

## 耕耘によるセラード・ラトソル土壌の圧密層破碎が 土壌の物理性、化学性、作物の生育に及ぼす影響

小川和夫・Claudio Alberto Bento FRANZ・Sergio Mauro FOLLE  
Francisco Eduardo de Castro ROCHA

### Effects of Soil Compacted Layer Destruction by Tillage on Soil Physico-Chemical Changes and Growth of Crops in Cerrado Latosol

Kazuo OGAWA\*, Claudio Alberto Bento FRANZ\*\*, Sergio Mauro FOLLE\*\*  
and Francisco Eduardo de Castro ROCHA\*\*

\* Sakurada 4-3-1-14-101, Washimiya, Saitama 340-0203, Japan

\*\* EMBRAPA-CPAC (Cerrado Agricultural Research Center), Planaltina, DF, 73300, Brazil

#### Abstract

A field experiment was conducted to observe the effect of compacted layer destruction of soil by disk plow, mouldboard plow and subsoiler in a field of Brazilian Dark Red Latosol in Cerrado.

1. From the results of tilling depth and soil hardness distribution measured immediately after mechanical treatments, the destruction effects of compacted layer by mouldboard plow and subsoiler were larger as compared with the treatment of disk plow.

2. In the heavy disk harrow plot, as a control plot in which compacted layer is found, the tap roots of soybean bended horizontally on the upper part of compacted layer. On the other hand, the tap roots elongated more deeper in the mouldboard plow and subsoiler plots. And the tap roots elongation in the disk plow was relatively shallow. The roots elongation tendency of millet (2nd crop) and sorghum (3rd crop) cultivated with direct drilling after soybean was similar to the case of soybean roots in each mechanical treatment. The yields of stem of soybean and dry matter yields of top of millet and sorghum were small in the plots of heavy disk harrow and disk plow.

3. The air and water permeability and chemical properties in compacted layers were excellent. On the contrary, the soil hardness of compacted layers was more than 15 kgf/cm<sup>2</sup> at the field capacity. Accordingly, very high values of soil hardness in compacted layers were considered to be problems for root growth.

4. From the results of soil hardness distribution measured with time, the durable effect of compacted layer destruction by mouldboard plow and subsoiler was maintained at least one year and five months. The continuous measuring of soil hardness change is in the plan.

**Key words** : Cerrado Latosol, compacted layer destruction, soil hardness, root elongation, plow sole

\* 〒340-0203 埼玉県北葛飾郡鷺宮町桜田4丁目3-1-14-101

\*\* EMBRAPA-CPAC (Cerrado Agricultural Research Center), Planaltina, DF, 73300, Brazil

キーワード : セラードラトソル, 圧密層破碎, 土壌硬度, 作物根の伸長, 耕盤

## 1. はじめに

大規模な農地が広がるブラジルのセラード地域では、雨期開始期の変動や農作業可能日数の限定から、大馬力のトラクタに牽引された重ディスクハローによる簡便な耕耘整地作業が行われ (Folle *et al.*, 1994), 浅耕化 (Shioya *et al.*, 1981, Iwama 1994), 団粒破壊 (Nasser *et al.*, 1990), 土壌圧縮 (岩間ら, 1988, Nasser *et al.*, 1990) などの土壌劣化がみられる。このような問題に対し、直播栽培, 圧密層を破壊するモールドボードプラウ耕, サブソイラ耕などの導入が考えられる。

ここでは、土壌劣化の重要な内容として、とくに土壌圧密をとりあげた。一般にラトソル土壌では塊状や角柱状のようなマクロ構造の発達がきわめて弱く、粒状の無構造を示している。このことは、粘土質の土粒が細砂に近い粒径の団粒として固まっていることを示すものであり、こうした構造的特性をもつ土壌は大型機械などによって圧縮されると作物根の伸長を阻害する圧密層を生成しやすい (久保田ら, 1983)。また、ラトソル土壌は膨潤, 収縮性が小さくて (岩間ら, 1988), 土層に割れ目が生じにくく、生成された圧密層 (一般に耕盤と称される) は機械的に破壊しない限り作物根の伸長を容易にすることは困難である。

そこで、土壌圧密層をディスクプラウ, モールドボードプラウおよびサブソイラで破壊する効果を暗赤色ラトソルの圃場で土壌の物理・化学性の側面からみようとした。

本報告では、ディスクプラウ, モールドボードプラウ, サブソイラによる処理を行った後、1作目のダイズを栽培し、ついで2作目のミレット, 3作目のソルゴーを直播栽培して、耕耘による圧密層破碎効果を検討した。

本研究は、プロジェクト方式技術協力「ブラジル・セラード農業環境保全研究」において実施されたものである。なお、本研究は1995年5月11日から1997年5月6日までセラード農牧研究センター (CPAC) において実施されたものであり、1997年5月以降は本研究の成果を利用して機械処理効果の持続性が検討されている。

## 2. 実験方法

## 1) 供試圃場

CPAC (セラード農牧研究センター) 構内の暗赤色ラトソルの圃場で試験を実施した。供試圃場の土壌断面形態はAp層 (0-17 cm), A12層 (17-26 cm) は暗赤褐色 (2.5 YR 3/6) を示し、安定した粒状の構成単位からなる無構造の集合体であり、乾燥すると固くなる。B1層 (26-40 cm) およびB2層 (40-70 cm) は赤褐色 (2.5 YR 4/6-4/8) で碎易な粒状の無構造を示した。いずれの層とも土性はHC (粘土含量は44-49%) であるが、粘着性, 可塑性は弱であった。A12層には長年にわたる重ディスクハロー耕起に起因すると思われる圧密層が認められた。

供試した圃場では1989年にモールドボードによる耕起が行われ、その後は1994年まで重ディスクハローによって耕起が行われて、その間ダイズ, トウモロコシ, オオムギが栽培された。

## 2) 圧密層破碎処理と作物栽培法

耕起層直下に存在する圧密層を機械的に破碎する処理として、1995年の11月 (雨期はじめ) に、ディスクプラウ, モールドボードプラウ, 及びサブソイラによる耕起を行い、これらの処理の対照として重ディスクハローによる耕起を行った。重ディスクハロー処理区以外の処理区では、それぞれの処理後に中ディスクハローによる碎土が行われた。これらの機械処理時の0-30 cm層の土壌水分はpF 1.6-2.2であった。圧密層の破碎処理に用いた機械の諸元は表1に示した。

以上の処理の1区の面積は140 m<sup>2</sup> (7 m × 20 m) で、各区とも3反復とした。

1995年11月の破碎処理の直後の11月28-29日に1作目のダイズ (DOKO-RC) を畝間間隔45 cmの条播で播種し、播種時に0-20-20の複合肥料を1ヘクタール当たり400 kg施用した。ダイズの収穫は1996年4月29日に行った。

