

12 AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NOS CAMPOS DOS CERRADOS

TETSUO SHIOYA

SERGIO MAURO FOLLE

EMBRAPA - CPAC

Fevereiro-Abril- 1980

AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NOS CAMPOS DOS CERRADOS

Índices

- 1) Introdução
- 2) Objetivo
- 3) Material e Método
- 4) Resultado
- 5) Consideração
- 6) Comentário
- 7) Agradecimento

- Figuras

- Tabelas

- Material I

- Material II

AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NOS CAMPOS DOS CERRADOS

TETSUO SHIOYA¹

SÉRGIO MAURO FOLLE²

1 - Introdução.

Na produção agrícola nas imensas áreas dos Cerrados é im prescindível a utilização de equipamento pesado, principalmente, pa ra o cultivo de plantas anuais.

Um dos problemas que já está se detectando nos solos sob Cer rados e já deve ser considerado é a compactação do solo que vem pro vocando o endurecimento do solo, bem como, limitando o desenvolvimento das raízes da planta, alterando sua fisiologia.

Segundo as pesquisas feitas no sistema de raízes pelos dou tores Fumio Iwata e Hiroshi Kawasaki, indicam os seguintes fenômenos: as raízes somente se situam na camada superior e, na camada mais pro funda do solo o seu desenvolvimento tem sido bastante fraco.

2 - Objetivo.

Este experimento visa pesquisar a situação real da compactação dos solos dos Cerrados, assim como, examinar a interrelação da compactação, cultivo da terra e o desenvolvimento das raízes.

3 - Material e Método.

Foi pesquisada as alterações nas propriedades físicas do so lo com a utilização do equipamento agrícola, com o decorrer do tempo.

Foram duas as regiões estudadas, Estação Experimental da COTIA (I), com 1 a 6 anos de desmatamento do campo e Chapadão do CPAC (II), após 1 a 4 anos de uso. Ambos os solos são Latossolo Vermelho Amarelo (LVA).

As pesquisas na Estação Experimental da COTIA (I) foram efetuados em fevereiro e no CPAC, em março e abril.

1) Consultor - JICA

2) Pesquisador do CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS-CPAC.

Os parâmetros medidos foram:

- 1 - Dureza do solo (Penetrometro)
- 2 - Volume do solo (Sólido, Líquido, Gasoso) apresentada em percentual do volume do solo.
- 3 - Umidade do solo e
- 4 - Densidade da raiz da cultura de soja, observação efetuada utilizando-se a seguinte escala: +++ (abundante), ++ (muita), + (média) e † (pouca).

(I apenas os itens 1 e 4).

Para a determinação destes parâmetros foi aberto um perfil nas áreas estudadas.

4 - Resultado.

1 - Trabalho executado, I e II anual: material 1 e 2.

2 - Experimento I "São Gotardo".

2.1 - As áreas estudadas sempre, foram ocupadas pela sucessão soja-trigo. Esta pesquisa foi efetuada de meados a fim de fevereiro, no período de enchimento dos grãos de soja.

2.2 - Alteração anual de dureza do solo: (Figura 1).

No 2º ano a dureza do solo foi bem maior que por exemplo, o 1º ano, na profundidade de 15 a 30 cm.

Nesta pesquisa, tomando por base de 2 a 6 anos não foi constatada a tendência de um aumento de compactação com o decorrer do tempo.

2.3 - Dureza do solo e densidade da raiz: (Figura 2).

Nesta pesquisa não foi constatada qualquer relação entre a dureza do solo e a densidade da raiz.

3 - Experimento II - CPAC/Chapadão.

3.1 - Foram utilizadas às seguintes áreas:

0 - área não cultivada - após desmatada que estava sendo usada para pastagem.

1º ano (T)

2º ano T - (T)

3º ano S - M - (S)

4º ano A - S - M - (S)

T = Trigo, S = Soja, A = arroz

M = Milho

() = áreas utilizadas

3.2 - Alteração anual de dureza do solo: (Figura 3).

3.3 - Propriedades físicas do solo e densidade da raiz: (Figuras 4 e 5).

Observa-se nas Figuras 4.0, 4.1, e 4.2, área não cultivada, área de 1º ano e área de 2º ano respectivamente, que não houve diferença no gás sólido do volume de solo por todo o perfil do solo.

No entanto, estas diferenças se acentuam muito no 3º ano, principalmente à profundidade de 25 a 40 cm em detrimento do gás líquido e gasosa. Observa-se que a penetração das raízes de soja, foi limitada nesta camada.

No 4º ano esta tendência de aumento não ocorreu devido se tratar de solos de composição textural diferente. provavelmente os solos de 3º ano seja mais argiloso do que o solo do 4º ano.

5 - Considerações.

1 - Compactação do solo e Método de cultivo da terra.

Observando os registros das atividades agrícolas da Estação Experimental da COTIA (I) e CPAC/Chapadão (II), constata-se alguns problemas em relação à compactação do solo com os implementos agrícolas e os métodos utilização.

Primeiramente, nas área I e II verifica-se, que houve um aumento na dureza do solo, na camada superior. Na área I este aumento foi constatada na camada abaixo de 15 cm, enquanto na área II, isto é, foi aproximadamente à 10 cm de profundidade, com valores de dureza acima de 7 Kg/cm².

No 1º plantio após o desmatamento, geralmente, nas propriedades agrícolas da região dos Cerrados é comum o uso de arado de discos seguido de uma gradagem, para misturar a camada superior. Porém, na área II o arado de discos é usado anualmente, seguido de gradagem. Na área I, no entanto, o arado de discos é utilizado com relativa frequência, apesar de ocorrer caso em que de 1 a 2 anos ficar sem fazer aração. O problema está na pouca profundidade que esta aração é efetuada.

Na pesquisa efetuada no perfil do solo, verificou-se que a profundidade de aração, na prática foi menor do que a planejada, isto é devido, ao uso do arado de discos. Durante a utilização do mesmo, verifica-se que o implemento sempre tende a levantar, e a medida que se aumenta a velocidade a resistência da tração se eleva bruscamente, isto muitas vezes leva o operador a executar o serviço de aração a pouca profundidade, levado pelo instinto de terminar o trabalho o quanto antes, principalmente em se tratando de áreas grandes. Quando não são observados estes fatores, isto leva o pesquisador a supor que a aração profunda aumenta a dureza do solo na camada superior, o que não é verdade, pois a causa seria a aração superficial.

Comparando o arado de aiveca com o arado de discos, verifica-se que o primeiro efetua a aração mais profunda e uma melhor inversão do solo, além de deslizar regularmente.

Portanto, a necessidade do arado de aiveca nos solos dos Cerrados é um assunto que deve ser examinado.

O segundo problema constata-se no método usado para o cultivo da terra, o qual contribui para acelerar ainda mais a compactação do solo.

No intervalo de aração e sementeira o número das operações é excessivo. Na área II, no 1º ano de plantio após a primeira aração, são efetuados de 8 ~ 11 operações com a utilização de trator.

Após o 2º plantio é efetuada a aração, posteriormente são feitos 4 operações e finalmente vem a sementeira.

Com estas repetições de operações, a compactação do solo aumenta visivelmente.

Na área I, o número de operações é menor.

Nos intervalos de aração e semeadura, as operações desnecessárias deverão ser eliminadas, tentando agrupá-los e executá-las simultaneamente.

Um dos problemas constatados tem sido a ordem dos processos, que são executados na área I e II. Em ambos os casos constatou-se que a adubação de correção do solo (calcário e ácido fosfórico) foi efetuado depois da aração. Ao passo que, se a distribuição dos corretivos for executada antes da aração, evitará a compactação. Assim, poderá misturar melhor os elementos químicos nas camadas mais profundas.

Supõe-se que quando os nutrientes permanecem na camada superficial, o seu efeito não alcança a camada mais profunda e conseqüentemente as raízes não se ramificam.

Além disso, na área I, no 5º ano do 6º plantio, foi feito subsolagem. Apesar da dureza ser bastante alta na profundidade de 15 a 30 cm, na camada inferior, verifica-se que esta, porém, é menor do que a dureza constatada na mesma área com 2 a 5 anos de cultivo. Pressupõe-se ter sido a utilização da subsolagem, a causa deste fato.

2 - Compactação do solo e propriedades físicas do solo - resultado do experimento na área II.

Efeitos da compactação nas propriedades físicas do solo tais como: Densidade aparente, densidade real, dureza, umídade atual e estrutura.

As propriedades físicas do solo, foram modificadas a partir do 2º ano de cultivo, conforme demonstrados nas (Figuras 4 e 5).

Todos os valores indicados demonstram que no primeiro grupo, isto é, até 2 anos, os valores dos parâmetros citados são menores e no segundo grupo do 3º ano em diante, são maiores.

Constatou-se que a dureza do solo, no 3º ano e no 4º ano teve um aumento gradativo da camada superior até a profundidade de 30 cm, mas, no 3º ano o seu aumento foi semelhante ao dos 1º e 2º anos. Verificou-se também que os valores da densidade real do 3º ano são semelhantes aos do grupo de 0 a 2 anos de cultivo.

Por outro lado, a densidade real e a compactação do solo no 4º ano, evidenciam grandes diferenças em relação aos anos anteriores.

De acordo com o exposto, pode-se observar o seguinte:

- 1) Para a interpretação do grau de compactação do solo, a densidade real e a dureza são os parâmetros mais adequados.
- 2) Até o 2º ano o aumento da compactação foi menor.

No 3º ano houve a mudança na estrutura do solo, evidenciando a compactação.

No 4º ano a compactação é completada.

- 2.1 - Para eliminar a compactação no momento em que se verifica o aumento na densidade real e/ou na dureza do solo, recomenda-se efetuar aração profunda no solo.

- 3) Compactação do solo e Desenvolvimento das raízes.

Nesta pesquisa não foi constatada qualquer relação entre a compactação do solo e o desenvolvimento das raízes.

Dentro dos limites considerados do trabalho, local físico e tempo, para indicar o aumento da dureza do solo, não se pode afirmar que, o aumento da dureza limita o desenvolvimento das raízes, conforme demonstrados nas (Figuras 2, 4.3 e 4.4).

Por outro lado, em outro experimento efetuado, em Latossolo Vermelho Escuro (LVE), argilo-arenoso, no CPAC, verifica-se o seguinte:

- 1) Na profundidade de 15 a 20 cm, a dureza do solo foi de 15.3 Kg/cm² e a densidade das raízes foi +++ (abundante) e ++ (muita).

- 2) Na profundidade de 30 cm, em um determinado local a dureza do solo foi de 20.1 Kg/cm², a densidade das raízes foi de ++ (muita) e em outro local, na mesma profundidade, a dureza do solo foi de 24.5 Kg/cm² e densidade das raízes de + (média).

Em todos os casos foram verificadas existências das raízes secundárias, que absorvem nutrientes e água.

Nestes casos foram utilizadas as áreas adubadas com 800 Kg de P₂O₅ por hectare.

Nesta pesquisa, foi constatada que mesmo que a dureza do solo tenha sido maior que 15 Kg/cm², houve pleno desenvolvimento das raízes.

Apesar da compactação do solo tenha influência no desenvolvimento das raízes, dentro do nosso campo de trabalho não se pode afirmar que ela seja a causa direta que prejudica o desenvolvimento das raízes.

Além disso, a compactação não é a única causa que influencia no desenvolvimento das raízes. Existem outros elementos tais como: Nutrientes, umidade e fisiologia da planta, etc., os quais também interrelacionam e influenciam.

Nesta pesquisa efetuadas nos solos dos Cerrados, as conclusões finais só poderão ser apresentadas após análises minuciosas dos vários elementos que se interrelacionam.

6 - Comentários.

Através do "Projeto de Cooperação em Pesquisa Agrícola no Brasil" firmado em 1977, fui enviado à EMBRAPA-CPAC em caráter de consultor e na qual permaneci de fevereiro a abril de 1980.

Como o período foi bastante curto não foi possível efetuar um estudo mais profundo da matéria. Porém, nas pesquisas efetuadas, pesquisas essas conduzidas sob um enfoque integrativo nas áreas de: Mecanização Agrícola, Compactação do Solo e Desenvolvimento das raízes, pude observar os aspectos básicos dos problemas.

7 - Agradecimentos.

Para a realização desta pesquisa dos programas pré-de-terminados, obtive a importante colaboração dos, Dr. Wenceslau J. Goedert (Chefe Adjunto Técnico-CPAC) e Dr. Jorge Seixas (Consultor-FAO). Devo ressaltar também a colaboração oportuna do Dr. Ady Raul da Silva (Pesquisador-CPAC), por ter-me colocado a disposição parte do seu campo experimental. Para os ajustes finais recebi a importante participação dos, Dr. Dimas Vital Siqueira Resck (Pesquisador-CPAC) e Sr. Wantuyr Caixeta Vieira (Tec. Laboratório-CPAC).

A tradução deste relatório para o português foi efetuada pela Srta. Nair Seiko Hayashida (Secretária-CPAC). Agradeço também a colaboração do Dr. Dimas Vital Siqueira Resck (Pesquisador-CPAC) pela revisão feita.

Agradeço também, a inestimável colaboração do pessoal técnico do Japão, em particular os doutores Fumio Iwata e Hiroshi Kawasaki, pois sem a preciosa participação dos mesmos, acredito, não teria sido possível a realização deste trabalho.

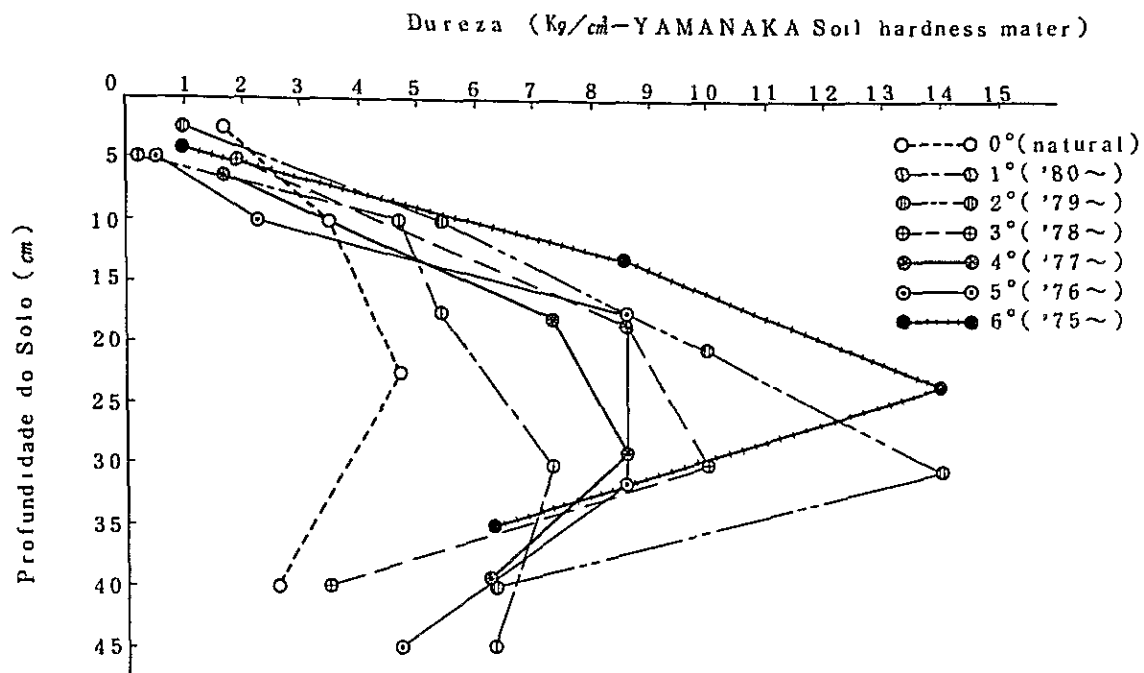


Figura 1.— Compactacao do Solo no Campo de Soja (Sao Gotardo, MG.)
(Feb., 1980, IWATA, KAWASAKI e SHIOYA)

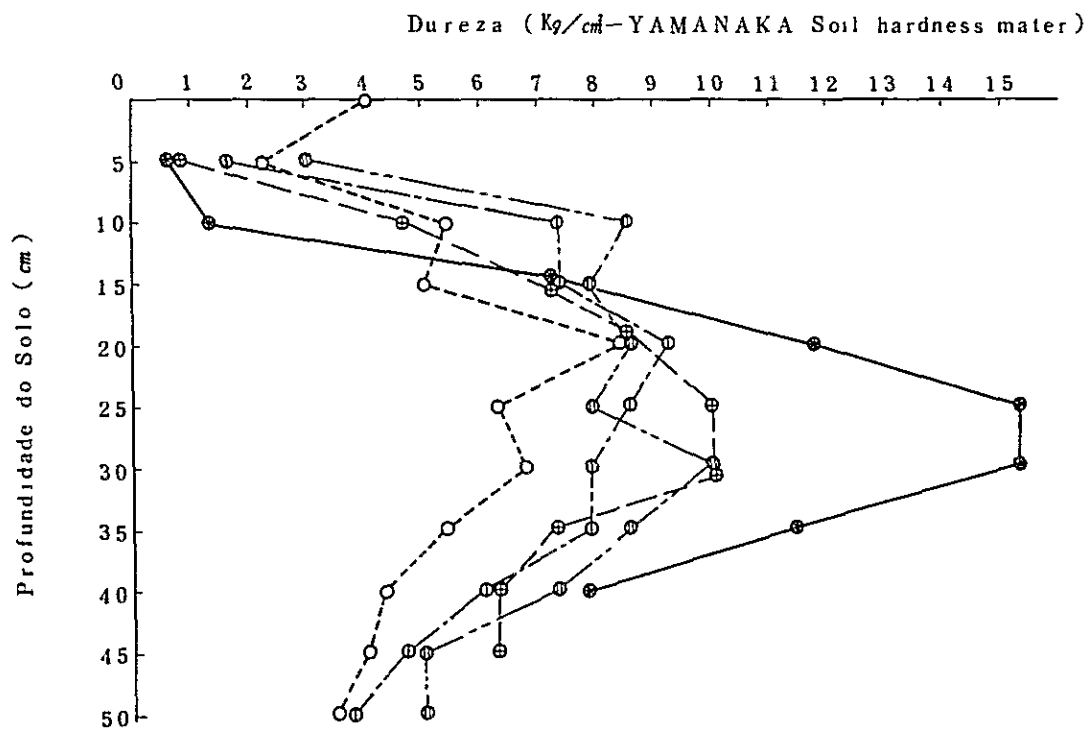


Figura 3 — Compactacao do Solo no Campo de CPAC—Chapadao.
(Mar. ~Abr., 1980, SHIOYA, SERGIO, KAWASAKI)

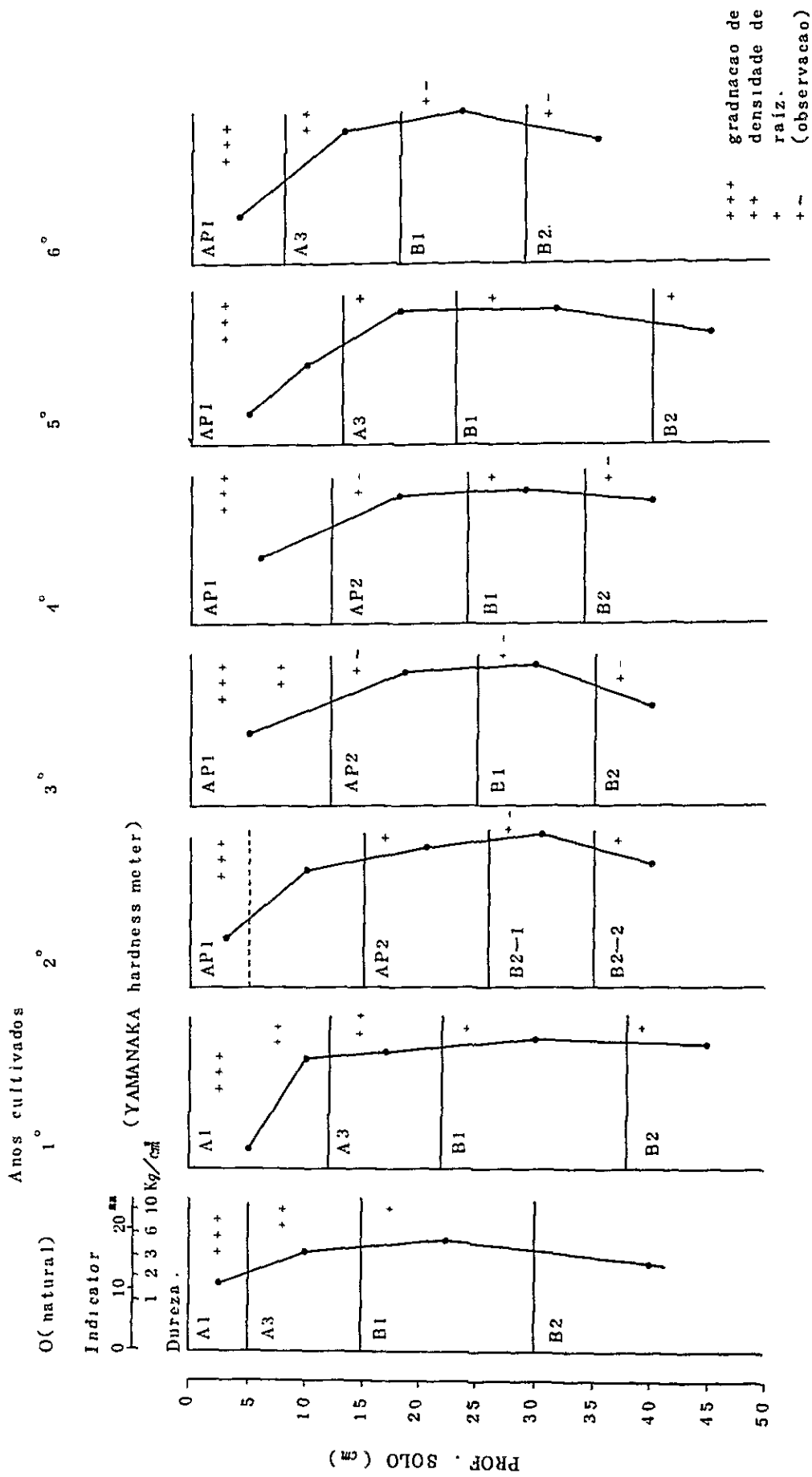


Fig. 2 — Dureza do Solo e Densidade da Raiz
 (Campo de Soja em São Gotardo, Feb., 1980, IWATA, KAWASAKI e SHIOYA)

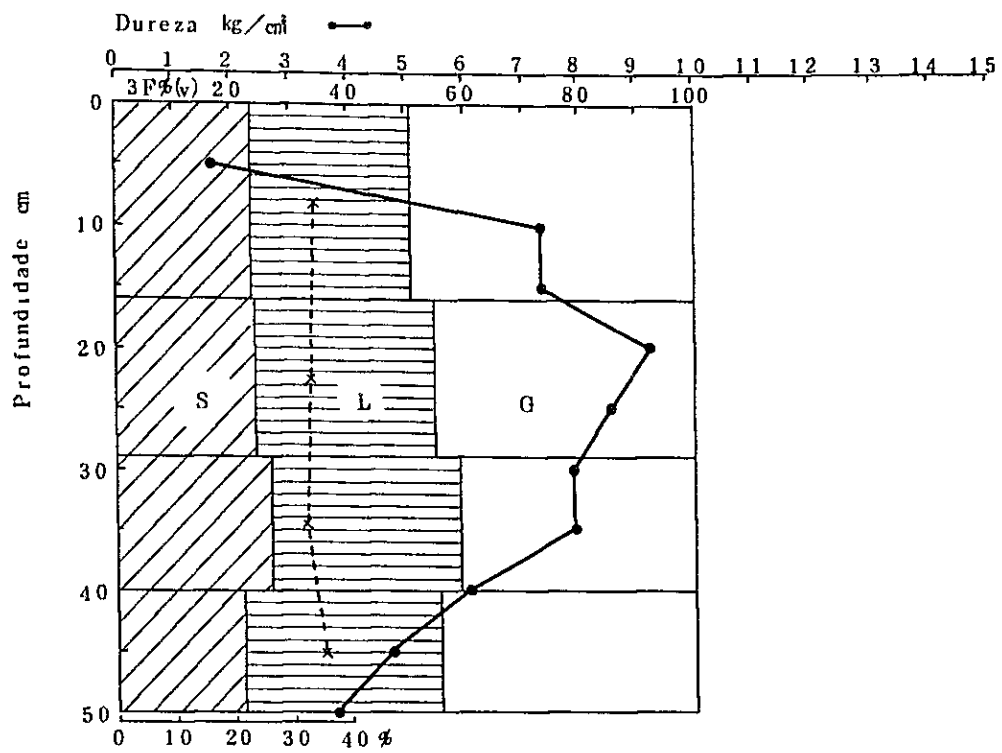


Fig. 4 - 1 · Campo no 1º Ano

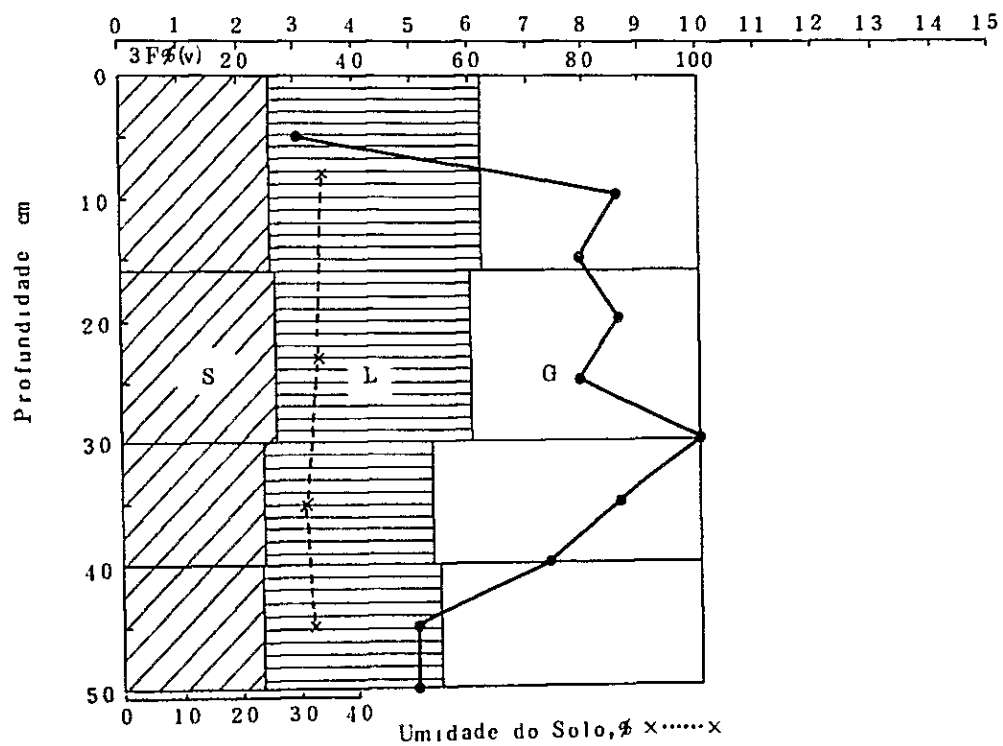


Fig. 4 - 2 · Campo no 2º Ano

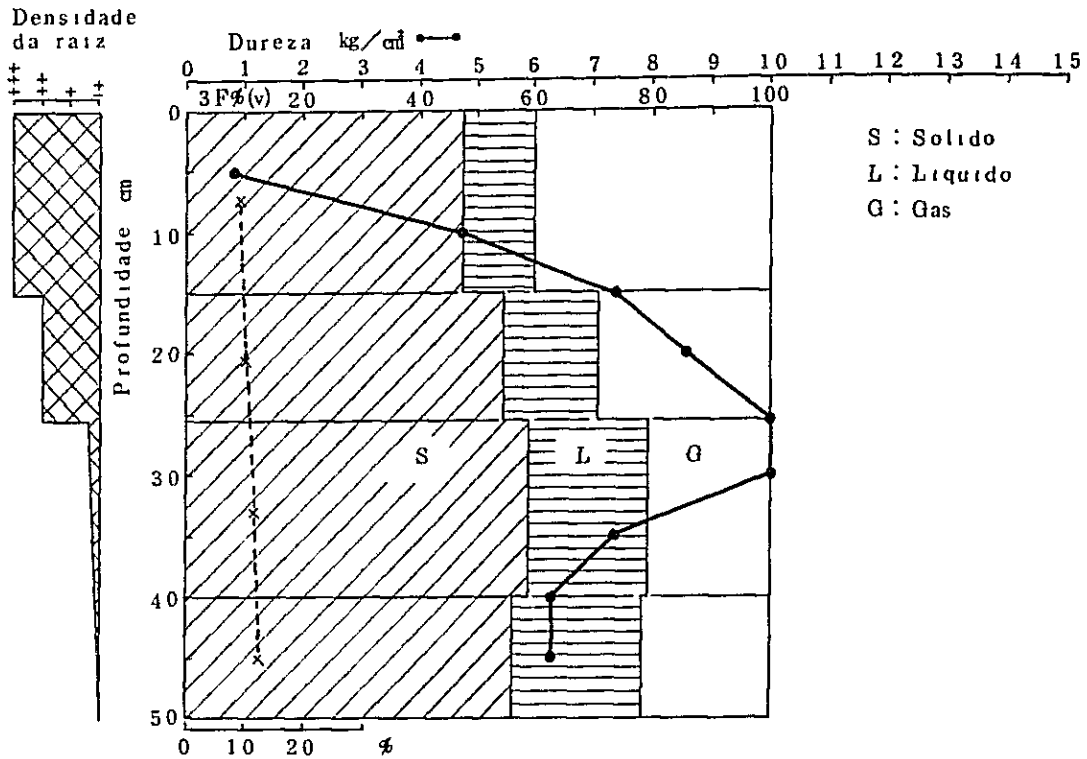


Fig. 4 - 3 · Campo no 3º Ano

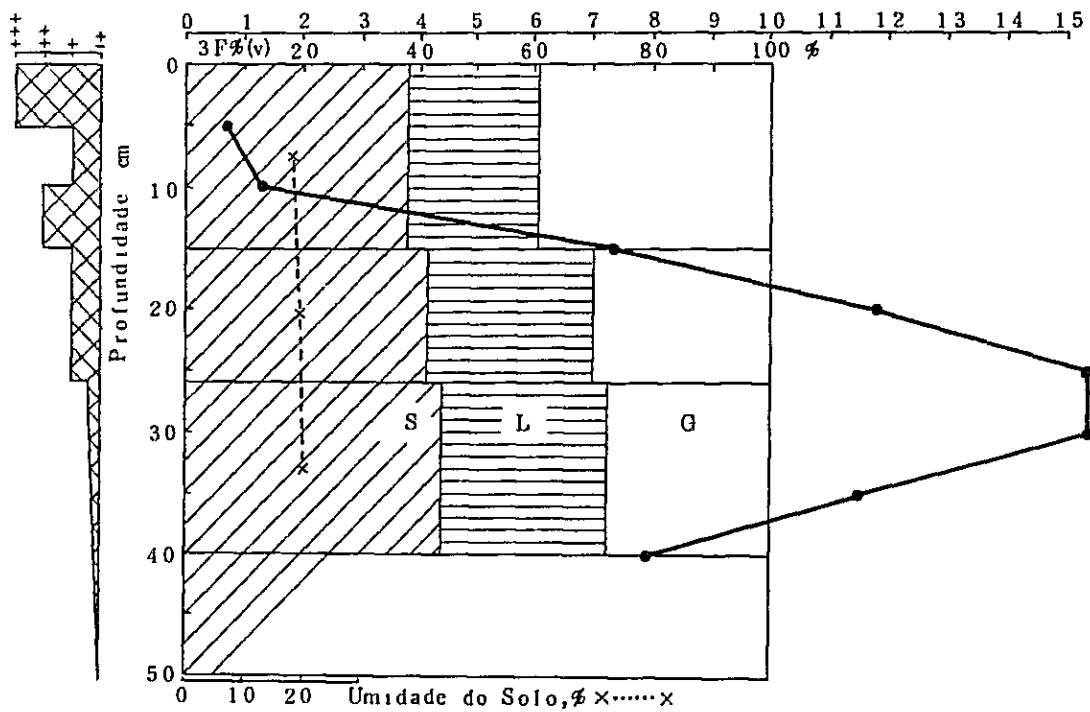


Fig. 4 - 4 · Campo 4º Ano

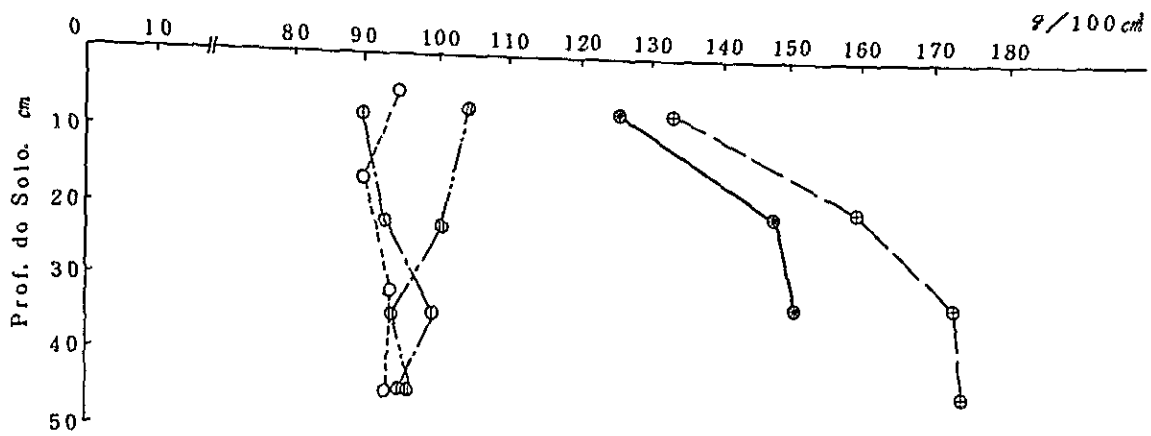


Fig. 5-1. Densidade aparente (Solid+Liquido)

