, a few iron concretions.
- water table: 90 cm

##### No. 40 Low Humic Gleysols, Gleysols (FAO)

- Ap : 0 ~ 13 cm dull yellowish brown (10 YR 5/3), LiC, moderate fine blocky with fine granular st., medium compactness (18 mm), extremely plastic, common roots, smooth clear boundary
- Ag : 13 ~ 26 cm grayish yellow brown (10 YR 4/2), LiC, medium compactness (17 mm), common thready mottles (10 YR 6/8), extremely plastic, common roots, smooth sharp boundary
- Blg: 26 ~ 46 cm brightly yellowish brown (10 YR 6/6), LiC, medium compactness (17 mm), common speckled mottles (10 YR 6/8), few iron concretions, extremely plastic, few roots, gradual boundary

B2g: 46 ~ 130 cm dull yellow orange (10 YR 7/4), LiC, loose (14 mm), common speckled mottles (10 YR 6/8), a few iron concretions, extremely plastic, few roots

water table: 73 cm

No. 3 Low Humic Gleysols, Gleysols (FAO)

Ap : 0 ~ 17 cm dull yellowish brown (10 YR 4/3), LiC, moderate fine blocky with fine granular st., medium compactness (19 mm), plastic, common roots, smooth sharp boundary

Clg: 17 ~ 38 cm grayish yellow brown (10 YR 6/2) LiC, loose (17 mm), very plastic, few roots, gradual boundary

C2g: 38 ~ 90 cm dull yellow orange (10 YR 7/2), LiC, loose (15 mm), very plastic, few roots

water table: 68 cm

No. 5 Low Humic Gleysols, Gleysols (FAO)

Ap : 0 ~ 10 cm brownish black (10 YR 2/2), LiC, weak angular blocky st., medium compactness (21 mm), plastic, common roots, sharp wavy boundary

A3g: 10 ~ 24 cm brownish gray (10 YR 4/1), LiC, loose (17 mm), very plastic, few roots, gradual boundary

Cg : 24 ~ 60 cm dull yellow orange (10 YR 7/2), LiC, loose (16 mm), very plastic, few roots

water table: 53 cm

No. 18 Humic Gleysols, Humic Gleysols (FAO)

Ap : 0 ~ 14 cm black (2.5 Y 1.7/1), CL, weak angular blocky st., loose (18 mm), plastic, common roots, smooth clear boundary

IIAC: 14 ~ 25 cm black (2.5 Y 1.7/1), CL, medium compactness (22 mm), plastic, common roots, smooth clear boundary

IIIAG: 25 ~ 36 cm black (2.5 Y 1.7/1), CL, medium compactness (24 mm), plastic, common roots, smooth clear boundary

IIICg: 36 ~ 70 cm yellowish gray (2.5 Y 6/1), LiC, medium compactness (20 mm), extremely plastic, common roots

water table: 68 cm

No. 31 Organic soils, Histosols (FAO)

- Ap : 0 ~ 10 cm black (10 YR 2/1), CL, weak fine blocky st., very loose (7 mm), plastic, abundant roots, smooth sharp boundary
- IIAg: 10 ~ 30 cm black (10 YR 1.7/1), CL, loose (15 mm), very plastic, few roots, gradual boundary
- IIIAg: 30 ~ 60 cm black (10 YR 1.7/1), LiC, loose (14 mm), very plastic, few roots

water table : 56 cm

The soil at No. 38 point has a low humic surface horizon underlain by a bright subsurface horizon, containing iron concretion within 1 m. This soil is considered to be intergrading from Latosols to Gleysols, and classified as a Hydro Latosol.

The soils at No. 40, 3, and 5' points have also the low humic surface horizon, but their subsurface horizons have been more influenced by water than the soil at No. 38 point. These soils are classified as Low Humic Gleysols. The color of the surface and subsurface horizons is somewhat different among these soils, owing to the position on microtopography.

The soil at No. 18 point is characterized by thick and high humus layers. This soil is classified as a Humic Gleysol. The soil at No. 31 has thick humus layers. There are clay layers between humus layers. This soil is classified as an Organic soil.

On all the subsoils inspected, ferrous reaction with 2,2'-dipyridyl solution was weak, and soil compactness was not high. The soil crossing-diagram near open ditches on a cultivated field is shown in Fig. 2. Similarly the diagram on an uncultivated field is shown in Fig. 3.

In the uncultivated field, there are mainly Low Humic Gleysols and partly Organic soils. The Low Humic Gleysols have a gray Cg horizon underlain by a bright yellowish brown Cg horizon.

A red layer is recognized on the surface of the soils near the Varzea boundary in both the cultivated and the uncultivated fields. The red layer is thought to have been brought by soil erosion.

In addition to the soil survey on the pits, inspection of deep layers of the soils near the Varzea boundary was carried out by using a long auger. The result is shown in Fig. 4. At No. 40, 3 and 43 points of Low Humic

Gleysols, wet layers were found 2 m or less deep from the surface. Below the wet layers, there were compact layers having iron mottles, followed by moderately dry and red layers. The profile of deep layers of a Hydro Latosol at No. 38 point was similar to those of the Low Humic Gleysols. Concerning the above-mentioned points, the layers over the red ones are considered as impermeable.

The soil at L point was a Red Yellow Latosol. The deep layers of the soil were also red-colored. Wet layers were observed from 170 cm to 360 cm deep, followed by a moist and red layer.

## 2. Soil physical properties

Soil physical properties are shown in Table 1. Solid phase volume was 20%, more or less, in high humus horizons, and 38 to 48% in Bg and Cg horizons. The Bg and Cg horizons in every point were not much influenced by drying which causes soil shrinkage.

Volume of the pores emptied at pF 1.5 was low in most horizons except a few Ap horizons. The pores emptied in the range of pF 1.5 to 2.7 are regarded as ones retaining the moisture which is necessary for crops to grow normally. These porosity in subsoils was not low in all horizons except No. 18 point.

Volume of the pores emptied in the range of pF 1.5 to 4.2, which are capable of retaining available moisture, was common to abundant in high humus horizons.

Saturated permeability was rapid to moderate in most horizons though the pores at pF 1.5 was low. The pores at pF 1.5 in horizontal direction are considered to connect well to each other.

## 3. Soil moisture change in fields

Fig. 5 shows the precipitation and evaporation from September in 1981 to October in 1982. These data were measured by Agrometeorology Laboratory of CPAC. The precipitation in the first half of 1982 was abundant in March and January, less in February, April and May. It nearly stopped raining from May 26 until September 22. The evaporation was in the reverse order of the precipitation, and was 4 to 5 mm per day on an average in the dry season.

The inspection result of water table is shown in Table 2. In the Varzea on August 25, the water table was within 1 m deep, except at No. 59

point, and approximately same as that on July 14 at most points.

In September it decreased below 1 m from the soil surface at the half of the points in the cultivated field, and at the one fourth in the uncultivated field. However, at the residuary points it was left within 1 m throughout the dry season of 4 months. Base flow on hydrogy is estimated to continue nearly steadily during the dry season.

The relation between the water table and the microtopography of the Varzea is shown in Fig. 6 and 7. Roughly speaking, the water table is almost parallel to the slop, and there is no symptom of the presence of piestic ground water. As before, saturated permeability of the horizons above the ground water table was not low but the existance of impermeable layers was estimated within a few meters deep from the soil surface. Therefore it is suggested that in this Varzea the ground water moves along the slop within a few meters deep from the surface.

Fig. 8 shows the change of soil water suction at the depth of 20 cm on five points from July 29 to September 23. The suction was low and its change was slight during the dry season. The relation between the suction and the ground water table at the five points is given in Fig. 9. The suction nearly corresponded to the ground water table. The capillary conductivity from the ground water table to the depth of 20 cm is considered to be well in the Low Humic Gleysols having the table of 60 cm deep, as well as in the Humic Gleysols having the table of 80 cm deep.

Available moisture in the fields is shown in Table 3. On summing the available moisture, the moisture in the layers of 7.5 ~ 12.5 cm was treated for the estimated moisture in the layers of 5 ~ 15 cm, and the average moisture of the layers of 15 ~ 20 cm and 22.5 ~ 27.5 cm was treated for the estimated one in the layers of 15 ~ 25 cm. The available moisture was rich in high humus horizons, and after one month from middle July decreased more markedly at the plowed points, especially on the first layers of the soils, than at the non-plowed points.

#### IV. Discussion

As mentioned above, on each soil of the Varzea during the dry season, the ground water table was nearly steady but not high, the change of the table was slight, and capillary conductivity from the ground water table to the depth of 20 cm was considered well. From the standpoint of the soil moisture, these facts indicate that the Varzea has an advantageous condition for the upland

crop cultivation in the dry season.

Varzea is the land where irrigation facilities can be introduced usually, because of the easiness of obtaining the irrigation water. In the case of the inspected Varzea, however, utilizing of the ground water is thought to be better economically than introducing the irrigation. Moreover, the latter may cause the wet injury of upland crops, unless air phase volume in top layers is also considered.