ダイズ収穫跡には、不耕起で2作目のミレット (Africano) を栽培した。ミレットの播種日は1996年5月30日で、畝間間隔は16 cmの条播とし、肥料は施さ

Table 1 Using implements

Machine	Size	Trader
Disk plow	28" × 3 disks	JAN
Mouldboard plow	14" × 3 mouldboard	LAVRALE
Subsoiler	5 chisels (Leg length : 55 cm)	STARA
Heavy disk harrow	30" × 12 disks	MARCHESAN

なかった。ミレット生育期間中は乾期であるため播種後と生育期間中に必要に応じてスプリングラで灌水した。灌水は出穂前の8月13日にとめた。1996年9月6日にミレット地上部の収量調査を行なった。

3作目として、ミレット収穫跡にソルゴの直播栽培を行った。ソルゴの播種日は1996年12月15日、畝間間隔は70cmとし、N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>Oをそれぞれ1ヘクタール当り10kg、90kg、30kg施用した。ソルゴの収穫は1997年4月2日に行った。

### 3) 土壌の物理性と化学性の測定方法

#### (1) 容積重、pF-水分曲線

100ml採土円筒によるコアサンプル3連について、容積重は乾燥法で、pF-水分曲線は遠心法で測定した。全孔げき量は土壌の容積重と真比重より計算した。

#### (2) 土壌硬度

硬度の測定は山中式硬度計とDIK 5520コーンペネトロメータによった。土壌硬度の表示単位はすべてkgf/cm<sup>2</sup>とした。山中式硬度計の指示目盛り(mm)から貫入抵抗値への転換は $X=1.45+14.68 \log D$ の式によった。但し X: 指示目盛り(mm), D: 貫入抵抗値(kgf/cm<sup>2</sup>)である。

#### (3) インテークレート

円筒状の無底のシリンダーを土層に打ち込み、円筒内にタンク水して、水の浸入強度を時間の経過とともに測定した。このとき、円筒の外周部にも水を張り円筒内部の水の浸入が鉛直浸透となるようにした。

#### (4) 化学性の分析

交換性アルミニウム、カルシウム、マグネシウムは土壌からN-KClで抽出し、アルミニウムは0.02N-NaOHで滴定し、カルシウム、マグネシウムはEDTA法で定量した。交換性カリウム、有効態リン酸の土壌からの抽出

はMehlich-1法によった。有機物はWalkley-Blackの方法によった。有効態のアンモニア態チッソ、硝酸態チッソはN-KClで土壌から抽出後、蒸留法で測定した。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. 結果と考察

### 1) 各機械処理による耕起深

各機械によって圧密層を破壊処理した直後に耕起深を測定し、その結果を対照機である重ディスクハローによる耕起深とともに表2に示した。

破碎処理前の地表レベルからの実質耕起深、耕起後の盛り上がったレベルからの耕起深とも、モールドボードプラウの場合が最も深く、ついでディスクプラウであり、前者の実質耕起深は28cm、後者は26cmであった。重ディスクハローでは実質耕起深は15cmと浅くて圧密層は破壊されなかった。サブソイラによるチゼル跡の実質耕起深は約30cmであった。なお、ディスクプラウとモールドボードプラウでは、土壌の反転性は後者が優れていた。

### 2) 各機械処理区の土壌の物理性

各機械による破碎処理を行ってから約20日後に、土壌断面の深さ60cmまでの土壌硬度、容積重、孔げきの分布特性を測定した。

#### (a) 土壌硬度分布

重ディスクハロー区の土壌硬度分布(図1)をみると、耕起された深さ15cmまでは土壌硬度は比較的に小さかったが、耕起されなかった15cm-30cmに硬度15kgf/cm<sup>2</sup>以上の硬い層がみられ、これは圧密層と思われる。

ディスクプラウ区では、深さ23cmぐらまで土壌硬

Table 2 Tilling depth measured immediately after tilling treatment (Measured on 23 Nov., 1995)

Tilling depth (cm)	Block	Heavy disk harrow	Disk plow	Mouldboard plow	Subsoiling
Actual tilling depth	1	15	26	28	32
	2	15	26	25	30
	3	15	26	32	31
	Average	(15)	(26)	(28)	(31) #
Tilling depth in condition upheaved	1	21	31	41	37
	2	19	35	39	35
	3	21	35	36	36
	Average	(20)	(34)	(39)	(36) ▼

Tilling depth was measured at five or six places in each plot.

# Actual depth of plowed ditch

▼ Depth of plowed ditch in condition upheaved

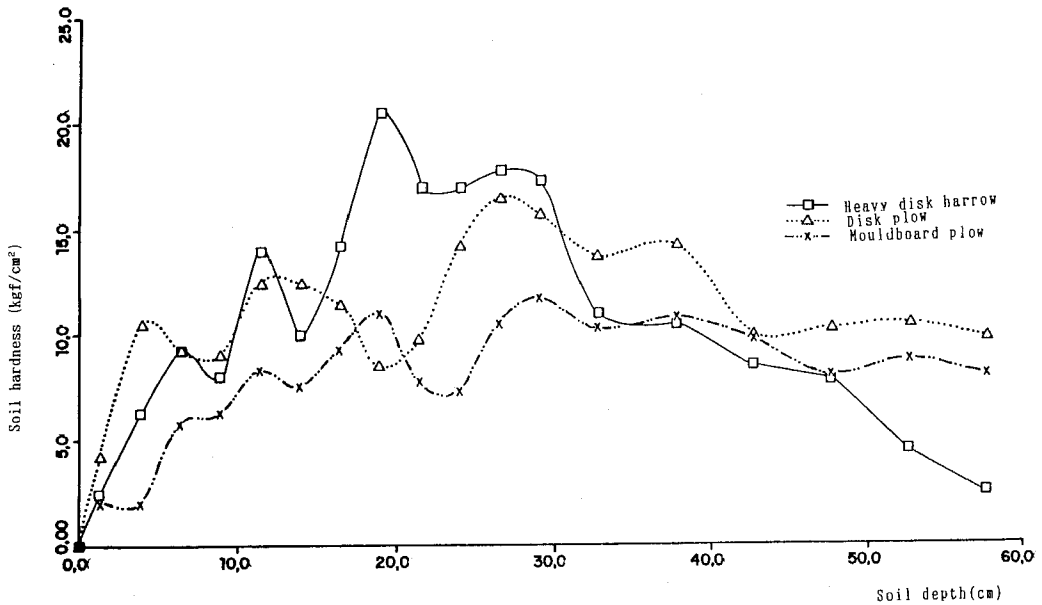


Fig. 1 Soil hardness distribution after 20 days of treatments of heavy disk harrow, disk plow and mouldboard plow