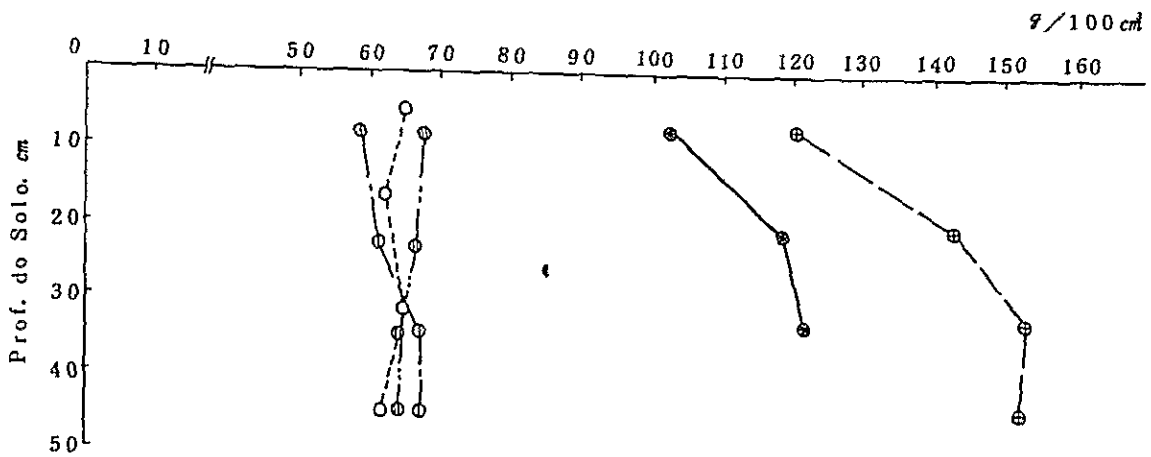


Fig. 5-2. Densidade aparente (Solid)

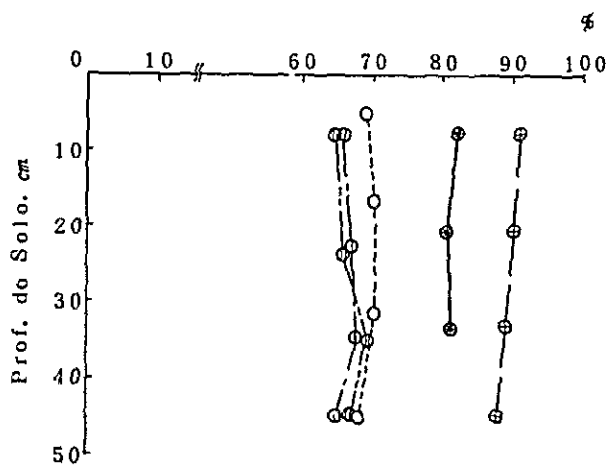


Fig. 5-3. Peso % do solid

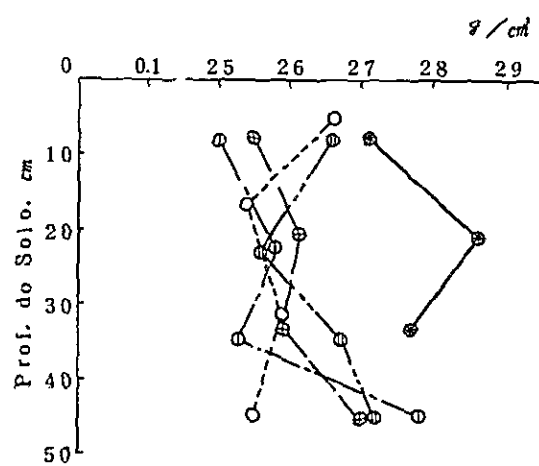




Fig. 5-4. Densidade real

Fig. 5 - Indicações de Propriedades físicas do Solo.

Table 1 - Uma Exemplo com Relação a Dreza do Solo e Densidade de Raiz

Exemplo Prof. do Solo cm	A *		B **	
	Dreza do Solo kg/cm ²	Densidade de Raiz	Dreza do Solo kg/cm ²	Densidade de Raiz
5	0.51	+++	3.49	+++
10	1.40		5.42	
15	4.04		15.3	
20	15.3	++ Raizes muito	11.8	+ Raizes muito
25	11.8		10.9	
30	20.1		24.5	
35	15.3	±	18.3	±
40	20.1		16.7	
45	10.9		—	

* A : LVE (CPAC), P₂O₅ 800 kg/ha,  ← mais Calcário

** B : LVE (CPAC), P₂O₅ 800 kg/ha,  ← Cultivado

IWATA, KAWASAKI e SHIOYA : 17/03/80

2) Solo 29 ano

Local: Estação Experimental - Trigo Muniz (S.G. - M.G.) PADAP

Data	Prof. Aração (cm)	Prof. Gradagem (cm)	Trator + Implemento	H/T	h/d	Corretivo	Quant. Corretivo (Kg/ha)	Adubo	Quant. Adubo (Kg/ha)	Variedade	Quant. Semente (Kg/ha)	Observação
Operação												
8/77		20-25	CBT Rome	2								
5/78			MF 265	1,5		Calcário	2000					
6/78	25-30		CBT Ar.	4								
7/78			MF 265	2		Fosfato	500					
8/78	15-20		CBT Ar.	2								
9/78	15-20		CBT Ar.	2								
20/11/78								4-26-10	400	Trigo	120	
5/79			MF 265	2		Calcário	2000					
6/79	25-30		CBT	4								
7/79			MF 265	2		KCZ	150					
8/79		15-20	CBT	2								
9/79		15-20	CBT	2								
10/79			MF 265					2-32-16	350	Sta Rosa	140	

3) Solo de 39 ano

Local: Maurilo (São Gotardo - PADAP)

Data Operação	Prof. Aração (cm)	Prof. Gradagem (cm)	Trator + Implemento	H/T	h/d	Corretivo	Quant. Corretivo (Kg/ha)	Adubo	Quant. Adubo (Kg/ha)	Varietade	Quant. Semente (Kg/ha)	Observação
77	30		CBT Implemento	3,0						Soja		
		20	CBT	3,0								
			MF 265			Calcário	3000					
			MF 265			Fosfato Araxe	1500					
10/11/77			MF 265	2,0				4-26-10	300	IAC-2	100	
78	25		MF 265	3,0								
		20	MF 265	3,0								
			MF 265			Calcário	2000					
			MF 265	2,0				4-26-10	300	Sta Rosa	110	
79	25		MF 265	3,0								
		20	MF 265	2,5				2-32-15	350	Paraná	130	
			MF 265									

4) Solo 4º ano

Local: Maurilo (São Gotardo) PADAP

Data	Prof. Aração	Prof. Gradagem	Trator + Implemento	H/T	h/d	Corretivo	Quant. Corretivo (kg/ha)	Adubo	Quant. Adubo (kg/ha)	Varietade	Quant. Semente (kg/ha)	Observação
76	30		CBT (Arado Arrastado)	3						Soja		
	20		CBT	3								
			MF 265	1,5		Calcário	3000					
			MF 265	1,5		Fosfato Ar.	1500					
			MF 265	2				4-26-10	300	IAC-2	100	
77	25		MF 265	3								
		20	MF 265	2								
			MF 265	1,5		Calcário	2000					
			MF 265	2				4-26-10	300	Sta Rosa	110	
78	25		MF 265	3								
		20	MF 265	2								
			MF 265	2				4-26-10	350	Paraná	130	
79	25		MF 265	3								
		20	MF 265	2								
			MF 265	2				2-32-15	350	UFV-1	100	

5) Solo 5ª ano

Local: Hideka Fukuda (São Gotardo - M.G.) PADAP

Data Operação	Prof. Aração	Prof. Gradagem	Trator + Implemento	H/T	h/d	Corretivo	Quant. Corretivo (Kg/ha)	Adubo	Quant. Adubo (Kg/ha)	Varietade	Quant. Semente (Kg/ha)	Observação
4/75	30		CBT	2,5						Soja		
5/75		20	CBT	2,0								
8/75			Valmet	2,0		Calcário	3000 Kg					
10/75			Valmet	2,0		Fosfato	1500					
11/75			Valmet	1,5				4-26-10	280	IAC-2	80	
9/76	20		CBT	2,5								
10/76		20	CBT	2,0				4-26-10	280	Sta Rosa	100	
11/76												
10/77		20	CBT	2,5								
11/77			Valmet	2,0				4-26-10	320	UFV-1	90	
8/78			Valmet			Calcário	2000					
9/78		20	CBT	2,5								
10/78			Valmet	2,5				4-26-10	300	Paraná	110	
2/79	20		CBT	2,5								
2/79		20	CBT	2,0								
3/79								4-26-10	300	IAC-5 (Trigo)	120	Frustração de safra (seada)
10/79		20	Valmet	2,5				2-32-15	320	UFV-1	130	
11/79												

6) Solo 69 ano

Local: São Gotardo - PADAP (MINAS GERAIS)

Data	Prof. cm Aração	Prof. cm Gradagem	Trator + Implemento	H/T	Corretivo	Kg/ha Corretivo	Adubo	Kg/ha Adubo	Variedade	Kg/ha Semente	Observação
1973	25		CBT Arado 3 discos	4	Calcário dolomítico	2000			Soja		
1974	25-30	15-20	36 discos	1,5	Fosfato	1000					
1975	25-30	15-20	CBT Arado	4	Calcário dolomítico	2000					
1976		15-20	Grade 36 disc	1,5							
		15-20	CBT Arado 3 disc	4	Calcário dolomítico	2000	2-18-10	300	Soja		
		15-20	Grade 36 disc								
1976		15-20	Grade 36 disc	1,5			4-26-10	300	Soja		
1977		15-20	Grade 36 disc	1,5			4-26-10	400	Trigo		
		15-20	Grade 36 disc				4-26-10	300	Soja		
1978	25-30	15-20	CBT 3 discos	4	Calcário dolomítico	3000	4-26-10	300	Soja		
		15-20	Grade 36 disc				4-26-10	350	Trigo		
1978	30	15-20	Subsolagem	4			4-26-10	300	Soja		
		15-20	Grade 36 disc				4-26-10	400	Trigo		
1979		15-20	Grade 36 disc	1,5			2.32-15	300	UFV-1	130	

Documento 2 (Experimental II) :

Registro de trabalho nos campos do CPAC/Chapadão

MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS UTILIZADOS PARA O PREPARO DO SOLO DO EXPERIMENTO (II)-(LVA).

1) 4º ano

76/77 - Distribuidora de calcário (MF - 65X)

- Arado de discos (Trator MF - 285)

- Rastel mecânico (MF - 65X)

- Distribuidor de adubo (MF - 65X)

- Grade Pesada (CBT - 2400)

- Grade niveladora (MF-285)

- Plantadeira IMASA/MF (MF - 65X)

77/78 - Arado de discos (MF - 285)

- Grade pesada (CBT - 2400)

- Distribuidor de calcário (MF - 65X)

- Grade de discos (CBT - 2400)

- Grade pesada (CBT - 2400)

- Plantadeira IMASA/MF (MF - 65X)

78/79 - Arado de discos (MF - 285)

- Grade pesada (CBT - 2400)

- Grade niveladora (MF - 85)

- Plantadeira IMASA/MF (MF - 65X)

- Colhedeira (PENHA COM TRATOR MF - 65X)

- Arado de discos (MF - 285)

- Grade pesada (CBT - 2400)

79/80 - Grade pesada (CBT - 2400)

- Plantadeira IMASA/MF (MF - 65X)

- Cultivador (TRATOR KUBOTA)

2) 3º ano

Idem ao preparo do 4 anos menos o preparo de 76/77

3) 2º ano

- 78/79 - Grade pesada (CBT - 2400)
 - Rastel mecanico (MF - 65X)
 - Arado de discos (MF - 285)
 - Distribuidor de calcáreo (MF - 65X)
 - Grade pesada (CBT - 2400)
 - Grade niveladora (MF - 285)
 - Distribuidora de adubo (MF - 65X)
 - Sulcador (MF - 65X)

- 79/80 - Arado de discos (VALMET 110 id)
 - Grade niveladora (VALMET 110 id)
 - Distribuidora de adubo (KUBOTA)
 - Grade niveladora (VALMET 110 id)
 - Sulcadora (MF - 65X)

4) 1º ano

- 79/80 - Grade pesada (CBT - 2400)
 - Rastel mecanico (MF - 65X)
 - Arado de discos (MF - 285)
 - Grade pesada (CBT - 2400)
 - Distribuidora de calcáreo (MF - 65X)
 - Arado de discos (VALMET 110 id)
 - Grade niveladora (MF - 285)
 - Distribuidora de calcáreo (MF - 65X)
 - Grade niveladora (VALMET 110 id)
 - Distribuidora de adubo (KUBOTA)
 - Grade niveladora (VALMET 110 id)
 - Sulcadora (MF - 65X)

1.3. ブラジルのセラード地帯における畑作農業について(1)

農林水産省 農事試験場
畑作部作業体系第2研究室
主任 研究官 塩谷 哲夫

1. はじめに

私は1980年2月5日から5月4日までの3か月間、農業研究協力のために日本政府から国際協力事業団經由でブラジル国に派遣され、ブラジル農業研究公社(EMBRAPA)中央農牧研究所(CPAC)において、セラード開発のための研究プロジェクトに参加してきた。

日伯研究協力は、インドネシア研究協力と共に政府間協定による2大事業の一つである。52年9月30日に結ばれた協定により5か年間の協力が実施中である。なおこれとは別に、セラード地帯における日伯共同の5万haの大規模農業開発も進められている。

2. 日本とブラジル—時計と哲学

ところで、派遣される前のブラジルについての私の認識はまったくお粗末なものであった。今になってみると恥かしい限りである。沢山の日本からの移民、ポルトガル語、フットボール、カーニバル、アマゾン河、コーヒー等々といった脈絡のないバラバラの貧弱なイメージしか持ち合わせていなかった。

そこで、出発までの1か月半ばかりの間に、仕事の合間を縫って情報収集に飛びまわった。その過程で或る人に「現地に行かなくとも8割までの情報は集まるよ」といわれた。では、残る2割とは何だったのか。それは「百聞にまさる一見」のもたらす情報というより、「一験」の中で生み出されてくる情報の背後にある論理、その地の人々の物の考え方についての認識ではないだろうか。現地で過すうちに私にはそう思えてきた。

中でも一番の衝撃は、限りがないのではないかとと思われるほどの自然(人間の手指に汚されきってはいないという意味も含めて)の広がり、そこで育まれた人々の哲学であった。そこには日本との歴史(社会発展の)の時間的ズレも作用しているのかもしれない。

「狭い日本、そんなに急いでどこへ行く」という交通安全の評語があるが、日本では狭いからこそ急ぐ価値がある。ところが広い広いブラジルでは、少々急いでも意味がないのか、ゆったりとしたペースでことが運ばれていく。

セラードの大地を拓いた道路を車で飛ばしていると、一人、あるいは二人とトコトコと歩いている人々とすれ違ふ。隣町までの道のりは数10軒もある。雨が降ってきてもペースを乱す様子もなく濡れながらゆっくりと目的地に向かって歩いて行く。そのうちに顔を出す太陽が濡れた衣服を乾かしてくれるだろう。

「時間」の単位は資本の回転速度に比例するものよりである。ブラジルにしたって、セラードの田舎より大都会サン・パウロの方が時計の針は速く動いている。地域的に、また歴史的に沢山の表情をみせてくれたブラジルを、短期間の経験のモノサシで一律に測ることは出来ないだろう。しかし、「近代化」という速く動く時計を求めているブラジルではあるが、豊富な自然の恵みと大地をゆっくりと歩く中から形成されたと思われる哲学が、まだ国民のレベルでは、しっかりと腰を下しているのではないかと思われた。

急速な資本主義の発達に伴って、脱自然、あるいは超自然の考え方や、資本の回転の速さに合わせたものの考え方が強くなってしまった日本で仕事をしている私たちにとって、その地の哲学、人間性を認識することを抜きにして、「仕事」だけが独り歩きをして上手く行くわけにはいかないのではないだろうか。

(注) 本報告は、News Letter, 84号, 85号(1981.)—国際農業機械化研究会—に発表したものである。

3. ブラジル農業の過去と現在

ブラジルの国土は851万²で日本の約2.3倍、人口は日本と同等の1億2千万人である。しかし、その分布や利用は著しく偏在している。人口分布(表1)も農産物の生産分布(図1)も、リオ・デ・ジャネイロ、サン・パウロなどの南東部、パラナ、リオ・グランデ・ド・スルなどの南部、それに東北部でほとんどが占められてしま

表1 ブラジルの人口分布

北部	3.9%
東北部	30.2%
南東部	42.8%
南部	17.7%
中西部	5.4%

出所：JICA資料より

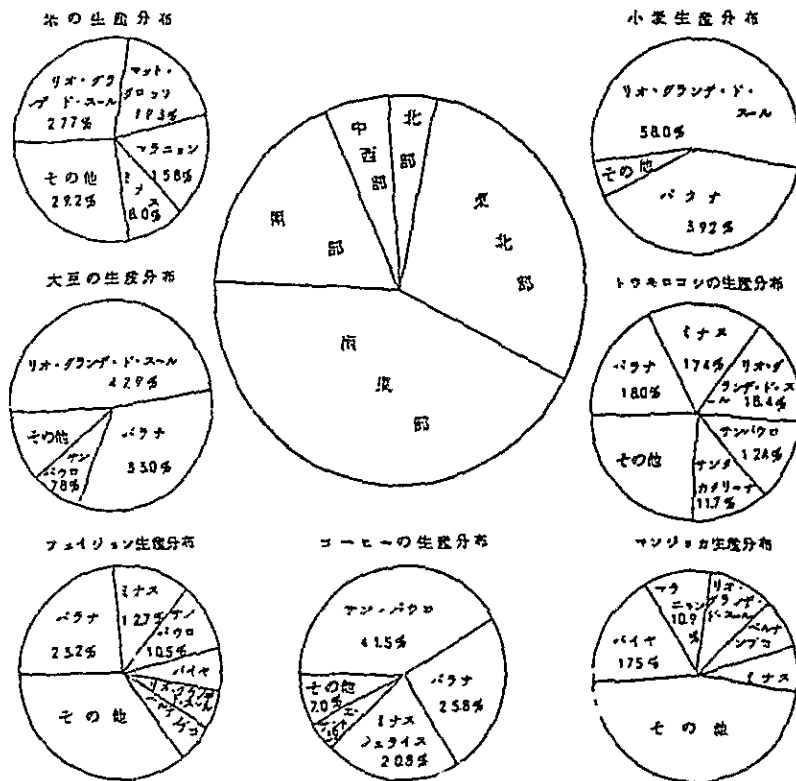
膨大なポテンシャルを有しながらも、低利用・未利用のままその巨体を静かに横たえたままである。これは1500年にポルトガル人が上陸して以来の、開発の歴史と国土の自然条件がしからしめた今日までの結論であった。

ブラジル農業は16世紀の東部のさとうきび生産に始まり、18世紀の棉、そして19世紀の南東部のコーヒーへと展開されてきた。生産様式はプランテーション方式による無肥料栽培が主であった。勿論、自分たちの食べ

るものを作りはしたが、それはほんの少々で、圧倒的な部分はヨーロッパ向けの商品作物であった。この大農場・輸出作物・無肥料栽培というのが近年までのブラジル農業の農法であった。その傾向は今でも色濃く残っているが、近代化路線の中で農法にも変化が進行している。

農地面積は約3億2千万²で日本の60倍である(表2)。しかし、その多くは牧野であって日本流の「耕地面積」は7倍程度で、4千万²弱である。

図1 主要農産物生産の地域分布



出所：JICA資料より

表2 農地面積及び耕地面積

区分	1950	1960	1970	1975
農地数1,000戸	2,064.6	3,337.8	4,924.0	5,007.2
面積1,000ヘクタール	232,211.1	249,862.1	294,145.5	322,621.0
耕地面積	19,095.0	28,712.2	33,983.8	38,803.1
永年作物耕地	4,402.4	7,797.5	2,984.1	8,294.4
単年作物耕地	14,692.6	20,914.7	25,999.7	30,508.7

出所：IBGE (JICA資料より)

ブラジルの農業統計では、農業の経営単位が日本のような「農家戸数」ではなく「農地数」であらわされている。その数はざっと5百万といわれている。その面積規模は、小は1²以下から大は10万²以上までである(表3)。ブラジル農業というとすべてが大農場であるかのように考えがちであるが、現実には10²以下の農地が半分強を占めている。畑作物の生産では、数百²から2、3千²の機械化された「近代的農場」が主力の経営体

となりそうである。

ところで、ブラジル農業の経営の特徴を現地できくと、「銀行あつての経営」であることを第1にあげる。もちろん、自給的な零細経営もあるが、一般には商品生産農業であり、銀行からの融資を得て種子も肥料も機械もすべてがまかなわれているようである。「技術もさることながら、金の計算が出来ない人はブラジルの農業で成功しない」という。企業体として当り前のことなのだが、「商売上手の日本人なのに、農業のことになるとこのことが仲々判らない」ともいわれた。先祖代々の農地で、家族労働力による日本農業が頭にこびりついている日本人には、確かに判りにくいかもしれない。

土がもっていた地力を頼りの無肥料農業にも変化が起った。肥料の使用が急増しており年16%の消費の伸びが予測されていた。

コーヒー産地の移動の歴史をみると、南東部海岸地帯から始まって、西へ西へと移って行った。それはテラロシャという肥沃な土壌の分布と一致している。テラロシャ(赤紫色の土)は玄武岩が風化して出来た土壌で、各種の塩基や硝酸に富んでいる。森林を燃やして拓いた焼畑で、無肥料で20年間もコーヒーが栽培出来るといわれている。しかし、永年の収奪農業の結果、地力が低下し肥料を使うようになった。連作による各種の障害も発生してきた。こうなると、また新しい土地を求めて辺境の開発が進められてきた。今日では中西部のマットグロッソへ、セラード地帯へと農業が動いている。

4. 明るい光の中の“閉ざされた”ところ

“21世紀の都市”といわれる首都ブラジリアから東西南北、どちらの方向へでもいいから車で走り出すと、どこまでいってもなだらかな起伏のある緑の丘が続く。曲りくねった灌木がまばらに生えている。谷に沿って森が形成されている。草原のようなところもある。ところどころにエロージョンによる暗赤色の地肌がのぞき、同じ色の巖塚(クッピン)が一面ににょきにょきと立ち連なっているところもある。雨季のためか黄褐色の河の水もとうとうと豊かである。背中にコブのあるゼブ牛が放牧されているところもあるが、密度は低い。10kmに1頭位らしい。牧場の白い柵がいつまでも続いており、その面積の広さは推りしれない。この一帯が“セラード”である。“閉ざされたところ”という意味のポルトガル語が語源だというのが、光の中で緑が明るく映えている。日本ならさしずめ“〇〇ライン”とでも名づけられた観光コースやゴルフ場になること間違いなしの素晴らしい景観である。遠雷が響き、はるかにスコールの雨脚が動いていくのが望める。その後を虹が追いかけていく。私には“閉ざされた”どころか“開かれた”ところではないかと思われた。「熱帯半乾燥地帯」とか、「熱帯疎林地帯」とかの日本語訳の与える殺伐とした印象はまるでない。雨季のためではあろうがイネ科の草を主に、十分生え茂っている。ところが驚いたことには、「見掛けにだまされてはいけません。ここでは作物が十分に育ち得なかったのです」とブラジル人はいうのである。

セラードがどのようにして形成されてきたのか、何故木が大きく育たず、また、曲りくねってしまうのか、そしてまばらなのか。何故作物が十分育ち得ないのか。これは永い間の謎だった。

表3 経営規模別農家戸数と農地面積の規模別分類 単位 1,000戸

区 分	1970年	1975年
(1) 10ヘクタール以下	(2,519.6)	(2,616.6)
1ヘクタール以下	396.8	463.7
1～2ヘクタール	488.6	538.5
2～5 "	914.8	924.6
5～10 "	719.4	689.8
(2) 10～100ヘクタール	(1,934.4)	(1,897.5)
10～20 "	768.4	723.6
20～50 "	824.1	811.4
50～100 "	314.9	353.5
(3) 100～1,000ヘクタール	(414.7)	(446.0)
100～500 "	366.8	393.5
500～1,000 "	47.9	52.5
(4) 1,000～10,000ヘクタール	(35.4)	(40.1)
1,000～5,000 "	32.8	37.1
5,000～10,000 "	2.6	3.0
(5) 10,000ヘクタール以上	1.4	1.8
(6) 不 明	(4.0)	(5.2)
合 計	4,924.0	5,007.2

出所：IBGE (JICA資料より)

5. セラードの広さと植生区分

この問題のセラードが少々面積だったら、地球の歴史や生態学の観点から興味をひく対象であることだけで済むだろうが、その面積たるやべらぼうなのである。なんと1億8千3百万haというのだから、日本の国土面積の約6倍に相当する。ほぼ北緯4°から南緯24°、西経42°から65°の範囲に広がり、高度は100mから1,240mである。ブラジル全土の4分の1を占めている(図2、表3)。この広大な大地をどう活用するかはブラジルの国土利用上の大問題であるだけでなく、人類的な関心と呼ぶに足るだけの価値のある問題であろう。

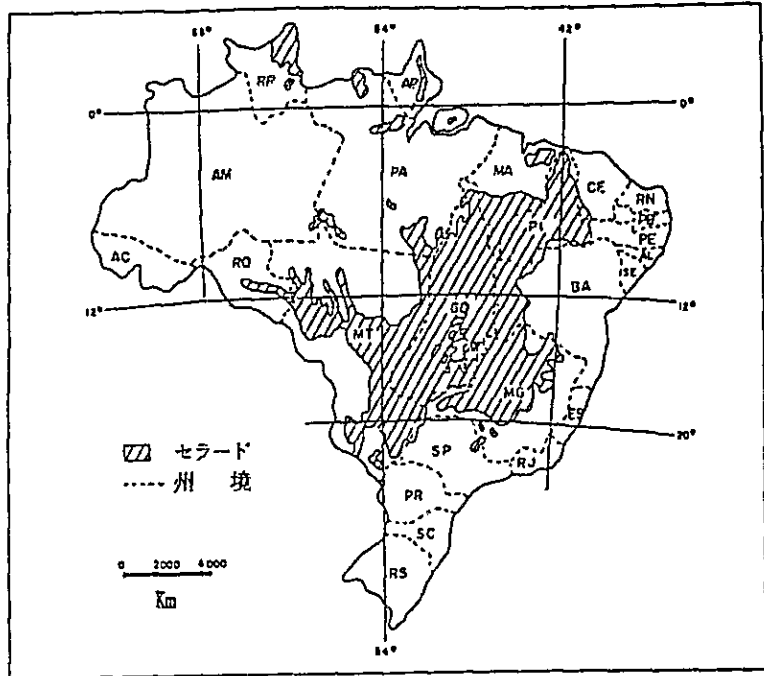
セラードは生態学上の植生区分では、樹木の大きさや密度によって、大=密から、小=疎になるにしたがって、セラドンッ、セラード、カンボ・スージュ(広い土地・汚れた)、カンボ・リンボ(…・清潔な)の4つに分けられている。何故このようなちがいが生ずるのか、それを解明することはセラード形成の要因をさぐり、作物が育つようにするための方策を見つけ出すことにつながる。多くの学者の研究の結果、2つの仮説が提起された。一つは気象要因説であり、もう一つは土壌要因説であった。今日では後者の説が有力である。

6. セラードの土壌

私の前年にCPACに派遣されていた土壌学者の吉田武彦博士(当時、農業技術研究所)の言を借りれば、セラードは「まるで土壌の墓場みたいところだ」ということである。土壌生成の歴史が非常に古く、風化し尽くしてしまったような状態にあるらしい。そういえば、岩石どころか石ころにも彼多にお目にかからなかった。道路の切通しの法面も土だけだったし、ビルの基礎工事の掘り下げた穴の中にも岩や石はなかった。最も多く目にした石ころは商品化した風化残りの水晶、めのう、宝石類、化石類であったろうか。

風化が進行して植物の栄養になる可溶性の塩基類はどんどん流れ出てしまって、残ったのは溶けにくい鉄やアルミニウムなどである。したがって酸性が強い。土壌表層ではPH4~5である。また、塩基置換容量が低く、

図2 セラード地帯の分布



出所：CPAC研究年報、1975~76

表4 セラードの面積と分布割合

州別	セラードの面積 Km ²	分布割合	
		州面積中、セラードの割合	セラード全域に占める割合
ゴイアス	555,000	88%	30%
マツトグロッソ	479,000	39%	26%
ミナスジェライス	308,000	53%	17%
マラニオン	98,000	30%	5%
ピアウイ	115,000	46%	6%
バイア	105,000	19%	6%
連邦直轄区	6,000	100%	1%
その他	17,000		9%
合計	1,830,000		100%