Of course, in order to utilize the ground water in the Varzea, there are some problems to be solved. For an example, when heavy clay subsoils, which are found shallowly in Low Humic Gleysols, are dried or exposed to the soil surface by plowing, it exerts a harmful influence on crop growth such as the water supply and the germination injury.

Therefore, the following subjects should be investigated; (1) fertilizer application methods in the Varzea soils, (2) controlling of the water table and utilizing a minimum tillage to maintain the capillary conductivity from the ground water, (3) ascertaining the ground water table and the air porosity suitable for high yield of crops.

It is ideal to use Varzea in both the dry and the rainy seasons. However, in the rainy season, drainage is necessary so that excess water can be excluded rapidly, consequently accelerating the subsoil drier and decreasing the capillary conductivity of subsoil in the dry season.

When the soil water management in Varzea must be adjusted to one or another season, it is decidedly better to choose the management for the dry season, because in other land of Cerrados region crop cultivation is difficult.

#### Summary

As one of the basic inspection on Varzea in Cerrados region, the relation between soil microtopography, and soil moisture during the dry season were investigated. The inspection site was the Varzea and its neighboring land in CPAC field.

The soil distribution is related to the microtopography. Organic soils are found in the lowest depression. Humic Gleysols, Low Humic Gleysols, Hydro Latosols and Red Yellow Latosols are distributed in the order of the elevation.

As for the soil moisture, the ground table at most points was within 1 m deep from the soil surface in August, even though the dry season had started in late May. Furthermore it was little different from the table at six weeks

before. The soil water suction at the depth of 20 cm on the Varzea soils continued maintainly below pF 1.9 until the end of dry season. The capillary conductivity from the ground water table to the depth of 20 cm was considered nearly well. The permeability of each horizon in the Varzea soils was not low.

Therefore, from the standpoint of the soil moisture, the Varzea of CPAC field seemed to have an advantageous condition for the upland crop cultivation in the dry season.

#### Acknowledgement

The authors would like to express their appreciation to Dr. Elmar Wagner, Director General of CPAC for providing them the opportunity to study Varzea soils.

The authors would like to thank Dr. Tamotsu Ogata, the leader of JICA team dispatched to CPAC, for suggesting this problem and continuing encouragement.

Table 1 Soil physical properties

Point No. Soils	Horizon	Depth cm	Bulk density g/100cc	Phase vol. at pF 1.5			d g/cc	K cm/sec	pF		
				VS -	VL %	VA -			1.5~2.7 -	2.7~4.2 vol. %	1.5~4.2 -
38 Hydro Latosol	Ap	0~13	111.8	42.0	46.8	11.2	2.66	$1.3 \times 10^{-3}$	8.5	8.0	16.5
	B <sub>1</sub>	13~21	115.2	44.8	48.0	7.2	2.57	$8.2 \times 10^{-5}$	10.2	11.1	21.3
	B <sub>2</sub>	21~56	101.1	38.3	49.4	12.3	2.64	$1.3 \times 10^{-3}$	17.6	9.6	27.2
	B3g	56~	96.1	38.2	51.2	10.6	2.52	$2.2 \times 10^{-3}$	21.0	5.0	26.0
40 Low humic gleysols	Ap	0~13	97.4	36.6	39.3	24.1	2.66	$2.5 \times 10^{-2}$	9.5	8.1	17.6
	Ag	13~26	122.5	49.9	47.7	2.4	2.45	$1.1 \times 10^{-4}$	9.2	9.2	18.4
	B1g	26~46	112.2	45.7	48.4	5.9	2.46	$1.2 \times 10^{-4}$	13.1	11.3	24.4
	B2g	46~130	105.8	42.8	47.9	9.3	2.47	$1.2 \times 10^{-3}$	14.6	7.3	21.9
3 Low humic gleysols	Ap	0~17	105.3	41.1	43.1	15.8	2.55	$1.7 \times 10^{-3}$	10.1	11.8	21.9
	C1g	17~38	109.4	43.2	48.0	8.8	2.53	$7.5 \times 10^{-4}$	13.1	9.0	22.1
	C2g	38~90	98.1	38.9	54.3	6.8	2.52	$3.5 \times 10^{-3}$	19.9	14.2	34.1
5' Low humic gleysols	Ap	0~10	120.7	47.0	43.1	9.9	2.57	$1.1 \times 10^{-5}$	0.3	12.4	12.7
	A3g	10~24	118.9	48.1	48.7	3.2	2.47	$1.5 \times 10^{-4}$	8.9	10.9	19.8
	Cg	24~60<	103.0	40.4	52.7	6.9	2.55	$1.1 \times 10^{-3}$	19.9	8.7	28.6
18 Humic gleysols	Ap	0~14	43.2	22.7	70.8	6.5	1.90	$2.5 \times 10^{-4}$	16.8	28.7	45.5
	IIAC	14~25	60.7	28.9	64.3	6.8	2.10	$2.4 \times 10^{-4}$	27.1	9.1	36.5
	IIAg	25~36	78.4	37.5	55.7	6.8	2.09	$4.1 \times 10^{-4}$	11.8	9.9	21.7
	IVCG	36~70<	118.6	48.2	49.8	2.0	2.46	$2.7 \times 10^{-4}$	5.0	17.2	22.2
31 Organic soils	Ap	0~10	35.1	19.8	76.4	3.8	1.78	$2.4 \times 10^{-4}$	22.6	26.8	49.4
	IIAg	10~30	36.3	19.3	79.5	1.2	1.88	$1.9 \times 10^{-4}$	20.2	27.6	47.8
	IIAg	30~60<	47.1	23.5	73.7	2.8	2.00	$2.4 \times 10^{-4}$	9.5	30.6	40.1

Table 2-1 Ground water table (cultivated field)

Point No.	July 14	July 29	Aug. 13	Aug. 26	Sep. 9
①	73 <sup>cm</sup>	73 <sup>cm</sup>	72 <sup>cm</sup>	71 <sup>cm</sup>	71 <sup>cm</sup>
2	82	82	82	83	87
3	52	52	53	54	64
4	58	58	61	62	100<
5	59	59	62	62	100<
6	61	63	61	62	76
⑦	51	49	50	50	52
8	29	29	31	3	30
9	52	62	68	64	100<
10	28	27	29	30	32
11	47	48	49	46	47
12	59	58	62	61	60
⑬	82	81	82	82	86
14	70	71	74	79	73
15	54	54	55	55	52
⑮	61	61	61	61	60
17	54	55	55	58	52
18	72	73	75	74	80
19	93	94	96	92	100<
20	94	94	96	100<	100<
21	86	86	87	84	84
22	82	83	86	84	86
⑳	82	83	86	84	86
24	67	70	72	72	100<
25	63	64	65	63	63
26	65	62	64	58	59
27	90	89	92	83	100<
28	79	80	80	77	75
29	79	79	78	73	77
30	54	54	54	50	49
31	51	51	49	45	44
32	50	50	52	50	48
33	60	60	61	62	59
⑳	80	80	80	81	80

Point No.	July 14	July 29	Aug. 13	Aug. 26	Sep. 9
35	68 <sup>cm</sup>	69 <sup>cm</sup>	68 <sup>cm</sup>	62 <sup>cm</sup>	100 <sup>&lt;cm</sup>
36	72	75	79	75	73
③7	86	84	83	85	83
5'	-	53	61	52	54
6'	-	60	69	62	100<
8'	-	40	52	40	40
9'	-	60	68	62	63
38	-	86	100<	-	-
③9	-	60	65	-	-
40	-	69	74	-	-

○; open ditch

Table 2-2 Ground water table (uncultivated field)

Point No.	July 14	July 29	Aug. 13	Aug. 26	Sep. 9
④1	91 cm	91 cm	91 cm	89 cm	100< <sup>cm</sup>
42	60	60	65	67	100<
43	60	60	64	65	100<
44	56	56	60	60	100<
45	56	56	57	57	58
46	50	50	50	50	51
④7	65	65	65	65	72
④8	92	91	87	89	86
49	80	80	80	79	80
50	85	85	84	83	100<
51	90	90	90	87	100<
52	90	92	90	87	100<
53	94	92	94	93	100<
⑤4	95	94	94	94	83
⑤5	90	89	88	87	80
56	67	67	68	67	76
57	67	67	67	67	100<
58	42	41	41	38	41
59	100<	100<	100<	100<	100<

○; open ditch

Table 3 Available moisture content of the layer of 0-25cm in depth

Point number	Soils	Field condition	Moisture content (pF 1.5-4.2)			
			July 15	Aug.11	Sep.8	Sep.23
			mm			
3	Low humic gleysols	culti. plowed	49.0	38.4	36.2	49.3
5'	Low humic gleysols	culti. non-plowed	51.4	50.1	50.8	58.9
18	Humic gleysols	culti. plowed	72.6	44.2	51.7	64.3
21	Humic gleysols	culti. non-plowed	67.4	63.9	69.7	70.1
31	Organic soils	culti. non-plowed	94.6	87.7	93.5	103.6
43	Low humic gleysols	unculti.	70.4	69.2	70.1	67.1
45	Low humic gleysols	unculti.	73.1	75.1	75.7	74.0
50	Low humic gleysols	unculti.	50.4	54.2	55.7	57.6
52	Low humic gleysols	unculti.	56.8	53.3	52.8	56.7
57	Organic soils	unculti.	87.1	90.8	90.1	85.5