度は小さかったが、それ以下 30 cm までは土壤硬度は 15 kgf/cm<sup>2</sup> 以上を示し、作土層に圧密層が残っているのが認められた。これは、ディスクプラウによる耕起では土壤の反転性が悪く、Shioya ら (1981) が指摘しているように、ディスクプラウは作業中に浮きあがり易く耕深を浅くしたものと考えられる。

モールドボードプラウ区では、深さ 30 cm までの土壤硬度は 13 kgf/cm<sup>2</sup> 以下と明らかに小さかった。これは、モールドボードによる耕起では土壤の反転性はディスクプラウより優れている上、耕深が深くなるためと思われる。

サブソイラ区では、用いたサブソイラのチゼルの間隔が 40 cm なので、幅 60 cm、深さ 60 cm の断面の処理後の土壤硬度を測定した (図 2)。チゼルの跡は著しく土壤硬度が低下していた。また土壤硬度の低下はチゼルの両側の幅 10 cm にもみられた。しかし、チゼルとチゼルの中間部の深さ 10-25 cm には 20 cm の幅で、土壤硬度が 15 kgf/cm<sup>2</sup> 以上と硬い層がみられた。これは圧密層が破壊されていない部分である。チゼルとチゼルの中間部の深さ 25-30 cm の土壤硬度がやや小さかったが、これはチゼルの先端部にある幅 80 mm、長さ約 250 mm のショベル状剣先の破碎効果によるものと思われる。以上のサブソイラ区の土壤硬度分布と図 2 に示した対照区の重ディスクハロー区の硬度分布とを対比すると、サブソイラ処理により深さ 0-30 cm 層の 85% は膨軟化しており、

深さ 10-30 cm にみられる圧密層の約 80% が破壊されていた。

いずれの処理区も深さ 30 cm 以下の層は碎易性があるため土壤硬度は比較的に小さかった。

以上に述べた圧密層破碎処理後の耕深と土壤硬度の測定結果からみて、ディスクプラウの圧密層破碎効果は小さく、一方、モールドボードプラウとサブソイラの破碎効果は大きいといえる。

#### (b) 容積重、孔げき特性および有効水分

各処理区の断面の土壤の容積重、孔げき特性および有効水分を表 3-1 および表 3-2 に示した。まず、容積重をみると、重ディスクハロー区では、深さ 15-20 cm および 25-30 cm で容積重は高く (1.28-1.29 g/cm<sup>3</sup>)、ディスクプラウ区では耕起されにくい 20-30 cm 層で高かった (1.27-1.29 g/cm<sup>3</sup>)。モールドボードプラウ区では、深さ 0-30 cm の作土層全体にわたって容積重は小さかった (0.98-1.24 g/cm<sup>3</sup>)。サブソイラ区ではチゼル跡及びチゼル近辺で容積重は明らかに小さく (0.96-1.19 g/cm<sup>3</sup>)、チゼルによる破壊効果が及ばなかった部分の緻密層で高かった (1.26 g/cm<sup>3</sup>)。以上の各区における容積重の傾向は、さきに述べた土壤硬度と連動し、容積重が大きい層で、土壤硬度が大きくなった。

孔げき特性をみると、重ディスクハロー区とディスクプラウ区の耕起されなかった圧密層で、粗孔げき量が少なくなる傾向がみられた。サブソイラ区の圧密層部分で

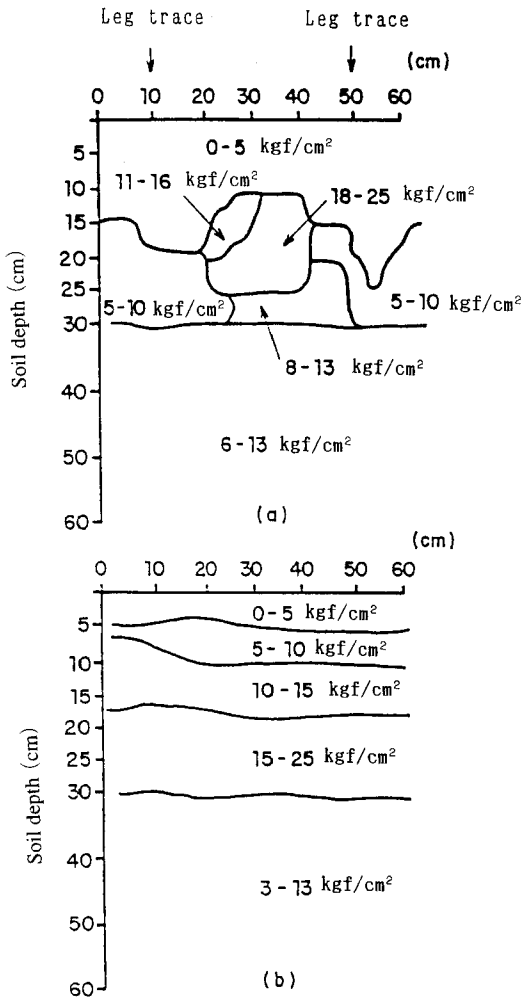


Fig. 2 Soil hardness distribution after 20 days of subsoiling (a) and heavy disk harrow (b) treatments

も同様である。しかし、これらの圧密層の粗孔径き量は20%以上であった。長谷川(1994)は相対ガス拡散係数(大気中のガス拡散係数と土壌中のガス拡散係数の比:  $D/D_0$ )が0.02の場合は土壌中の酸素濃度の低下がほとんどないことを認め、遅沢ら(1990)は  $D/D_0$  が0.02となる気相率は10-15%であるとした。小川(1969)は作物根の伸長が阻害されない限界の気相率は10から24%の範囲にあることを認めた。また、Osozawaら(1994)の測定結果によると、CPAC構内の圧密層が存在する暗赤色ラトソルでの  $D/D_0$  は0.02以上であった。従って、本試験圃場における圧密層が通気性に悪い影響を与えているとは考えられない。

また、圧密層が存在する試験圃場の2カ所でシリ

ダー法によってインタークレートを測定した結果、インタークレート(mm/h)はそれぞれ  $764T^{0.26}$ ,  $388T^{0.23}$ の値を示し{Tは給水経過時間(min)}, 透水性は良好であることが認められた。

深さ60cmまでの有効水分保持量をみると、易有効性水分、全有効性水分はともに重ディスクハロー区が他の区にくらべて10%程度少なく、とくに40cm以上の上層で少なくなる傾向がみられた。なお、第3作目のソルゴー栽培中に裸地部分をつくって、比較的降水量の少ない時期に土壌水分を測定した結果、深さ60cmまでの有効水分量には破碎処理試験区間で差がみられなかった。