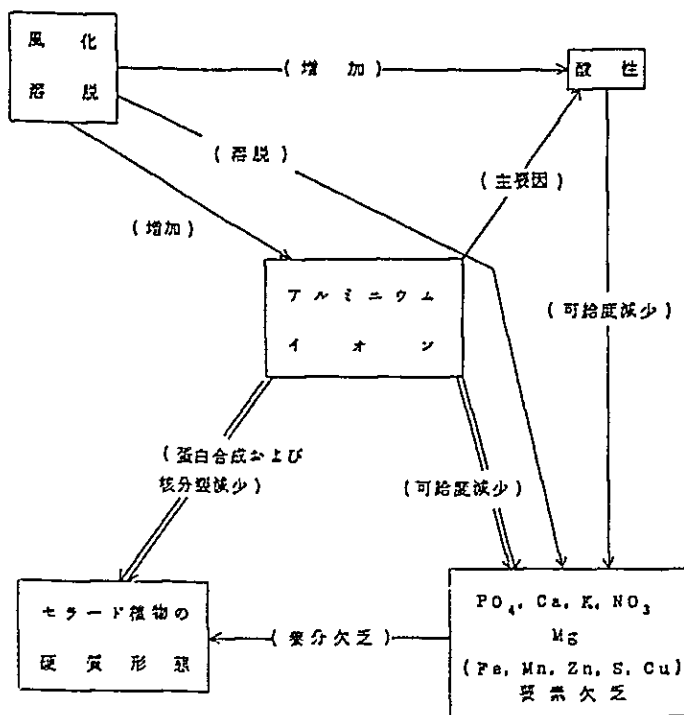
しかもアルミニウムの飽和度が50%以上である。

植物体内でのアルミニウム含有割合が高まると蛋白質の合成とか核分裂が阻害され、コルク層の形成が促進されて生育が抑えられてしまう、といわれている。だからセラードの木は大きく育たないし曲りくねってしまふのだという。ギド・ランツァーニ(1971)がこの間の因果関係を図3のように表わしている。

しかし、その後の研究によってこの土壤の劣悪さは石灰と磷酸の施用によって改善が可能であり、施肥栽培をすれば作物が出来ることが明らかにされてきている。その一例が図4である。土壤の物理性は一般に良好であるとみてよさそうである。

なお、セラードの樹種にはアカシアなどの豆科の植物が目立ったが、彼らは根粒菌のおかげで空中窒素を固定して養分とすることが出来るためであろう。

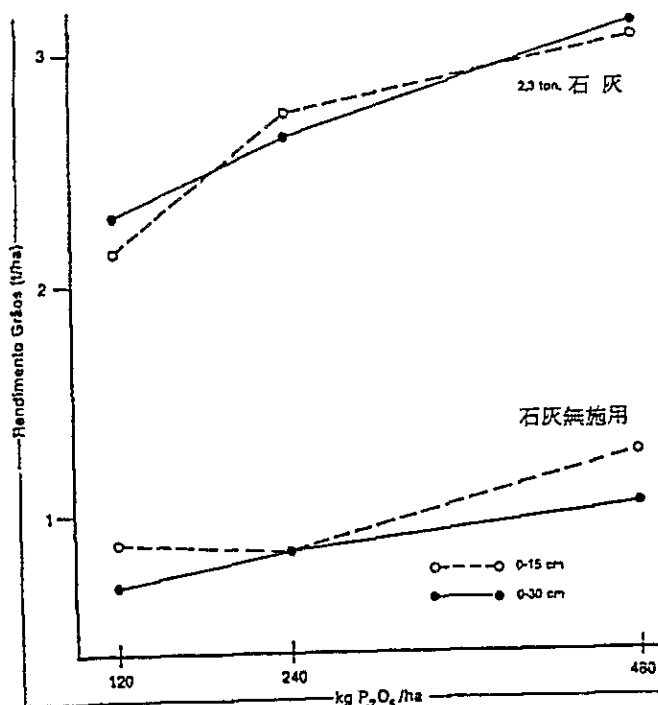
図3 セラード土壤の生成過程



出所：ギド・ランツァーニ(1971)による。

熱帯農業研究センター「第三回セラードシンポジウム」より引用。

図4 作物育成に及ぼす石灰、磷酸施用の効果



出所：ギド・ランツァーニ(前出)。

7. セラードの気象

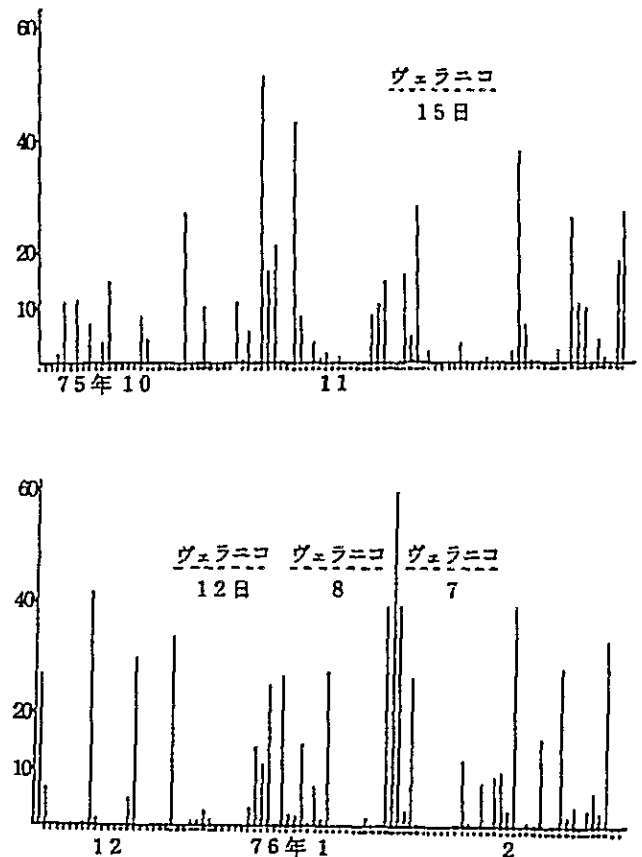
今までの研究の結果によると、気象はセラード形成の主な要因ではなさそうである。セラードは砂漠ではない。年間総雨量は1,000~1,700mmもあり、日本と同じようなものである。ただし、その時期的分布が片寄っていて、その時期は緯度によって少しずつずれてくるが、雨が降るのはほぼ半年間の雨季であり、あとは雨なしのからから日照りの乾季である。草や樹々の葉が茂り、作物が出来るのは雨季からその水を作物が利用できる乾季の始めまでである。

ところで、ブラジル人が怖れているのは、年によっては激しく襲ってくる“ヴェラニコ”と呼ばれる雨季中の小乾季である。図5に示されているように、1週間とか半月とか連続して雨が降らない時がある。一方雨季中とはいえ、南国の太陽が顔を出せば日射が強く蒸発量が多い。したがって、土壌の下層には水があっても表層は干上ってしまって、作物が利用できるだけの水分は無いということになる。穴を掘ってみると1m位いで地下水にぶつかるところもあり、水量自体が不足しているということではなく、作物が吸える水分より蒸発、蒸散で逃げる水の方が多いということである。根が浅い作物にはそれだけ影響が大きい。うまく水がとれる立地条件のところにある野菜作農家では、灌水施設をそなえているところもあった。

気温は地域によって異なるが、ブラジリア郊外のCPACの測定値では、年間を通して平均気温は22℃前後である。年間の最低気温が12.5℃、最高が28.6℃と上下の巾が狭い。比較的高温域で安定していて温度変化が小さいことが、作物栽培にはメリットでもあるが、麦類のような一定の寒さを必要とする作物が作れないというデメリットもある。

人間の生活にとっては暮しやすいことこの上なしという感じであった。私がセラードに滞在していたのは雨季の後半から乾季の始めの頃までであったので、「土が燃える」とか、「一晩で喉がやられてしまふ」とかいわれるほどの乾燥が襲うという乾季を知らない。標高1,000mの高原は日本の夏のように曇くなく、また湿っぽくなく、「冬」とは名ばかりで裸に半袖シャツ一枚、時には長袖、あるいは薄手の上着をはおれば済んだ。ブラジ

図5 “ヴェラニコ”の例、(1975~76年の雨季、CPAC)

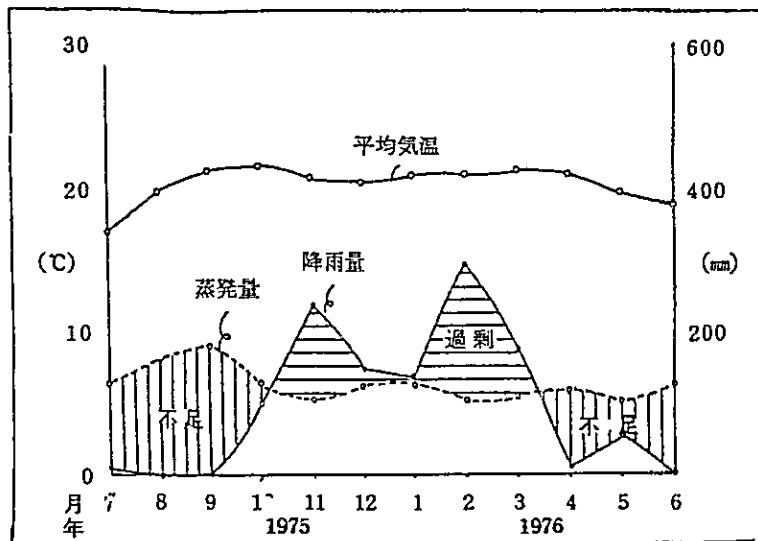


ル人たちはセーターを着たり、皮のコートを着たりしていたが、“伊達の厚着”というおしゃれのためだったのかもしれない。

気象の変化を把握しやすいように図6に年間の温度、降雨量、蒸発量の推移を示した。

ブラジル人は私に何度もセラードの気象の特異性を力説した。しかし、日本だってアマゾン並みの高温・

図6 セラードの気象の例(1975~76年、CPAC)



高温で、時には2~3週間雨らしい雨のない乾燥を伴う夏があり、ほとんどの草が枯れ木の葉の落ちる冬がある。表日本は乾き上がり、裏日本や北国では雪に閉されてしまう。また、しとしとと雨の降り続く梅雨期もある。こう考えてみるとセラードの気象に驚くことはない。この気象を心得て如何に農業技術を開発し駆使するかが問題なのである。

私の目には草や木の葉が乾季のために枯上がるというよりも、日本で冬を迎えた草木が稔りの時を迎えるように成熟の時を迎え、そしてしばらく寝むりの時を過ごすように写った。雨季の終りにイネ科の草々は一斉に出穂し、大豆やとうもろこしは実をつけた。現地の植物はこうして乾季に対応する態勢に入るようだった。こういう見方をすると、乾季になってもできるだけ遅くまで作物を育てたいという課題に対しては、乾季対応というより、生育晩化という作物の対応を考慮した技術を開発することが答えになるかもしれない、とも考えられた。

8. セラードにおける農業開発の計画

ブラジル経済は70年代前半石油危機までの間には“奇跡”の高度成長を遂げた。しかし、この過程は日本と同様に下層農民の雑農・賃労働者化、人口の過度の都市集中化の過程でもあった。都市人口は60年の45%から、78年の62%へと急上昇した。また、人口は年率2.8~3%で増加し、この間に66%、4千6百万人もふえた。国内農業生産も増加はしてきたが、増大する需要をまかないきれず、78、79年の不作のためもあり、79年には小麦、トウモロコシから肉まで約14億ドルの農産物の輸入をせざるをえなかった。

ところで、ブラジルはアルコールで自動車を走らせていることで有名である。裏返して言えば、ブラジルが非産油国であるということである。石油危機以来経済成長は停滞し、激しいインフレにおびやかされている。輸入の3分の1を占める石油を買うためには、輸出の20%を占めるコーヒーと30%のその他の農業関連産品の産出をふやさなくてはならない(表5、表6)。

こんなわけでブラジル国の経済安定は農業生産の増強に負うところが大きい。従来の南部、南東部頼りの農業だけでは濟まなくなってしまった。目指すは国土の4分の1を占める大セラードの開発である。

第2次国家開発計画(1975~79)は、セラードの農業開発のためのポロセントロ計画を主要な柱としている。ミナスジェライス、マトグロッソ、ゴイアスなどの州に日本の全水田面積を上回る370万haの開発優先地域を設定し、170万haの耕種農業、120万haの畜産、70万haの林業を一挙に築き上げようという目標である。そのためには道路、電力などの関連インフラストラクチャーの整備が不可欠である。

先述したように、セラードの土壌はそのままではとても農作物が順調に生育できる状態にはない。作物栽培の

ためには石灰と燐酸による土壌改良が必須の条件である。ところが“神のお恵み”とでもいうべきか、セラードには石灰岩の山と燐鉱石の出る場所がある。これらの山での鉱工業開発を行えば、肥料の供給が出来るようになり、農工一体の地域開発が追究できるわけである。

生産する主要な作物としては、コーヒー、大豆、米、小麦、とうもろこし、綿、落花生、パイナップルなどが挙げられていた。しかし、その中心は輸出第1位の安定産物であり、労働力吸収能力のあるコーヒーを支えとして、新興輸出産物である大豆を飛躍的にのばし、不足して輸入している小麦を作って、自給率を高めるといって“一石三鳥”を狙うことのようにであった。ミナスジェライス州では大豆-小麦の二毛作に成功していた。

そのモデルは、ミナスジェライス州政府と日系農民が主力のコチア産業組合が提携して54戸が入植したサン・ゴタルドである。30才代の日系2世が主力で、彼らは1ロット250haを2~4つ合せて機械化農場を経営している。60~80馬力級のホイール・トラクターとコンバインを5~6セット装備し、10数名の労働者を雇用して農場を経営していた。1ha3tの大豆の収量をあげた畑もあるという。希望に満ちて表情は明るかった。

開墾は木が疎らなのと根が浅いために容易である。2台のトラクターでチェーンを引いて、木を根こそぎ引き抜いてずるずる引っ張ってってしまう。この木々を燃やしたり、埋め込んだりそんなムダなこととはしない。これで炭を焼いて燃料にしたり、鉄精錬に使うわけである。大事な資源であり、入植者の土地代のかなりの部分をまかなえるという。

開発はニュークレアシステムをとっており、サン・ゴタルドの町に産業組合の事務所を置いて、資金や情報などのソフトの核とし、大規模な乾燥・調整・検査・出荷の施設をハードの核として、各ロットに入植した開拓者の経済活動を支えている。町にはいくつかの農機会社や肥

表5 ブラジルの輸出 (単位 100万ドル)

種目	77年		78年	
	金額	割合	金額	割合
総額 (A+B+C)	12,120	100%	12,651	100%
コーヒー (A)	2,625	21.7	2,288	18.1
その他 (B)	9,217	76.0	10,182	80.5
第1次産品	4,846	40.0	4,184	33.1
内訳				
砂糖	463	3.8	350	2.8
原綿	41	0.3	53	0.4
ココア	435	3.6	454	3.6
鉄鉱石	907	7.5	1,027	8.1
エビ	17	0.1	26	0.2
馬肉	31	0.3	45	0.4
茶	9	0.1	11	0.1
大豆カス	1,150	9.5	1,049	8.3
たばこ葉	186	1.5	239	1.9
大豆粒	710	5.8	170	1.3
工業製品	4,371	36.0	5,998	47.4
内訳				
粗大豆油	274	2.2	278	2.2
くつ	174	1.4	281	2.2
事務用機	113	0.9	315	2.5
機械機器	491	4.1	566	4.5
家具	16	0.1	828	6.5
製鉄製品	101	0.8	214	1.7
シューズ	358	3.0	678	5.3
特別移転 (C)	278	2.3	181	1.4

出所: CACEX (ソールナッセンテ経済研究所編1979年、ブラジル)「数字でみるブラジル」より引用。

表6 ブラジルの輸入 (単位 100万ドル)

種目	77年		78年	
	金額	割合	金額	割合
計A=B+C+D+E	12,023	100%	13,639	100%
消費財 (B)	931	7.8	1,116	8.2
食料品	420	3.5	495	3.6
衣料品	28	0.3	34	0.3
光学医療器	360	3.0	430	3.1
原材料 (C)	3,910	32.5	4,516	33.1
穀類	279	2.3	700	5.1
肥料	301	2.5	310	2.3
化学製品	1,338	11.1	1,513	11.1
紙・パルプ	193	1.6	204	1.5
プラスチック	287	2.4	336	2.5
塩・硫黄	117	1.0	101	0.7
その他	312	2.6	443	3.2
石油製品 (D)	4,081	33.9	4,485	32.9
原油	3,602	30.0	4,093	30.0
小計 (C+D)	7,991	66.4	9,001	66.0
資本財 (E)	3,101	25.8	3,522	25.8
輸送資材	532	4.4	651	4.8
機械電気機器	2,569	21.4	2,871	21.0

出所: CACEX (前出)

料会社などの関連企業も乗り込み、開拓者をめぐる様々な人々の生活関連のサービス部門もふくれ上がった。

農業開発が地域に及ぼす波及効果は大きい。かつては金、銀、宝石を求める人々の宿場であり、さびれて「乞食と泥棒の町」といわれたサン・ゴタルドの町は、今や黄金色に輝く大豆、小麦のおかげで活況を呈している。金、銀、宝石と違って掘り尽すことはない。太陽と大地の恵みを活かす技術と労働を尊び、豊かさ喜びを求める人々とがあれば、黄金色の山はいっそう大きくなるだろう。なだらかな丘陵地帯一面を埋め尽くす大豆畑の真中に立って、遙かな赤瓦の街を臨んで、私にはこれが農業開発の求める真髄なのだろうと思えた。

9 大豆の根がおかしい

しかし、セラードの空はいつも青いわけではない。暗雲が突如として地平のかなたから押し寄せてスコールを降らせるように、セラードの農業開発の展望は晴天ばかりではないだろう。

美事に茂った大豆畑の中で足元の1株を引抜いてみると、暗雲の一つが伺えた…。土の中にセラードの本性がかくされていたのである。

腰のあたりまで草丈のある開墾6年目の莢肥大期で、一番根の張りが強いはずの大豆があっさり抜けたのである。もっと新しい開墾年次の大豆よりも地上部が良く生育しており、畑の肥沃度もあがっていて根も良く発達していると思ったのに、予想外に根が貧弱であった。しかも、大豆本来の根相である主根の伸びが抑えられ、表層に横に広がった側根が優勢を呈している。ところが、開墾初年目や2年目の草丈の小さい大豆を抜いてみると、生育量は少ないけれどもそれなりにちゃんと伸びた主根をもち、バランスの良い根系発達を示していた。問題の“ヴェラニコ”が強く襲ってきたら、地上部が大きいだけ蒸散量が多いのに、乾き上がってしまい表層にばかり根が広がっているような、4、5年目以降の見掛けのよい大豆ほどひとたまりもなくやられてしまうのではないかと思われた。

では、何故こんなことが起るのか、どうしたらまともに根の発達した大豆を作れるようになるのだろうか。この問題を作物や土壌の専門家と組んで機械化の観点から攻めてみようというのが私の研究テーマとなった。わずか3カ月の期間しかないのに、しかも、この現象を目の当りにするまでにかかりの日数を費やしてしまっているし、この決定は危ない冒険であった。

この危ない仕事の結末を述べる前に、ブラジルのセラード農業開発研究と日本の研究協力とが、どのような体制と進め方で行なわれているのかに言及しておこう。

10 EMBRAPA—CPACのプロジェクト研究体制

ブラジルでは国立の農業研究機関を公社(EMBRAPA)として再編した。EMBRAPAは現在43の試験研究所を傘下に治めている。その中の最大の機関がセラード開発のための研究拠点であるセラード中央農牧研究所(CPAC)である。研究者約100名、サポート部門約200名を擁している。研究者の80%はブラジル人であるが、残る20%は私たち日本人やアメリカ人、あるいはFAOやCIATOなどの国際機関から派遣された外人部隊であった。「農業研究協力オリンピックのようだ」という声もきかれた。CPACは今施設・人材共に充実の過程にある。

日本は5カ年間の協力協定に基づいて病理、昆虫、土壌、作物、栽培の専門家6名とJICAの調整員を長期派遣し、その他の専門部門の研究者を随時短期派遣している。私は短期専門家の1人だったわけである。各研究者はCPACの研究プロジェクトのチーム員としてブラジルや他国からの研究者と一体となって活動し、日本チームとして独立の活動をしてはいない。

CPACの研究体制の特徴は日本の試験場のような部室制をとらず、プロジェクト方式をとっていることである。現在、3本のプロジェクト—① 自然・社会・経済資源目録化プロジェクト、② 土壌、気象、作物資源

利用プロジェクト、③ 生産システムプロジェクト——が編成されている。セラードの資源と条件を洗い出す基礎的研究から始まって、それらを保全しつつ生産システムの中に組み込むための開発的研究まで亘る総合的なものである。

ところがブラジル側についても、日本側についても私には理解に苦しむ事があった。この大セラードの農業開発にまさか素手で挑もうというのだろうか？ 農業機械が開発に不可欠の手段であり、また「銀行あつての農場経営」なのだから、機械化の計画と運営が経営の成否の一つのカギであるというのに、ハードの農業機械、ソフトの機械化を研究する部門も人もCPACには欠けていたのである。また、協力の日本側にもこの考え方が弱かったのである。広いブラジルと、狭い日本とが奇妙にも開発研究の思想においては一致しているかのようにも思えた。

ブラジルではCPACに限らず、EMBRAPAのいずれの研究機関にも農業機械、機械化の部門がないということだった。CPACのワグナー所長は「ブラジル農業の近代化はまだ20年、工業はわずか10年の歴史しかないのです」と話していたが、私としては、この次の渡伯の機会には是非ブラジル農業の近代化と機械化との係り合いについて調査してみたいと考えている。トラクターはMFやFordが主力で、ValmetやCBTの純国産も動いてはいたが、大規模農場の機械化技術が北米の機械化農業の借りもので間に合ってしまう(?)ために、自主的な研究や開発が育ちにくかったのだろうか。そもそもヨーロッパからの移入文化をもって拓いてきたお国柄のせいだろうか。あるいは工業部門の発達のおくれのためだろうか。

また、ブラジルの研究者があまり現場に出ず、手を汚さない“貴族的”傾向が伺われたが、研究、学問のとりえ方も関係があるのではないだろうか？ いわゆる“真理の探究”だけが研究の対象であり価値あるものであり、問題解決のための技術は、次元の低いものであるというような“貴族趣味”が潜在しているような気もする。

なお、わが国の農業技術研究の場合は、研究の進歩が専門化細分化の方向にのみ一元化してきた傾向があり、農業技術を総合的な観点から把握し研究する方向が弱いのではないだろうか。そのためにわが国の研究協力は病理・昆虫や土壌などの分野では優れた貢献の可能性はあるが、農業開発を総合的、体系的に推進する上では、残念ながら弱さがあるといわざるをえない。機械化の研究者などが、より総合的な目でシステムティックに開発技術の問題をとらえるように努力しなければならないのではないかと思う。

私にはCPACのプロジェクト研究を評価しうるだけの情報も経験も不足しているし、この研究そのものがまだその段階でもないであろうが、プロジェクト研究体制は、問題解決のための研究の組織の仕方においては積極的な可能性をもっていると思う。ひるがえって、わが国の研究の組織の問題をも考えてみる必要がある。私にとっては極く短期間ではあったがCPACのプロジェクト研究への参加が貴重な経験であったために、研究のあり方論や組織論について多くを語り過ぎてしまったようだ。セラードの大豆の根に話をもどそう。

11 大豆根系異常は土壌養分の偏在によって起る

セラードの作物の根が土壌の表層にだけ集中していて深く入っていない。何故なのか、どうすればいいのか。到達した結論からいうと、セラードの土壌には商品である作物が健全に育つほどの養分がないことが第1の原因であった。お前はさっきセラードには予想外に植物が茂っていたといったではないか…といわれそうである。確かにその通りである。しかし、それは自然の植生であり、収穫・持ち出しが必要とされる作物(商品)ではない。それらはやせた土地にしぶとくしがみついで生きてきているのであって、刈りとってしまった後での植生の再生力は弱いものと思われる。アマゾンの大森林も大面積を伐採したら砂漠化してしまい危険性があるといわれている。熱帯での有機物の分解は非常に速く、裸地にすると地中の有機物が消耗し尽してしまうらしい。しかし、乾季の強いセラードでの再生不良は、多雨のアマゾンとはまた異なったメカニズムであるのではないだろうか。

作物は自然のままの植物ではなく、人間の必要とする収穫対象を“奇形的”に高生長するように変化させたも

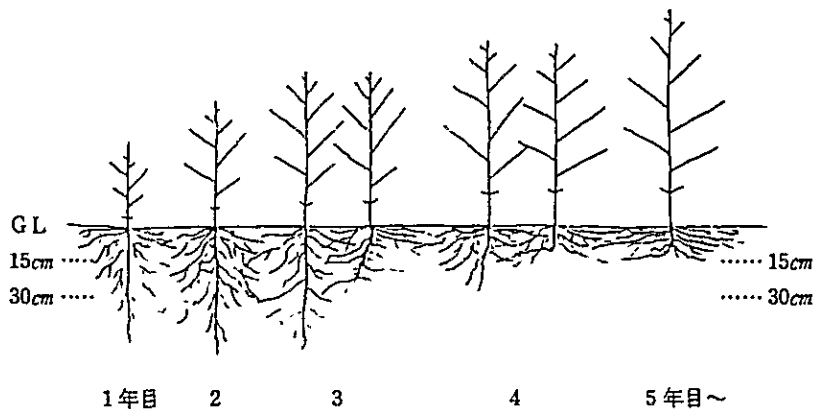
のであり、しかも、経済的にひきあうだけの生長速度が要求されている。それを実現するためには作物の栄養（化学肥料という形態に限るわけではない）を人為的に補給してやらなければならない。収穫はそれだけ土壌中の養分を収奪し、地力を低下させる。それでも先述のテラロシヤのように、肥料を補給することなく20年もコーヒーが栽培できるような土壌もある。ところがセラードの土壌はまったくやせていて、作物栽培には障害的さえあることは既に説明した通りである。CPACのほ場に養分補給なしに作った大豆は、わずかに20cm位のみすぼらしいものだった。しかし、磷酸と石灰で土壌を改良し、養分を与えてやれば立派に作物は育つことが実証されている。開墾後、土壌改良と施肥でセラードの作物は次第に良く育つようになった。…ところがそう簡単ではなかった。大豆の根がおかしいということを日本人研究者の岩田文男博士（熱研センター・作物）と川崎弘博士（当時九農試・土壌）が発見し、その原因の解明に力を注いでいた。

ブラジル人は大豆の根はこんなものだと思っていたらしい。

両博士はサンゴタルドの大豆畑の中で、その生育の立派さに関心していた私に、株を抜いてみるように言ったのである。それ以来三人で開墾後の年次を追って、初年目から6年目（これが一番古い畑）までの畑を掘り返し、根ごと土壌を調べる

図7 開墾後の経過年次による大豆の生育変化（模式図）

（サン・ゴタルド、1980）



日が続いた。冬仕度の日本人の肌に突然の南国の太陽の光は強かった。スコールに襲われても逃げ込む木陰もあろう筈もなかった。開墾後の年次と大豆の生育は図7のようであった。

両博士はいくつかの実験を通じて、肥料、とくに磷酸を深く施せば、それだけ根が土中深く入ることを証明していた。作物の根は養分の多いところで良く発達する。やせたセラードの土壌ではこれが極端にあらわれる。だから、根の広がっているところには養分がある。逆の表現をすれば養分のあるところにだけ根が広がると言える。したがって、開墾後2、3年までは深い層まで肥料成分が行き直っているが、年を経るにつれて表層に肥料が集中してしまうことが、根系の発達の原因ではないかという仮説をたてた。これに対して酸性が強いからだとか、アルミニウムの毒作用だとか、機械化作業によって土壌のコンパクション（緊密化、硬化）が生ずるためだとかの諸説も提起されていた。しかし、サンゴタルドの土壌調査・分析の結果は両博士の“養分説”の正しさを裏づけてくれた。また、関連する諸実験の結果もそれを支持するものであった。

しかし、ここまで来ても、まだ“一件落着”という訳にはいかない。どうして毎年肥料をやっているのに、開墾当初は深くまで成分が及んでいたのに、次第に表層ばかり集中してしまうのが明らかにされていない。また、土壌コンパクションは白か黒かの判定がつかない。この2つの問題については機械化・作業の観点から光を当てないことには結論が出せなかった。

両博士と共に大豆畑の穴掘りをしながら、私はそれらの畑が開墾以来どのような機械化作業、土壌管理がなされてきたかを調査し、また、CPACの試験ほ場でブラジル人研究者と共に、機械化作業と土壌コンパクションの関連についての研究をも進めた。

12 耕耘方法にも問題があった

開墾以降の土壤管理作業を極くかいつまんで言うと、抜根・排根・荒整地の後で石灰と磷酸を全面散布して、ディスクブラウで耕起する。なお80~100馬力級のホイール・トラクターが使われていて、装軌型トラクターで多重連のブラウを牽くことはやられていない。また、ブラウは一般にはディスクタイプしか使われていないようである。この作業形態でいいのかどうかは能率・性能・経済性などの諸側面から検討してみる必要があると思うが、実態はこうであった。

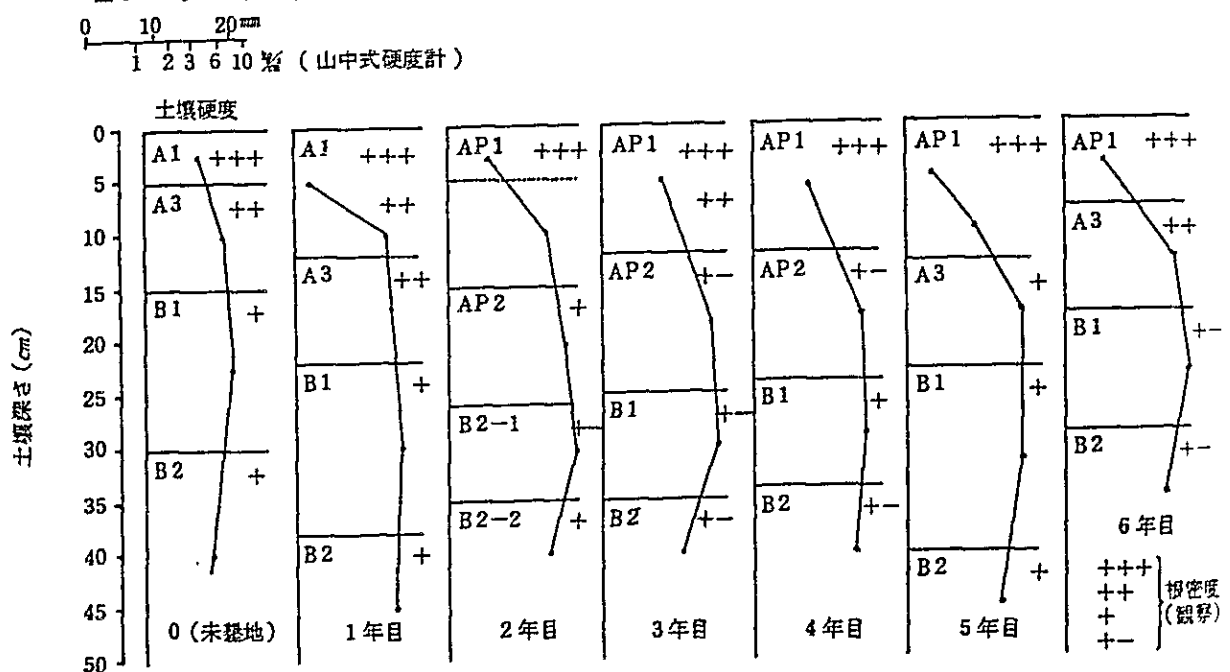
二年目以降はブラウ耕をせずに一般にはディスクハローをかけるだけのようである。畑に穴を掘って土壤断面の調査をしてみると、最初のブラウ耕は約30cm位いの深さで行なわれていた。しかし、2年目以降は大体15cm程度しか入っていない。経営主がディスクブラウを30cm位いの深さでかけたという農場でも、実際には15cm位いであった。ディスクブラウはけん引速度を上げると急速にけん引抵抗が増大する(モルドボドブラウとは異なる)。スピードを上げるためにディスクの角度を小さくするとブラウは浮いてくる。1枚数10ヘクタール以上もある畑でノルマを課せられたら、労働者は指示された耕深よりも速く走る方をとるのが人情かもしれない。とにかく耕深は浅かった。