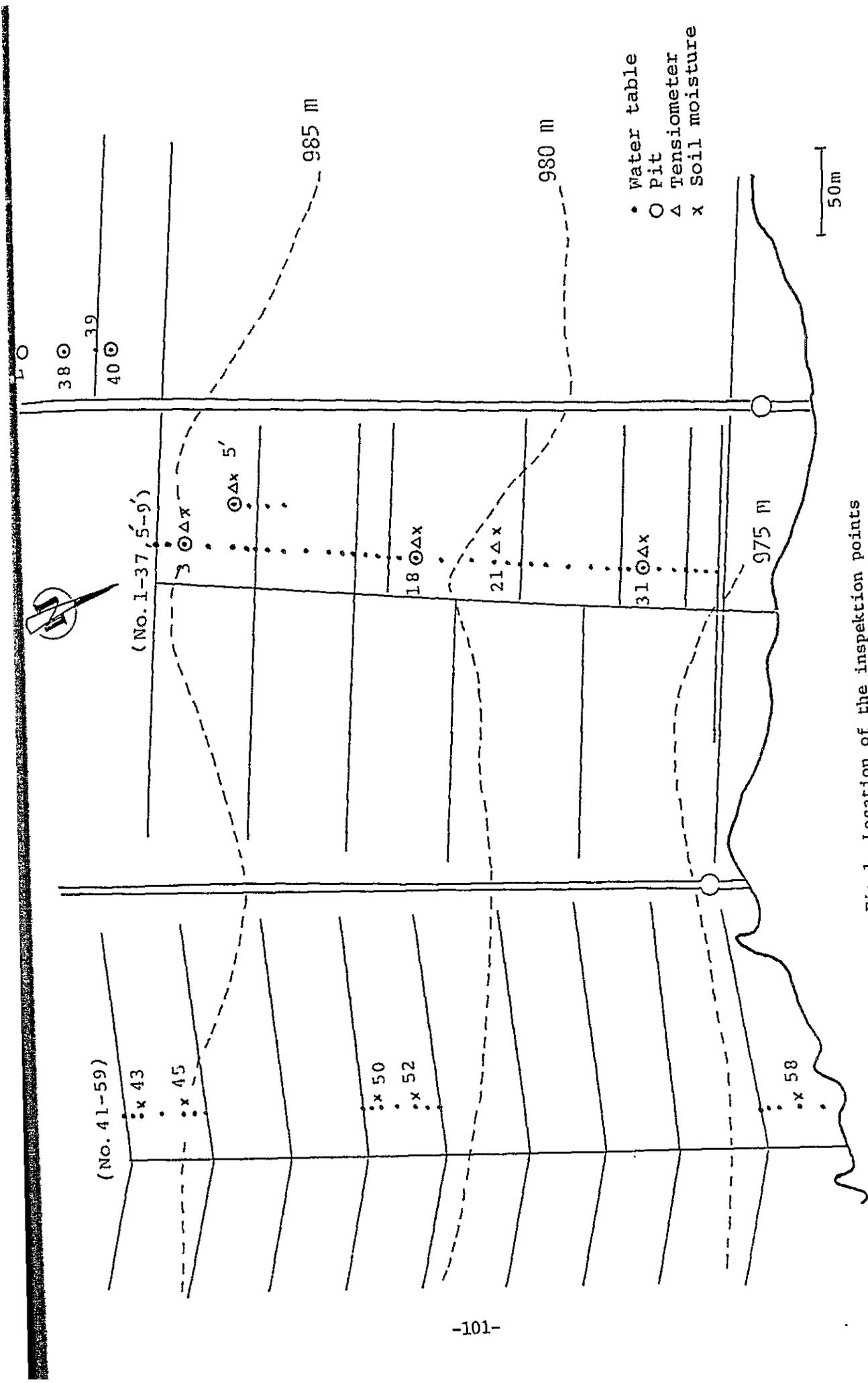


Fig.1 Location of the inspection points

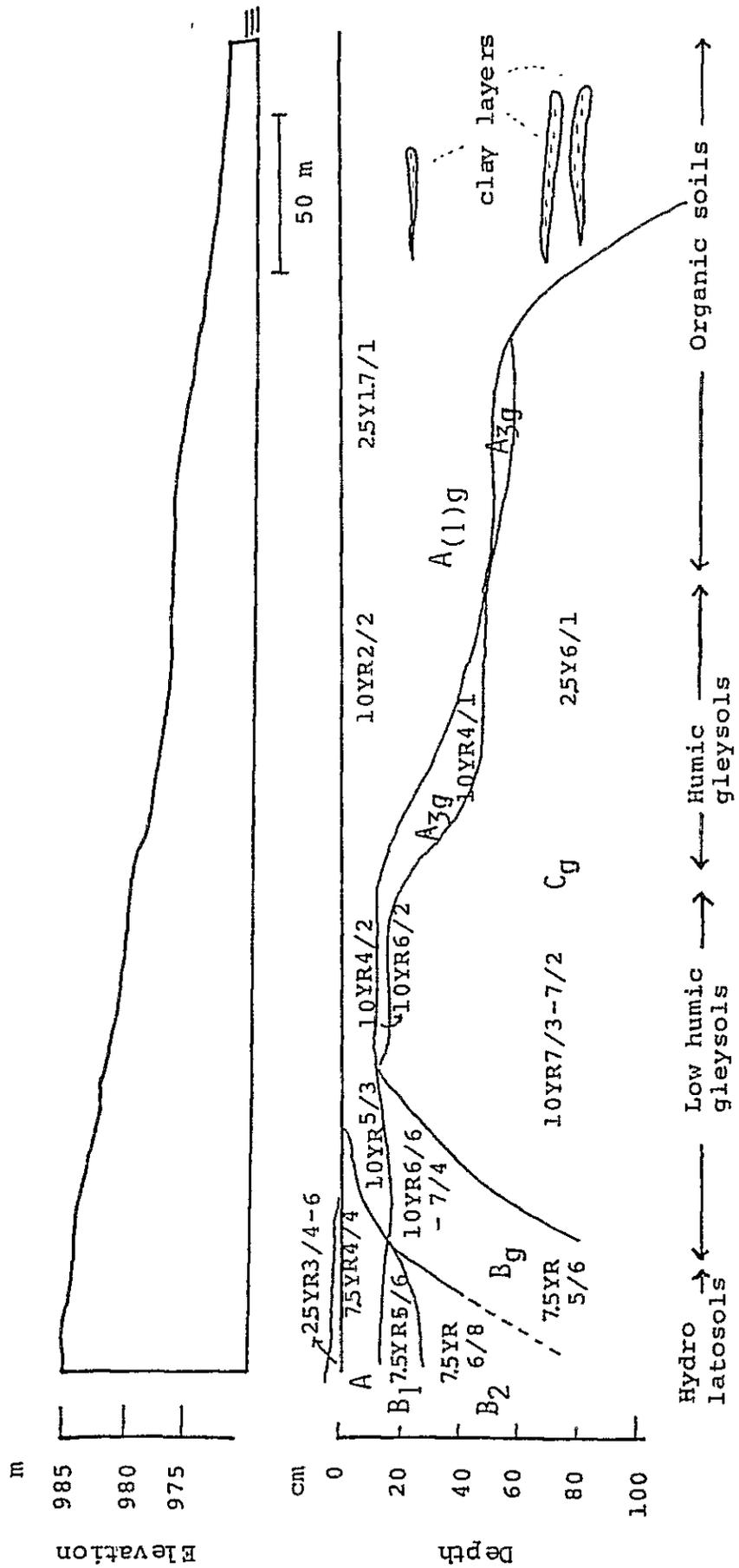


Fig.2 Soil crossing-diagram on the cultivated field

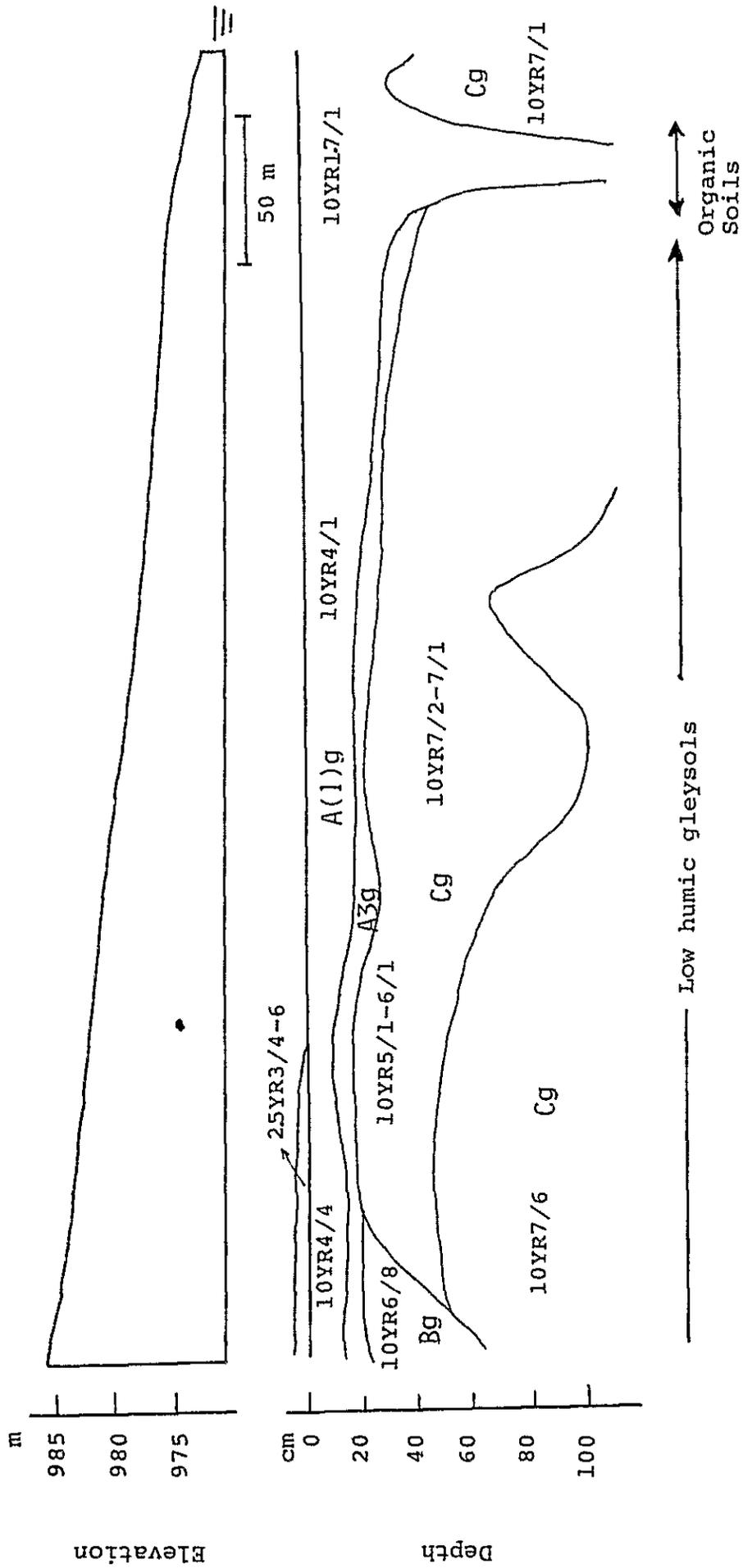


Fig.3 Soil crossing-diagram on the uncultivated field

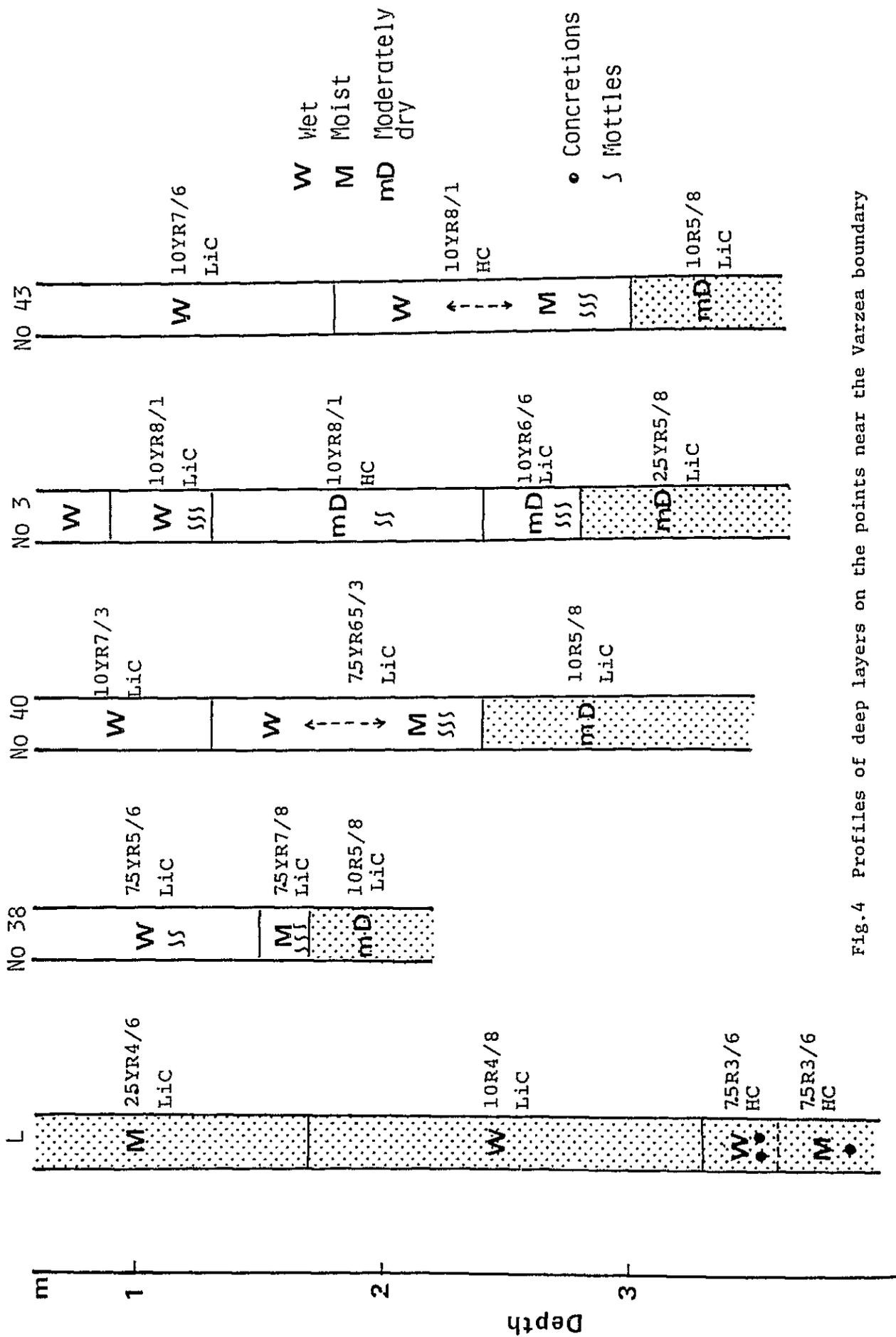


Fig.4 Profiles of deep layers on the points near the Varzea boundary

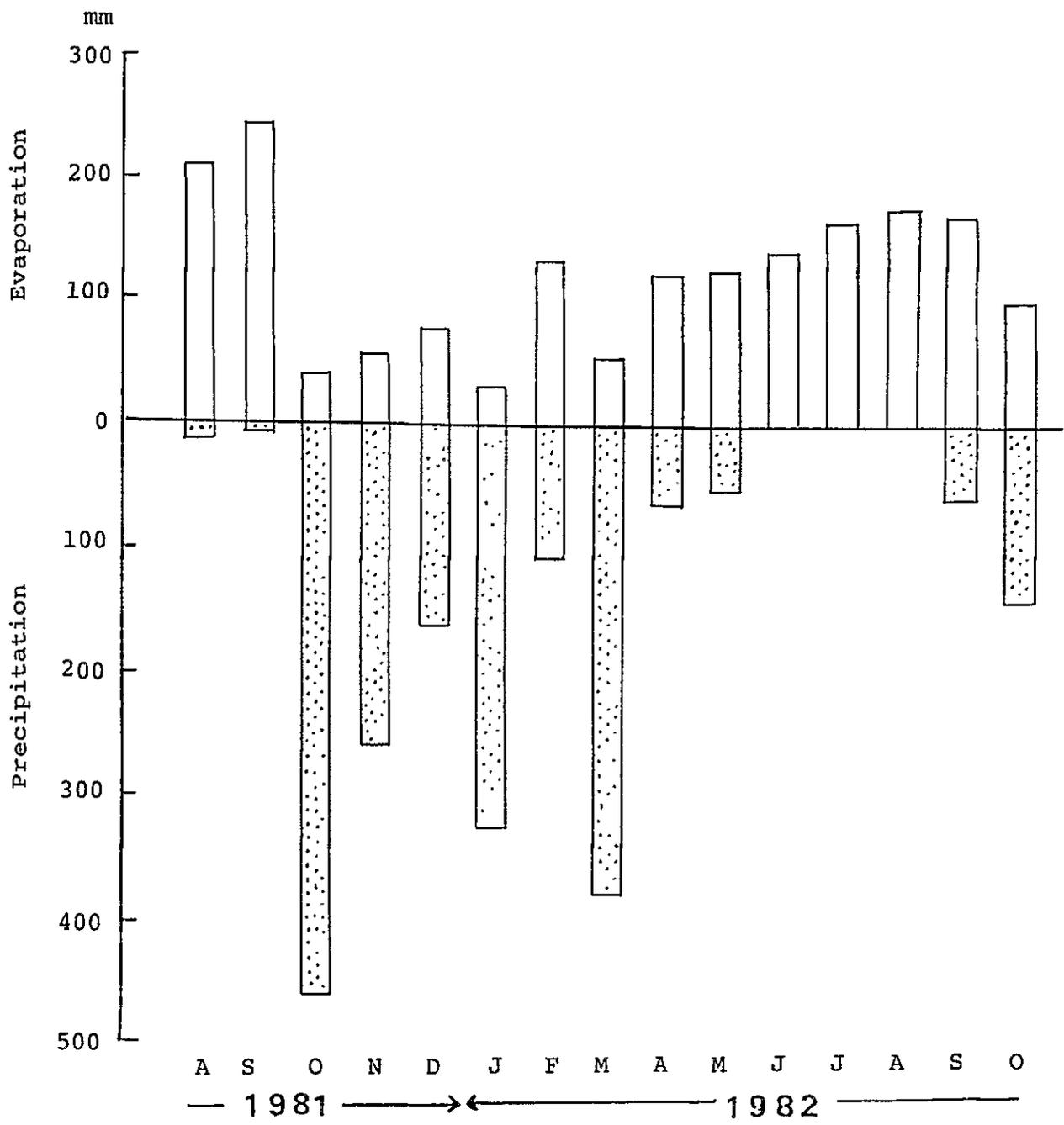