### 3) 各破碎処理区における土壌硬度の経時変化

ディスクプラウ、モールドボードプラウ、サブソイラによる圧密層破碎効果の持続性をみるために、これらの処理区と対照の重ディスクハロー区で経時的に深さ30-60cmまでの土壌硬度を測定した。処理後1年目(図3)および1年5カ月目(図4)の硬度分布はすでに述べた処理後20日目のそれと傾向は同様であり、少なくとも1年5カ月目までは、これまでに述べてきた各処理相応の圧密層破碎効果が持続していた。なお、処理後1年5カ月目は第3作目ソルゴーの生育後期に当たる。

機械による圧密層破碎効果の持続性には破碎処理後の管理作業の適正化と土壌湿潤時の作業回避が関係してくるものと思われる。本試験では施肥、播種、収穫は大型機械で行われたが、第1作目のダイズ収穫および第2作目のミレットの播種、収穫はともに土壌乾燥期に行われ、また、第2作目ミレットおよび第3作目ソルゴーは作業回数を減らす不耕起で栽培されたことが圧密層破碎効果の持続に貢献したものと思われる。

### 4) 各機械処理区における土壌硬度と土壌水分との関係

一般に土壌硬度が  $15 \text{ kgf/cm}^2$  になると作物根の伸長は阻害される(Taylorら1966, 小川1969)。そこで、各破碎処理区で、深さ60cmまでを、上層30cmまでは5cmごとに、下層30-60cmまでは10cmごとにくぎって、破碎処理後20日目から4カ月目まで経時的に測定した硬度と硬度測定時の土壌水分から、硬度が  $15 \text{ kgf/cm}^2$  になる土壌水分(pF値)を求めてみた。

表4に示すように、重ディスクハロー区では、圧密層でpF 1.5-1.7の圃場容水量に近い多水分時に、すでに作物根の伸長が阻害される土壌硬度である  $15 \text{ kgf/cm}^2$  に達した。このような傾向はディスクプラウ区作土層下部の圧密層及びサブソイラ区の圧密層部分でもみられた。このことは、圧密層の土壌硬度は常に高く、圧密層は作物根の伸長を阻害していると考えられる。

**Table 3-1** Soil bulk density, macro pore and available water in heavy disk harrow, disk plow and mouldboard plow plots (Measured after 20 days of treatments)

Treatment Soil depth	Heavy disk harrow				Disk plow				Mouldboard plow			
	BD	MP	EAW	TAW	BD	MP	EAW	TAW	BD	MP	EAW	TAW
cm	g/cm <sup>3</sup>	v%	mm	mm	g/cm <sup>3</sup>	v%	mm	mm	g/cm <sup>3</sup>	v%	mm	mm
0-5	1.17	27	2.5	4.5	1.20	27	4.0	5.5	1.00	30	4.5	6.0
5-10	1.25	23	3.5	5.5	1.17	27	4.0	6.0	0.98	29	5.0	7.5
10-15	1.23	22	5.0	6.5	1.25	22	4.0	6.5	0.99	31	4.0	6.0
15-20	1.28	22	3.5	5.5	1.22	25	3.5	5.5	1.15	25	4.0	6.0
20-25	1.21	25	3.0	4.5	1.29	21	3.5	5.0	1.17	25	3.0	5.0
25-30	1.29	21	3.5	5.0	1.27	22	4.0	5.5	1.24	19	4.5	6.5
30-40	1.25	20	9.0	13.0	1.20	19	13.0	17.0	1.18	21	9.0	14.0
40-50	1.24	20	9.0	13.0	1.13	24	10.0	14.0	1.11	22	11.0	16.0
50-60	1.11	25	10.0	13.0	1.16	25	8.0	11.0	1.11	23	9.0	14.0
(Total)			(49.0)	(70.5)			(54.0)	(76.0)			(54.0)	(81.0)

BD : Bulk density, MP : Macro pore (pF 1.8>), EAW : Easily available water (pF 3-1.8), TAW : Total available water (pF 4.2-1.8)

**Table 3-2** Soil bulk density, macro pore and available water in subsoiling treatment plot (Measured after 20 days of treatment)

Treatment Soil depth	Subsoiling (Leg trace)				Subsoiling (Next to the leg trace)				Subsoiling (Between the leg trace)			
	BD	MP	EAW	TAW	BD	MP	EAW	TAW	BD	MP	EAW	TAW
cm	g/cm <sup>3</sup>	v%	mm	mm	g/cm <sup>3</sup>	v%	mm	mm	g/cm <sup>3</sup>	v%	mm	mm
0-5	1.04	26	4.5	7.0	0.96	29	4.5	7.5	1.07	24	5.0	7.5
5-10	1.01	26	5.5	8.0	1.03	25	5.0	8.0	1.03	26	4.5	7.5
10-15	1.14	25	4.0	6.0	1.19	23	3.5	6.5	1.23	21	4.0	6.0
15-20	1.01	28	5.0	7.0	1.07	27	4.0	6.0	1.26	20	4.0	6.0
20-25	1.02	28	5.0	6.5	1.15	23	4.5	6.5	1.26	19	4.0	6.0
25-30	1.08	27	4.0	5.5	1.12	24	5.0	7.0	1.16	21	5.0	7.0
30-40	1.07	28	8.0	12.0	1.11	24	10.0	14.0	1.14	25	11.0	14.0
40-50	1.05	25	11.0	14.0	1.10	24	9.0	13.0	1.14	26	10.0	13.0
50-60	1.09	24	11.0	14.0	1.17	22	9.0	13.0	1.12	22	11.0	16.0
(Total)			(58.0)	(80.0)			(54.5)	(81.5)			(58.5)	(83.0)

BD : Bulk density, MP : Macro pore (pF 1.8>), EAW : Easily available water (pF 3-1.8), TAW : Total available water (pF 4.2-1.8)

表としては示さなかったが、モールドボードプラウ区の作土層及びディスクプラウ区の作土層の圧密層のない部分では土壌水分が pF 2.3-2.6 で 15 kgf/cm<sup>2</sup> の硬度になり、サブソイラ区のきわめて膨軟であるチゼル跡では土壌硬度が 15 kgf/cm<sup>2</sup> になる土壌水分は pF 4-5 以上であった。

以上の結果から、圧密層でなくても、土壌硬度は土壌の乾燥とともに高くなることがわかる。粘土質の暗赤色

ラトソルでは乾期あるいは雨期の小乾期に土壌は著しく硬くなるものと思われる。

##### 5) 土壌圧密層における団粒の安定性

圧密層が存在する重ディスクハロー区の土壌断面について団粒の安定性の程度をみるために、小川らの方法(1979)で団粒の崩落率を測定した。その結果、表5に示すように圧密層がみられる15-30 cm層の団粒の崩落率は非圧密層の0-10 cm層のそれに比べて著しく大き