このような作業結果を先程の土壤中の養分の分布と照合すると、開墾後年を経ると養分が表層に集中してくることの原因が、どうやら作業の仕方にあったのではないかと推測される。開墾後2~3年目までは、当初深層にまですき込まれた磷酸などの効果があらわれて大豆の根系は正常に発達する。しかし、全層に養分が分散するから相対的に養分の濃度は薄い。大豆の生育量はそう大きくない。4年目以降ぐらになると当初の深層施用の効果が薄れ、表層の養分のあるところだけに根が広がる。とくに磷酸や石灰は、土壤中を移動しにくいからなおさら表層にだけ集中する。私はこんな風に耕耘作業と土壤中の養分偏在と根系発達の間接的関係を説明づけた。

13 土壤コンパクションは“黒”とは言えない

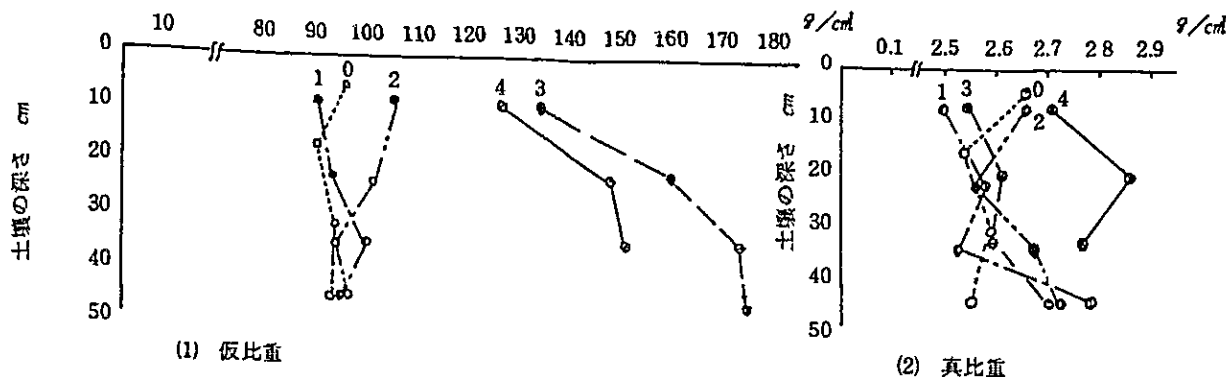
一方、土壤コンパクションはどうだったか。図8にサンゴタルドの自然状態から開墾後6年目までの土壤の硬度

図8 セラードにおける土壤硬度と根密度の開墾後の経年別変化(サン・ゴタルド、大豆畑、1980)



と根の分布密度の関連を示した。自然状態での硬度(%)とくらべると、開墾後的人為的操作、とくに機械化作業によって土壤コンパクションが強まってくる様子が良く伺える。CPACでの私の調査の事例では、開墾後第1回の播種までの間に8行程ものトラクター作業が行われ、土壤がしっかり踏み固められてしまっていた。図9

図9 セラード土壌の開墾後の変化(CPACシャバドンク様場、1980)



○---○ 0:未墾地 ⊖---⊖ 2:2年目 ⊗---⊗ 4:4年目
 ⊕---⊕ 1:1年目 ⊕---⊕ 3:3年目

は私の実験結果だが、(1)に見るように硬度は強まってきても(図略)土壌の仮比重は開墾後2年目までは自然状態とほとんど変わっていない。ところが3年目以降は仮比重が大きくなり、4年目には(2)に示すように真比重も増大している。開墾後、土壌構造が次第に変化してくることが判る。

しかし、図8にもどってこのような土壌変化と根の分布密度との関連を見ても、両者の間には規則的な関連は何もない。この他のいくつかの実験データでも、土壌硬度が高くなったから根の密度が低くなったとは言えなかった。こんなわけで、この程度の土壌コンパクションは大豆根系発達異常の直接的な原因であるとは言えない。“黒”ではなかった。

1.4 セラードに適合した土壌管理法の開発が大きな課題

だからといって土壌条件の悪化には遠くないのだから、放っておいてはいけない。3~4年目にはもう一度ブラウ耕を行なって深く耕す必要があるだろう。その時に腐酸や石灰を入れてやれば、土壌の膨軟化と養分の全層的補給とが同時に行えることになり“一石二鳥”である。

しかもそれに加えて「3~4年目に一度のブラウ耕」にはまたいいことがある。サンゴタルドの農場で毎年ブラウ耕をしないのは、ブラウ耕は時間がかかるので、手持ちのトラクター台数では広い耕地を適期中に耕し切れないのだという話をきいた。台数をふやしたのでは採算がとれなくなるし…ということだった。先程、装軌型トラクターで多重連ブラウを牽くことに言及したのはこんな背景があったからだが、経済性の試算をしてみないことには推奨できるかどうかはわからない。

ところで、3~4年に1回のブラウ耕ならどうだろう。一度に全面積を処理しなくとも良い。毎年、耕地の3~4分の1ずつ順番にやっていけば良いのだから、トラクター台数をふやす程のことはないかもしれない。ここまで含めると“一石三鳥”ということになる。

なお、熱帯農業でブラウ耕というのはやっていいのかなと疑問を抱いている方もいるかと思う。“アマゾンの砂漠化”について先述したように、一般論として熱帯農業では有機物の消費が激しいから(また、エロージョンの危険もある)、土にはなるべく手をつけない方が良いといわれている。しかし、セラードには失うことを心配するほどの土壌中の有機物の既存量は無いし、何度もいったように外部からの養分の持ち込みなしには作物は育たないのである。セラードでは積極的に養分を土壌中に補給してやらなければならない。その手段として養分の全層施用のできるブラウ耕が有効であると考えている。少くとも最初は不可欠である。

しかし、いつもブラウ耕が必要だというのではないかもしれない。エロージョン防止のために地表面を攪乱しないようにしながら耕盤を破壊し、深層まで養分を補給しようとすればどんな方法があるだろうか。サブソイラーのようなものがないのかもしれない。もっと研究が必要である。耕起法というよりセラードに適合した土壌管

理作業法の開発が、セラード農業の安定的発展のための技術的な重要課題の一つであると私は考えている。

もう一つ大事だと思っていることを付け加えると、この話の中でなるべく土壌の「養分」(作物の栄養)という表現を使って、それをあえて「肥料」に限定しなかったことに関連している。セラードには“神の恵み”の石灰と磷鉱石の鉱山がある。その開発は農工一体の発展をもたらす好条件である。セラードでの肥料の効果は絶大である。しかし、地力の維持、増強を肥料にだけ頼ろうとする考え方だけに歪み化しない方がいいかもしれない。良く言われてきたように、麦の根は畑を耕し、多量の根を土壌中に残し、苧科の作物は根粒菌の働きで空気中の窒素を固定して土地を肥やす/畑作物は、一般に連作すると各種の障害が起って収量が低下してくるので、各種の作物を組み合わせた合理的な輪作体系を考慮すべきである。/系外からの有機物持ち込みにだけ頼らずに緑肥作物を作ってすき込み/等々の畑作の基本原則ともいふべきことを、セラードに適合した形で、活かしていく技術を開発していくことが必要なのではないだろうか。

15 おわりに

とにかく、こんなわけでセラードにおける大豆根系発達異常の謎解きと、その対策づくりはうまくいったわけである。作物・土壌・機械化作業の3部門の協力の成果であった。

わずか3カ月の私の危ない冒険も、岩田・川崎両博士やブラジル人研究者・技術者をはじめ多くの人々の協力によって成功裏にゴール・インすることが出来た。

ポルトガル語の辞書を片手の毎日であったが、ブラジルの人々は自然の広がりと同じような広く豊かな心で私を受け入れてくれた。2つの研究報告がポルトガル語で出来上ってしまったのだから我ながら驚きであった。

※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※

農業機械関係の研究者としては始めてセラードに派遣され、現地の状況を体験した者として、今後のわが国農業機械の研究・産業界が、セラード農業開発に貢献できるようになることを願って、私の得ることのできた情報の一端を報告した次第である。

14. セラード地域における大豆栽培の 土壌管理の機械化に関する研究

(Tests on method of mechanical soil management for
soybean plant at CERRADOS region.)

1. 緒 言
2. 研究方法
3. 研究結果と考察
4. C P A C内圃場の土壌の物理的特性
5. 研究上の残された問題点
6. 摘 要

Smmmary

1981.5.4

中 精 一

1. 緒 言

セラード地域の大豆作においては、大豆の生育・収量の向上と合せて雨期の干ばつ時（通称ベラニッコ）における大豆の生育の維持が極めて重要とされている。ソーザリマの農場においては、過去5年間に700 Kg/haの P_2O_5 を施用した区と初年目だけに90 Kg/haの P_2O_5 を施用した区を比較し、前者では約1.5 mの深層まで根系が発達し、干ばつ時においても正常な生育を維持できたのに対し、後者では根系が側方に発達し、かつその深さも20～30 cm以下にとどまり、乾期に水分の供給を断たれて枯死した大豆を見ることができる。これらに関しては、塩谷の現地調査報告にもあるとおり、深耕と深層施肥との関連が大きいと考えられるが、前述のソーザリマの農場において、主としてデスクハローによる簡易耕を連続的に実施していることから推察すると、深層施肥がより重要な要因であると理解することができる。これは岩田らが P_2O_5 等の深層施肥・全層施肥等によって大豆の根系が深い位置まで発達することを実験的手法によって確認したことと一致する。

本研究では、これらの調査・実験結果を参考とし、農業の現場において適用可能な技術水準の保持を前提とした大型機械の組合せによる土壌管理のための機械化技術を確立するとともに、これらの結果からセラード地域における深層施肥に関する技術的方向について考察する。

なお、この研究は、ブラジル農業研究協力計画のなかのセラード研究協力の一環として筆者が1981年3月27日～5月11日の間にEMBRAPA・CPA CERRADOSにおいて実施したものである。この研究を実施するに当たり、研究計画の設定に当たっては、Dr. WENCESLAU J. GOEDERT, Dr. TAMOTIU OGATA, Dr. JORGE SEIXASの諸氏、また、研究の実施に当たっては、Dr. SERGIO MAURO FOLLE, Dr. MORISHIGE IKEの諸氏等に多大の御助言と御協力を頂いた。この研究を取まとめるに当たり厚く謝意を表する次第である。

2. 研究方法

供試圃場としてCPAC内の牧草地を供し、4月7日に大豆を畦幅36～53cm、播種粒数30粒/mの条件で播種した。施肥量は粒状化成肥料500Kg/ha（成分量：90KgP₂O₅）および100Kg/ha（成分量：60KgK₂O）とし、K₂Oは施肥位置を確認するための指標として施用した。各区の面積は250m²（=50m×5m）とした。実験時の土壌水分（0～10cm）は35.2% D.Bであり、土層別の硬さは図-1のように表層が著しく硬化した状態であった。供試作業機の名称と規格およびトラクタとの組合せは表-1のとおりであり、これらを組合せて表-2に示す作業機系列を設定して実験を行った。土壌硬さの調査および土壌の採取に当たっては、各区ともに土層断面を作成し、播種位置を通る垂直線と作溝爪の作用位置の中心に当たる地表面を基点として、7.5cm×7.5cmの方眼を測点として設定した。土壌硬さの測定には山中式土壌硬度計を供した。また、作業後の土壌中の種子・肥料の分布を知るために土壌断面を観察したほか、肥料の分布については、各測点から28gの土壌を採取してこれに60ccの蒸留水を添加し、20分間振とう後、上ずみ液の電気伝導度を電導度計（東亜電波工業）によって測定し、肥料の埋没状態を判断した。そのほか、この研究との関連から、供試圃場を含むCPAC内の圃場の3種の土壌の物理的特性（液性限界・塑性限界）を調査した。なお、大豆の根系の発達状況等については日程等の関係から調査を行なわなかった。

3. 実験結果と考察

(1) 作業の進行状況

系列-1では、デスクブラウの反転性能が高かったこと、デスクハローの作物残査の埋没機能が十分発揮できたこと等によって地表の夾雑物の露出は10～20%以下となり、さらに播種機の作溝装置の形式がダブルデスク形であったために播種精度は高く、実用性の高い技術と判断した。系列-2では、砕土・整地に重デスクハローを供したために、作物残査の露出は系列-1より少なかったが、供試した深層施肥播種機の作溝爪の形式が直

刃形であったために埋設した牧草を作業時に播き出し、播種精度が著しく低下した。これは、施肥播種時の作業負荷を軽減するために前処理として耕起し、牧草等の作物残査を土壌中に埋設し、かつ、前処理直後に作業を実施したことが主因と考えられた。したがって、供試条件下では実用的技術とはいえないが、夾雑物が少なく、かつ耕起作業後長時間が経過して土壌が安定化し、さらに作溝爪が目標とする作用深さ（25～30 cm）を保持できる程度の土壌硬さでは実用性の高い技術と推察される。系列-3では、トラクタとブラウの組合せが規格からみて不適であり、トラクタの牽引力に対してブラウの被牽引抵抗が過大であったために2台のトラクタで牽引した。また、耕深の目標値に対してボトムブラウの規格が小さかったために耕深は20 cmとなった〔耕深30 cm（目標値）を保持するには16～18 ブラウが必要となる〕。この系列では1行程の耕起作業が完了した時点ですき溝に施肥量の全量の1/2を人力で散布し、次の行程でこれを埋設することとしたが、図-2に示すようなブラウと施肥機を一体化した機種を製作することによって作業の同時化と機械化が可能となり、また、土壌中への肥料の混和状態も本実験と異なる種々の形態がとれると思われる。施肥播種作業については作業の支障は認められなかった。ただし、耕起作業時にボトムブラウの撥土板に土壌の著しい付着が認められ、土壌の反転性能が低下した。一般にわが国では供試機と同様の樹脂板製の撥土板には土壌の付着が極めて少ないとされているが、このことからすると供試圃場の土壌は粘着性の高い土壌であり、機械化作業にとって問題の多い土壌と考えられた。撥土板へ土壌が付着することについては、土性のほかに土壌水分が大きい要因として関与するが、実験時の土壌含水比は35% D.Bであり、この土壌の物理的特性（後記）からみて耕起作業に不適な土壌条件とは認められなかった。一方、農業の現場において土壌水分と作業との問題を広義に考えた場合、かなり広範囲な土壌条件にも対応可能な技術が求められ、供試条件は当然この範囲に含まれると判断する。これについては、セラード地域にはデスクブラウが普及しており、ボトムブラウを保有し、これを利用する農家がないことからみて、農家が付着した土壌を強制的に除去する機能を備えたデスクブラウを経験的に選択しているものと推察した。系列-4は参考的に実施したものである。系列-2と同様に牧草が作溝刃にからみついて作業の障害となったこと、および土壌硬度が著しく大きかったために機械の破損を防ぐ必要から作用深さを浅くせざるを得なかったが、この結果から適正圃場条件〔夾雑物が少なく、土壌硬度が6 Kg/cm²程度以下（推測値）〕では実用性があると推察される。

(2) 土壌断面の観察状況

各系列における土壌断面の状況については図-3のとおりであった。播種時に施肥量の全量を施用した系列-1・2・4ではいずれも直線状に施肥され、種子と肥料との位置関係は系列-1では種子の斜下側、深層施肥播種機による系列-2・4では種子のほぼ側方

に施肥された。これに対して、耕起時に施肥量の1/2、播種時に1/2を施用した系列-3では、系列-1と同様に種子の斜下側に直線状に施用されたほか、その下側約12cmの位置に平面状に施用されたのが特徴的であった。なお、系列-2・4では機械の規格・形式や土壌の硬さなどとの関係から施肥位置が浅くなったが、供試機械の構造からみて適正条件下では、深さ25cm程度の位置に肥料を施用できることが推察される。

(3) 土壌中への肥料の混和状況

土壌中への肥料の混和状況を土層の各測点から採取した土壌浸出液の電導度でみると図-4~7のとおりであった。系列-1・2・4では全ての肥料が一ヶ所に集中して直線状となって施用されたのに対し、系列-3では土層の浅い位置に肥料が直線状に施用されたほか、この位置より5cm程度深い位置に平面状に施用されたことが認められ、計画どおり肥料が分布したことが明確である。ただし、この場合、土層の一定の深さの全ての面を肥料が均等に被覆するのではなく、すき溝の中心部に施用量が多い傾向があった。したがって、施肥位置と播種位置を一致させるためには、耕起作業と播種作業を本実験のように別々の工程で実施するのではなく、同一工程で行なうことも今後の課題として検討することが必要であろう。次に、これらの結果を施肥・播種位置の観察結果(図-3)と対比するとほぼ近似した傾向が認められたが、一部一致しない点については土壌採集範囲が測点の相互間隔に比べて大きかったこと、作業中肥料ホッパー等から飛散した肥料が検出されたものと考えられた。

なお、土壌中への肥料の混和状態を知る方法として適用した本手法は機械化作業に関する実験にとって新たな試みであったが、測定結果からみると実用性があり、とくに土壌中への肥料の混和が本実験より複雑化した場合には観察による判断が困難となるのでこの手法の効果がより増すと考えられる。

(4) 土壌の硬さ

土壌の硬さについては図-8~11のとおりであった。供試圃場では作業前の土壌の硬さが図-1からも判るように、上層の硬さが著しく大であったが、耕起作業等によって表層の土壌硬度が低下したことが判った。作業後の土壌の硬さからみて、系列-4は不耕起方式であるために作溝爪の作用位置の周辺部以外は作業前と同等の土壌硬さを示し、作用深さ15cm程度では作溝爪の両側8~10cmの範囲で土壌が膨軟となることが判った。これに対して他の系列では、系列-2>1>3の順に土層内の土壌硬度が大となった。これには重デスクハローによる表層土(5~10cm)の鎮圧効果が影響したものと推察されたが、播種後に鎮圧作業を実施しなかったために土壌表面の硬さは他より小さくなった。次に系列-1と3とを対比した場合、碎土、播種時においてトラクタの車輪による踏圧の影響があり、詳細な比較は困難であるが、全体として系列-3が系列-1より土壌表層の硬

度が小さい傾向が認められた。なお、これらの結果からすると、播種機の駆動・鎮圧輪の土壤鎮圧効果は深さ0～2 cm程度の範囲に限られるのに対し、トラクタの車輪の鎮圧効果は25～30 cmの深さに及ぶことが明らかとなった。したがって、土壤の硬化を軽減するには、トラクタや作業機を軽量化することと合わせて作業工程数を少なくすることが効果的であり、具体的には作業工程の省略と同時化が望ましいことになる。前者については深層施肥播種機等による不耕起栽培法やミニムティレージ方式の適用、後者については、系列-3に示すような複数の作業の同時化があり、これについては関連する機械の開発を伴うことが前提となる。

(5) 作業機・作業系列の特性

これらの結果をもとにして、セラード地域における大豆栽培および土壤との関連から作業機の種類別、作業系列別の特性を整理すると次のとおりである。

1) 作業機について

- ① デスクブラウとボトムブラウでは耕起作業開始時の土壤の反転性は後者が優れているが、ボトムブラウは作業距離が5～6 mに達すると撥土板に土壤が付着し、本来の反転性能を維持できず、したがって長時間作業では両者の反転性能には大差が認められないことになる。これとの関連でセラード地域の農家がボトムブラウを保有しない、あるいは使用しない理由を考えると、耕起時期の土壤条件（主として土壤水分）では反転性能が低いこと、デスクブラウに比べて牽引力が大きく、したがって作用幅が狭くて能率が低いこと、耕盤の形成を促進し易いこと等が考えられ、これら全体からみてデスクブラウの使用が効果的と考えられた。
- ② デスクハローについては、重デスクハローは作物残渣等の埋設効果は普通形より大きい、土壤の硬化を促進する傾向があり、通常の栽培では普通形で十分目的を達することが可能と考えられた。
- ③ 施肥播種機については、通常の施肥播種作業では供試したダブルデスク形オープンナを装備した形式が適しており、セラード地域全域に普及している。一方、深層施肥播種機は作用深を増すことによって土壤上層の膨軟化とその範囲の拡大に効果があるが、筆者らの実験結果からみて、作用深さ20～30 cm、畦幅50～60 cmの条件では土壤の上層全体を膨軟化することは困難であったことから、本実験においても部分耕の域を脱し得ないと思われた。また、作溝爪の形式が直刃形であるために、作物残渣を埋設した直後の圃場や土壤が膨軟な圃場では作業時にこれらを掻き出し、作業精度が若しく低下する。したがって、この作業機を使用するに当たっての条件としては地表・土壤中ともに作物残渣が少ないこと、土壤が比較的膨軟であること、耕うん等の土壤処理後長時間を経過し土壤が安定化していることが不可欠であり、作物残渣や土壤硬

さについての条件が満たされれば不耕起栽培に適した作業機といえ、省エネルギーの視点も含めて今後普及が予想されるが、そのためには栽培的視点からの検討を早急に行なうことが重要となる。

2) 作業系列について

- ① 系列-1は、一般に普及している方式であり、深層施肥は不可能であるが、作物残渣等の多い条件下でも作業に支障がないという特長がある。深耕が可能であり施肥の形態は直線状である。
- ② 系列-2は、作物残渣等の多い条件下では作業が困難であるが、(5)-1)-②に述べた条件が満たされれば系列-4の適用が可能となり実用性と合わせて省エネルギーの効果も増大する。これらの方式では直線状の深層施肥が可能となるが、土壌は部分的に膨軟になる程度である。
- ③ 系列-3は、作物残渣等の多い条件下でも作業が可能であり、深耕・深層施肥が可能となる。このうち施肥については、他と異なり、下層に平面状に施肥されるほか、上層に直線状に施肥されるが、耕起と施肥との同時作業機を適用することによってさらに全層施肥が可能なが予測される。

4. CPAC内場の土の物理的特性

以上に述べた研究との関連から、CPAC内圃場の2種の代表的土壌および供試圃場における土壌の液性限界・塑性限界を測定した結果は表-3のとおりであった。全体として液性限界が低く、したがって塑性限界との水分差が狭いという特徴がある。これは僅かの降雨によって機械化作業が困難となる反面、降雨後は短時間に作業可能な状態となることになり、圃場の排水性の良否が重要な要因として関与する。これらの土壌ではとくに雨期において作業期間・時間が短縮され、機械の負担面積が縮小されるために、トラクタや作業機を大型化し、能率化を図ろうとすることになる。機械の経済性とエネルギー的視点から作業の同時化・ミニマムティレージ方式の導入を積極的に図ることが必要と思われる。

5. 研究上の残された問題点

- (1) 農家におけるほぼ同等の圃場条件、機械・作業条件下で各系列の作業特性を検討するとともに、大豆の生育・収量に及ぼす各系列の効果を明確にする。
- (2) 深層施肥播種機の夾雑物の露出・埋没に対する適応性を明確にする。
- (3) 本実験では、耕起との同時作業によって深層に施肥する方式(系列-3)を模式的に実施したので、耕起と施肥の複合作業機を開発し、その作業特性を把握する。また、深層施肥と播種との同時作業化についても検討する。

- (4) 各種の圃場条件に対する各系列の作業特性・負荷特性・燃料消費量等を明確にする。なお、負荷特性・燃料消費量等については実験装置が不備なために本実験では計測を行なわなかったが、一般に普及している作業機・作業方式より全般的に負荷の増大する作業が増す傾向があるために、負荷特性・耐久性・燃料消費量およびトラクタとの組合せ等についての研究が重要となる。
- (5) これらの技術が農家に実用的技術として普及し、定着するには、研究機関等における技術研究を積極的に推進することが重要であり、これとの関連で実規模における実証的研究を行なうという研究体制の整備が不可欠である。
- (6) なお、機械化作業技術に関する研究を行なうに当っては、電気計測法の適用が不可欠となるが、現在、当研究所にはこれらの計測用器材が不備であり、計測技術を修得した研究者が不在である。今後、早急に器材の整備と研究者の養成を図る必要がある。

6. 摘 要

- (1) セラード地域における大豆栽培では、雨期の干ばつ時における大豆の生育の維持が重要な問題であり、このためには深耕と深層施肥によって大豆の根系を深層まで発達させることが効果的とされている。
- (2) この研究では、深層施肥についての既往の研究成果を参考とし、農業の現場において適用可能な技術水準を前提とした深層施肥による土壌管理の機械化技術を確立することをねらいとして、表-1・2に示す4種の作業機系列(以下、系列とする)を設定して実験を行なった。
- (3) 播種時に肥料の全量を施用した系列-1・2・4では肥料が土層の比較的浅い位置に直線状に施用されたのに対し、耕起時に肥料の1/2量、播種時に1/2量を施用した系列-3では土層の浅い位置に肥料が直線状に施用されたほか、その下側約15cmの位置に平面状に施用することができた。したがって、この系列では耕深を増すことによって深層にほぼ平面状に施肥することが技術的に可能であることが判った。これらの結果は、土層断面の各測点から採取した土壌の浸出液の電導度を測定し、これによって施肥位置を判断する方法によっても確認することができた(図-3~7)。この方法を作業技術的研究に応用した例はないが、実用性の高いことが明確であり、今後土壌と肥料とのより複雑な混和を行なった場合に混和状態を知るうえで有効な手段と判断した。
- (4) 土層別の土壌硬度については、系列-1・2・3では耕起作業によって15~20cmの深さまで土壌硬度の低下が認められたが、系列4では作溝装置の中心から両側8~10cmの範囲で土壌硬度が低下したほかは不耕起と同等の硬さとなった(図-8~10)。
- (5) 駆動鎮圧輪の土壌鎮圧効果は、表層0~2cmの範囲にとどまったのに対し、トラクタの

- 車輪の踏圧効果は深さ25～30cmまで達することが明らかとなった。
- (6) この実験との関連から、CPAC内圃場における代表的土壌の物理的特性を調査した。全体として液性限界が低く、塑性限界との差が小さいという特性があり、機械化作業を進めるうえで作業精度・負担面積等に問題があることが判った(表-3)。
- (7) これらの結果から、セラード地域における土壌条件等に適した大豆栽培のための作業方式としては、深耕と深層・浅層施肥をねらいとして、「デスクプラウ(ファーティライザ付)→デスクハロー→施肥播種機」の耕起施肥播種方式、深層施肥と省エネルギー的効果をねらいとして、「深層施肥播種機」による不耕起施肥播種方式が適しており、前者についてはデスクプラウとブロードキャスタ等施肥機を組合した複合作業機の開発が不可欠となる。これらの方式の施肥形態は著しく異なり、また、大豆の生育・収量との関連が明らかでないので検討の要がある。

Table - 1 Using implements and its Matching with tractor

Kind of machine	Type & size	Kind of tractor
Disc plow	26" × 4 discs	Valwet 86
Bottom plow	14" × 1	TUBOTA
Heavy disc harrow	26" × 20 discs	Valwet 110
Disc harrow	20" × 20 discs	MF 285
Planter	5 lines	MF 285
Planter (deep fertilizing attachment)	7 lines	Valwet 86

Table - 2 Mechanical working & fertilizing System

System No	Mechanical working & fertilizing System
1	Disc plow→disc harrow→planter (whole fertilizer in put at seeding)
2	Disc plow→Heavy disc harrow→planter (deep fertilizing attachment) (whole fertilizer in put at seeding)
3	Bottom plow→disc harrow→planter (half volume of fertilizer in put at plowing and other at seeding)
4	Planter (deep fertilizing attachment) (non tillage system) (whole fertilizer in put at seeding)

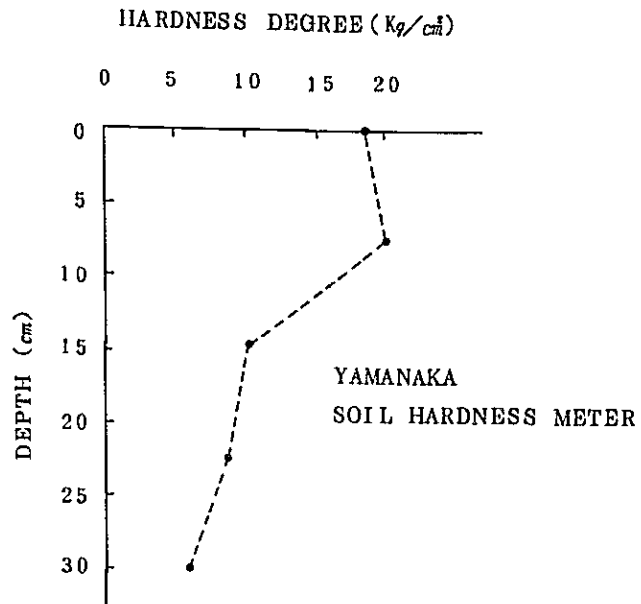


Fig-1 Hardness degree of soil layer
(before mechanical working)

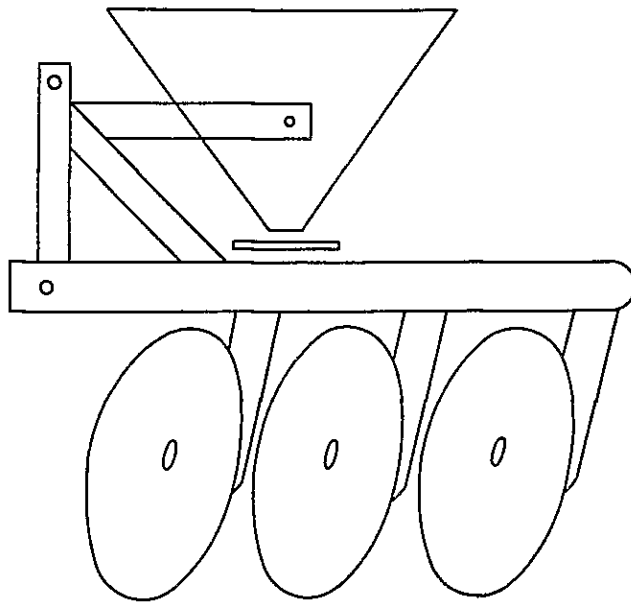


Fig-2 Plowing and fertilizing machine
combination with disc Plow and
fertilizer broadcaster