Fig.5 Precipitation and evaporation at CPAC field

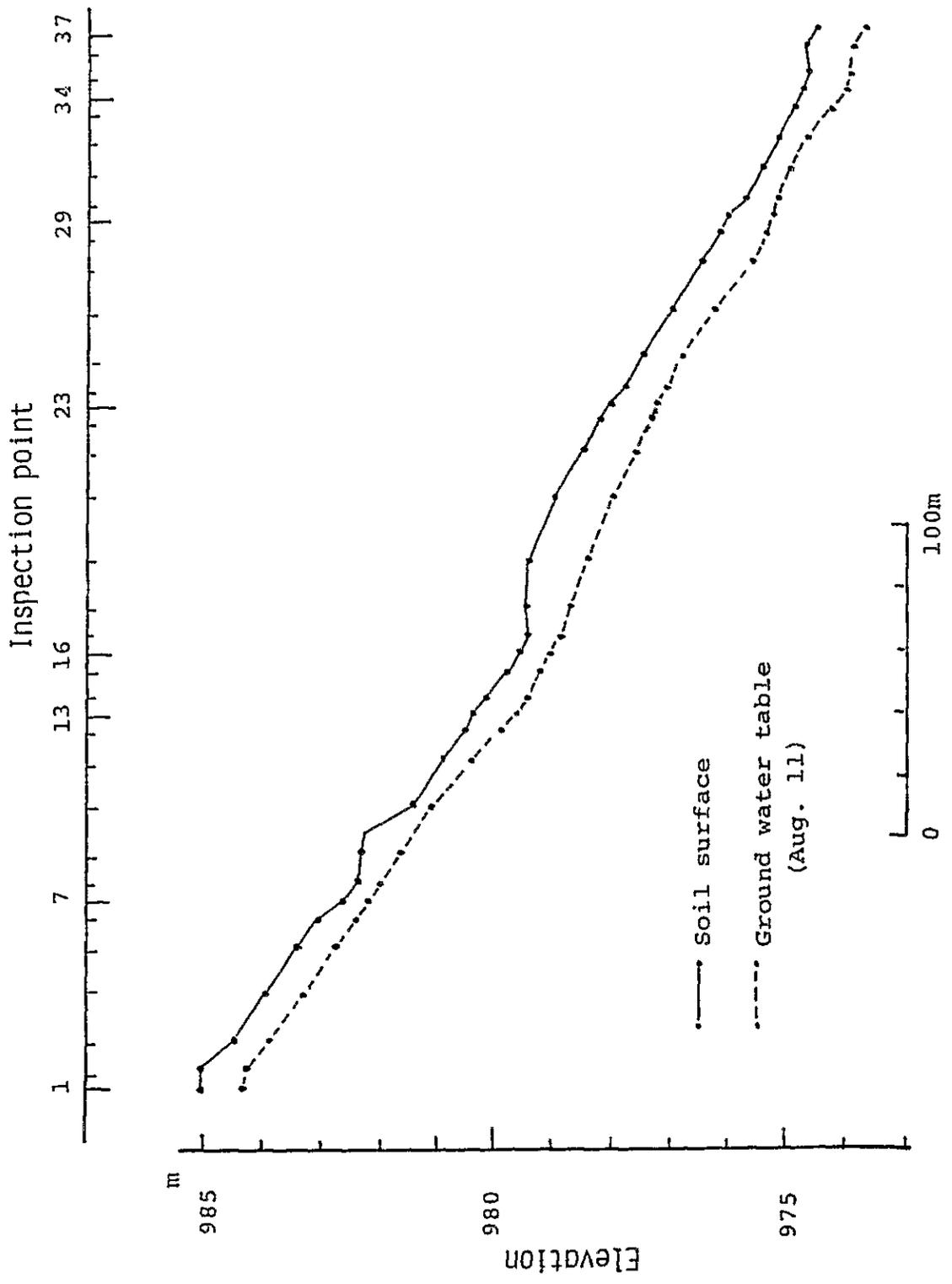


Fig.6 Water table and microtopography in the cultivated field

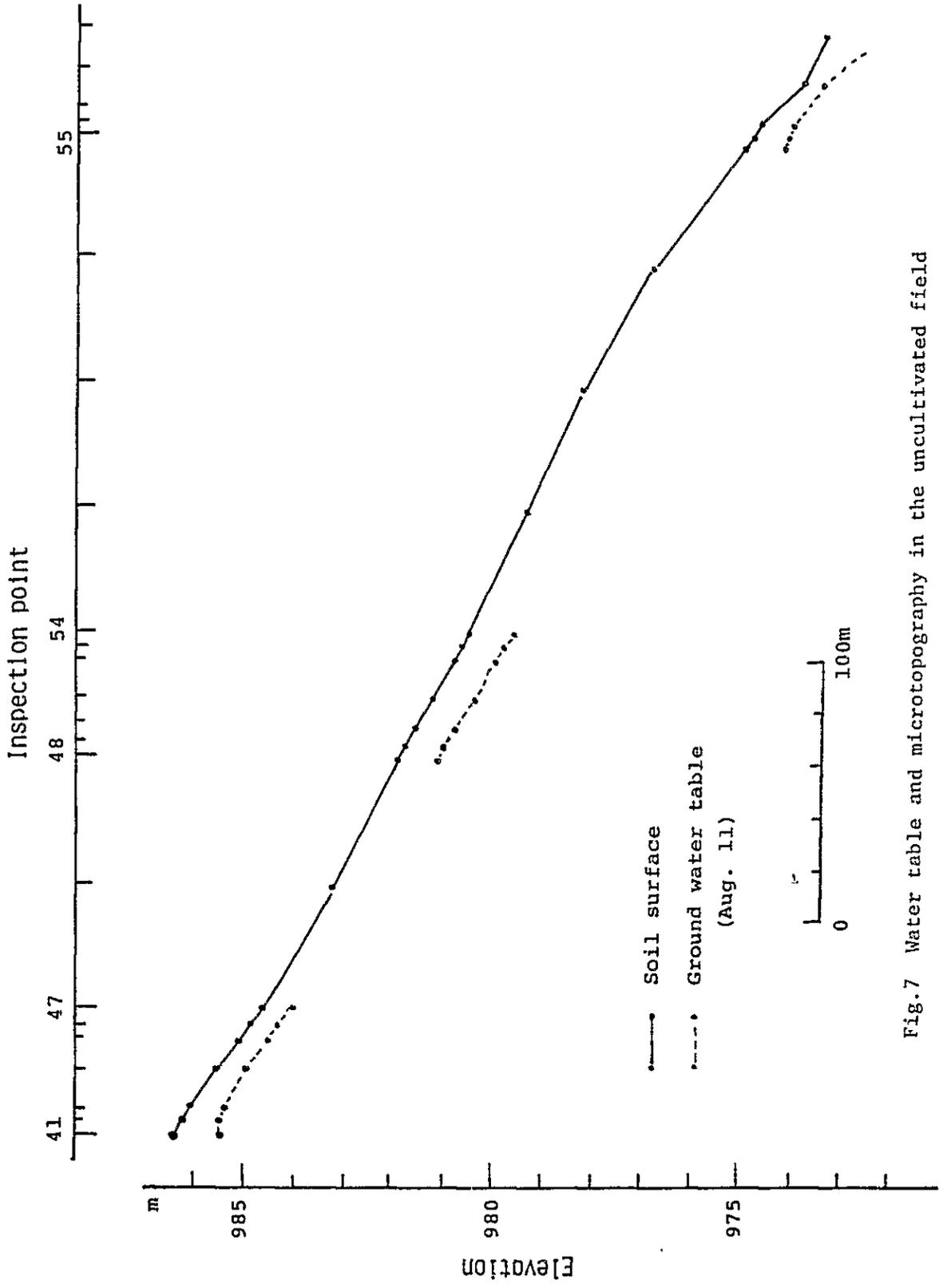


Fig.7 Water table and microtopography in the uncultivated field

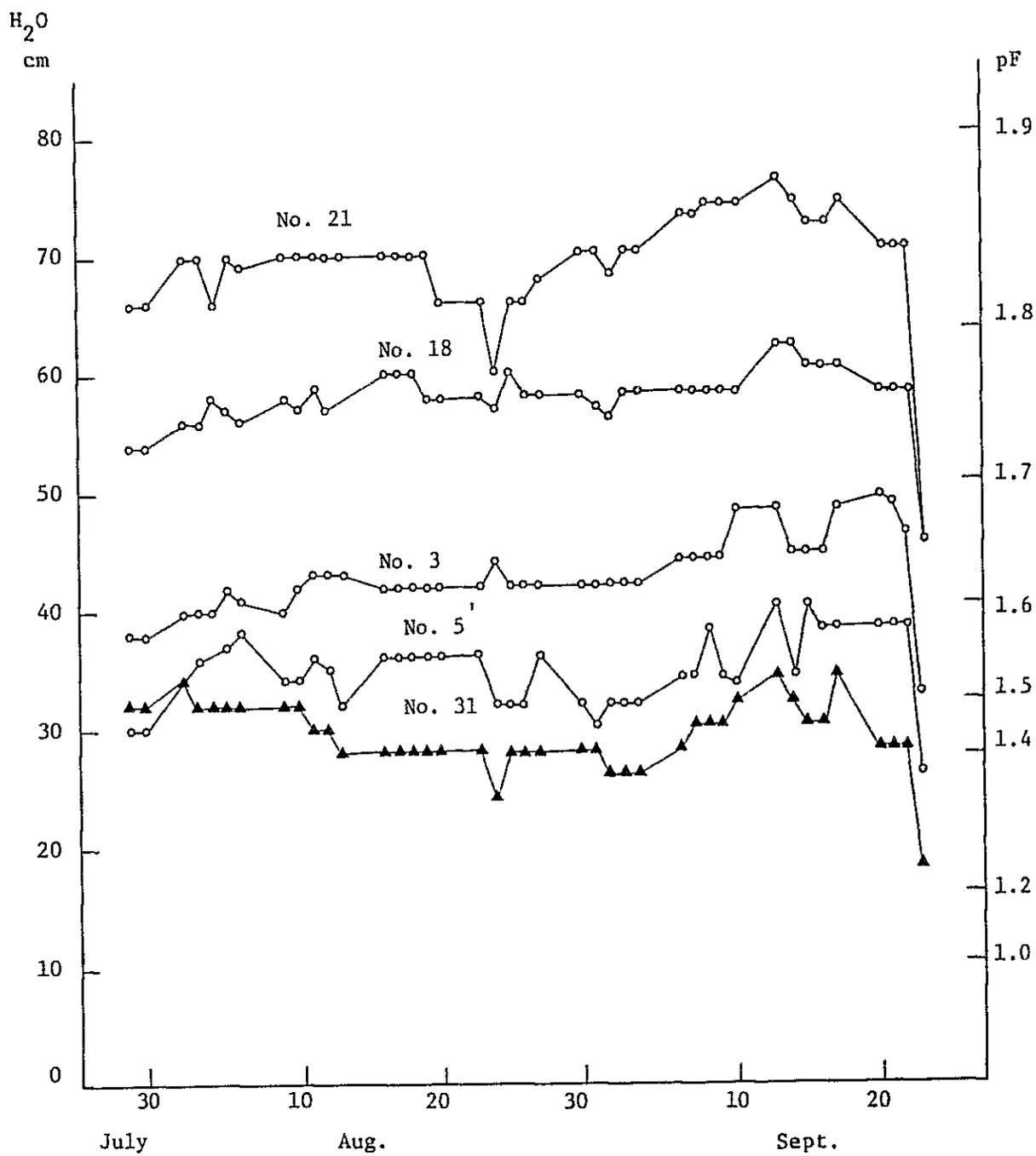


Fig.8 Change of soil water suction at the depth of 20 cm

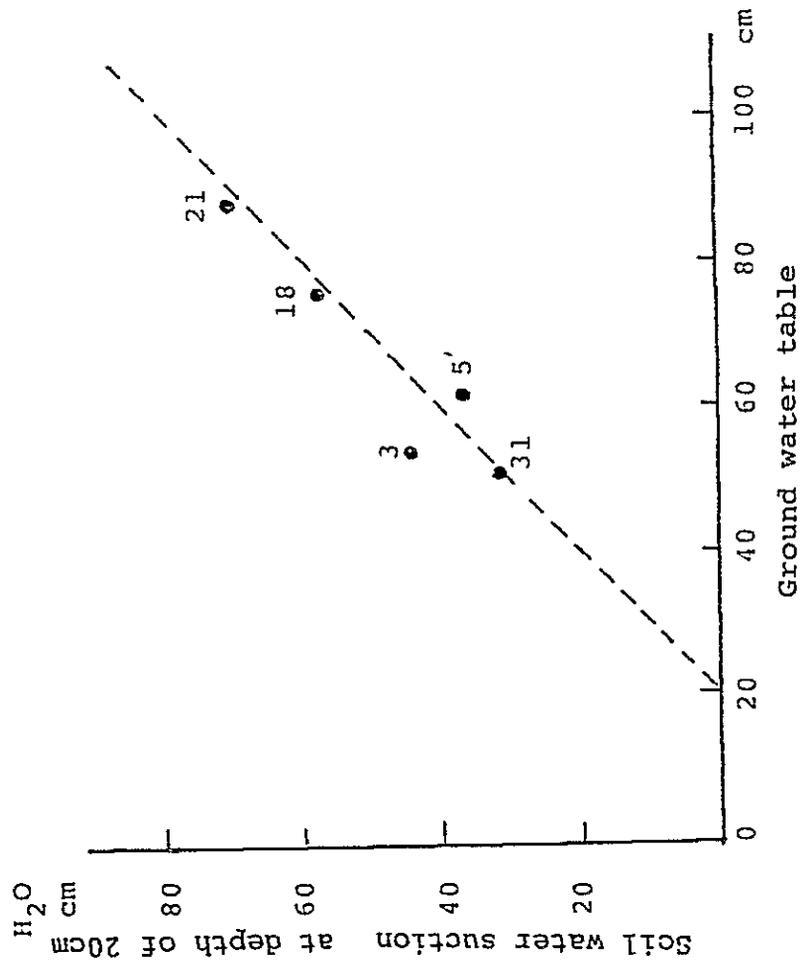