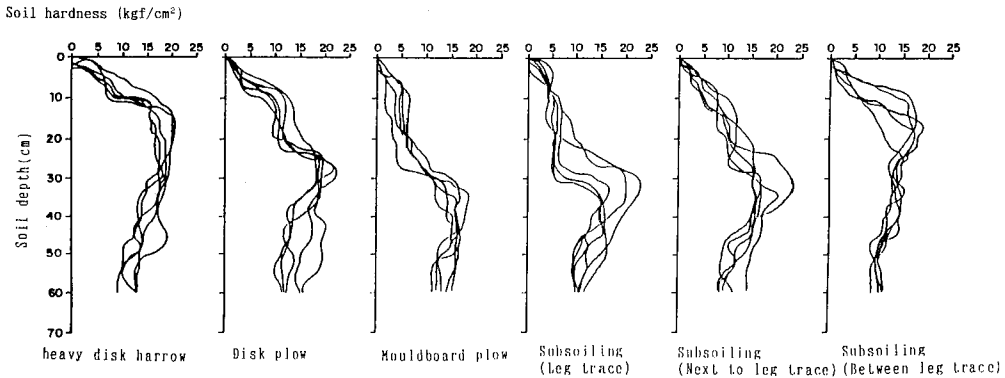


Fig. 3 Soil hardness distribution in the soil profile measured after 1 year of mechanical treatments  
(Soil hardness was measured at five places in each plot)

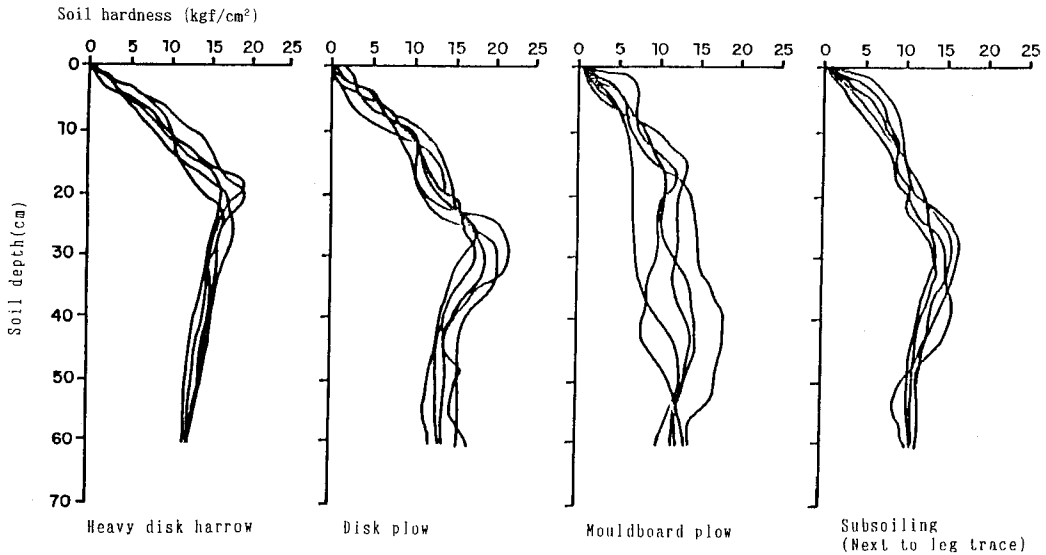


Fig. 4 Soil hardness distribution in the soil profile measured after 1 year and 5 months of mechanical treatments  
(Soil hardness was measured at five places in each plot)

かった。

そこで、同じ重ディスクハロー区の前圧密層である5-10 cm 層から100 ml の採上円筒に土壌を採取して、水で飽和し、円筒中の土壌を1.25 kgf/cm<sup>2</sup>と2.0 kgf/cm<sup>2</sup>の圧力で人為的に圧縮して、これらの人為的圧縮土壌と非圧縮土壌の団粒の崩落率を測定した。その結果は表6のとおりで、圧縮により団粒の崩落率は明らかに増大し、圧縮土壌の団粒の安定性が低下することを認めた。

なお、表5でB1-B2層にあたる30 cm以下の層で、団粒の崩落率が大きかったが、これはこれらの層で有機物含量が著しく少なく、安定したマクロ団粒が存在しな

いたためと考えられる。

破碎処理による圧密層膨軟化の持続性は破碎部の外力に対する構造要因が関係した抵抗性の他に、破碎部の通過水に対する耐水性に影響されるものと考えられる。圧密層で耐水性の指標となるスレーキング現象が起こり易いことを認めたことから、膨軟化を持続させるためには作業回数の減少による再圧密化の防止と有機物補給によるマクロな耐水性団粒の形成が重要と考える。

6) 作物の根の分布、生育および収量

(a) 根の分布

機械による圧密層破碎処理後に栽培した第1作目の

**Table 4** Relationship between soil hardness and soil moisture tension in heavy disk harrow plot

Soil depth (cm)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Y=aX+b		r	pF values be equivalent to get 15 kgf/cm <sup>2</sup> of soil hardness
		a	b		
0-5	1.17	3.0	-1.8	0.78	5.6
5-10	1.25	7.7	-4.2	0.86*	2.5
10-15	1.23	13.3	-12.9	0.92**	2.1
15-20	1.28#	19.4	-18.2	0.82*	1.7
20-25	1.21#	22.0	-23.2	0.93**	1.7
25-30	1.29#	17.0	-10.1	0.76*	1.5
30-40	1.25	10.1	-2.2	0.36	1.7
40-50	1.11	6.5	1.3	0.59	2.1
50-60	1.11	12.4	-16.9	0.87*	2.6

Y : Soil hardness (kgf/cm<sup>2</sup>), X : Soil moisture tension (pF), r : Correlation coefficient

\*\* : Significant at the 1 percent level of probability

\* : Significant at the 5 percent level of probability

# : Compacted layer

**Table 5** Slaking percentage of soil aggregates in heavy disk harrow plot

Depth (cm)	0-2.5	2.5-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40	40-50
Slaking percentage (%)	1.4	8.0	18.8	53.5	65.6	63.6	76.9	66.6	40.6

**Table 6** The effect of compression on slaking percentage of soil aggregates

Treatment	Slaking percentage of aggregates (%)	Bulk density of soil core (g/cm <sup>3</sup> )
2.0 kgf/cm <sup>2</sup> compression	36.0 a	1.48 (CV% 4.4)
1.25 kgf/cm <sup>2</sup> compression	35.3 a	1.28 (CV% 2.0)
0.0 kgf/cm <sup>2</sup> no-compression	23.6 b	1.20 (CV% 2.7)
LSD (5%)	6.9	

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at 5 percent level.