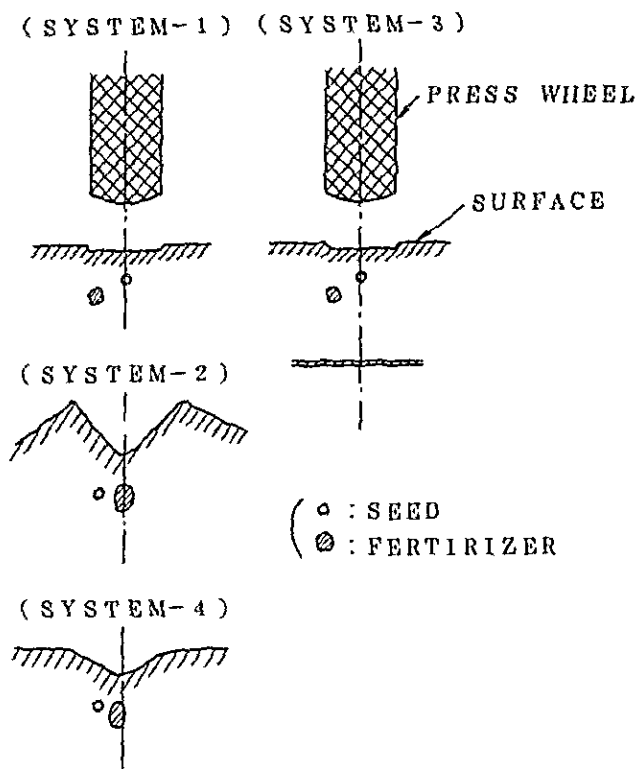


Fig-3 Section of soil layer after seeding and fertilizer

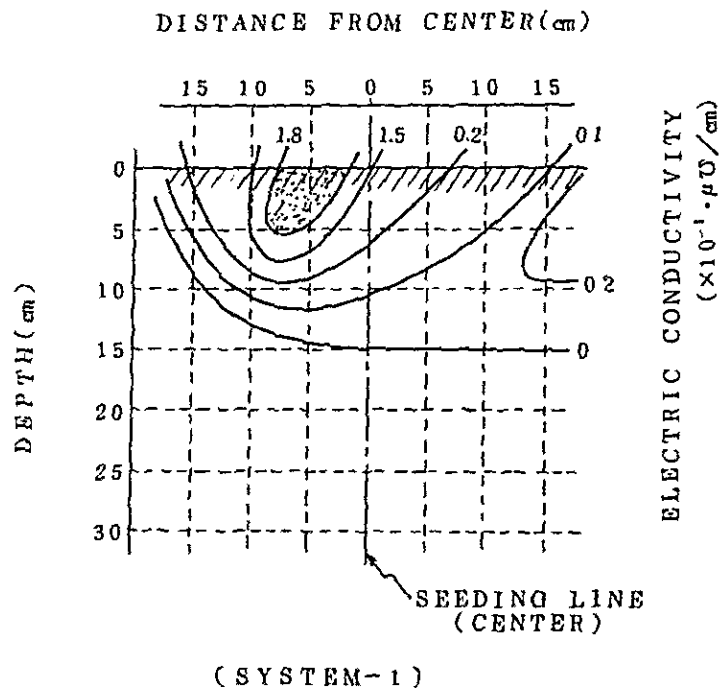


Fig-4 Mixing condition of soil and fertilizer

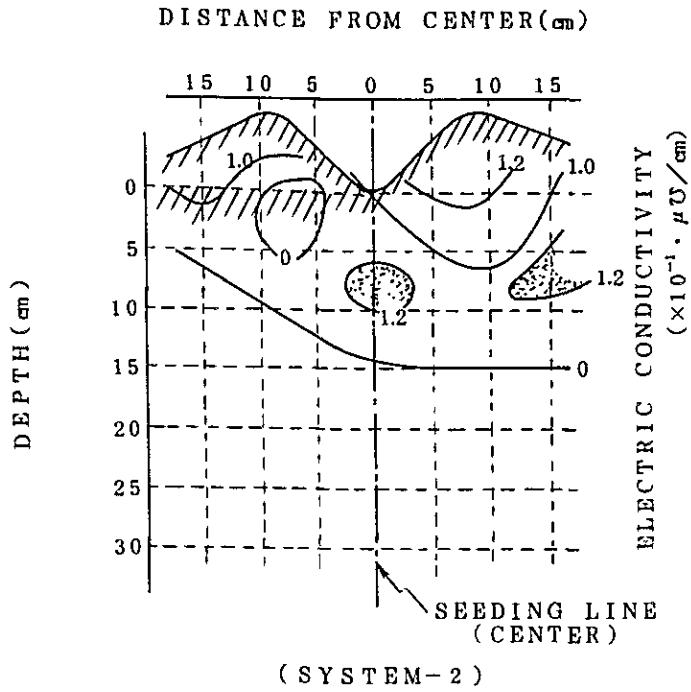


Fig-5 Mixing condition of soil and fertilizer

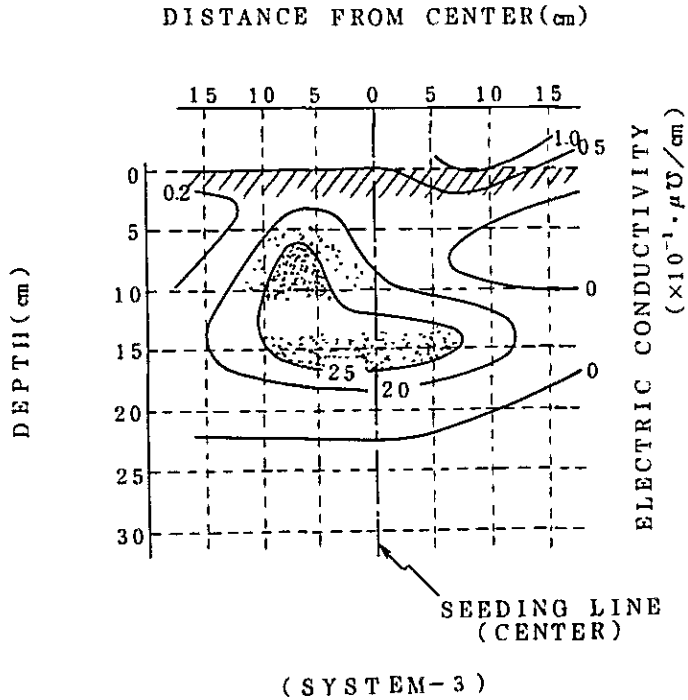
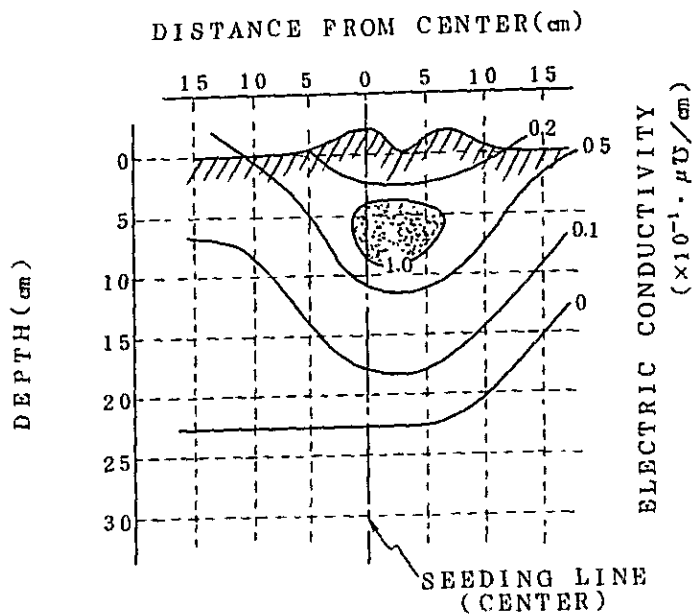
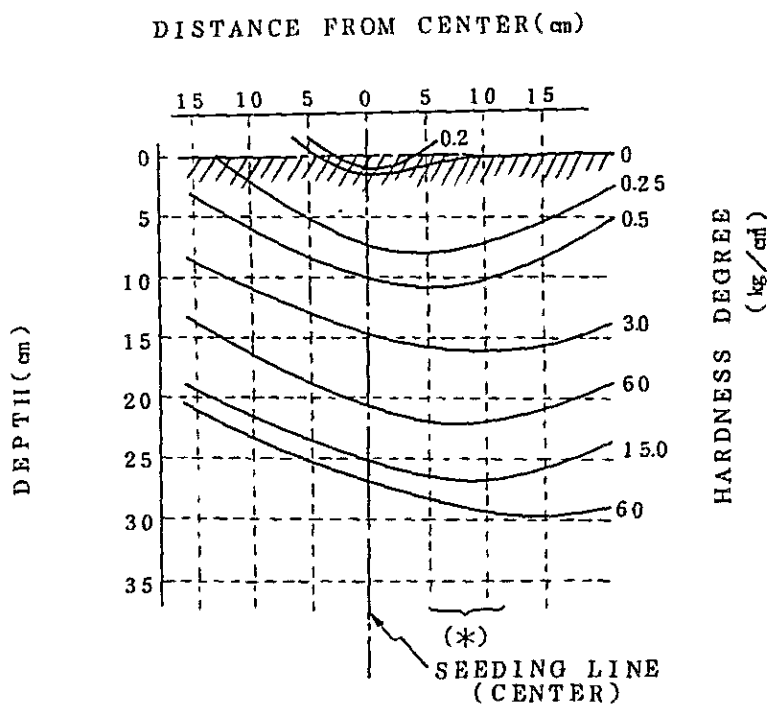


Fig-6 Mixing condition of soil and fertilizer



(SYSTEM-4)

Fig-7 Mixing condition of soil and fertilizer



(SYSTEM-1)

(*: Situation of tractor wheel traveling)

Fig-8 Hardness of soil layer

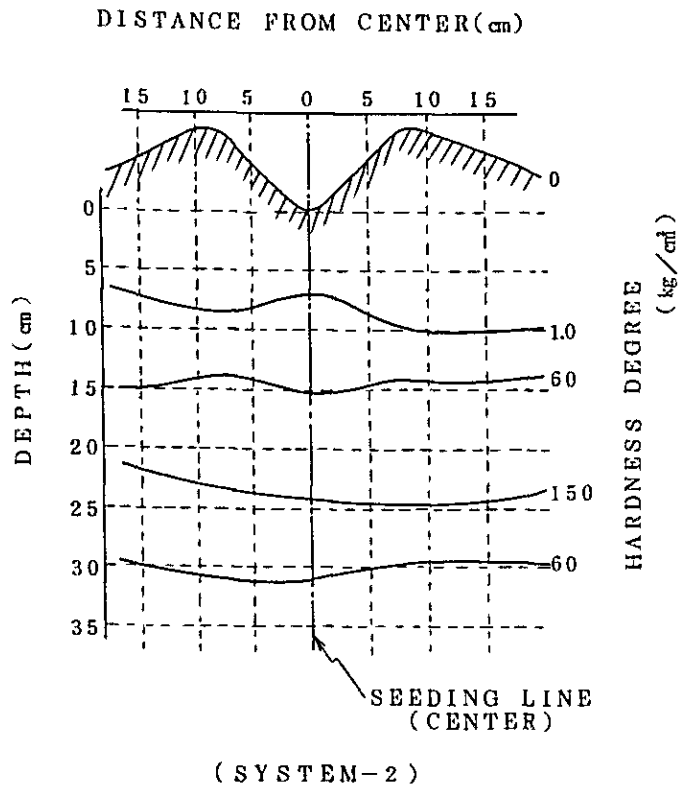
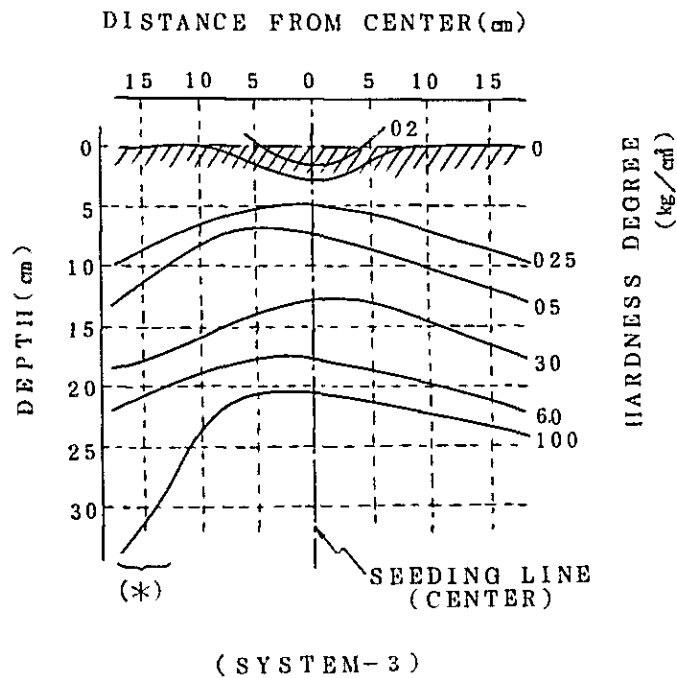
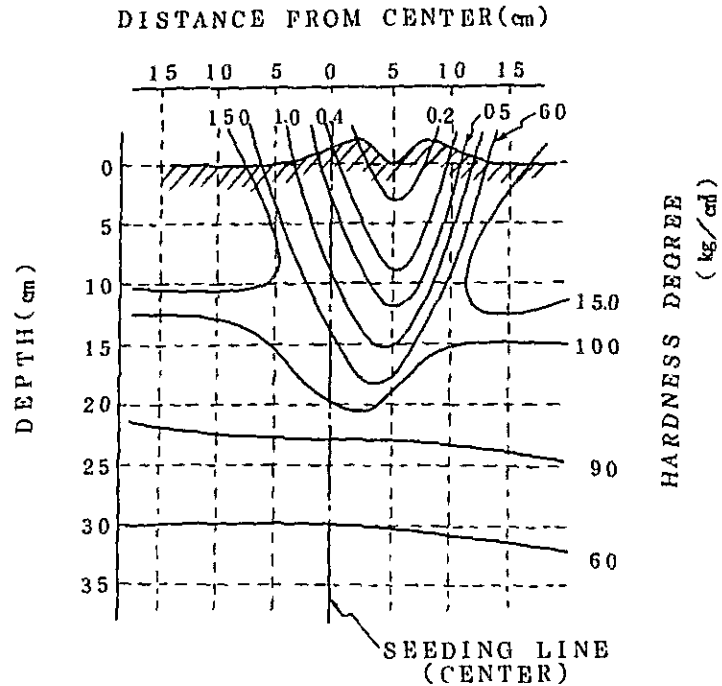


Fig-9 Hardness of soil layer



(* : Situation of tractor wheel traveling)

Fig-10 Hardness of soil layer



(SYSTEM-4)

Fig-11 Hardness of soil layer

Table - 3 Liquid limit and plasticity limit
of various soil at CPAC field

Kind of soil	Liquid limit (%) (*)	Plasticity limite (%)
Latosolo Vermelho-Amarelo	46.3	38.0
Latosolo Vermelho-Escuro	41.7	30.3
Soil of test field	38.5	33.1

(*) USE OF FALL-CONE LIQUID LIMIT TESTER

15. ブラジル農業事情

中 精 一

1. はじめに

今年の3月末から5月上旬までの期間、ブラジルの首都ブラジリアにある研究所に勤務する機会を得た。当方の事情から勤務期間が1ヶ月半に短縮されたこともあって、現地の農業事情を詳細に見聞することはできなかったが、現在ブラジルが国家的事業として進めつつあるセラード地域の農業的開発の実態は研究所がその中心に位置することもあって細かに見ることができた。そもそも、ブラジルの農業を大別すると、アマゾン河流域のいわゆる熱帯降雨林地帯、生産力の低いセラード地域、農業的開発が早くから進められたパラナ州を中心とした地域それにリオグランデドスルを中心とした南部の牧畜地域があるが、日本の20数倍の面積をもつ国土であることから私の見聞した範囲はそれほど限られた地域であるということを御理解頂きたい。

2. セラード地域の農業

セラード地域は、ブラジルのほぼ中央に広がる曲りくねった灌木が点散する標高500～1000mの台地であり、面積はブラジル全体の約22%、日本の約5倍に当る。この地域が近年注目されつつあるのは、わが国の協力などによって、農業的開発が進められつつあるためであり、すでに各地で荒地が緑の大地に変わりつつある。セラード地域の基本的作付体系は「麦-大豆」であり、ブラジルが日本の丁度、反対側（時差12時間）にあることから、間もなく春を迎え大豆の播種が行われることになる。気象的にみて日本と異なる点は、雨期と乾期があり、大豆が作付される夏期は雨期に当る。ところが、雨期の期間といえども、干ばつ（ペロニョ）があり、これが、セラード開発の本命とされる大豆に壊滅的被害を及ぼすことが多く、その対策が急がれているのが現状である。この様に、穀作を中心として開発が行われる一方では、穀作は作業が繁雑であること、天候の影響を受け易いこと、労力対策が問題となること等の理由から経営規模が増すにしたがって穀作から畜産へと移行する例が多く、牧畜は現地の農家にとっては究極の目標とされている様であった。

3. 作業・機械について

耕りんは、重デスクハローで簡易耕することが多く、ブラウ耕は、数年毎に実施する程度

(注) 本報告は、ニューインブル紙35に発表したものである。

である。播種は、大豆にはプランター、麦には、シードドリルの利用が多く、管理作業は、ブームスプレーヤを利用し、航空防除は意外と少ない。収穫は全てコンバインを利用している。これらの作業では、委託作業の占める割合が多く、農業がかなり企業的感觉によって営まれている。一例として麦の収穫をみると、セラード開発の拠点の一つであるサンゴタルトでは日系の入植者による大規模な穀作（1戸当り250～1200ha）が進められているが、ここでは、生育の途中で干害等のためにha当り収量が120kg以下となった場合はそれ以後の作業と作物を放棄する様であった。これは、作物生産そのものが、常に投入する機械・肥料等の価格との比較のうえに立って判断されていることになり「1粒の米も大事にしよう」とする日本人にとっては、十分理解できない面もあった。

4. その他

ブラジル滞在中にブラジリアから1100Km南のカンピーナスまでドライブする機会があった。所要時間正味13時間、いくら自動車道の発達したブラジルでもこのドライブは「気狂いだ」と言われたが、終ってみる景色の移り変りを眺めただけ良かったと思われたが、その最も大きい変化は、ミナスジェライス州から河を越えてサンパウロ州に入ったとたん、見渡す限りのサトウキビ畑を目にしたことであろう。ブラジルは、すでに、燃料としてアルコール100%の車が走る国であり、その原料はいうまでもなくこのサトウキビである。目下、その面積拡大のために多くの農家が勧誘を受けているということであった。この辺までくるとコーヒーの主産地ということでも色々の面からの栽培試験の状況を見ることができた。

5. むすび

ブラジルの農業については、限られた紙面では、まだまだ書きつくせない様であるが、とにかく“広い”の一言につき、極端な高レベルと低レベルが同居した農業といえる。そして、一方では、工業化に力を入れ、他方では農業立国を旨ざして開発に力を入れており、いずれは世界有数の農産物輸出国になるだろうと思われた。これがセラードの開発にかかっていることは言うまでもない。しかし、現地では規模拡大が進めば進むほど運営はマネージャに委託する傾向にあること、金持ちが農場（ファゼンダ）を持ちたがるのは良いがこれは穀作ではなく牧畜であること、さらに、土地が広過ぎることによる問題があること、すなわち、道路や電線を張る距離の長いこと、資材や農産物の輸送距離がむやみに長いことなどの問題がある様であった。また、農業生産が企業的感觉で運営されているのは良いが、農業機械や機械化技術にたづさわる研究者・指導者が極めて少く、これを一部の大農場やメーカーに依存していることにも問題がある。いずれにしても、今後、わが国からの技術的援助が大きく期待される状況にあり、また、これによって生産技術の水準の向上が可能と思われた。

EVAPOTRANSPIRATION RATES FROM AN IRRIGATED SOYBEAN FIELD IN CERRADOS AS
MEASURED BY ENERGY BALANCE METHOD

Takeshi Horie* and Ariovaldo Luchiari Jr.**

1. Introduction

Cerrados is a region of Brasil that covers about 20% of whole land area, which is approximately 5 times as large as Japan. Its extensive development for agriculture has very recently been started and actively being made. Major part of Cerrados covers the climatic range 20 - 26°C in annual mean temperature, 800 - 1,800 mm in annual precipitation (c.f. Camargo et al., 1977) and 5,400 - 7,000 MJ m⁻² in annual solar radiation (c.f. Mota et al., 1975). The most important agrometeorological problem there is that the precipitation is concentrated in rainy half year and the rest of the half has only a very scarce rainfall. Moreover, the rainy season is often interrupted by a considerably long dry spell called "veranico". These hydroclimatological conditions limit the crop season and make the production unstable in Cerrados. For the establishments of an efficient and stable agricultural production there, therefore, it is supremely important to clarify the seasonal variations and the geographical distributions of water balance over the region, and to develop suitable cropping systems including irrigation for the respective sub-regions.

Evapotranspiration rate is one of the major terms determining the water balance on land surfaces or crop fields. The rate is potentially determined by weather conditions of energy supply for vaporization and atmospheric evaporatory demands. The potential evapotranspiration rate can well be estimated from weather conditions by use of physical model of Penman (1948) or by use of modified Penman equations (Priestly and Taylor, 1972; Doorenbos and Pruitt, 1975; Linacre, 1977) with suitable parameters to meet the conditions. On the other hand the actual evapotranspiration rate is a function of the potential evapotranspiration rate, soil water content, plant water status and also of plant growth stage. Although many empirical or semi-empirical models have been proposed to estimate the actual evapotranspi-

* Agrometeorological Specialist of Projecto de Cooperacao em Pesquisa Agrícola no Brasil (Cerrados) and Division of Meteorology, National Institute of Agricultural Sciences, Tsukuba, Japan.

** Agrometeorologist of CPAC

ration rate is a function of the potential evapotranspiration rate, soil water content, plant water status and also of plant growth stage. Although many empirical or semi-empirical models have been proposed to estimate the actual evapotranspiration rates, they are valid only for particular situations and/or for particular crops, and none of the models now present seems to be universally applicable.

From the facts mentioned above and the fact that few information is available about the evapotranspiration rates in Cerrados conditions, we made measurements of the evapotranspiration rates from a soybean field in Cerrados. The objectives of this study are; firstly, to obtain basic data of the evapotranspiration rates for the entire growth period; secondly, to correlate the observed evapotranspiration rates, with the potential evaporation rate, soil water level and the crop growth stage; and thirdly, to develop a reliable model to be applicable for estimating the actual evapotranspiration rates in Cerrados conditions.

Soybean was chosen as experimental crop, because it is one of the economically most important crops in Cerrados. For the measurements of evapotranspiration rates, the energy balance method (or Bowen ratio method) was used, since this method has an advantage over other methods such as lysimeter and gas chamber methods in the point that the rates can be measured under undisturbed natural conditions. When the sensors are well calibrated, this method was shown to be sufficiently accurate (RGETP, 1967).

Since the measurements are still being conducted, this report mainly describes about the methodology, way of data analyses and some preliminary results. Some suggestions are also given for the extensions of the present research to the next steps of the study. A full report of this study will be given elsewhere, after the measurements are completed and the data are fully analysed.

2. Principle of the Energy Balance Method

In this section the energy balance method for measuring the evapotranspiration rate is explained on the basis of basic physical laws.

The energy budget on ground or crop surfaces is schematically represented in Fig. 1. From the energy conservation law, the following relation holds for on the surface in steady state.

$$R_n - LE - H - G = 0, \quad (1)$$

where R_n is net radiation flux density ($W m^{-2}$); E , water vapour flux density ($kg m^{-2} sec^{-1}$); L , the latent heat for vaporization ($=2.45 \times 10^6 J kg^{-1}$); H , sensible heat flux density. In addition to these terms, the energy for photosynthesis and respiration and that stored in crop could be considered. These energy, however, are very small in comparison with the terms in Eq. (1), and can usually be neglected, when the averaging time is sufficiently large.

The net radiation flux R_n is the net gain or loss of the radiation energy that the surface receives or emits, and given by (see Fig. 1),

$$R_n = (1-a) R_s + (R_{LD} - R_{LU}), \quad (2)$$

in which a is the reflectivity or albedo of the surface; R_s , the shortwave radiation flux ($W m^{-2}$); R_{LD} and R_{LU} , the downward and upward longwave radiation flux ($W m^{-2}$).

Eq. (1) (and Fig. 1) shows that the radiation energy supplied to the surface is partitioned into the latent and sensible heat fluxes and soil heat flux. By use of diffusion resistance equations, the sensible (H) and latent heat (LE) fluxes may be expressed by,

$$H = C_p \frac{T_{a1} - T_{a2}}{r_H} \quad (3)$$

$$\text{and } LE = \frac{L (q_1 - q_2)}{r_v} \quad (4)$$

where C_p is the specific heat of air ($=1.0 \times 10^3 J kg^{-1} ^\circ C^{-1}$); ρ is the density of air ($=1.2 kg m^{-3}$); T_{a1} and T_{a2} are the air temperatures ($^\circ C$) at two different heights above the surface; q_1 , and q_2 , the absolute (or specific) humidity at the two levels ($kg m^{-3}$); r_H and r_v , the diffusion resistances ($sec m^{-1}$) to heat and water vapour transfer, respectively. In the surface boundary layer, r_H and r_v both are governed by turbulent transfer processes, so that it may well be assumed that,

$$r_H = r_v = \frac{1}{\int_{Z_1}^{Z_2} K(z) dz}, \quad (5)$$

where $K(z)$ is diffusivity of momentum ($m^2 sec^{-1}$) at height Z . Then, the

ratio H/LE , that is Bowen ratio (β), can be expressed by,

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{C_p \rho (T_{a1} - T_{a2})}{L (q_1 - q_2)} \quad (6)$$

By substituting Eq. (6) into Eq. (1), we get the following relation:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (7)$$

Hence, the latent heat flux (LE) or the evapotranspiration rate (E) from land surface or crop field can be obtained by measuring the quantities of the terms on the right hand side of Eq. (7).

The absolute humidity q in Eq. (7) can be replaced by the water vapour pressure e (mb) by the method described below. From Boyle-Charle's law ($PV = RT$), the following relations exist respectively for water vapour and dry air,

$$e \frac{M_w}{\rho_w} = RT \quad (8)$$

$$\text{and } (p-e) \frac{M_a}{\rho_a} = RT, \quad (9)$$

in which M_w and M_a are the molecular weights of water vapour and dry air; ρ_w and ρ_a , the densities of water vapour and dry air; P , the atmospheric pressure (mb); R , the gas constant ($=8.31 \text{ J mole}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$); T , the absolute temperature ($^\circ\text{K}$).

From Eqs. (8) and (9), it becomes,

$$q = \rho_w = \frac{eM_w}{RT} = \frac{eM_w \rho_a}{M_a (p-e)} \quad (10)$$

By setting $\epsilon = M_w/M_a$, Eq. (10) becomes,

$$q = \epsilon \frac{e}{p-e} \rho_a = \epsilon \frac{e}{p} \rho_a, \text{ for } e \ll p. \quad (11)$$

By substituting Eq. (11) into Eq. (6), it yields,

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{C_p P}{L\epsilon} \frac{T_{a1} - T_{a2}}{e_1 - e_2} = \gamma \frac{T_{a1} - T_{a2}}{e_1 - e_2} \quad (12)$$

in which γ is the psychrometric constant ($\gamma = C_p P / L\epsilon$) = 0.66 mb °C⁻¹ at P = 1,013 mb).

The water vapour pressures at the respective heights (e_1 and e_2) can be obtained from the aspirated dry (T_a) and wet (T_w) bulb temperatures at the heights. Namely,

$$\begin{aligned} e_1 &= e_s(T_{w1}) - \gamma(T_{a1} - T_{w1}) \\ e_2 &= e_s(T_{w2}) - \gamma(T_{a1} - T_{w2}), \end{aligned} \quad (13)$$

Where $e_s(T_w)$ is the saturation vapour pressure (mb) at the wet bulb temperature T_w . $e_s(T_w)$ can be obtained from the following Goff - Cratch equation:

$$\begin{aligned} \log e_s &= 7.90298 (T_s/T - 1) + 5.02808 (T_s/T) \\ &- 1.3816 \times 10^{-7} (10^{11.344(1-T/T_s)-1}) \\ &+ 8.132 \times 10^{-3} (10^{-3.49149(T_s/T-1)-1}) \\ &+ \log e_{ws}, \end{aligned} \quad (14)$$

where $T = T_w + 273$ °K (absolute thermodynamic temperature); T_s , steam point temperature ($T_s = 373$ °K); e_{ws} , saturation pressure of liquid water at steam point temperature ($e_{ws} = 1,013$ mb at 1 atmosphere).

3. Measurements and Data Processings

3.1 Experimental field

The measurements of evapotranspiration rates were made at a soybean field in the campus of Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) in Planaltina, Brasília DF. 15°35'S in latitude and 47°42'W in longitude. The general view of this experimental field and the sensors displacement are give in Fig. 2.

The experimental field was 25 m in width and 156 m in length with the long axis in SE-NW direction. Seeds of soybean, cultivar "Doko" were sown

on the fertilized field at April 15, 1981 in rows of 0.4m space. The direction of the rows of 0.4m space. The direction of the row coincided with the long axis of the field. After the germination, the plants were thinned to 25 plants per one meter of row, so that the planting density was 62.5 plants m^{-2} . Irrigation was made whenever the soil water potential at the 0-15 cm layer reached to -0.66 bar.

The measurements were started from May 12 when the plants attained to 0.37 in LAI and continued to the present day (May 13), and is scheduled to be continued to the maturity stage of the soybean. The direction of the wind was very stable during the entire period of the measurements, and was in the range between SE - E direction for almost all the period. The fetch for the measurements of the temperature profile was 110 m at maximum and 25 m at minimum and approximately 50 m in most cases (see Fig. 2).

3.2 Sensors installations

Fig. 3 schematically shows the sensors installations for measuring the evapotranspiration rates from the soybean field by energy balance method. The wet and dry bulb temperatures were measured at three levels in height (10, 70 and 130 cm above the canopy) by aspirated thermometers (Chino sensors). Net radiation and reflected shortwave radiation fluxes were measured at 2 m above the canopy respectively by a net radiometer (Eko, Model H2111), and by an albedometer (Eko, Neo type). The shortwave radiation flux was measured by a solarimeter (Nakano Noshi-Denshi Type). The measurements of soil heat flux was made by three soil heat flux meters (Eko) set at 2 cm below the soil surface and at different places in order to obtain specially averaged values. The special average of soil surfaces temperatures were measured by three soil thermometers which were placed in a similar way as soil heat fluxmeters.

These sensors were carefully calibrated prior to setting at the field. Especially, dry and wet bulb thermometers, which were used for determining Bowen ratio, were finely tuned, so that the difference in the reading of the three sensors were less than 0.3°C.

All the outputs from these sensors were fed to electronic recorders and continuously recorded for the entire period of the measurements. The general view of the field installation of the sensors are also given in the photographs in Fig. 4.

3.3 Data Processings

The equations shown in the section 2 were coded by FORTRAN. With this program, the inputs primary weather data were processed, and the energy balance terms as well as the evapotranspiration rates, on the hourly and daily bases, were numerically and also graphically output.

The program, format for input data sheet and examples of the outputs are given in the Appendix with sufficient comments.

4. Results

4.1 Diurnal courses of meteorological elements

Fig. 5 shows an example of records of diurnal courses of the meteorological elements related to the energy balance on the soybean field. The results shown in Fig. 5 were obtained on June 3, 1981 and represent one of the typical weather conditions of Cerrados at that season. The record of net radiation flux (R_n) during the night shows a strong radiative cooling, ($R_n = -40 \sim -70 \text{ W m}^{-2}$), while that at the daytime maximum was fairly large (about 600 W m^{-2}). Since LAI was not yet so large (about 1.5) at this day, about 20% of the daytime net radiation flux is shown to conduct into soil as soil heat flux. In the night time the soil heat flux was upward and an energy of $10 \sim 20 \text{ W m}^{-2}$ was supplied to soil surface.

In the daytime the dry and wet bulb temperatures at the lower level (level 1) were higher than those at the upper level (level 2) by about 1°C , indicating that the sensible and latent heat fluxes both were upward. In the night, the dry bulb temperature at the higher level was larger about 1°C than that at the lower level, and the wet bulb temperatures were approximately same between the two levels. This indicates that the sensible heat flux was downward, while the latent heat flux was still upward, although very small, in the night.

Another noticeable point in Fig. 5 is that the soil surface temperature at the midday was about 10°C higher than that at air. This indicates that the soil surface was very dry.

4.2 Diurnal courses of energy balance terms

The diurnal courses of the energy balance terms at two different days were shown in Fig. 6, together with those of vapour pressure deficit of air (VD). VD at the night of both days were 0~5 mb and that at daytime reached about 20 mb.

