

業務資料 No. 525

熱帯の草地と畜産

—ブラジルを中心とした—

国際協力事業団

移住海外事業部

図書印
JR
79-3

業務資料 No.525

熱帯の草地と畜産

—ブラジルを中心とした—

JICA LIBRARY



1025704[6]

国際協力事業団

移住海外事業部

移農牧
JR
79-3

国際協力事業団

受入 月日	'84. 3. 28	703
		87
登録No.	02508	ESE

は し が き

従来、わが国の中南米の開発途上国に対する農林業開発協力は若干の短期専門家、調査団の派遣あるいは視察にとどまっていた状況にあった。

しかし、中南米にはブラジル、アルゼンチン、パラグアイ、ボリビア、ドミニカ等多くの国に90万人に近い日系人が生活しており多くの人々が農業に従事している。また、昨年は、わが国からブラジルへの移住が始まってから70年に当りサンパウロ市において盛大に記念式典が開催されるなど記念すべき年にあたった。

このような背景もあり、最近では中南米に対する日本の協力も活発になり日系人移住地をも含めた地域へいくつかの農林開発協力プロジェクトが進行中ないしは計画中である。

このため熱帯農業、特に畜産に関する各界、各層からの照会が多くなってきている。もちろん、中南米各国には立派な大学、試験場があり各地で各種の試験研究に携っているが、その成果を活用できるのは語学に不自由しない一部の人に限られており、移住者、移住希望者はもとより農業関係者からも日本語による適切な資料の出版が望まれていた。

さいわい、このたび名古屋大学教授、佳山良正氏の好意により、旧海外移住事業団による「ブラジルの草地と畜産」を「熱帯の草地と畜産－ブラジルを中心とした－」としてここに改訂出版できる運びとなった。

本書は、ブラジルを中心に記述されているが、中南米全域にも適用されると思うので関係者各位の良き相談相手になってくれる事を望んでやまない。

昭和54年3月

移住海外事業部長

目 次

I	熱帯の草地土壤	1
	1. 熱帯の草地農業	1
	2. 熱帯草地の地力	4
	1) 気象と土壤	7
	2) 熱帯土壤の特性	16
	3) 土壤生成と地形	18
II	ブラジルの土壤	19
	1. フラジルにみられる土壤	19
	1) ラトゾール	21
	2) ボドノル性赤黄色土とその同系土壤	21
	3) 地中海沿岸赤黄色土とその同系土壤	22
	4) Solos Hidrómorficos と Solos Concrecionários	22
	5) Solos Hidrómorficos Cimentados	23
	6) Brunizem と Solos Prairie Avermelhados	23
	7) リトゾール, レゴゾール, 海岸土壤および酸性赤黄色土	23
	8) 海岸ソロンチャク, ソロネッツとブラノノール	24
	9) 褐色酸性土と沖積土	24
	10) グルムゾール	24
	2. 地域的分布	25
	1) 植土形成土壤群	25
	2) 湿润ラテライト土の優占する土壤群	25
	3) 東部熱帯森林土壤と東北ブラジル平地土壤群	25
	4) 中央ブラジルおよび南東ブラジルのセラード土壤群	25
	5) 北ブラジルの土壤群	26
	6) 母岩を含む土壤群と熱帯高原森林土と中間性の土壤	26
	7) 南ブラジルの白亜紀土壤景観をともなう土壤群	26
	8) 南東ブラジル海岸低地土壤群	27

9) 南東部と南部高原地帯の土壌群	27
10) 南部高原内陸性土壌群	27
11) 南部高原の南山腹土壌群	27
12) リオグランデドスール南東部山脈土壌群	27
13) 低地平原土壌群と中央リオグランデドスール低地土壌群	28
14) パンタナル土壌群	28
15) Bodoquena 地帯土壌群	28
16) Espinhaça (有刺樹)と Canastra (樹木名)および Pacaxaiã (樹木名) 群生地帯の土壌群	28
17) カーチンガ地帯の土壌群	29
18) 中部サンフランシスコ川地帯の砂丘土壌群	29
19) 海岸地帯の植生に関連する土壌群	29
20) アマゾン低湿地土壌群	29
3 サンパウロ州の地質と土壌	30
1) サンパウロ州の地質	30
2) サンパウロ州の土壌の慣用名とその説明	33
3) サンパウロ州の土壌	36
Ⅲ カンボセラード、カーチンガそしてサバンナについて	47
1) カーチンガ	47
2) カンボ	48
3) セラートス	49
4) セラードスとサバンナ	49
5) サバンナ	52
Ⅳ 熱帯における草地利用	61
1. 施肥効果について	61
1) 窒素肥料に対する反応	61
2) リン酸肥料に対する反応	62
2. カンボセラードスの生産力	63
3. 熱帯草地におけるミネラルの問題	69