ダイズの開花盛期および収穫期に深さ1m, 長さ2m, 幅1mのざんごうをつくり, 土壌断面における根の分布を肉眼および写真撮影によって観察した。その結果, 作土層の圧密層が破壊されたモールドボードプラウ区およびサブソイラ区では, 直根は30cmの深さまで伸び分枝根の分布域も広く, 一方, 圧密層破壊が不十分なディスクプラウ区では, ダイズ直根の伸長は20-25cmまでであり, 圧密層が全く破壊されなかった対照区の重ディスクハロー区では, 直根は深さ15cmあたりで水平方向に

折れ曲がるのが観察された(写真1)。

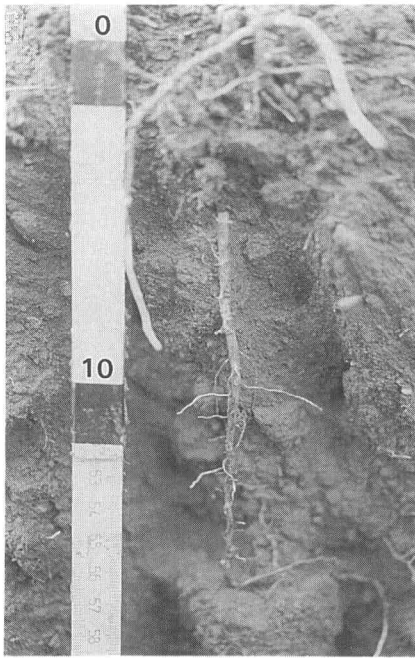
また, 1作目ダイズあとに不耕起で栽培した第2作目ミレットの根の分布状況をダイズの場合と同様な方法で観察した結果, モールドボードプラウ区, サブソイラ区で冠根と細根は深くまで伸び, 重ディスクハロー区, ディスクプラウ区の圧密層では冠根の分布は極めて少なく, 圧密層及びそれ以下の層での細根の分布は少なかった(写真2)。第3作目ソルゴーの根の分布もミレットの場合と全く同様の傾向を示した。

圧密層における直径が0.048mm以上の粗孔隙の量は20%以上であり, 通気性は前述したように根の伸長阻害要因にはなり得ないものと考えられ, また, この層の透水性も良好であった。一方, 圧密層の土壌硬度は圃場含水量に相当するpF1.5-1.7の時の多水分時にすでに作物根が伸長阻害される臨界硬度の15kgf/cm<sup>2</sup>を越える値を示すことから, 圧密層における根の伸長阻害要因は土壌硬度の高いことにあると考えられる。このことは, 暗赤色ラトソルの圧密層を用いた室内におけるコムギの根の伸長実験でも確かめられた(Ogawa *et al.*, 1997)。

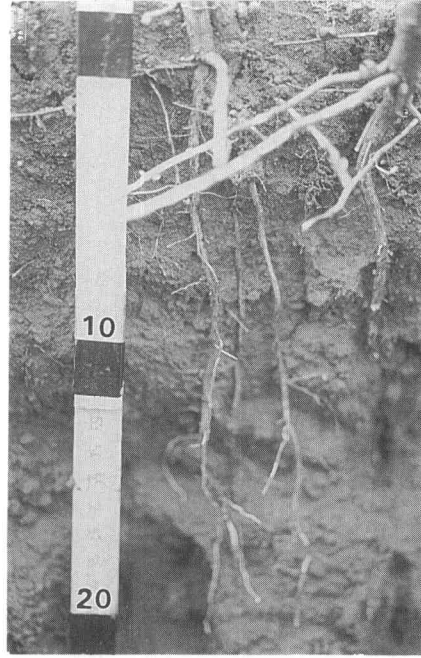
(b) 作物の生育および収量

表7に示したように, 統計的な有意差はみられなかったが, 破碎処理後1作目ダイズの開花はじめに測定した草丈は重ディスクハロー区で低くなる傾向がみられ, 収穫期における茎とさやがらを合わせた質量も重ディスク

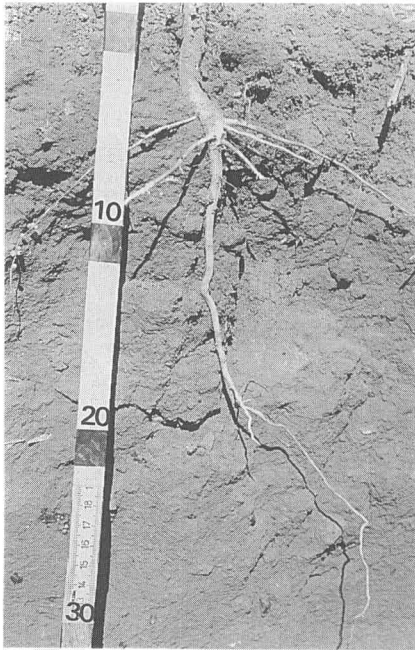




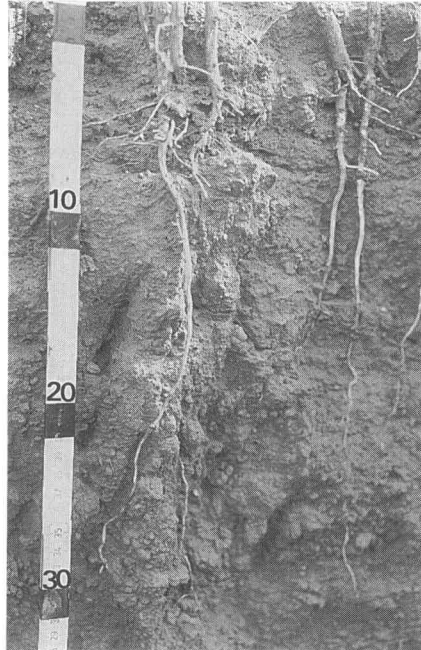
(a)



(b)