May 13 (top of Fig. 6) was one day before the irrigation and the soil water potential at 0 - 15 cm layer was estimated to be -0.6 bar. On the other hand, May 15 (bottom) was one day after the irrigation and the soil water potential was -0.15 bar. The difference of the soil moisture between these two days clearly reflected on the diurnal courses of the energy balance terms of these days. Namely, when the soil moisture level was high (May 15), most of the radiation energy supplied to the field was used for evapotranspiration, and the energy converted into soil and sensible heat fluxes was very small. While at May 13 (low soil moisture), the radiation energy used for the evapotranspiration was relatively small and, as a consequence, the soil heat and sensible heat fluxes were large. Moreover, it is clearly appreciated that the percentage of the latent heat flux (LE) to the net radiation flux (R_n) was remarkably lower in the afternoon than that in the morning in May 13. This suggests a stomatal closure in the afternoon of May 13, presumably due to the shortage of available soil water.

The facts so far discussed clearly reflected on the diurnal courses of Bowen ratio β , the ratio of sensible heat flux to the latent heat flux (Fig. 7). Namely, the values during the daytime of May 16 was almost zero, indicating that all the available energy was used for the evapotranspiration. While on May 13, the value of β increased up to more than 1.0 in the afternoon, indicating that more than 50% of the available energy was converted into sensible heat.

Fig. 8 shows relation between the net radiation flux (R_n) and the shortwave radiation flux (R_s) on the basis of the hourly mean. Although relatively large scattering of the observation points may be seen, the following equation may be applicable to a Cerrados conditions for estimating R_n from R_s on the hourly basis, as a first order approximation:

$$R_n = 0.80 R_s - 70 \quad (15)$$

The relatively large scatter of the points in Fig. 8 came from the following aspects. The second term of the right hand side of Eq. (2) gives the effective longwave radiation, and can be expressed by,

$$R_{LD} - R_{LU} = \sigma T_a^4 (a+b\sqrt{e_a}) - \sigma T_s^4 \quad (16)$$

in which T_a and T_s denote the air and the surface temperatures, respectively; σ , the Stefan - Boltzman constant ($= 5.64 \times 10^{-8} \text{ J m}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-4}$); e_a the water vapour pressure (mb) of air; a and b, empirical constants. As is apparent from Eq. (16), the effective longwave radiation ($R_{LD} - R_{LU}$) is strongly affected by the surface temperature T_s , which in turn is influenced by the soil water content. Hence the scattering of the data points in Fig. 8 are reflecting the soil water level.

4.3 Daily evapotranspiration in relation to climate and crop growth

The daily evapotranspiration was calculated by summing up the hourly rates for the major growth period of the soybean crop, and compared with potential evapotranspiration. The potential evapotranspiration (E_p) was calculated by the following Penman type equation modified by Doorenbos and Pruitt (1975):

$$E_p = \frac{\Delta}{\Delta + r} R_n + \frac{r}{\Delta + r} \left\{ 0.27 \left(1 + \frac{U}{100} \right) \right\} V, \quad (17)$$

in which Δ is the slope of the saturation vapour pressure curve at the daily mean air temperature ($\text{mb } ^\circ\text{C}^{-1}$), V the daily sum of wind run at 2 m height (km day^{-1}) and V the daily average of vapour pressure deficit of air (mb). Fig. 9 shows the relation between the daily actual evapotranspiration (E_T) and the potential evapotranspiration (E_p) for the period 56-100 days after the sowing in which the soybean crop almost fully covered the ground ($\text{LAI}=2.0-4.1$). The potential evapotranspiration in the winter season of Cerrados ranged between $3.5-6.0 \text{ mm day}^{-1}$. The actual evapotranspiration (E_T) in turn ranged between 70-100% of the potential evapotranspiration (E_p). The averaged crop coefficient (E_T/E_p) over the period was estimated to be 0.85.

Fig. 10 gives the changes with the crop growth stage of the crop coefficient (K_c) averaged over the successive 10 days. The value of K_c changed from ca. 0.7 at the initial growth stage to reach about 0.9 at the middle stage when LAI was maximum, and then decreased gradually.

From the results so far shown, the actual daily evapotranspiration from irrigated soybean field in winter season of Cerrados may be estimated by equation (17) together with the crop coefficient for each growth stage. The problem is that net radiation R_n is not available from climatological data in Cerrados, and hence it must be estimated from the available weather data. Fig. 11 shows the relation between the daily net radiation (R_n) and that of the shortwave radiation (R_s) for the major growth period of the soybean. The relation shown in Fig. 11 may be approximated by,

$$R_n = 0.57R_s - 1.8. \quad (18)$$

In conclusion, the actual evapotranspiration from irrigated soybean field in winter season of Cerrados may sufficiently be estimated for the successive growth stages from the climatological data of daily sum or average of the shortwave radiation, air temperature, humidity and wind run, by use of the equations given above and the crop coefficient here obtained.

5. Some Remarks for Further Studies

The most important work which must be made after this report is to continue the measurements till the maturation stage of the soybean and to analyse the data in a similar way as was described above. Then, for the next step, it is recommended to develop an empirical model which can be applicable to the estimation of the actual evapotranspiration rates in Cerrados conditions from weather, soil moisture and crop growth data like LAI. The following type of model may be suggested as a first step:

$$E_T = k E_A \text{ or } k R_n, \text{ or } k E_p \quad (19)$$

in which E_T is the daily or weekly values of the measured evapotranspiration E_A , R_n and E_p are the class A pan evaporation, the net radiation and the potential evaporation for the same period as E_T , respectively. From the data analyses made above, it appears to be most promising to correlate E_T with E_p .

Then it is suggested to develop a regression model of the following type; which gives the effect of soil moisture ϕ_s and LAI on the proportional constant k :

$$k = A_0 + A_1 \phi_s + A_2 \text{ LAI} \quad (20)$$

in which A_0 , A_1 and A_2 are empirical constants that can be obtained from the multiple regression analysis.

It is recommended that the following equations have been proposed for estimating the potential evapotranspiration from the climatic data in addition to Eq. (17). (1) Solar radiation correlation model by Doorenbos and Pruitt (1975):

$$E_0 = a + b \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) R_s \quad (21)$$

in which a and b are empirical constants which must be estimated under Cerrados conditions. (2) The model of Priestly and Taylor (1972):

$$E_0 = a \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) R_n \quad (22)$$

where a is again an empirical constant. (3) Air temperature model of Linacre (1977):

$$E_0 = \frac{700 T_m / (100 - A) + 15 (T_a - T_d)}{(80 - T_a)} \quad (23)$$

and $T_m = T_a + 0.006 h$

in which T_a is mean air temperature ($^{\circ}\text{C}$); A is the latitude (degrees); T_d is the mean dew point temperature ($^{\circ}\text{C}$); h is the elevation of the observation point (m).

After the actual evapotranspiration model is established, it would be recommended to apply it to the problems such as the assessment of the water balance for each region of Cerrados, the irrigation schedule or to the Veranico problems.

Acknowledgements

This work is indebted to the nice organization of the research by Dr. W.J. Goedert, technical director of CPAC, Dr. T. Ogata, head of the Japanese consultant team of projeto da cooperação em pesquisa agrícola no Brasil (Cerrados) and Dr. M. Resende, Coordinator of soil - plant-water relationship project. Thanks are also to Dr. E.M. da Silva for kindly proposing the data of soil water potential and to Dr. L.H.R. Castro for helping the computations. The kind supports to this work given by the technical staffs of CPAC are acknowledged.

REFERENCE

- CAMARGO, A.P. de, Alfonsi, R.R. Pinto, H.S. and Chiarini, J.V., 1977. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em áreas de Cerrado. In: IV Simposio Sobre o Cerrado, (ed. by Univ. de São Paulo). Livraria Itatiaia Editora LTDA. pp. 89-120.
- DOOREMBOS, J. and Pruitt, W.O., 1975. Irrigation and drainage. Paper 24, Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO, Rome.
- LINACRE, E.T., 1977. A simple formula for estimating evapotranspiration rates in various climates, using temperature data alone. Agric. Meteor., 18, 409-424.
- MONTEITH, J.L., 1973. Principles of Environmental Physics. Edward Arnold Publishers, London, 147 pp.
- MOTA, F.S. da, Beirsdorf, M.I.C. and Acosta, M.J.C., 1977. Estimation of Solar radiation in Brasil. Agric. Meteor., 18, 241-254.
- PENMAN, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. Lond. Ser. A, 193, 120-145.
- PRIESTLY, C.H.B. and Taylor, R.J., 1972. On assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Mon. Weather Rev., 100, 81-92.
- RESEARCH Groupe of Evapotranspiration, 1967. On Evapotranspiration from paddy rice Agric. Meteor., Tokyo, 22, 149-157.
- THOM. A.S. and Oliver, H.R., 1977. On Penman's equation for estimating regional evapotranspiration. Q.J.R. Meteor. Soc., 103, 345-359.

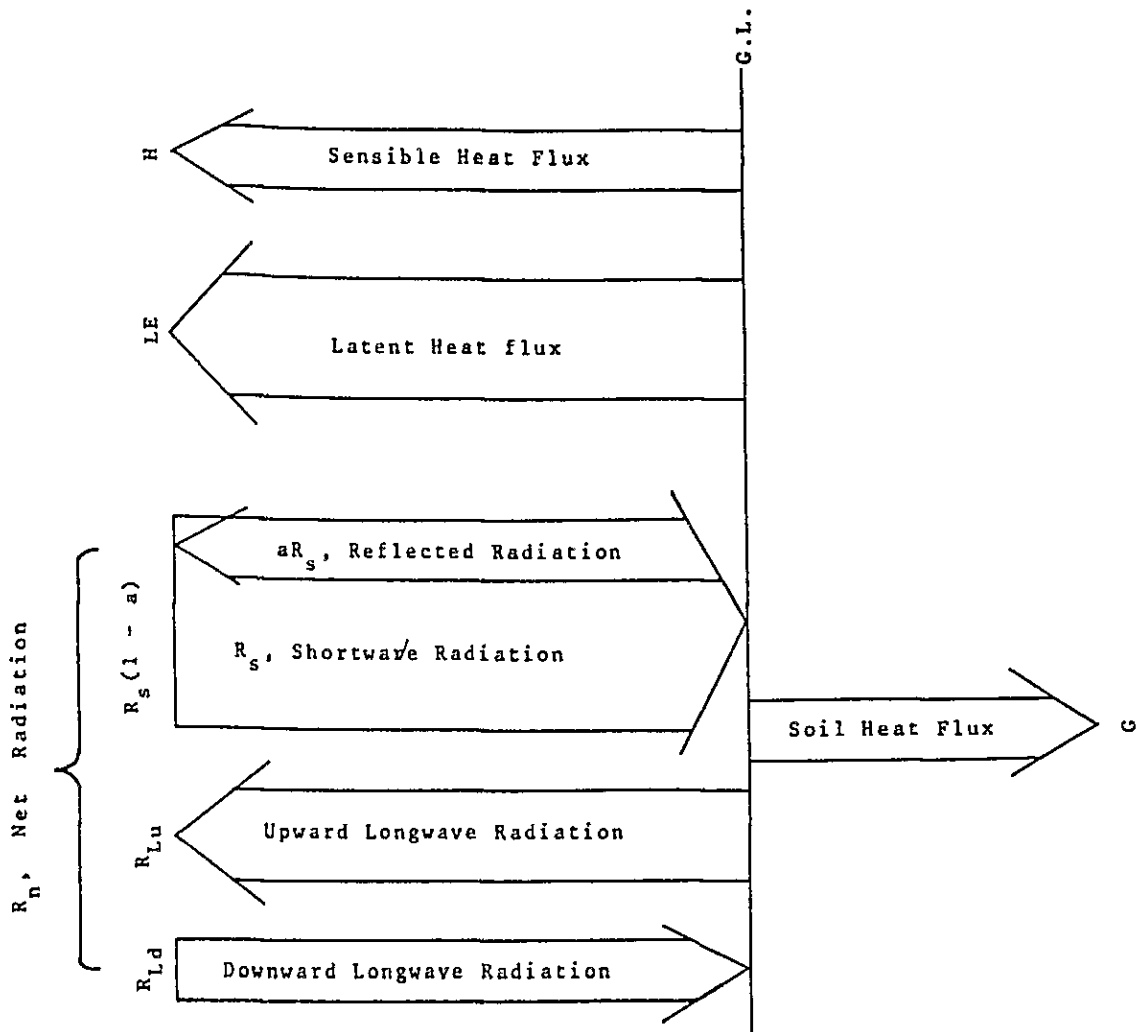


Fig. 1. Schematic illustration of energy budget on soil or crop surfaces.

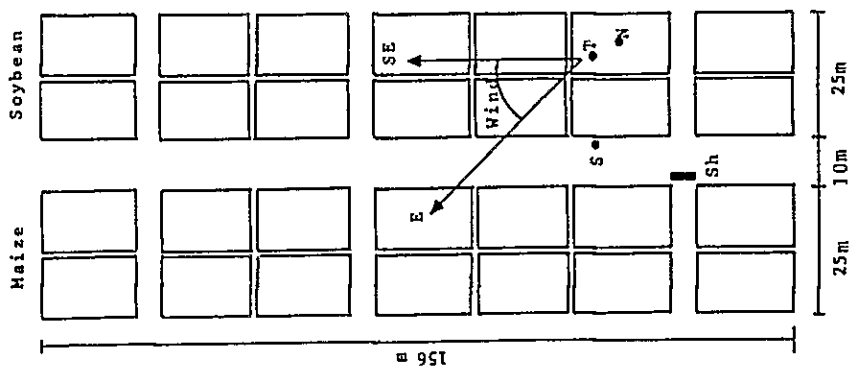


Fig. 2. Site of experimental field and displacement of sensors.

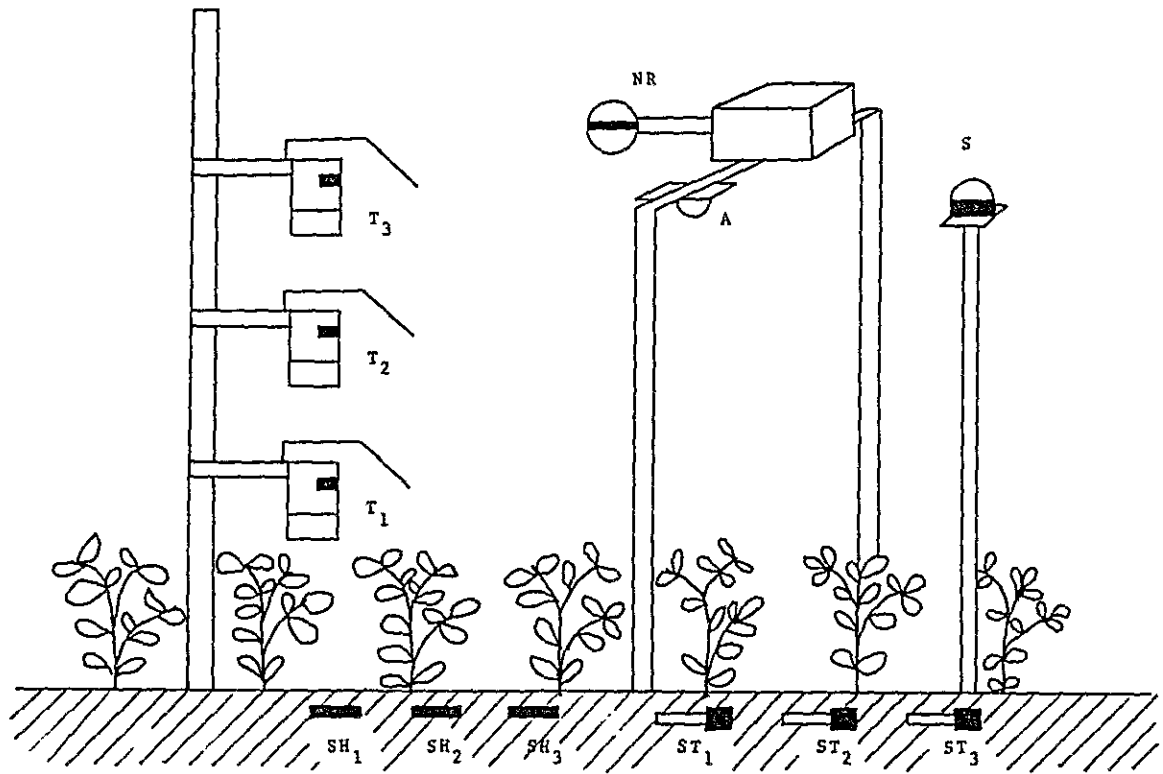
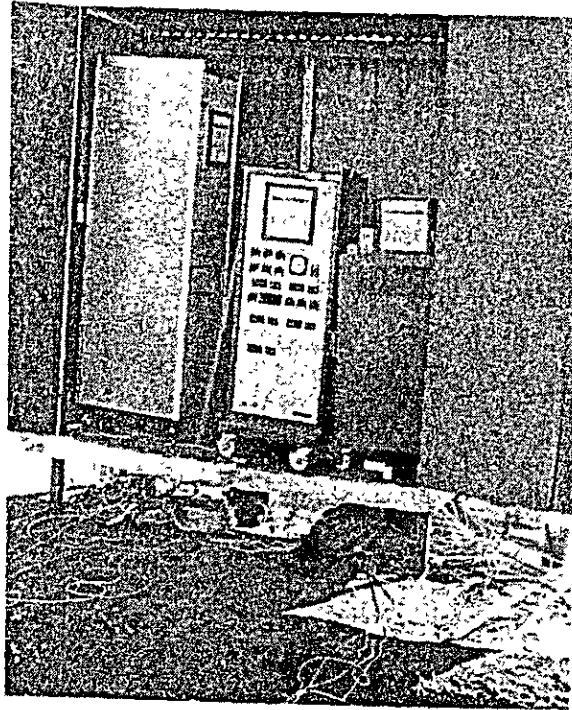


Fig. 3. Schematic layout of installations of sensors.

T_1 , T_2 , T_3 , aspirated wet and dry bulb thermometers;
 SH_1 , SH_2 , SH_3 , soil heat flux meters; ST_1 , ST_2 , ST_3 ,
soil thermometers; NR, net radiometer; A, albedometer;
S, solarimeter.



Recorder installation box.



Sensors displacement at soybean field for measuring evapotranspiration rates by energy balance methods.

Fig. 4. General views of the experimental field and recorders.

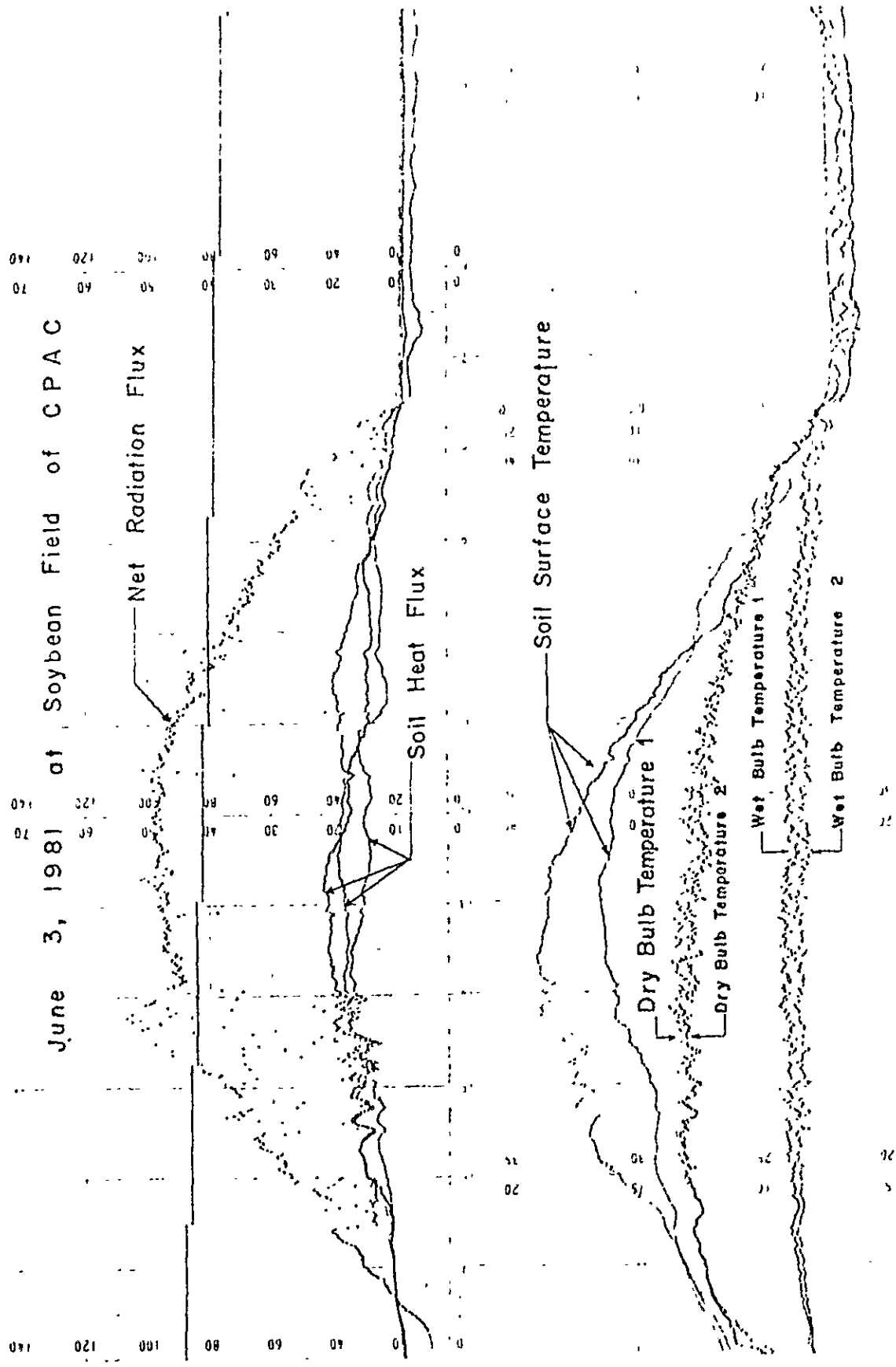


Fig. 5. Diurnal courses of meteorological elements observed at a soybean field in Cerrados on June 3, 1981.

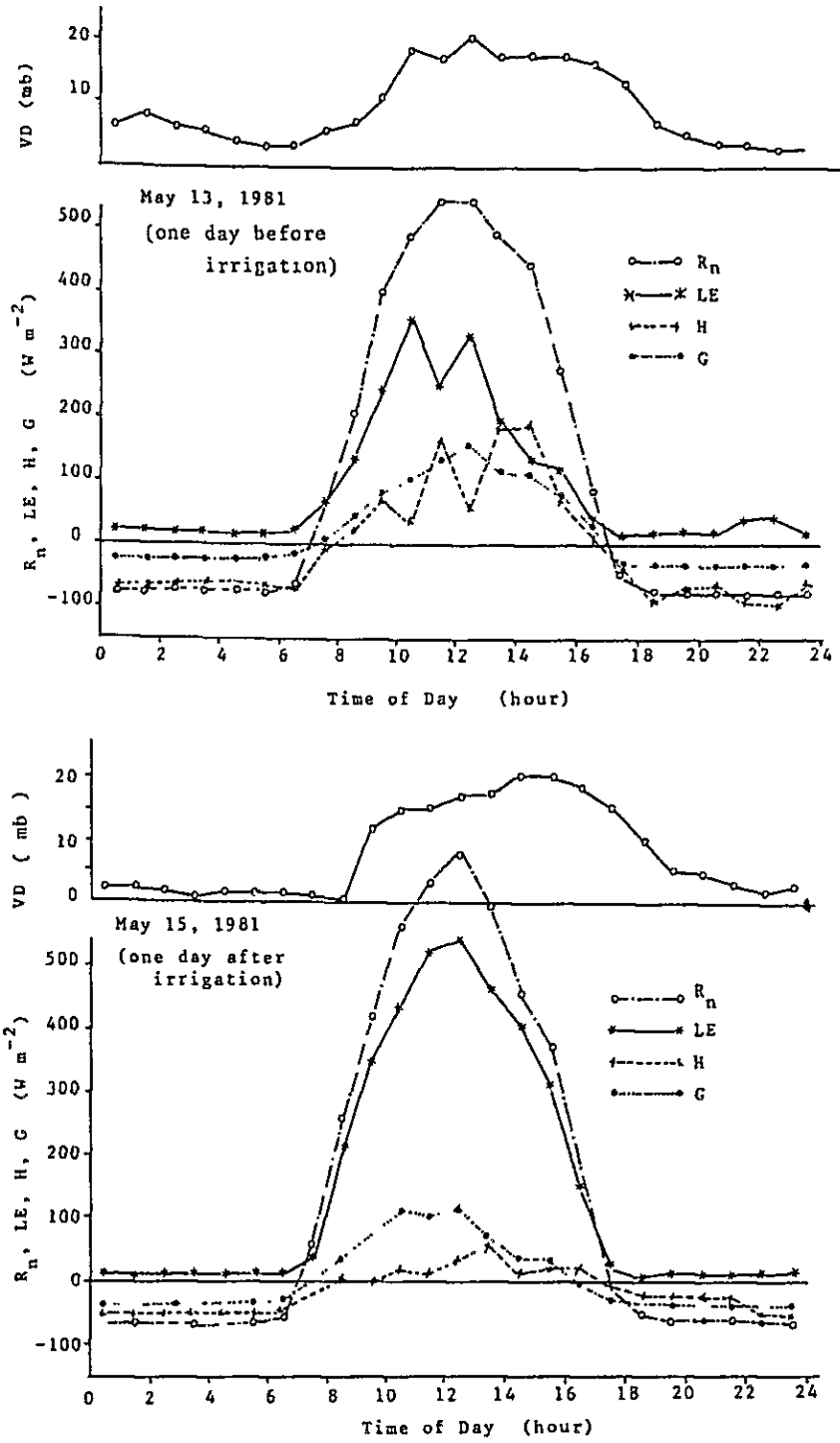


Fig. 6. diurnal courses of energy balance terms and water vapour pressure deficit for May 13, one day before irrigation (top) and May 15, one day after irrigation (bottom).

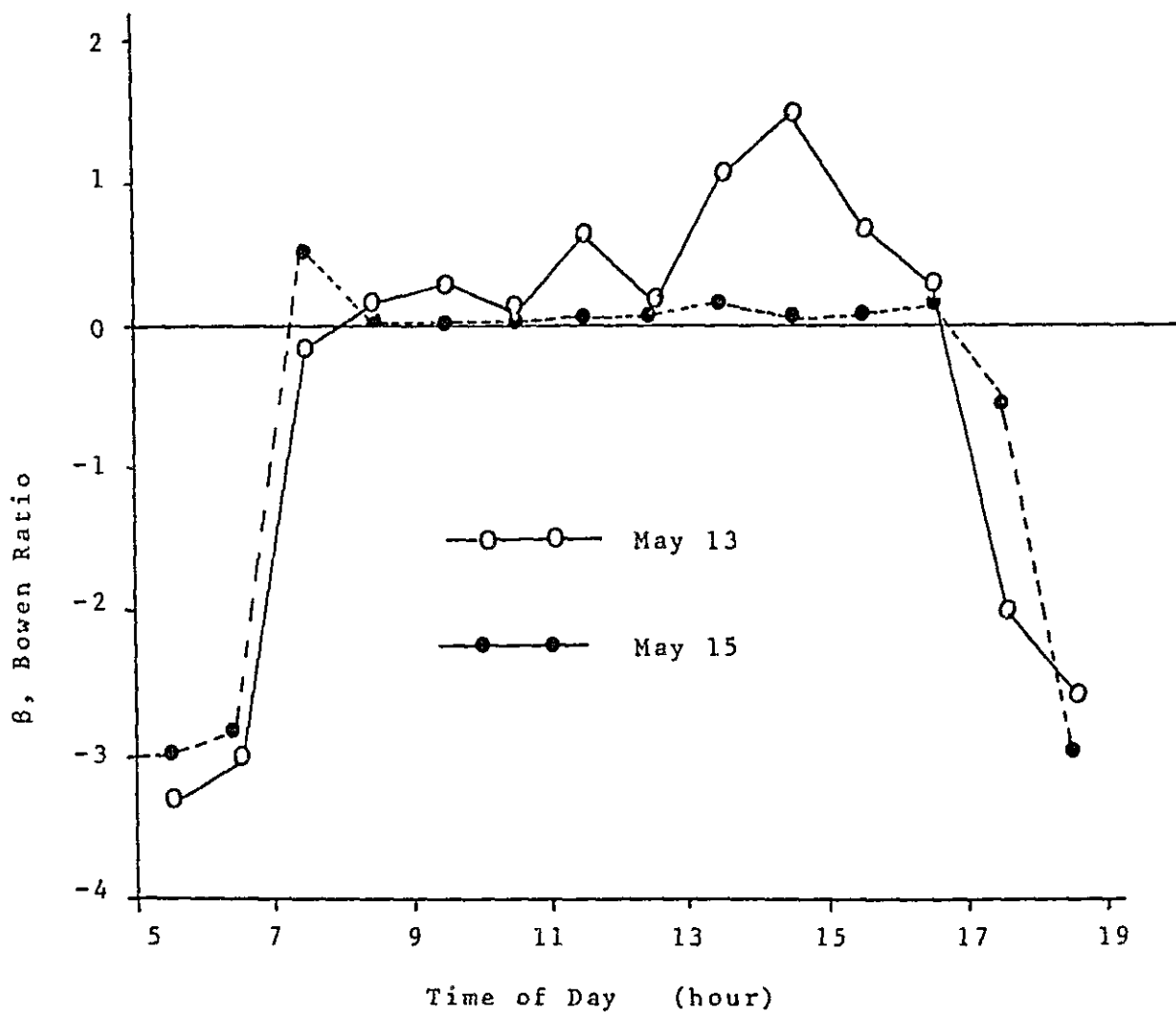


Fig. 7. Time changes in Bowen ratio at May 13 (one day before irrigation) and May 15 (one day after irrigation).

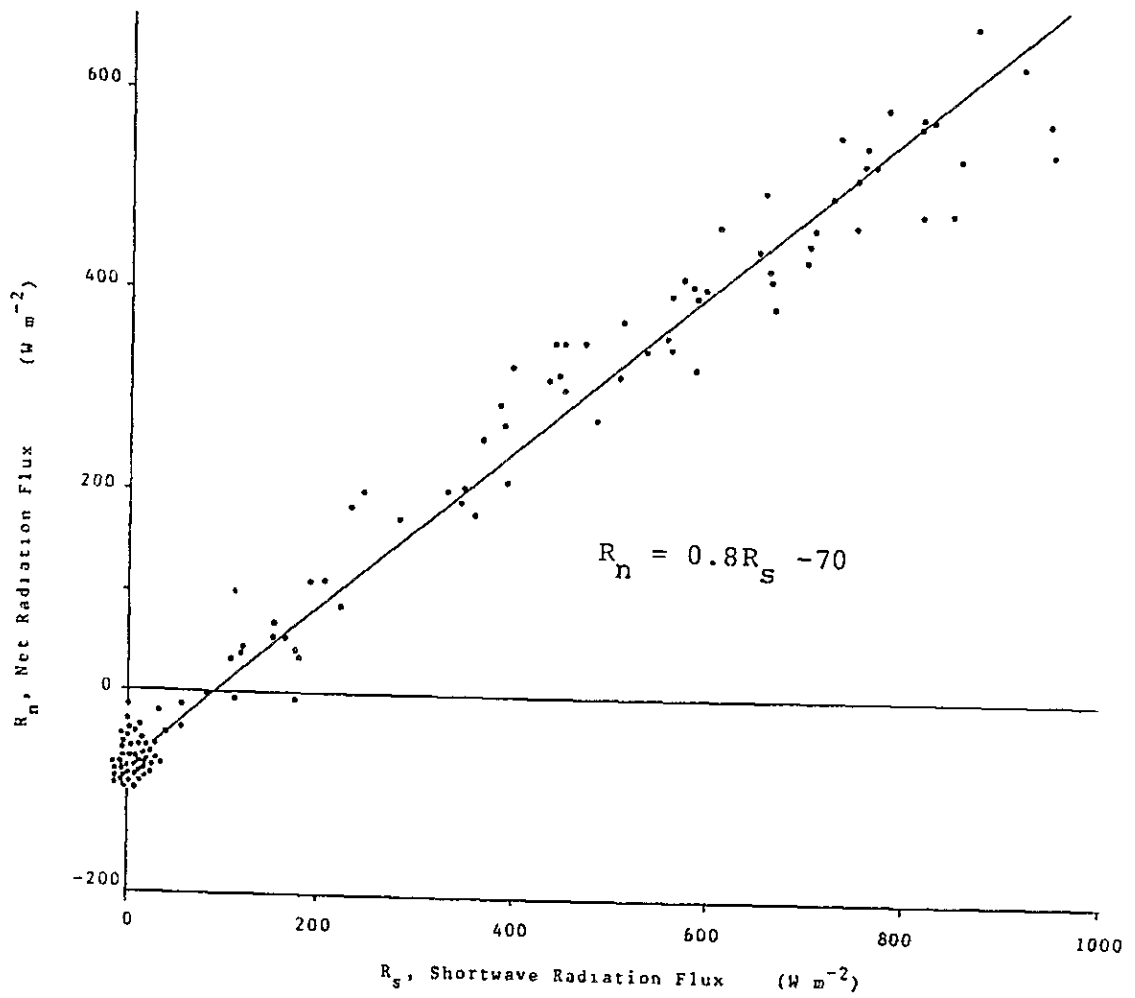


Fig. 8. Relation between hourly net radiation flux (R_n) and shortwave radiation flux (R_s).