Fig.9 Relation between ground water table and soil water suction (Aug.12. 1982)



CPAC圃場のバルゼアにおける  
乾期の土壌水分の動態

古畑 哲 \*・池 盛重 \*\*

\* 農技研 化学部

\*\* 北海道農試 畜産部



## I. は し が き

ブラジルのセラード地域の年平均雨量は、1,000~2,000mmの間にあり、農業生産のための用水としては、決して少ない量ではない。ただし10月から5月までが雨期、6月から9月までが乾期に分かれ、乾期には降雨がほとんどないことから、乾期には作物の栽培が一般に困難なところが多い。

しかしながら、セラード地域の中にバルゼアといわれる微地形上の低地がある。この低地は雨期には冠水しやすいが、乾期には比高の高い土地よりも土壤水分に富むとみられている。このバルゼアが現在まだ未耕地として多く残っていることから、農務省を中心としてバルゼアを排水、かんがいなどの圃場整備を行って、雨期、乾期ともに利用しようとする国家事業が計画され、一部では既に実施段階に入っている。その計画によれば、雨期には主として米を栽培し、乾期には用水が豊富に得られるところでは米を、それ以外のところでは小麦、とうもろこし、豆、野菜など作付しようとするものである。

バルゼアのセラード地域における面積は、1509万haと見積られている。セラード地域内の面積割合としては8%に過ぎないが、かなりの広さである。乾期にバルゼアを利用することができれば、ブラジルの食糧供給に大きく貢献することになる。

バルゼアに分布する土壌としては、低腐植質グライ土、腐植質グライ土、有機質土などがある。これらの土壌の一般理化学性について、ミナスジェライス州の土壌は $H^+$ と $Al^{3+}$ に富み塩基に乏しく、強酸性のものが多く、またセラード農牧研究センター(CPAC)圃場のグライ土と有機質土は容積重、pF値による水分恒数、透水係数が異なるが、両土壌ともpHが低くて置換性 $Al^{3+}$ が高いことが報告されている。