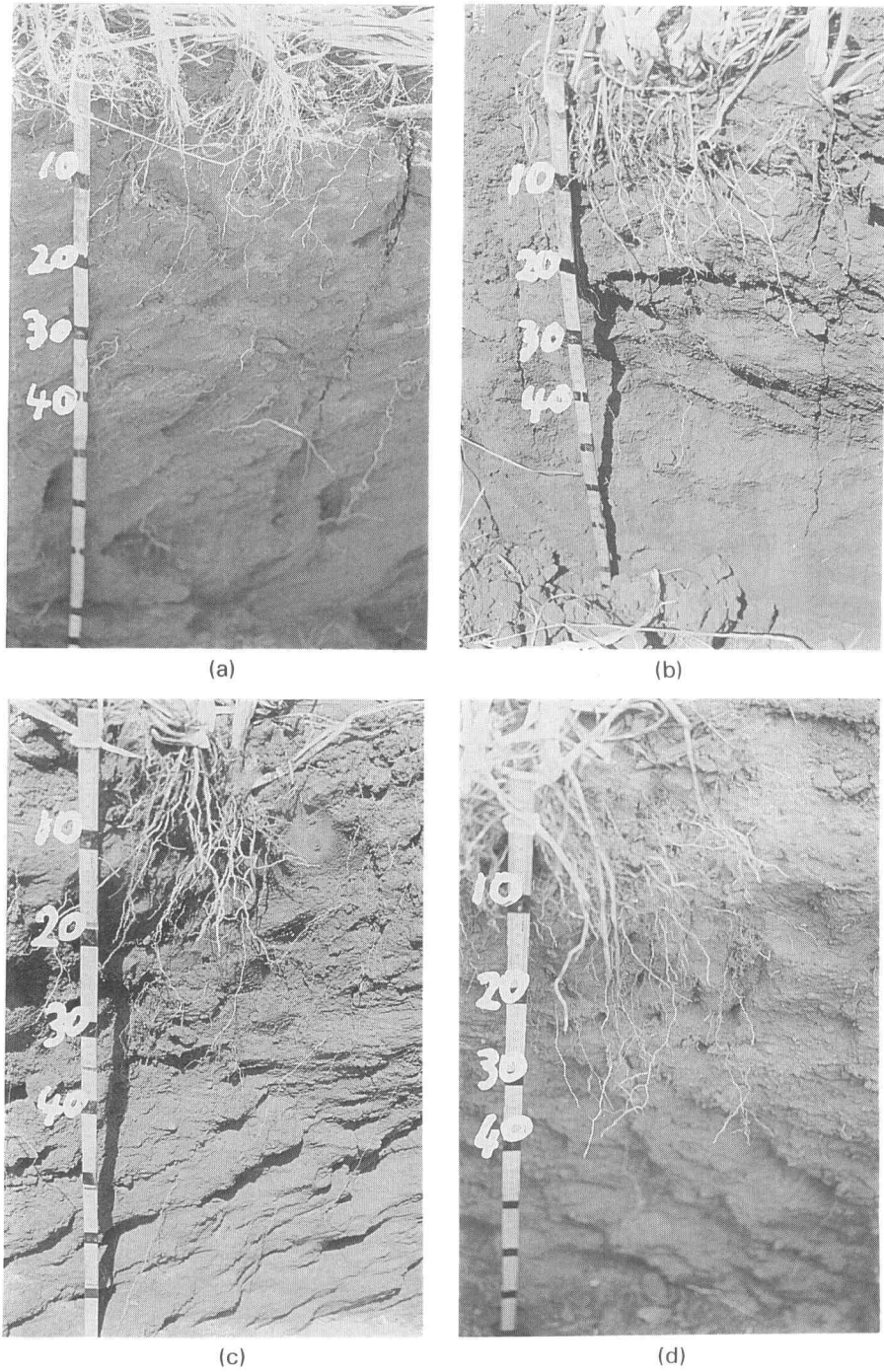


(c)



(d)

**Photo 1** Soybean tap roots distribution in heavy disk harrow (a), disk plow (b), mouldboard plow (c), and subsoiler (d) plots



**Photo 2** Millet roots distribution in heavy disk harrow (a), disk plow (b), mouldboard plow (c), and subsoiler (d) plots

**Table 7** Yields and plant length of soybeans cultivated as first crop in 1995/1996

Plots	Plant length (cm) (measured at flowering)	Yields of	
		Stem + Pod (kg/ha)	Grain (kg/ha)
Heavy disk harrow	88.4	5,956	2,960
Disk plow	93.0	5,487	2,737
Mouldboard plow	94.0	6,107	2,808
Subsoiler	91.1	6,186	2,842
LSD (5%)	13.1	1,805	463

**Table 8** Yields of millet cultivated as second crop in 1996

Plots	Yields of	
	Fresh matter (kg/ha)	Dry matter (kg/ha)
Heavy disk harrow	59,278 a	13,135 b
Disk plow	51,755 a	10,969 a
Mouldboard plow	70,388 b	14,323 c
Subsoiler	71,372 b	15,387 c
LSD (5%)	8,386	1,083

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at 5 percent level.

ハロー区とディスクプラウ区でモールドボードプラウ区, サブソイラ区にくらべて少なくなる傾向がみられた。しかし, ダイズの子実収量には処理間で差はみられなかった。表8にみるように, 第2作目のミレットの地上乾物収量も重ディスクハロー区とディスクプラウ区で明らかに少なかった。

第1作目ダイズあと地で測定した土壤養分含量は表9に示した。交換性マグネシウム含量が重ディスクハロー区の30-40 cm層とディスクプラウ区の20-40 cm層で他の区にくらべ少なかったが, 主根群域層である0-20 cm層では処理区間で差がなかった。その他の養分の含量は処理区間で差がなかった。また, 2作目のミレットは無肥料で栽培されたので, 上に述べた各区間での栄養成長量の差は土壤養分含量の影響によるものではない。圧密層が存在する重ディスクハロー区とディスクプラウ区での栄養成長が圧密層が破壊されたモールドボードプラウ区とサブソイラ区にくらべて悪かったのは, これら両区で土壤硬度が常に高い圧密層が存在して, さきに述べたように根の分布が浅く, 水分と養分の吸収域が狭められたためと考えられる。このことは, データとしては示さなかったがミレットによるチッ素, リン酸, カリウムの吸収量が重ディスクハロー区とディスクプラウ区で

少なかったことから伺えた。また, 圧密層が存在する処理区で土層中の有効水分量がやや減少することも水分吸収に不利にはたらいたものと思われる。また, 表10のように第3作目のソルゴの地上部乾物収量も, 重ディスクハロー区, ディスクプラウ区でモールドボードプラウ区, サブソイラ区にくらべ明らかに少なかったのも, 上記に述べた1作目ダイズ, 2作目ミレットの場合と同じ理由によるものと考ええる。なお, ダイズの子実収量に処理区間で差がみられなかったのは, 本試験では各処理区とも通気条件が整い, またダイズ生育期間中に降雨による水分が十分供給されたために, 根の生育が制限されて茎重に若干の影響があらわれてもダイズの生殖生長には悪影響が及ばなかったことによるとと思われる。