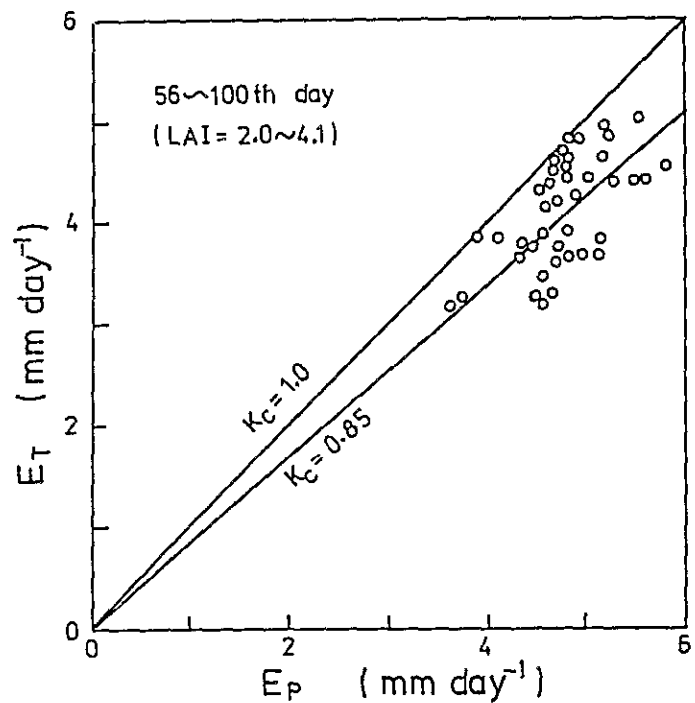


Fig. 9. Relation between actual (E_T) and potential evapotranspiration (E_p).

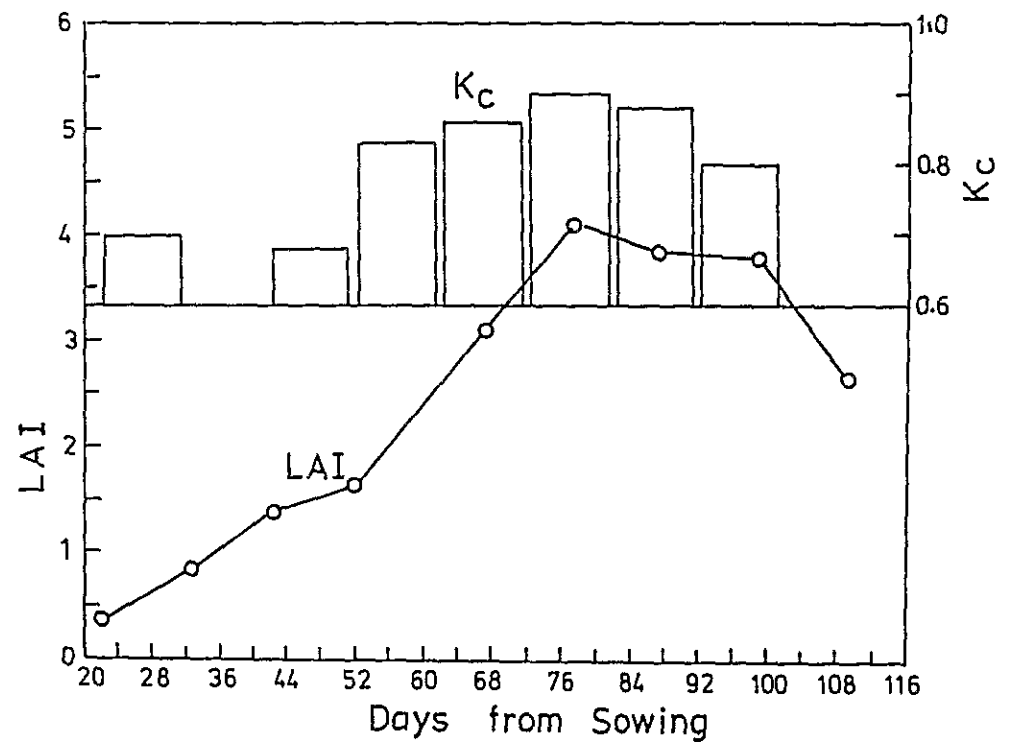


Fig. 10. Time changes in LAI and the crop coefficient (K_c) of evapotranspiration.

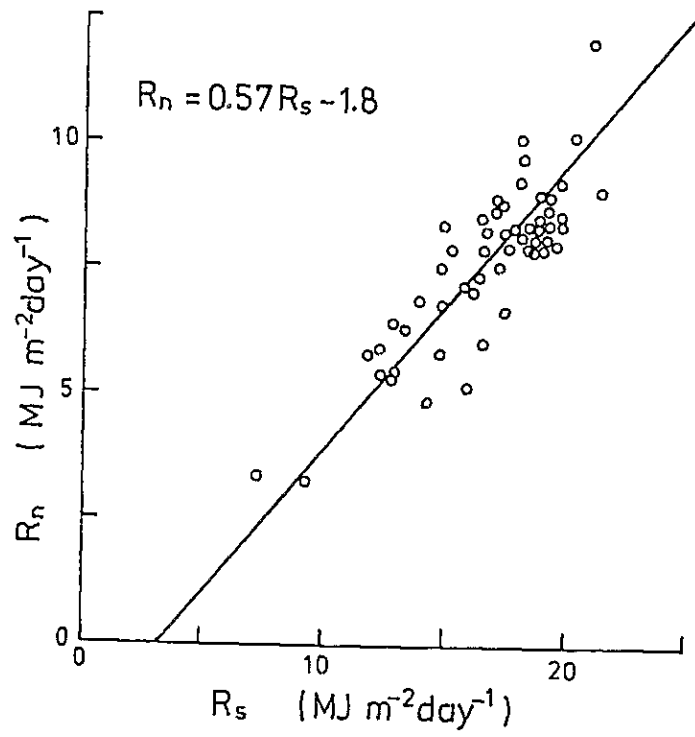


Fig. 11. Relation between daily shortwave radiation (R_s) and net radiation (R_n).

APPENDIX

FORTRAN Program for calculating the evapotranspiration rates from the data of energy balance measurements, example of outputs and data format.

LINE	DATE	TIME	MAIN	LN/RC	TERMIN	PR	DATE	TIME	PAGE
150 C147			USNA						5
150 C148			USNA						
150 C149			USNA						
150 C150			USNA						
150 C151			USNA						
150 C152			USNA						
150 C153			USNA						
150 C154			USNA						
150 C155			USNA						
150 C156			USNA						
150 C157			USNA						
150 C158			USNA						
150 C159			USNA						
150 C160			USNA						
150 C161			USNA						
150 C162			USNA						
150 C163			USNA						
150 C164			USNA						
150 C165			USNA						
150 C166			USNA						
150 C167			USNA						
150 C168			USNA						
150 C169			USNA						
150 C170			USNA						

TIME	DATE	TIME	LOCATION	STATUS	REMARKS
15N 0445	170	6000	10001001/200		
15N 0420			PHI 12.4500	PCUR	12/01/01/1210
15N 0447			4500	11000110	12/01/1210
15N 0420			- 60	CONTINUE	
15N 0447			00	TC 1	
15N 0430			059	STOP	
15N 0431				END	

DATE RECORDED: 1.20 PAGE 1

15/100 EQUIPMENT EXTENDED

Brasília, 08 de junho de 1981

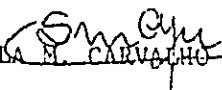
De: COORDENAÇÃO DE TREINAMENTO

Aos: PESQUISADORES

Confirmando comunicado anterior, teremos amanhã, dia 09 de junho, às 10:30 horas no Auditório, palestra do Consultor em Agrometeorologia TAKESHI HORIE, sobre o tema "Modelagem e simulação das relações cultura/clima/fotossíntese/transpiração/desenvolvimento".

Contamos com a presença de todos.

Atenciosamente,


STELLA M. CARVALHO YU

MODELLING AND SIMULATION OF CROP-WEATHER RELATIONSHIPS
IN PHOTOSYNTHESIS, TRANSPIRATION AND GROWTH*

Takeshi HORIE

This study was made with the objective to develop a model to explain and predict the dynamics in crop growth and weather relationships by integrating informations on crop physiological, physical and ecological processes. The processes concerned are leaf photosynthesis, transpiration, respiration, crop microclimate, partitioning of substrate and developmental aspects of rice, sunflower and/or cucumber crops. A hierarchical approach was taken to model the processes. At first, the photosynthesis and the transpiration at the single leaf level were modeled in relation to the meteorological environments by means of gaseous diffusion equations. The single leaf model was then combined with crop microclimate model to simulate the canopy photosynthesis and evapotranspiration. Finally, the canopy model was incorporated into a dynamic model for crop growth simulation together with the substrates partitioning, respiration and the developmental processes.

In this lecture the general ideas of modelings and some of the main results are briefly explained for the models at the respective levels, according to the following order:

1. Why models?
2. Photosynthesis and transpiration at single leaf level.
3. Canopy photosynthesis in relation to LAI, canopy structure and solar radiation
4. Canopy photosynthesis and evapotranspiration in relation to microclimate.
5. Simulation of sunflower crop growth.

* Palestra apresentada no CPAC em 09/06/81.

17. Goal Programming Method の農業経営計画への適用

KAZUO HORIUCHI

YOSHIHIKO SUGAI

DANTE DANIEL SCOLARI

1. 課題と目的

農業経営分析における農家の経営行動の違いは、いままで主に土地・労働・資本などの経営条件の差から説明されてきた。しかし、農家行動の具体的なあらわれとしての農業経営は、実際には非常に多様であり、それを単に経営条件の差だけから説明することはむずかしい。したがって、このような農家行動の相違は、むしろ農家の経営行動目標の差として説明される必要がある。

多様な農業経営は、農家を取りまく環境の変化に対応して現れる。このような環境の変化は、意思決定にかかわる農家間の較差を増大し、多様な農業経営を生じる一因となっていると考えられる。さらに、情報網や交通網の整備により、農家によって得る情報や経験にも差が生じ、不確実性や労働に対する評価も農家間で較差を増大している。

農家の経営行動は、その農家の経営条件によって規制されるが、農家はそのような経営条件や得られる情報、さらに価値観まで踏まえて形成される行動目標を常に達成するように行動していると考えられる。このような農家の行動目標は、従来の農業経営学で問題とされてきた経営の目的とは異なるものである。それは、所得・利潤・効用といった一元化された目的ではなく、現実の農家が達成しようとしている具体的な行動目標が問題とされるからである。

ここでは、多種類の経営目標や満足基準を取扱うことのできるゴール・プログラミング法を農業経営計画に応用し、その適用性について検討する。

なお、この報告は、日伯農業研究協力による「セラード地域農業開発」の一部成果である。特に、EMBRAPAおよびCPACの関係各位に絶大な協力を得たので、ここに記し謝意を表す。また、次章のポルトガル語文は、ブラジルのオペレーションズ・リサーチ学会（1981年6月、Florianopolis）で報告したものである。

2. 研究方法

ゴール・プログラミング法は、チャーンズ（A. Charnes）とクーバー（W.W. Cooper）らが線型計画法の産業問題への応用研究の過程で、企業の管理目標に関連して開発した手法で

ある。その後、井尻雄二 (Y. Ijiri) によって多重目標の取扱い方の改善と一般逆行列による解法が示され、企業の会計や経営管理への応用が試みられた。さらに、コンチーニ (B. Contini) によって、不確実性の条件下での問題や生産計画問題への手法の拡張と発展がみられた。近年、リー (S. Lee) によって多様な現実問題への適用が進められ、財務計画、経済計画、病院管理、教育計画など多方面にわたり、目的関数を1つにしほれない分野に広く適用されている。

このように、ゴール・プログラミング法は、線型計画法を母体としながら産業分野での経営管理問題への拡張として発展してきた。その特徴は、線型計画法と対比すると次のようになる。すなわち、ゴール・プログラミング法は、線型システムを対象として目的関数を最小化するという意味で、線型計画法と同じように形式的には最適化を考えているといえる。しかし、線型計画法は、利益の最大化ないしは費用の最小化といった1つの目標尺度についての最適化である。これに対して、ゴール・プログラミング法は、複数の目標尺度を取り扱うことができ、各尺度上に定めた目標値と、制約条件の下で達成可能な計画値との間の差異を最小化しようとするものである。したがって、形式的には目的関数の最小化であるが、その意図するところは、前もって定めた目標を達成することにあり、最適化というより目標の満足化といえる。

ゴール・プログラミング法の一般的な計画問題の定式化は、次のように示される。

$$Z = \sum_{i=1}^m (p_i^+ w_i^+ y_i^+ + \bar{p}_i w_i^- y_i^-) \Rightarrow \min \dots\dots\dots (目的式) \dots\dots(1)$$

$$g_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - y_i^+ + y_i^- \quad (i=1, 2, \dots, r, \dots, m) \quad (目標制約) \dots\dots(2)$$

$$b_i = \sum_{j=1}^n d_{ij} x_j + \lambda_i \quad (i=1, 2, \dots, k) \quad (技術制約) \dots\dots(3)$$

$$x_j, y_i^+, y_i^-, \lambda_i \geq 0 \quad \dots\dots\dots (非負条件) \dots\dots(4)$$

ただし、

p_i^+, \bar{p}_i : 絶対順位係数…… i 番目の目標に与えた順位。

ただし、 $p_r = p_r \alpha$ ($\alpha=1, 2, \dots, r-1$) の場合も許される。

w_i^+, \bar{w}_i : 加重係数…… i 番目の目標の差異変数に与えたウェイト

y_i^+ : 超過差異変数…… i 番目の目標水準を上回る差異変数

y_i^- : 不足差異変数…… i 番目の目標水準を下回る差異変数

a_{ij} : 目標制約に関する技術係数…… i 番目の目標制約についての j 労働変数の技術係数

*
 a_{ij} : 技術的制約に関する技術係数…… i 番目の技術的制約についての j 実働変数の技術係数

g_i : 目標値…… i 番目の目標水準

b_i : 技術的制約量…… i 番目の技術的制約量

x_j : 実働変数……生産プロセスを含むリアル・プロセスの稼働水準

λ_j : 調整変数……遊休プロセスの稼働水準

すなわち、(2)・(3)・(4)式で示される制約条件のもとで、(1)の目的式を最小化する各実働変数 x_j の値を求めることである。制約条件のうち(3)式は、通常の線型計画問題と同様に計画の制約要素 i についての技術的制約条件を示している。(4)は、実働変数、超過差異変数、不足差異変数、調整変数の非負条件をあらわしている。(2)式は、ゴール・プログラミング問題に固有の目標制約である。目標制約は、目標 i について目標値 g_i と目標達成水準 $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j$ との差異水準を超過・不足差異変数 y_i^+ 、 y_i^- であらわされるいわば技巧的制約条件式である。同じように、目的関数である(1)式は、通常の線型計画問題とは異って実働・調整変数を含んでいない。それは、設定された m 個の目標について優先順位に応じて附された絶対順位係数 p_i および目標ごとの差異変数 y_i^+ 、 y_i^- とその相対的な重要度を表わす加重係数 w_i とで示され、この総和である Z を最小にすることを表わしている。なお、樋口昭則(A. Higuchi)は、目的関数と目標制約の関数を目標の設定内容との関連で第1表のように整理している。

第1表 目標内容と目的関数・目標制約の関係(樋口)

№	目標と内容	目的関数	目標制約
1	目標値 g_i にできるだけ近付きたい	$Z = y_i^+ + y_i^- \rightarrow$ 最小化	$g_i = \sum a_{ij} x_j - y_i^+ + y_i^-$
2	目標値 g_i に不足することをさけたい(下限)。	$Z = y_i^- \rightarrow$ 最小化	$g_i = \sum a_{ij} x_j + y_i^-$
3	目標値 g_i に超過することをさけたい(上限)	$Z = y_i^+ \rightarrow$ 最小化	$g_i = \sum a_{ij} x_j - y_i^+ + y_i^-$
4	特定目標の最大化	$g'_i = M$ として $Z = y_i^- \rightarrow$ 最小化	$g'_i = M = \sum a_{ij} x_j + y_i^-$
5	特定目標の最小化	$g'_i = 0$ として $Z = y_i^+ \rightarrow$ 最小化	$g'_i = 0 = \sum a_{ij} x_j - y_i^+ + y_i^-$
6	目標値 g_i と g'_i の間におさめたい $g_i \leq \sum a_{ij} x_j \leq g'_i$	$Z = \check{y}_i^- + \hat{y}_i^+ \rightarrow$ 最小化	$\check{g}_i = \sum a_{ij} x_j + \check{y}_i^-$ $\hat{g}_i = \sum a_{ij} x_j - \hat{y}_i^+ + \hat{y}_i^-$

3. 農場経営計画の適用事例

1) 計画問題の内容

計画対象農場の経営条件は、農場内保有労働力3人、経営土地面積450haで、セラード地域内に立地している。農場内保有労働力は、機械作業に従事する運転者である。トラクタは、3セット保有し、これを稼働している。また、雇用労働は、機械で耕起・整地した後の整理と除草作業および蟻駆除剤散布作業である。作業体系は、通常のものに比較して、機械化作業が中心となり、雇用労働にあまり依存しない体系となっている。選択可能作目は、稲作（早生）、稲作（中・晩生）、大豆、とうもろこしの4作である。

農場の経営目標は、①収益目標：年間収益は250万Cr確保したい、②収益安定目標：収益変動を期待収益の50%（125万Cr）以内にとどめたい、③雇用労働目標：できるだけ250人以上の雇用労働の導入をさけることを経営目標としている。さらに、この目標内容を具体化すると、①目標の年間収益は、期待収益額であり、その内容は生産プロセス純収益総額としてとらえられ、②収益変動は期待収益の平均偏差をとり、③雇用労働はできるだけ抑制する方向で考えたいためである。なお、目標の優先順位は、収益目標を第1位、収益安定目標を第2位、雇用目標を第3位とした。

2) 計画モデルの構築と係数の確定

農場の経営計画問題をゴール・プログラミング法で定式化し、そのシンプレックス初期可能解を示すと第2表の通りである。

① プロセス

計画モデルのプロセスは、生産プロセス、雇用プロセス、差異変数、調整変数から構成されている。

生産プロセスは、プロセス番号<1>から<4>までのプロセスで、農場の選択可能作目である稲早生、稲中晩生、大豆、とうもろこしである。雇用プロセスは、11月と12月に分けて設定してある。

差異変数は、不足差異変数 $y_1^- < 7 >$ 、 $y_2^- < 8 >$ 、 $y_3^- < 9 >$ と超過差異変数 $y_2^+ < 10 >$ 、 $y_3^+ < 11 >$ からなっている。差異変数は、目標値の過不足状態をあらわす変数であり、計画の目的関数はこの差異変数に関して、 $Z = p_1 y_1^- + p_2 y_2^+ + p_3 y_3^+$ を最小化することである。 y_1^- は、達成収益が収益目標額250万Crを下回る不足差異額をあらわし、 y_2^+ は収益安定目標額125万Crを上回る超過差異額をあらわし、同様に y_3^+ は雇用目標250人を上回る超過差異人数をあらわすプロセスである。

調整変数は、技術制約の遊休プロセスであり、 λ_1 から λ_9 まで9個の調整変数が畑地以下の技術的制約条件に対応して設定してある。

② 制約の種類と内容

第2表 農場経営計画のノンブロックス初期解

制約番号	C, ↓	基 礎	水 準	単 位	プロセス番号				プロセス				変 数				調整変数			
					() →				雇 用 ノ ン ブ ロ ッ ク ス				差 算				調 整 変 数			
					1	2	3	1	5	6	7	8	9	10	11	12	20		
1	P_1	収益目標	2500	万円	1199	1199	0748	0167	-002	-002	10									
2		収益安定目標	1250	"	0468	0468	0.123	0.193			10									
3		雇用目標	250.0	人					1.0	1.0										
4		畑	400.0	ha	10	10	1.0	10												
5		9月	720.0	時間	20	10	10	13												
6	機	10月	588.0	"	17	20	275	27												
7	械	11月	543.0	"	03	03	075	15												
8	作	12月	519.0	"		07		10												
9	業	3月	528.0	"	10		05													
10	制	4月	657.0	"		07	05													
11	約	5月	750.0	"	15	13	20	12												
12		6月	750.0	"	15	20	10	20												
13		11月		人	225		095		-10											
14		12月		"		225	15			-10										
15		11月	300.0	"																
16		12月	280.0	"																

計画モデルの制約は、大きく分けると、目標制約と技術的制約になる。目標制約は、収益目標、収益安定目標、雇用目標があり、技術的制約は土地制約、機械作業制約、雇用制約、その他のバランス制約に分けられる。

まず、ゴール・プログラミング法に固有な目標制約についてみると、収益・収益安定・雇用の3目標に対応した制約条件を設定している。設定方法は、前述の通りである。すなわち、収益目標の目標値は、250万Crであり、計画モデルではそれより不足することを極力さける、つまり、収益目標の不足差異変数 y_1^- をできるだけ小さくすることを目標としている。第1目標の不足差異変数 y_1^- の稼働がなければ250万Crかそれ以上の収益を期待できるので、期待収益を250万Cr以上にするという目標はそれによって達成されることになる。

収益安定目標の目標値は、期待収益総額の50%（125万Cr）を一応の目安として設定したものであり、計画モデルでは、それを超過することを極力さける、つまり、収益安定目標の超過差異変数 y_2^+ を最小化することを目標としている。収益の変動を125万Cr以下にする目標は、125万Cr以上になることを極力さける目標と同じである。なお、収益安定目標は、負の値を持った超過差異変数 y_2^+ を問題にしているが、初期可能解では基底変数として正の値を持った不足差異変数が必要であり、計画モデルに y_2^- が組み入れられている。

雇用目標は、農業雇用労働がセラード地域で十分確保することが困難な状況にあることを考慮したものである。

技術的制約は、畑地面積、機械作業、雇用労働、作付バランスでいずれも線型計画法で設定される制約条件と変わらない。畑地面積の制約は、450haの作付を最大とする。機械作業制約は、月別の制約とし、9月から12月の4カ月と3月から6月までの4カ月の合せて8カ月について考慮した。さらにその制約量は、気象データから月別作業可能日数を算出した。すなわち、月別作業可能日数は、9月24.0日、10月19.6日、11月18.1日、12月17.3日、3月17.6日、4月21.9日、5月25.0日、6月25.0日である。トラクタの稼働時間は、1台当り1日最大10時間とし、3台セットで考慮したのが第2表の機械作業稼働時間である。雇用労働の制約は、11月と12月の2カ月間とし、11月300人、12月280人を最大とした。バランス制約は、基本解では特に考慮しなかったが、稲作に制約条件を追加した。

③ 基礎係数とその確定

設計の基礎係数は、次のようにして求めた。収益目標と収益安定目標の係数は、セラード地域農牧研究センターの研究資料および州の統計データから推定した。すなわち、各作目の収益変動は、1975年から1980年までの6年間について考慮し、収量変動

と価格変動を求めた。各作目の収量変動は、第3表のように1980年試験研究データからArroz 1,500 Kg/ha, Soja 2,400 Kg, Milho 2,462 Kgとし、その他の年次の収量は州の平均収量で再評価したものである。価格変動は、庭先販売価格から求めるが、年次別収量に庭先販売価格を乗じて得られた数値から比例費用を差引いたものを収益係

第3表 年次別収量と販売価格

項 目 \ 作 目		Arroz	Soja	Milho
ha 当り収量 (Kg)	1975	1,055	1,349	1,992
	76	1,326	1,811	2,262
	77	921	1,324	2,305
	78	1,049	1,342	1,906
	79	1,498	2,381	2,462
	80	1,500	2,400	2,616
Kg 当り販売 価格 (Cr)	1975	1.99	1.30	0.73
	76	2.20	1.61	1.04
	77	3.61	2.73	1.14
	78	6.41	3.17	1.73
	79	11.26	5.62	3.08
	80	13.36	9.39	5.62

数とし、さらにこれを農業物価指数でデフレートしたものである。1980年を1.0とした指数は、75年8.615, 76年6.099, 77年4.275, 78年3.082, 79年2.002である。このようにして求められた数値は、インフレ効果を除去した価格と収量の変動を示すものとし、1980年を基準として評価したものである。各作目の収益変動は、第4表の通りである。収益目標の数値は、同表の平均値を期待収益額とし、収益変動は同じく平均偏差を用いた。収益の変動を表わす指標として平均偏差を用いたのは、ゴール・プログラミング法が線型システムを対象にしていることと、平均偏差の理解が容易であると考えたからである。なお、平均偏差は、変量の平均値に対する偏差の絶対値をとって平均したものである。その意味は、例えば250万Crの収益目標が達成された時、収益変動(平均偏差)が125万Crであるとしたら、達成される収益は一応平均的には250万Crであるが、その変動の大きさの平均は増減とも125万Crである。

第4表 収益係数の変動

項目 \ 作物		Arroz	Soja	Milho
年次	1975	8,325	1,874	-1,002
	76	9,209	6,795	3,203
	77	6,398	5,808	815
	78	12,109	2,732	593
	79	25,912	17,053	5,117
	80	10,003	10,586	2,461
指標	A.V	11,993	7,475	1,667
	A.D	4,679	4,230	1,927
	S.D	7,074	5,631	2,360

なお、収益変動の指標を平均偏差とした場合は、各作物間の補完的な変動や競争的な変動が捨象されてしまうことが問題となることを特に指摘しておこう。

3) 計画結果の考察

農場の経営計画は、第2表に示したゴール・プログラミング法のシンプレックス表（基本型）を基準として、目標値を変えたり、いくつかの修正計画の策定を試みた。まず、基本型について計画結果を考察する。

① 基本型計画案

所与の計画問題をゴール・プログラミング法で解いた結果は、第5表に示す通りで、その作付編成は稲作（早生）133.3 ha、稲作（中・晩生）71.6 ha、とうもろこし80.8 ha、合計285.7 haの作付面積となる計画案である。この結果、経営目標は、収益目標が達成されたが、収益安定目標は不足、雇用目標は超過となった。すなわち、得られる期待収益額は250万Crであり第1目標を達成し、収益変動は111.5万Crと第2目標の125万Cr以内にあり、第3目標の雇用量は目標よりも211.1人超過したことになる。

経営問題としての畑地の利用は、稲作ととうもろこし作で稲作中心の経営で、作付面積は285.7 haである。しかし、実際に展開されているセラード地域における農場経営は、稲・大豆を中心に若干とうもろこしを導入している事例が多い。さらに、とうもろこし作は、単位当たり収益性が低位であるため肉牛と結合している事例も多くみられる。このようなことから、得られた基本計画案は、畑地の利用形態からみて、若干実践性を

第5表 農場経営の計画案

計画案 項目		単位	1	2	3	4	5	6	7	8
			基本型	稲制約 190 ha	" 180 ha	" 170 ha	" 160 ha	" 150 ha	収 益 300万Cr	収 益 350万Cr
経 営 目 標	収 益 目 標	万Cr	250.0	2500	2500	2500	2500	2500	3000	350.0
	" 不足量	"	-	-	-	-	-	50	-	456
	収 益 安 定 目 標	"	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
	" 不足量	"	135	119	109	98	91	98	14	37 ⁺
	雇 用 目 標	人	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
	超 過 量	"	2111	2499	2759	3018	3300	3300	3300	3300
生 産 プ ロ セ ス	Arroz I	ha	1333	1209	1125	1042	954	915	1333	1333
	Arroz II	"	716	691	675	658	616	585	1244	1244
	Soja	"	-	296	493	691	898	-	-	-
	Milho	"	808	604	467	330	155	160	151	416
雇 用	11月	人	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
	12月	"	1611	1999	2259	2518	2800	2800	2800	2800

備考 *印は超過量

欠く計画案と判断される。

② 修正計画案

基本型計画案が実践性の点で問題の残る計画案であったので、次に新しい制約条件を導入したり、目標制約を変えて計画案を検討してみよう。

まず、稲作の作付制約を導入してその作目編成について検討する。稲作の制約は、140 ha から 150 ha まで 10 ha のきざみにして計画案を検討したもので、第5表の<2>から<6>に示したものが得られた。その結果、稲作の作付制約を強化すると大豆が増加し、とうもろこしが減少する。しかし、稲作を 150 ha に制約すると大豆が排除され、とうもろこしが残る計画解となる。経営目標に関してみると、第1目標の収益目標 250 万Cr は、計画解<2>から<5>までは目標を達成している。第2目標である収益安定目標の 125 万Cr は、<2>から<6>まで常に未達成でいずれも不足量を示している。第3目標の雇用 250 人は、つねに目標を超過している。また、畑地作付面積は、基本解<1>で 285.7 ha であったが、稲作制約を導入した計画では<2> 280.0 ha、<3> 276.0 ha、<4> 272.1 ha、<5> 265.3 ha、<6> 166.0 ha へと減少している。

さらに、計画案の<7>と<8>は、収益目標を 250 万Cr から 300 万Cr と 300

万Crと350万Crに上げた場合である。収益目標を300万Crの場合は、基本型に比較すると稲作が強化され、とうもろこしが少くなっている。この場合の経営目標は、第1目標の収益目標は達成され、第2目標はわずかであるが未達成であり、第3目標の雇用は超過している。

収益目標を350万Crにすると、第1目標は未達成で45.6万Crの不足を示し、第2目標の収益安定は、目標である125万Crを上回りその超過額3.7万Crである。第3目標の雇用目標250人は、目標を超過し、その超過人数330人である。

このようにして得られた計画案は、それぞれ特徴をもったもので、農場経営者の選好基準に合致した案が採用されることになる。

4. 結論と残された問題

いままでの農業経営計画に用いられてきた数学的計画手法特に線型計画法は、単一目標について考慮するにとどまり、その際の決定基準は最適基準がとられ、収益最大や費用最小が計画の目的とされてきた。しかし、実際の農業経営者の行動基準は、多様であり、その意思決定基準も最適基準でなく、むしろ満足基準に従うものとみえ方が自然である。

このような考え方を反映した計画手法が、ゴール・プログラミング法であり、これを実際問題にどう適用すべきか検討してきた。

農場の現実的な計画モデルをゴール・プログラミング法によって策定するためには、農場経営者の目標構造を十分留意しこれを反映したものでなければならない。すなわち、目標構造は農場の経営問題を反映した目標の種類、目標間の優先順位、要求水準を明らかにすることである。このことによって、農場の経営計画は、より現実的な実際的な計画モデルとなりうる。

さらに、このような目標構造を計画モデルに取り入れることによって、異なる目標に対応した計画案の策定につなげることができた。すなわち、本論文で明らかにした通り、ここでは、「経営目標の設定」と「計画案の評価」の過程が考慮されたにとどまるが、計画対象農場の目標構造を、策定された計画案との対比で検討し、これを修正することによってより望ましい計画案を得ることを明らかにした。したがって、ゴール・プログラミング法は、農家の目標構造を計画モデルに組み込むことができ、それによって農家の意思決定原理に対応した計画案を提示できる手法といえる。

また、ゴール・プログラミング法は、農業経営計画の手法としてだけでなく、農業経営者行動の分析手法としての応用性も持っている。すなわち、目標の優先順位や目標を変えることによって、各種の経営形態を導くことができ、その結果、ある行動をとる農家がどのような目標をもっているか評価できるからである。

この手法を適用するうえで残された問題は、以下の通りである。

第1は、収益安定目標の指標を収益の平均偏差をとったことである。このことによって作日間の収益変動が相互に相関関係をもつ場合には共変動を捨象する結果となる。また、平均偏差は、変動の大きさを表わす指標ではあるが、変動の中については意味を持たないという難点がある。

第2は、農場経営者の目標構造がどのように形成されるかについては言及していない。したがって、代替的な選択手段の範囲を限定した結果となっている。

第3は、生産プロセス設定に関して、稲作のプロセスを早生と中晩生に分割したが、本来、収益係数と収益変動ともに異なるものであるが、データ不足で同一内容にしたことによる影響が未検討である点などが残されている。

参 考 文 献

1. Charnes, A. and Cooper, W.W.: Management Models and Industrial Application of Linear Programming. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1961
2. Conjuntura Econômica, Índice-Coluna 2.
Instituto Brasileiro de Economia - Fundação Getúlio Vargas
3. Contini, B. A Stochastic Approach to Goal Programming. Operation Research (May - June 1968), P. 576 - 86
4. Higuchi Akinori. Multiple Goals in Agricultural Planning.
Chugoku National Agricultural Experiment Station, Series C, nº 25
5. Ijiri, Yuji. Management Goals and Accounting for control.
Chicago: Rando-McNally, 1965
6. Lee, S. M.: Goal Programming for Decision Analysis.
Mason & Lipscomb, Inc. New York, 1972.