しかしバルゼアの各種土壌における土壤水分の動態については、従来ほとんど検討されていない。そこで乾期の水分動態を解明するために、CPAC圃場を例として、①バルゼアにおける微地形と土壌の分布及び土層の配列との関係、②各土壌、各土層の土壤水分に関する物理的性質、③バルゼアにおける地下水位、土壤水分吸引圧、有効水分量の推移について検討した。

## II. 調査及び測定方法

### 1. 調査圃場

CPAC敷地北部に位置するバルゼアの一部を対象とした。この圃場は既に明渠が施工されている。CPAC内の他のバルゼアでは、セントラルピボットを用いたかんがい試験が実施されている。

### 2. 土壌断面及び微地形

土壌断面は試抗、試穿並びに明渠において調査した。試抗地点では土層の区分と厚さ、土性、土色、腐植、構造、酸化沈積物、2価鉄、土壌硬度、可塑性、植物根の分布、湧水面などを、試穿地点と明渠では土層の区分と厚さ、土性、土色などを観察した。土壌硬度は山中式

硬度計により測定した。2価鉄の確認には2,2'-ジピリジル溶液の噴霧による呈色反応を用いた。還元作用を受けたとみられる土層において、この反応が即時鮮明に現れれば層位の接尾字として「G」を、そうでなければ「g」を付した。

微地形の調査にはトランシットを使用した。

### 3 土壌の物理性

試抗地点の土壌について、三相分布、飽和透水係数、pF水分の測定を行った。試料は一つの土層から100 mlの円筒で3ヶずつ採取した。円筒の挿入は第1層では土壌面に垂直の方向で、第2層以下の層では水平方向で行った。

三相分布には実容積測定装置(DIK-100型)、飽和透水係数には土壌透水性測定装置(DIK-II型)、pF水分ではpF15を砂柱法、pF2.7と4.2を遠心法を用いた。

### 4 土壌水分

調査地点は土壌の種類、耕地未耕地の別、乾期に入ってから耕起の有無、明渠からの距離を考慮して、第1図<sup>(注)</sup>のように定めた。

土壌中の有効水分量の測定には、10ヶ所の地点において、深さ0~5 cm、7.5~12.5 cm、15~20 cm、22.5~27.5 cmの各層について、容積当りの含水量を求め、pF4.2の水分量を有効水分の下限とした。この測定は2週間おきに行った。

地下水位はオーガーにより深さ1 mの垂直の穴を掘り、その中にたまった水の水位をU字管を用いて、2週間おきに測った。また明渠の水位も同時に測定した。

土壌水分吸引圧は5ヶ所の地点において、テンシオメーターを深さ20 cmに埋設し、休日を除く毎日午前9時に観測した。

## III. 調査結果と考察

### 1. 微地形と土壌分布との関係

CPAC圃場は標高約1000 mの波状地形の台地上にある。

最も低いところに小川が流れ、この川に沿った、幅300~500 mの地帯がバルゼアになっている。斜面の頂部から川までの最長距離が4 kmあり、その傾斜度は上部では6.7°、中部では4.5°、下部では1.6°である。

CPAC圃場の土壌の種類は、斜面の上部、中部及びバルゼアを除く下部では、赤黄色ラトソルを主とし、ほかに暗赤色ラトソルと水成ラトソルがある。バルゼアでは低腐植質グライ土、腐植質グライ土、有機質土が認められる。バルゼアに入る手前から、川附近に至る範囲の地点の土壌断面を示すと、次の通りである。

No. 38 地点 水成ラトソル、グラフィック・フェラルソルス(FAO)

Ap 0-13 cm、褐(7.5 YR 4/4)、LiC、弱細塊状構造、土壌硬度20 mm、

(注) 図表は、英文報告に記載したものと同一である。

可塑性 強、根含む、境界波状や明瞭

B<sub>1</sub>: 13 - 21 cm, 明褐 (7.5 Y R 5 / 6), LiC 弱細塊状、弱細粒状構造、  
土壌硬度 20 mm、可塑性 強、根あり、境界平坦明瞭

B<sub>2</sub>: 21 - 56 cm, 明褐 (7.5 Y R 5 / 8), LiC、弱細塊状構造、土壌硬度 16 mm、  
可塑性中、根あり、境界漸変

B<sub>3</sub>: 56 - 100 cm, 明褐 (7.5 Y R 5 / 6), LiC、土壌硬度 15 mm  
可塑性中、根あり、Fe の結核あり、湧水面 90 cm

No. 40 地点 低腐植質グライ土、グライソルス (FAO)

Ap: 0 - 13 cm, 鈍い黄褐 (10 Y R 5 / 3), LiC、中、細塊状、細粒状構造、  
土壌硬度 18 mm、可塑性極強、根含む、境界平坦やや明瞭

Ag: 13 - 26 cm, 灰黄褐 (10 Y R 4 / 2), LiC、土壌硬度 17 mm、糸状の斑紋あり、  
可塑性極強、根含む、境界平坦明瞭

B1g: 26 - 46 cm, 明黄褐 (10 Y R 6 / 6), LiC、土壌硬度 17 mm、斑点状斑紋含む、  
鉄の結核あり、根あり、境界漸変

B2g: 46 - 130 cm, 鈍い黄橙 (10 Y R 7 / 4), LiC、土壌硬度 14 mm、  
斑点状の斑紋含む、鉄の結核あり、可塑性極強、根あり、湧水面 73 cm

No. 3 地点 低腐植質グライ土、グライソルス (FAO)

Ap: 0 - 17 cm, 鈍い黄褐 (10 Y R 4 / 3), LiC、中細塊状、細粒状構造、  
土壌硬度 19 mm、可塑性中、根含む、境界平坦明瞭

C1g: 17 - 38 cm, 灰黄褐 (10 Y R 6 / 2), LiC、土壌硬度 17 mm、可塑性強  
根あり、境界漸変

C2g: 38 - 90 cm, 鈍黄橙 (10 Y R 7 / 2), LiC、土壌硬度 15 mm、可塑性強  
根あり、湧水面 68 cm

No. 5 地点 低腐植質グライ土、グライソルス (FAO)

Ap: 0 - 10 cm, 黒褐 (10 Y R 2 / 2), LiC、弱角塊状構造、土壌硬度 21 mm、  
可塑性中、根含む、境界波状明瞭

A3g: 10 - 24 cm, 褐灰 (10 Y R 4 / 1), LiC、土壌硬度 17 mm、可塑性強  
根あり、境界漸変

Cg: 24 - 60 cm, 鈍黄橙 (10 Y R 7 / 2), LiC、土壌硬度 16 mm、可塑性強  
根あり、湧水面 53 cm

No. 18 地点 腐植質グライ土、ヒューミック・グライソルス (FAO)

Ap: 0 - 14 cm、黒 (2.5 Y 1.7 / 1)、CL、弱角塊状構造、土壌硬度 18 mm、

可塑性中、根含む、境界平坦やや明瞭

IIAC: 14 - 25 cm、黒 (2.5 Y 1.7 / 1)、CL、土壌硬度 22 mm、可塑性中、根含む、

境界平坦やや明瞭

III Ag: 25 - 36 cm、黒 (2.5 Y 1.7 / 1)、CL、土壌硬度 24 mm、可塑性中、根含む、

境界平坦やや明瞭

III Cg: 36 - 70 cm、黄灰 (2.5 Y 6 / 1)、LiC、土壌硬度 20 mm、可塑性極強、根含む、

湧水面 68 cm

No. 31 地点 有機質土、ヒストソルス (FAO)

Ap: 0 - 10 cm、黒 (10 Y R 2 / 1)、CL、弱細塊状構造、土壌硬度 7 mm、可塑性中、

根含む、境界平坦明瞭

II Ag: 10 - 30 cm、黒 (10 Y R 1.7 / 1)、CL、土壌硬度 15 mm、可塑性極強、

根あり、境界漸変

III Ag: 30 - 60 cm、黒 (10 Y R 1.7 / 1)、LiC、土壌硬度 14 mm、可塑性極強、

根あり、湧水面 56 cm

No. 38 地点の土壌は表層の腐植が少なく、次表層の土色が明褐であるが、深さ 56 cm 以下では水の影響が認められる。この土壌はラトソルからグライ土への遷移的性状を持ち、水成ラトソルに分類される。この地点と No. 40 地点附近の土壌は表層に赤色の土層が認められるが、この赤色層はラトソルが侵食されてここへ運積したものである。

No. 40 地点の土壌は腐植が少ないが、次表層が明黄褐色を呈し、また深さ 50 cm 以内に水の影響が認められ、低腐植質グライ土に分類される。

次の No. 3 地点及び No. 5 の土壌も低腐植質グライ土に属する。ただし比高の低い土壌ほど、表層の腐植含量が高くなり、また下層土の灰色化が目立ってくる。しかしいずれの下層土もジビリジル反応が微弱で、グライの程度が弱い。