本試験に供試した土壤(粘土質暗赤色ラトソル)は, 表3-1および表3-2に示したように, pF-水分特性からみると, pF3以下の易有効性水分には比較的豊富が, pF3以上の高pF域の有効水分は少ない。したがって, ベラニコのような乾燥期には土壤は著しく乾燥する。このような場合には, Sanches (1977) が指摘したように, 作物根を少しでも深い層に伸長させ根の吸水量を多くすることが重要になるものと思われ, 本試験の結果から明らかのように, モールドボードプラウ, サブソイラによって圧密層を破壊し, 根の分布を深めることが有効と考ええる。

なお今後は, 耕耘による圧密層破壊効果持続性の検討とともに, 破碎処理時におけるトラクタの牽引抵抗力, 燃料消費量などを測定し, 圧密層破碎効果を生産コストの面からも検討する予定である。

## 謝 辞

本研究の遂行に当たり, ブラジル・セラード農業環境保全研究計画のチームリーダー久保田 徹博士には多大な御教示をいただき, セラード農牧研究センターの Carlos Magno Campos da Rocha 所長はじめ多くの方々の御支援をいただいた。ここに記して厚く感謝す

**Table 9** Soil chemical properties in each mechanical treatment (Measured immediately after soybean harvest in 1996)

Depth (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	Al	Ca	Mg	K	P	MO	NH <sub>4</sub> -N+NO <sub>3</sub>
		me/100 cc				ppm	%	mg/kg
Heavy disk harrow								
0-10	6.6	0.05	4.48	1.89	0.57	29.2	2.28	45.1
10-20	6.4	0.08	4.04	1.51	0.37	41.1	2.28	27.3
20-30	6.3	0.21	3.59	1.27	0.21	4.5	1.90	16.1
30-40	5.4	0.50	2.06	0.78	0.11	1.4	1.90	21.2
Disk plow								
0-10	6.3	0.10	3.20	1.44	0.53	29.4	2.56	52.9
10-20	6.0	0.16	2.85	1.13	0.37	38.7	2.37	41.4
20-30	5.6	0.60	1.53	0.59	0.16	8.5	1.77	22.5
30-40	5.4	0.70	0.99	0.42	0.13	1.1	1.08	14.4
Mouldboard plow								
0-10	6.4	0.04	4.45	1.80	0.45	29.2	2.36	31.9
10-20	6.6	0.05	4.68	1.94	0.32	26.0	2.34	26.6
20-30	6.5	0.07	3.27	1.71	0.25	9.2	1.96	21.1
30-40	6.5	0.06	1.92	1.28	0.18	7.2	1.55	15.3
Subsoiling (next to the leg trace)								
0-10	6.5	0.05	4.50	1.77	0.47	28.6	2.22	44.3
10-20	6.3	0.12	4.17	1.64	0.22	20.6	2.20	29.6
20-30	6.4	0.15	3.75	1.50	0.19	5.0	1.74	17.6
30-40	6.3	0.30	2.68	1.12	0.12	0.8	1.23	16.7

MO : Organic matter

**Table 10** Yields and plant lengths of sorghum cultivated as third crop in 1996/1997

Plots	Plant length (cm) (28, Jan., 1997)	Yields of top		Grain yields (kg/ha)
		Fresh matter (kg/ha)	Dry matter (kg/ha)	
Heavy disk harrow	115.3 a	30,630 a	11,982 a	6,528 a
Disk plow	116.4 a	31,940 a	12,934 b	6,738 a
Mouldboard plow	123.7 b	39,875 c	15,989 d	7,865 b
Subsoiler	122.6 b	36,602 b	14,720 c	7,457 b
LSD (5%)	1.1	1,859	784	321

Harvesting time : 2, April, 1997

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at 5 percent level.

る。

## 引用文献

Folle, S.M.; Franz, C.A.B.; Assad, E.D. (1994): Dias prováveis de trabalho para dimensionamento de

parques de máquinas na região dos Cerrados. Chuva nos Cerrados. ed. ASSAD E.D., EMBRAPA-CPAC/SPI, Brasília, p. 55~58, p. 296~307.  
長谷川周一 (1994): 作物の水-酸素要求に対する土壌の供給力, 土壌の物理性, 69, p. 55~66.

- Iwama, H. (1994) : Sustainability of mechanical agriculture and soil physical problems in Cerrados. Report of Japan Brazil Project "Sustainable Agricultural Development and Natural Resources Conservation in the Cerrados", JICA, Tokyo.
- 岩間秀矩, 中川ジュリオ (1988) : ブラジル熱帯畑土壌の肥沃度特性と土壌管理法, 熱研資料 No. 74, p. 1~113.
- 久保田徹, Branco, J.L. Castelo, 池 盛重 (1983) : 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, 日土肥誌, 第54巻, 第5号, p. 389~395.
- Nasser, L.C.B. ; Resck, D.V.S. ; Charchar, M.J. D'Avila (1990) : Soil management, crop sequences and plant diseases in the Cerrado Region of Brazil. Proceedings of the International Workshop on Conservation Tillage Systems, Brazil, p. 190~203.
- 小川和夫, 岩間秀矩, 渡辺治郎 (1979) : 沸化作用程度の測定法の検討と二, 三の測定結果について, 北海道農試研報, 124, p. 81~94.
- 小川和夫 (1969) : 鈹質畑地土壌における地力要因の解析的研究, 東海近畿農試研報, 18, p. 192~352.
- Ogawa, K. ; Franz, C.A.B. ; Folle, S.M. ; Castro Rocha, F.D. (1997) : Soil physico-chemical observation on effect of compacted layer destruction of soil by machines. Partial report of EMBRAPA-CPAC/JICA Project : Sustainable Agriculture Development and Natural Resources Conservation in Cerrados.
- 遅沢省子, 小財 伸, 久保田徹 (1990) : [根生育非制限有効水分域] による熊本主要土壌の物理的評価, 土壌の物理性, 60, p. 6~14.
- Osozawa, S. ; Resck, D.V.S. (1994) : Improvement of compacted layers of Latosols under different plowing systems. Relatório Técnico do Projeto Nipo-Brasileiro de Cooperação em Pesquisa Agrícola nos Cerrados (1987-1992), EMBRAPA-CPAC/JICA, P. 453~461.
- Shioya, T. ; Folle, S.M. (1981) : Soil compactness and root development influenced by operation of agricultural machineries in Cerrados. Annual Report of Japan Brazil Agricultural Research Cooperation Project, Agricultural Development Cooperation Department, JICA, Tokyo, v. 2, p. 89~94.
- Sanches, P.A. (1977) : 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.
- Taylor, H.M., Roberson, G.M. and Parker, J.J (1966) : Soil strength-root penetration relations for medium to coarse-textured soil materials, Soil Sci., 102, p. 18~22.

受稿年月日 : 1997年9月3日  
受理年月日 : 1998年1月16日