18. PROGRAMAÇÃO GOL E SUA APLICAÇÃO À ADMINISTRAÇÃO RURAL

Kazuo Horiuchi (*)
Yoshihiko Sugai (**)
Dante Daniel Scolari (***)

BRASILIA - DF
1981

- (*) Kazuo Horiuchi, Consultor de curto prazo do Ministério da Agricultura do Japão a serviço do CPAC - EMBRAPA.
(**) Yoshihiko Sugai, pesquisador da EMBRAPA
(***) Dante Daniel Scolari, pesquisador do CPAC - EMBRAPA

O presente trabalho é uma parte dos estudos de aplicação ao Cerrado através da cooperação tecnológica entre Brasil e Japão. Os autores agradecem as pessoas que deram apoio e compreensão na realização deste trabalho.

1. Introdução

A diferença das atividades administrativas da propriedade agrícola através de análises da administração rural, há explicação na diferença da condição administrativa, principalmente baseado na terra, mão-de-obra e capital. entretanto, é muito difícil explicar esta diferença, simplesmente, pelas condições administrativas, porque administração rural é expressa concretamente como atividades da propriedade agrícola, na realidade é extremamente variada. De maneira que, esta diferença das atividades de propriedade agrícola deveria explicar como a diferença dos objetivos das atividades da administração rural.

A variação da administração rural parece corresponder a mudança ambiental que circunstancia-se a propriedade agrícola. A mudança ambiental é o fator fundamental na variação da administração rural, aumentando a diferença entre as propriedades agrícolas as quais refere a tomada de decisão. Além disso, aumentando a diferença das informações e experiências adquiridas pelos produtores agrícolas pelo desenvolvimento da infraestrutura como rede de informação e transporte, etc., incrementa-se a disparidade entre propriedades agrícolas para avaliação da incerteza e mão-de-obra.

As atividades administrativas da propriedade agrícola são supostas a tomar decisões para alcançar sempre a máxima eficiência nos objetivos das ações baseadas nas condições administrativas, informações obtidas e pensamento sobre valor dos produtores agrícolas, tendo restrições das condições de administração rural. O objetivo das atividades das propriedades é diferente do objetivo da administração, pois, há problema historicamente tratado pela administração rural. Não tendo o objetivo de uma dimensão como renda, lucro e utilidade, focaliza-se o problema dos gols das atividades concretas, os quais vem sendo tentados pelas propriedades agrícolas atuais(*).

2. Revisão Bibliográfica

A programação Gol é desenvolvida no processo de aplicação da Programação Linear para os problemas industriais pelos CHARNES, A e COOPER, W.W. (1), referindo administração industrial da empresa. em seguida, IJIRI, Y (5) melhorou o tratamento

(*) Gol no presente trabalho significa que o objetivo definido poderá alcançar ou não.

dos gols múltiplos e desenvolveu o método de solução pelo inverso da matriz, aplicando-o na administração da empresa e na contabilidade. Além disso, CONTINI, B. (3) contribuiu no desenvolvimento da ampliação deste método na condição de risco e planejamento da produção. Recentemente, LEE, S. (6) mostrou suas aplicações no problema que contém várias funções objetivos nos exemplos de planejamento fiscal, econômica, administração de hospital e planejamento da educação.

Sendo assim, o método de Programação Gol foi desenvolvido pela extensão do problema de administração empresarial baseado na programação linear. As características deste método são seguintes comparando com programação linear. O método de Programação Gol utiliza o conceito do sistema linear. Além disso, utiliza o conceito de otimização pela minimização da função objetivo como programação linear. Entretanto, a programação linear faz otimização do único objetivo como maximização do lucro ou minimização do custo. Comparando com a programação linear, a programação Gol pode incluir os objetivos múltiplos, minimizando a diferença entre os valores definidos pelos objetivos e os valores obtidos do resultado do cálculo pela possibilidade das condições alcançáveis de restrições. Caracteristicamente, fazendo minimização da função objetivo, sua intenção fundamental é tentar satisfazer o objetivo considerado e não é otimização da função objetivo.

3. Objetivo

O objetivo geral do presente trabalho analisa-se planejamento agrícola da administração rural pelo método da Programação Gol, o qual pode-se tratar dos vários objetivos da administração e níveis da satisfação. Especificamente, os seguintes objetivos são introduzidos no sistema além da Programação Linear convencional, considerado na ordem preferencial dos gols.

- 3.1. renda ou margem bruta no sistema de Programação Linear como primeiro Gol da ordem principal (*)
- 3.2. estabilidade da renda da propriedade agrícola através do controle do desvio da média.

(*) Margem bruta = Receita total - custos variáveis (no contexto, do sistema de Programação Linear)

3.3. restrição da mão-de-obra pelo menos até a quantidade desejada

3.4. analisar os processos de gol para tomada de decisão através dos três objetivos preferenciais acima mencionados na propriedade agrícola.

4. O Modelo

O modelo geral da Programação Gol mostra como seguinte:

$$\text{Função objetivo } Z = \sum_{i=1}^m (p_i^+ w_i^+ y_i^+ + p_i^- w_i^- y_i^-) \text{ ----- (1)}$$

$$\text{Restrições Gols } g_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - y_i^+ + y_i^- \quad (i = 1, 2, \dots, \gamma, \dots, m) \text{ ----- (2)}$$

$$\text{Restrições Tecnológicas } b_\ell = \sum_{j=1}^n a_{\ell j}^* x_j + \lambda_\ell \quad (\ell = 1, 2, \dots, k) \text{ ----- (3)}$$

$$\text{Condições não negativas } x_j, y_i^+, y_i^-, \lambda_\ell \geq 0 \text{ ----- (4)}$$

Onde

p_i^+, p_i^- são coeficientes de ordem preferencial --- ordem dada a i ismo gol
Entretanto, pode ser $Pr = Pr \quad \alpha (\alpha = 1, 2, \dots, \gamma - 1)$

w_i^+, w_i^- são coeficientes de peso ---- peso dado a variável da diferença
de i ismo gol

$y_i^+ =$ variável da diferença deficitária ---- variável da diferença que é inferior ao nível do gol

$a_{ij} =$ coeficientes tecnológicos a respeito às restrições ao gol ---- o coeficiente técnico do i ismo restrição do gol a respeito ao j ismo variável real

$a_{\ell j}^* =$ coeficiente tecnológico a respeito à restrição tecnológica ---- coeficiente tecnológico da ℓ isma restrição tecnológica a respeito ao j ismo variável real.

$g_i =$ valor do gol ---- i ismo nível do gol

$b_\ell =$ quantidade dos recursos restritivos ---- ℓ isma quantidade dos re cursos restritivos

$x_j =$ variável real ---- nível das atividades de produção
 $\lambda_{ij} =$ variável auxiliar ---- variável do processo auxiliar

Isto é obter os valores da variável real x_j quais minimizam a função objetivo (1) sujeito as equações (2), (3) e (4). Dentro das equações restritivas, a equação (3) é da mesma condição das restrições tecnológicas como o problema normal de Programação Linear. Inequações (4) mostram-se condições não negativas das variáveis de diferença excessiva e deficitária reais e auxiliares. Inequações (2) caracterizam-se a Programação Gol, dando a restrição para os gols. Restrição gol é a equação restritiva artificial, sendo expressa pelas variáveis da diferença y_i^+ , y_i^- que mostram-se o nível da diferença superior ou inferior entre o valor do gol g_i do gol i e o nível do gol $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j$. Da mesma maneira, a equação da função objetivo (1) não envolve as variáveis reais e auxiliares como a do problema da Programação Linear. Estas são expressas pelas variáveis da diferença, y_i^+ , y_i^- de cada gol e coeficientes p_i da ordem absoluta pela preferencia para m gols, e coeficientes de ponderação w_i^+ , w_i^- que expressam importância relativa. Soma total dessas variáveis é minimizada. Além disso, HIGUCHI, A. (4) reorganizou a relação entre a função objetivo e restrição do gol no contexto da elaboração de objetivos como na Quadro 01.

5. Aplicação para Planejamento da Propriedade Agrícola

5.1. Conteúdo do Problema de Planejamento

As condições básicas da administração rural são 3 pessoas trabalhando-se como mão-de-obra fixa, tendo 400ha de terra, localizada na região do Cerrado. Mão-de-obra da propriedade agrícola é especializada para as atividades qualificadas como operações das maquinarias. Os números de tratores são 3. Mão-de-obra temporária e utilizada na época do plantio, tratamentos após plantio e combate à formiga. O sistema de operação é o que não depende da mão-de-obra, empregando mais atividades de maquinaria em comparação às outras propriedades agrícolas. As culturas alternativas são 4: arroz precoce, arroz tardio, soja e milho.

Os gols da administração rural são 3: a) gol de margem bruta: pelo menos pretende obter a margem bruta anual ao nível de Cr\$ 2.500.000,00, b) gol da estabilidade de margem bruta: deseja estabilizar a variação da margem bruta dentro de 50% (Cr\$ 1.250.000,00) da renda esperada, c) gol da mão-de-obra temporária; tenta evi

Quadro 1. Relação entre o contexto dos gols, função objetivo e restrições do objetivo

Nº	CONTEXTO DO GOL	FUNÇÃO OBJETIVO	RESTRIÇÃO DO GOL
01	Chegar g_i mais próximo possível	$Z = y_1^+ + y_1^- \rightarrow \text{Min}$	$g_i = \sum a_{ij} x_j - y_1^+ + y_1^-$
02	Evitar deficitária do valor g_i do gol (limite inferior)	$Z = y_i^- \rightarrow \text{Min}$	$g_i = \sum a_{ij} x_j + y_i^-$
03	Evitar excesso do valor g_i do gol (limite superior)	$Z = y_i^+ \rightarrow \text{Min}$	$g_i = \sum a_{ij} x_j - y_i^+ + y_i^-$
04	Maximizar gol específico	$g_i' = M$ $Z = y_i^+ \rightarrow \text{Min}$	$g_i' = M = \sum a_{ij} x_j + y_i^-$
05	Minimizar o gol específico	$g_i' = \emptyset$ $Z = y_i^+ \rightarrow \text{Min}$	$g_i' = \emptyset = \sum a_{ij} x_j - y_i^+ + y_i^-$
06	Colocar o valor do gol entre \check{g}_i e \hat{g}_i $\check{g}_i \leq \sum a_{ij} x_j \leq \hat{g}_i$	$Z = y_i^- + y_i^+ \rightarrow \text{Min}$	$\hat{g}_i = \sum a_{ij} x_j - y_i^+ + y_i^-$

tar máximo possível empregar a mão-de-obra temporária acima de 250 dias de homem. Além disso, se concretizar o conteúdo de gols, a) renda anual do gol é a montante da renda esperada, sendo a montante a soma total das margens brutas das atividades de produção e b) a variação da renda é o desvio da média ($\sum_{j=1}^n /x_j - \bar{x}/n$ onde $x_j =$ variável, $\bar{x} =$ média, $n =$ número da observação) da renda esperada, e c) mão-de-obra temporária restringe-se máxima possível no nível mais baixo. E coloca-se na ordem de preferência do gol como 1a. 2a. e 3a. para o gol da renda, o da estabilidade da renda e o da mão-de-obra temporária, respectivamente.

5.2. Estrutura do modelo e determinação dos coeficientes

Estabelecendo as equações do problema do planejamento da propriedade agrícola pelo método da Programação Gol, mostra-se a solução inicial do Simplex Tableau como no Quadro 2.

5.2.1. Atividades

As atividades do modelo do planejamento são compostos pelas atividades de produção, atividades de emprego da mão-de-obra, variável da diferença e variável auxiliar.

As atividades da produção numeradas de 1 a 4, são arroz precoce, arroz tardio, soja e milho, os quais são culturas alternativas. As atividades de mão-de-obra temporária são divididas em meses de 11 e 12.

A variável da diferença é composta pelas variáveis da diferença deficitária y_1^- , y_2^- e y_3^- para os números da coluna 7, 8, 9, 10 e 11 respectivamente. A variável da diferença é expressa na situação deficitária do valor do gol. A função objetivo de planejamento é minimização de $Z = p_1 y_1^- + p_2 y_2^+ + p_3 y_3^+$ mostra-se a quantidade da diferença deficitária que é menos do que renda de Cr\$ 1.250.000,00 alcançada. y_2^+ é a quantidade da diferença excessiva do valor de gol da renda estabilizada Cr\$ 1.250.000,00. E, finalmente, como outra variável y_3^+ é a atividade dos dias-homens da diferença excessiva do gol da mão-de-obra 250 dias-homens.

As variáveis auxiliares são atividades frouxas das atividades ociosas da restrição da tecnologia, são indicadas pelos x_1 a x_9 .

5.2.2. Características e conteúdo das restrições

As restrições deste modelo dividem-se principalmente em duas partes, i.e. restrições ao gol e tecnologia. Restrições ao gol são gols da renda, gol da estabilidade da renda e gol ao emprego da mão-de-obra temporária. Na parte das restrições

Quadro 2. Solução inicial do Simplex Tableau do Planejamento da Propriedade Agrícola

Nº	R E S T R I Ç Ã O	C _j	Nº de Atividades						P ₁	P ₂	P ₃	Variável Auxiliar				
			1	2	3	4	5	6					7	8	9	10
			Atividade da Produção				Atividade da Mão-de-Obra		Variável da Diferença							
			B A S E													
			ARR	ARR	SOJA	MIL	M.D.O.	M.D.O.	y ₁	y ₂	y ₃	y ₂ ⁺	y ₃ ⁺	y ₁ ⁺	λ ₁	λ ₉
			PRECO CE	TARDIO			NOV DEZ	D/H	CF\$ 10.000	"	D/H	CF\$ 10.000	D/H	ha	D/H	
1	P ₁	Go1 Renda	1.199	1.199	0.748	0.167	-0.02	-0.02	1.0							
2	P ₂	Go1 Esta Renda	0.468	0.468	0.423	0.193				1.0		-1.0				
3	P ₃	Go1 Não-de Obra					1.0	1.0			1.0		-1.0			
4		Terra	1.0	1.0	1.0	1.0								1.0		
5		.9	2.0	1.0	1.0	1.3										
6		10	1.7	2.0	2.75	2.7										
7		11	0.3	0.3	0.75	1.5										
8		12		0.7		1.0										
9		3	1.0		0.5											
10		4		0.7	0.5											
11		5	1.5	1.3	2.0	1.2										
12		6	1.5	2.0	1.0	2.0										
13		11	2.25	2.25	0.95		-1.0									
14		12		2.25	1.5											
15		11	309.0				1.0	-1.0								
16		12	280.0				1.0	1.0								

ã tecnologia são restrições da terra da operação de maquinaria, do emprego da mão-de-obra temporária e dos outros balanços das restrições.

Em primeiro lugar, examina-se as restrições do gol que caracterizam-se a Programação Gol. O valor do gol da renda sendo de Cr\$ 2.500.000,00, o presente modelo evita-se máximo possível a ser menor que o gol determinado. Isto é, minimiza-se variável da diferença deficitária y_1^- , do gol da renda. Se não entrar a variável da diferença deficitária y_1^- , do primeiro gol na solução, pode-se conseguir a renda de Cr\$ 2.500.000,00 ou mais. Isto é, o gol para a renda esperada, Cr\$ 2.500.000,00 ou mais é alcançado.

O valor do gol da estabilidade da renda é estabelecido colocando o nível 50% (Cr\$ 125.000,00) da quantidade total da renda esperada. O modelo evita-se ultrapassar este nível. Isto é, o gol é de minimização da variável da diferença excessiva y_2^+ do gol da estabilidade da renda. O gol que faz a variação da renda menor que Cr\$ 1.250.000,00, é o mesmo gol que evita variação extrema da renda acima de Cr\$ 1.250.000,00. Além disso, no gol da estabilidade da renda tratando o problema da variável da diferença excessiva y_2^+ , que tem o valor negativo, na solução inicial necessita colocar o valor positivo como variável básica, y_2^- é introduzida neste modelo.

Além disso, a gol do emprego da mão-de-obra temporária considerou-se a situação da circunstância nesta propriedade que dificulta-se achar a mão-de-obra temporária.

As restrições da tecnologia são área da terra, horas, de maquinaria, mão-de-obra temporária e balanço das culturas, que são mesmas da Programação Linear. Área da terra é colocada de 400 ha como máxima. A restrição da operação da maquinaria considerou-se 8 meses como a restrição mensal, dividindo-se em duas partes: do mês de setembro a dezembro e de março a junho. Além disso, os dias possíveis para operação mensal foram baseados nos dados meteorológicos considerando as atividades sociais. Isto é, os dias da operação possível por mês são 24 dias do mês de setembro, 19,6 dias de outubro, 18 dias de dezembro, 17,6 de março, 21,9 dias de abril, 25 dias de maio e 25 dias de junho. Horas de operação do trator são 10 horas por dia no máximo para o presente trabalho. As restrições de mão-de-obra temporária são os meses de novembro e de dezembro para 300 D/H e 280 D/H no máximo, respectivamente. A restrição do balanço foi adicionada na restrição da cultura do arroz, embora não fosse considerada na solução inicial. Esta consideração foi introduzida devido a introdução do conceito de risco. Pois, no Cerrado, apesar da cultura de arroz dar bastante renda, há risco de sofrer condição climática, especialmente seca na época da produção crucial.

Quadro 3. Rendimento anual e Preço recebido do Produtor

ITEM	CULTURA	ARROZ	SOJA	MILHO
	Rendimento por ha/kg	1975	1.055	1.349
1976		1.326	1.811	2.262
1977		921	1.324	2.305
1978		1.049	1.342	1.906
1979		1.498	2.381	2.462
1980		1.500	2.400	2.616
Preço por kg	1975	1,99	1,30	0,73
	1976	2,20	1,61	1,04
	1977	3,61	2,73	1,14
	1978	6,41	3,17	1,73
	1979	11,26	5,62	3,08
	1980	13,36	9,39	5,62

Quadro 4. Variação do Coeficiente de Renda
(Unidade Cr\$/ha)

ITEM \ CULTURA		ARROZ	SOJA	MILHO
		1975	8.325	1.874
A N O	1976	9.209	6.795	3.203
	1977	6.398	5.808	815
	1978	12.109	2.732	-593
	1979	25.912	17.053	5.117
	1980	10.003	10.586	2.461
	MEDIA	11.993	7.475	1.667
	D.M	4.679	4.230	1.927
	D.P	7.074	5.631	2.360

NOTA.: $D.M = \sum/x_j - \bar{x}/n$

$$D.P = \sqrt{s/n-1}, \quad s = \frac{\sum x_j^2 - (\sum x_j)^2}{n}$$

5.2.3. Determinação dos coeficientes básicos do modelo.

Os coeficientes básicos do modelo são determinados como seguinte: Os coeficientes do gol da renda e da estabilidade da renda são estimadas pelos dados estatísticos do Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (CPAC) e dos Estados de Goiás, e Distrito Federal. Isto é, a variação da renda, considerando 6 anos de 1975 a 1980; é baseada no rendimento e preços recebidos pelos produtores. A variação do rendimento de cada cultura, 1500 kg/ha de arroz, 2.400 kg/ha de soja e 2.462 kg/ha de milho é baseada nos dados experimentais de 1980 como mostra no Quadro 3. E outros rendimentos de outros anos são estimados pelos rendimentos dos estados. Os coeficientes da margem bruta são deflacionados pelo índice da coluna 2 da Fundação Getúlio Vargas (FGV) sobre a quantidade do valor obtido pela subtração dos custos comparativos do resultado de produto do rendimento vezes preços recebidos por produtor. (2). Os índices utilizados são 8,615 de 1975, 6,099 de 1976, 4,275 de 1977, 3,082 de 1979 e 1.0 de 1980. Esses valores eliminam-se o efeito da inflação, sendo que a fonte de variação fica baseada no rendimento e preços. A variação de cada cultura é encontrado no Quadro 4. Para o gol da renda utilizou-se a média do Quadro 4. E a variação da renda é utilizada a desvio da média para o gol da estabilidade da renda. A razão do uso do desvio da média como indicador da variação do desvio da média. O desvio da média é o resultado da soma do módulo entre variável e média dividido por número de observação. Isso significa que, quando o gol da renda Cr\$ 2.500.000,00 for alcançado e se variação da renda (desvio da média for de Cr\$ 1.250.000,00, a média da variação é de Cr\$ 1.250.000,00 para cima ou abaixo.

Ainda, aponta-se a dificuldade do problema mas o qual não mostra a complementação e competição entre as atividades de produção de cada cultura, quando utilizar o índice do desvio da média para a variação da renda.

5.3. Análise dos Resultados

O presente estudo da propriedade agrícola analisou-se o planejamento da propriedade, especialmente a variação do valor do gol e adição da restrição do balanço do modelo básico do Simplex Tableau da Programação Gol. Inicialmente, analisou-se o resultado do modelo básico.

5.3.1. Resultado do modelo básico.

O resultado da solução da Programação Gol para o problema dado é apresentado no Quadro 5, sendo a combinação do arroz precoce 133,3 ha, arroz tardio 71,6 ha, milho 80 ha, totalizando 285,7 ha de área plantada. Neste resultado, o gol da

administração é seguinte: o gol da renda alcançado, o gol da estabilidade da renda é deficitário e o do emprego da mão-de-obra temporária é excessivo. Isto é, a renda esperada é de Cr\$ 2.500.000,00, o primeiro gol é alcançado. A variação da renda é de Cr\$ 1.115.000,00 e no do segundo gol, Cr\$ 1.250.000,00. A quantidade de emprego da mão-de-obra temporária do terceiro gol é de 211,1 dias-homens superior ao gol de terminado.

A área cultivada da propriedade agrícola é utilizada principalmente para as culturas do arroz e milho, totalizando 285,7 ha. Entretanto, o tipo de administração comum do Cerrado é soja e arroz em primeiro, e alguma quantidade de milho em segundo. Além disso, a cultura do milho sendo baixo nível de renda por ha, combina-se com gado de corte na maioria dos casos. Sendo assim, o resultado básico é considerado como o programa que não é prático do ponto de vista da condição do Cerrado devido a consideração de risco da propriedade agrícola. Em seguida, introduziu-se novas condições de restrições, mudando as restrições do gol, analisou-se os resultados dos cálculos.

Em primeiro lugar, introduziu a restrição da cultura de arroz analisou-se a combinação das culturas. As restrições da cultura de arroz são examinadas no modelo na área de 190ha a 150 ha sendo uma etapa para outro de 10 ha. Estes resultados são encontrados na coluna 2 a 6 do Quadro 5. Quando aumentar a restrição da área da cultura do arroz, aumenta a área de soja e diminui a área de milho. Mas, quando restringir a cultura do arroz para 150ha, soja desaparece e resta só o milho. Quando analisar o gol da administração, o primeiro gol da renda Cr\$ 2.500.000,00 é alcançado nas colunas 2 a 5. A respeito do segundo gol da estabilidade de renda Cr\$... 1.250.000,00, todos os resultados não foram alcançados e mostrou-se deficitários. O terceiro gol do emprego da mão-de-obra de 250 D/H é sempre superior a da restrição. Por outro lado, área total cultivada diminuiu-se para 280 ha da coluna 2, 276 ha da coluna 3, 272 ha da coluna 4, 265,3 ha da coluna 5 e 166,0 ha da coluna 6, quando introduzir a restrição da cultura de arroz, sendo o resultado básico de 285,7 no total.

As colunas 7 e 8 do resultado são os casos de acréscimo do gol da renda de Cr\$ 2.500.000,00 a Cr\$ 3.000.000,00 e Cr\$ 3.500.000,00. No caso do gol da renda Cr\$ 3.000.000,00, a cultura do arroz aumenta e a do milho diminui em comparação com o resultado básico. Neste caso, o gol da administração foi alcançado no primeiro gol da renda e não alcançado no segundo embora seja muito pouco deficitária. Mão-de-obra temporária do terceiro gol foi em excesso em comparação ao nível determinado.

Quando colocar o gol da renda em Cr\$ 3.500.000,00, o primeiro gol, da renda não alcançado, apresentando deficitário na ordem de Cr\$ 450.600,00, o segundo

Quadro 5. Planos Alternativos da Propriedade Agrícola

ITENS	PLANOS		UNID.	1 MODELO BÁSICO	2 RESTR. P/ARR 190 ha	3 " 180 ha	4 " 170 ha	5 " 160 ha	6 " 150 ha	7 Rd. BRUTA (Cr\$) 3.000,00	8 Rd. BRUTA (Cr\$) 3.000,00
	Gol da renda	Renda deficitária									
G	Gol da renda	Cr\$ 1000		2.500.0	2.500.0	2.500.0	2.500.0	2.500.0	2.500.0	3.000.0	3.500.0
O	Renda deficitária	"		-	-	-	-	-	5.0	-	45.6
L	Gol estabilidade	"		1.250.0	1.250.0	1.250.0	1.250.0	1.250.0	1.250.0	1.250.0	125.0
	Renda deficitária	"		135.0	11.9	109.0	98.0	91.0	98.0	14.0	37.0*
	Gol M.D.O tempor.	D/H		250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
	Excesso de M.O.B.	D/H		211.1	249.9	275.9	301.8	330.0	330.0	330.0	330.0
Ati- vida des	Arroz I	ha		133.3	120.9	112.5	104.2	95.4	91.5	133.3	133.3
	Arroz II	"		71.6	69.1	67.5	65.8	64.6	58.5	124.4	124.4
	Soja	"		-	29.6	49.3	69.1	89.8	-	-	-
	Milho	"		80.8	60.4	46.7	33.0	15.5	16.0	15.1	41.6
Mão- de- obra Mes	11	D/H		300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
	12	D/H		161.1	199.9	225.9	251.8	280.0	280.0	280.0	280.0

* Quantidades excessivas

gol da estabilidade de renda é excessivo na ordem de Cr\$ 37.000,00 superando a quantia Cr\$ 1.250.000,00. O terceiro gol do emprego da mão-de-obra temporária 250 D/H é superior ao gol, sendo a quantia excessiva a 330 D/H.

Estes programas obtidos foram caracterizados por cada um. Pois os administradores ou os produtores escolhem-se os programas que são mais adaptados às suas condições.

6. Conclusões e Sugestões

O método matemático do planejamento utilizado convencionalmente para a administração rural, especialmente, Programação Linear, considera-se somente o único gol e no caso do critério da tomada de decisão leva em consideração somente o único critério da otimização, sendo o objetivo do planejamento a maximização da renda ou minimização do custo. Entretanto, ações básicas dos produtores agrícolas sendo muito variadas e não tendo o critério ótimo e único da tomada de decisão é muito natural seguir o critério da satisfação.

O método matemático do planejamento voltado neste pensamento é a Programação Gol que sua aplicação ao problema da propriedade agrícola foi analisada.

Para planejar a propriedade agrícola pelo método da Programação Gol precisa-se entender a estrutura de gol dos produtores agrícolas e ponderar-se seu complexo dos gols no planejamento. Isto é, a estrutura do gol esclarece-se e caracteriza-se as espécies dos gols e ordem preferencial entre gols que são voltados aos problemas da administração da propriedade agrícola. Assim, o planejamento da propriedade agrícola fica mais realístico e prático.

Ainda mais, pela introdução da estrutura do gol no modelo do planejamento, conseguiu-se relacionar os diferentes gols ao planejamento. Isto é, nesta tese mostra-se consideração do estabelecimento do gol da administração e avaliação do planejamento. Além disso, apresentou-se a obtenção do programa desejável pela modificação do plano básico em comparação a estrutura gol da propriedade agrícola considerada. De maneira que, a Programação Gol é o método que pode incluir a estrutura de gol da propriedade agrícola considerada. De maneira que, a Programação Gol é o método que pode incluir a estrutura de gol da propriedade agrícola ao princípio do processo da tomada de decisão.

A programação Gol, também não é somente o método de planejamento, mas também tem aplicabilidades no método analítico da ação da administração rural. Isto é,

pela mudança da ordem preferencial do gol ou mudança do gol em si e pode-se obter vários resultados da administração rural, resultado este que pode-se avaliar o gol da propriedade agrícola que possui sua ação própria.

Os problemas não estudados para aplicação no presente trabalho são seguintes:

- a) Índice do gol da estabilidade da renda considerou-se o desvio da média. Sendo assim, quando as variações são correlacionadas entre as atividades, a variação da renda não são ponderadas. Também, o desvio da média sendo índice da variação há dificuldade na amplitude da variação que não há significância.
- b) Não considerou-se o processo da formação da estrutura do gol do administrador da propriedade agrícola. Portanto, resultou-se em restringir a área do método da escolha da substituição.
- c) Ao respeito do estabelecimento das atividades de produção, está dividido em atividades de produção do arroz precoce e tardio. Naturalmente muda-se os coeficientes da renda e sua variação na renda neste caso. Entretanto, a falta de dados impediu as análises mais profundas.

Bibliografia consultada

1. Charnes, A. and Cooper, W.W.: Management Models and Industrial Application of Linear Programming. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1961
2. Conjuntura Econômica, Índice-Coluna 2.
Instituto Brasileiro de Economia - Fundação Getúlio Vargas
3. Contini, B. A Stochastic Approach to Goal Programming. Operation Research (May - June 1968). P. 576 - 86
4. Higuchi Akinori. Multiple Goals in Agricultural Planning.
Chugoku National Agricultural Experiment Station, Series C, nº 25
5. Ijiri, Yuji. Management Goals and Accounting for control.
Chicago: Rando-McNally, 1965
6. Lee, S. M.: Goal Programming for Decision Analysis.
Mason & Lipscomb, Inc. New York, 1972.