No. 18 地点の土壌は腐植の厚さが 30 cm 以上あり、また下層土では一層灰白化が強くなっている。この下層土もジビリジル反応が微弱である。土壌の分類としては腐植質グライ土に属する。グライ土の範囲が我国の土壌統の定義よりも、広く解釈されている。

No. 31 地点附近の土壌は腐植が厚く、なかには 1 m 以上のところもある。また腐植層の間には 2 ~ 3 枚の粘土層を介在している。これらの土壌は有機質土である。粘土層は川によって運積された層と考えられる。

耕地及び未耕地の明渠附近の土壌横断面模式図を第 2、3 図に掲げた。耕地の横断面では

比高によって表土及び下層土の土色、腐植層の厚さが変化し、高い方から水成ラトソル～低腐植質グライ土～腐植質グライ土～有機質土の順に並んでいる。図には載せなかったが、水成ラトソルに隣接して、赤黄色ラトソルが分布する。すなわち、これらの土壌の分布は地形に支配された水分環境を反映すると考えられる。

未耕地の横断面では、低腐植質グライ土が大半を占め、川近くで有機質土が分布し、耕地の横断面ほどには土壌の変化が顕著でないが、比高により表土及び下層土の土色が変化している。

次にバルゼアの境界附近において、深層の土層配列と土壌水分状態を知るために、オーガーを用いて調査した結果を第4図に示した。低腐植質グライ土のNo. 40, No. 3, No. 43地点では湿潤な灰色系の層が深さ2 mかそれ以内に認められ、その下に斑紋を持つち密な層が存在し、さらにその下に赤色のやや乾いた層が認められた。

バルゼアの境界に近い、水成ラトソルのNo. 38地点でも、前記低腐植グライ土の地点と同様の土層配列である。ただし赤色のやや乾いた層の出現位置が低腐植質グライ土の地点におけるより浅い。

No. 38地点よりも比高の高いL地点は赤黄色ラトソルになっている。その深層は赤色の層が累積し、深さ170～360 cmまでの層が湿潤で、その下部には鉄の結核が含まれている。

水成ラトソル及び低腐植質グライ土では、深層に赤色の層が認められたことは、かつてこれらの土壌の分布する地域においても、酸化的条件下にあったことを示唆する。その後の地形の変化によって、地表近くの層で水の影響を強く受け、鉄の溶脱が著しく起こったものと考えられる。

## 2. 土壌の一般物理性

土壌の仮比重、三相分布、飽和透水係数、pF水分を第1表に示した。

固相率は腐植層では20%前後、Bg・Cg層では38～48%である。Bg・Cg層は固相率からみて、乾燥収縮がいずれもまだ強くは進んでいない。

水飽和の土壌試料を、pF 1.5の吸引圧の下に置いて排水させた後の孔隙量を、粗孔隙とみなすと、粗孔隙はAp層で高いものもあるが、全般には低い値である。またpF 1.5～2.7の吸引圧で排水させた後の孔隙量は、作物が正常な生育に必要な水分の保持に関係するが、No. 18地点の下層土では低いが、他の地点の各層では低くない。

pF 1.5 - 4.2の吸引圧で排水された後の孔隙量は、作物に対しての有効水の保持に関係するが、腐植層では多く、それに比べて無機質の各層では少ない。

飽和透水係数は無機質下層土において $10^{-4}$  cm/sec オーダーであり、粗孔隙量が低いにもかかわらず、透水不良でない。これらの層は採土を水平方向にとったが、この方向では粗孔隙のつながりが良好なことを示唆している。

### 3 土壤水分の動き

土壤水分の調査は1982年7月～9月に行ったが、その約1年前からの分を含めて、降水量及び蒸発計蒸発量を第5図に示した。1981年10月から1982年5月までの降水量は1808mmで、ブラジリアの同期間の平年値より約300mm多い。特に雨期の始めの10月が多く、この月のみで平年値より334mm多くなっている。蒸発量は乾期では日平均4～5mm程度である。

地下水位の測定結果を第2表に掲げた。バルゼアでは8月26日には、No.59地点を除いて、地下水位は1m以内にあり、しかも多くの地点で、その時より10週間前の7月14日の測定値はほとんど変わりなかった。9月に入って耕地では測定地点数の1/2の、また未耕地ではその1/4の点で、水位は1m以下になった。しかし残りの地点では、水位は乾期の4ヶ月を通して1m以内にあったことになる。こうした事実から、このバルゼアでは、雨水の基底流出が乾期においても、ほぼ持続的に起こっていたことがうかがわれた。

次に地形と地下水位との関係について、耕地と未耕地の8月11日の例をそれぞれ第6、7図に示した。地下水位は大まかにみれば、地形の傾斜にほぼ平行して分布している。バルゼア内では被圧水が認められない。さきの深層の土層配列の観察により、湿潤な層の下に斑紋を持つち密な層がみられたが、この層が難透水層と考えられる。湿潤な層は横方向の透水性が不良でないので、バルゼアの後背地からの雨水は湿潤な層を通過して、川へ流出していると推定される。

第8図は5箇所の地点の深さ20cmにおける土壤水分吸引圧について、7月29日から9月23日までの推移を示したものである。水分吸引圧は各地点とも9月23日の降雨により低下したが、乾期中では変化が少なく、 $pF\ 1.9 \sim pF\ 1.4$ の間であり、乾燥してはいない。

地下水位と土壤水分吸引圧との関係を第9図に載せたが、これらはいずれも1:1の線にほぼ沿っている。下層から深さ20cmまでの水の伝導性が、低腐植質グライ土では地下水位60cmの際にも、また腐植質グライ土では地下水位80cmの際にも良好であることがうかがわれた。

第3表に深さ0～25cmの土層における有効水分量を掲げた。有効水分量の計算に当り、7.5～125cmの層の実測値を5～15cmの層の値とし、15～20cmと225～275cmの実測値の平均値を15～25cmの層の値とした。有効水分量は腐植の含量が高く層厚の厚い土壌で高い傾向にあり、土壌別では有機質土、腐植質グライ土、低腐植質グライ土の順に高かった。また同一土壌では耕起した場合には、未耕起の場合より、水分の減少量が多く、特に0～5cmの層で著しかった。

### Ⅲ. 論 議

このバルゼアにおける各土壌では、乾期においても地下水位の変動が少なく、作土直下へ向かっての土壌水分供給も順調であり、1か所も地下水位が極端に高いところもなかった。バルゼアの後背地から雨期に貯留された水が、定常的にバルゼアに浸透していることがうかがわれた。このことは乾期における畑作物の栽培に関して、バルゼアでは土壌水分の面から、極めて有利な条件を備えていることを示す。

バルゼアは一般に河川の周辺に分布し、河川からかんがい水を得やすいので、かんがいを容易に導入できる地帯でもある。しかしこの調査例のような土壌水分状態にある場合には、かんがいを導入するよりも、地下水を合理的に活用した方がよい。かんがいの導入は作土の気相率を考慮せずに行うと、作物にとってはむしろ湿害を起こす可能性もある。

勿論、バルゼアの地下水を上手に利用するためには、今後検討すべき幾つかの問題がある。例えば、低腐植質グライ土では重粘な下層土が浅く出現するが、これらが耕起によって地表へ露出し乾燥化すると、水分供給性や発芽障害など作物生育に悪影響を及ぼす。従って検討すべき課題をあげれば次の通りである。

- (1) バルゼアの各種土壌における施肥法
- (2) 地下水からの毛管伝導を保持するために、地下水位の調節と簡易耕の検討
- (3) 作物高収に適した地下水位と気相率の解明。

バルゼアを雨期、乾期をとわず周年利用できれば結構なことであるが、雨期には過湿を防ぐために、排水が必要であり、その結果乾期には下層土の乾燥化が進み、その毛管伝導性が不可逆的に悪化するとみられる。

作物栽培のための水分調節を雨期と乾期のどちらかに重点をおくとしたら、バルゼアでは他の土地で作物栽培困難な乾期の方が経営的に有利性を発揮できよう。

このような見地から、調査例のバルゼアでは、現在施工された明渠のほかには新たに耕水する必要がないと考えられる。

### Ⅳ. 要 約

バルゼア開発計画に資するため、CPACの圃場内のバルゼアにおいて、分布する土壌の種類、土層の層序と地形との関係、土壌水分に関する物理的性質、乾期における土壌水分の推移について検討した。

土壌は比高の高い方から低腐植質グライ土、腐植質グライ土、有機質土の順に分布する。比高によって表土及び下層土の土色、腐植層の厚さが変化している。

土壌水分に関しては、地下水位は多くの測定地点において、1 m以内にあり、また変動が少ない。また深さ20 cmにおける土壌水分吸引圧も水柱90 cm以下であり、地下水面との距離とほぼ等価の関係にあって毛管伝導性が良好とみられる。0 - 25 cmの土層の有効水分量は腐植

の多い土壌で高い傾向にある。

このバルセアは乾期の作物栽培に関して、土壌水分供給の面から、有利な条件を備えている。今後、地下水を有効に利用しうるような土壌水分管理法を検討する必要がある。