1) 土壤養分の有効性に影響する諸要因	70
2) K, Ca と Mg について	74
3) 微量要素含有肥料の効果	79
4) 養分補給に対する種の反応	80
5) 養分欠乏の診断	81
6) 放牧家畜とミネラルの問題	82
4. ブラジルの要素欠乏土壌の問題	87
1) 硫黄欠乏土壌について	87
2) トウモロコシの亜鉛欠乏症	89
3) パヒアグラス Capim Batatais と硫黄とリン酸	90
4) Capim Colonião に対する施肥と肉生産	91
5) 窒素の影響と施肥基準	93
6) リン酸の影響と施肥基準	95
V 熱帯畜産経営の諸問題	97
1 畜産経営の改善	97
1) 舎飼	97
2) 吸血昆虫や蠅の駆除	98
3) 放牧地の庇蔭	98
4) 牧棚	99
5) 草地改良	100
2 飼養および繁殖上の改善	101
VI 熱帯における牛の環境順応性	107
1. ブラジルの畜産における牛の気候順応の重要性	107
1) 熱帯性気象に対する家畜の反応	107
2) 体温と呼吸数の反応	107
3) 呼吸数	110
4) 脈博とヘモグロビン価	110
5) 汗腺の問題	110
6) 耐暑性	112

7) 陶 汰	113
2. 熱帯における牛乳生産	114
Ⅶ フラジルの酪農と肉生産	117
1. ブラジルの酪農	117
1) フラジルの牛乳生産と乳牛	117
2) ブラジルの牛肉生産	121
Ⅷ セブー(印度牛)について	127
1. 米国のセブー	127
1) アメリカン・ブラーマン	128
2) サンタガートルティス	128
3) フランガス	128
4) ブラフォード	129
5) シヤブレイ	129
6) ビーフマスター	129
2. ブラジルのセブー	129
1) オンゴールまたはネロール	129
2) グセラ	129
3) ギール	130
4) インドフランル	130
Ⅸ ブラジルの草地	133
1. 南ブラジル	133
2. 中央フランル	134
3. 北東ブラジル	137
4. 北ブラジル	138
X ブラジルの暖地型牧草	141
1. イネ科牧草の進化	141
2. 暖地型と寒地型草の違い	146
1) 生育の適温	146
2) 発芽温度	146

3) 光合成能力	146
4) 葉の光飽和度の違い	146
5) 二酸化炭素の補償点	147
6) 代謝機構上の相違	147
3. イネ科牧草	147
1) Panicum 属の牧草	147
2) Panicum maximum 以外の Panicum 属の牧草	156
3) Paspalum 属の牧草	162
4) Pennisetum 属の牧草	171
5) Echinochloa 属の牧草	177
6) Hyparrhenia 属の牧草	180
7) Melinis 属の牧草	183
8) Digitaria 属の放草	186
9) Axonopus 属の牧草	188
10) Brachiaria 属の牧草	193
11) Tripsacum 属の牧草	194
12) Andropogon 属の牧草	199
13) Rhynchelytrum 属の牧草	201
14) Heteropogon 属の牧草	203
15) Eragrostis 属の牧草	204
16) Aristida 属の牧草	205
17) Cynodon 属の牧草	205
4. マメ科牧草	210
1) Alfafa do Nordeste または Trifolio	210
2) Alfafa Mineira または Ervilhaca Campeste	213
3) Amendoin de Veado	215
4) Amor do Campo または Trevinho do Campo	216
5) Amor de Vaqueiro または Engorde-Magro	217
6) Barbadinho	218

7) Carrapicho Beijo de Boi	220
8) Feijão de Boi	222
9) Marmelada de Cavalo	223
10) Camaratuba	226
11) Feijão Bravo	227
12) Falso Oró	228
13) Calopogonium Mucunoides Desv.	228
14) Feijão Miúdo または Caupi	229
15) Feijão de Porco	232
16) Feijão Veludo または Mucuna Preta	233
17) Guando または Guandú	236
18) Anleiva	238
19) Jacatupé または Feijão Batata	241
20) Oró	242
21) Kudzú Tropical	243
22) Trevo de Carretilha	244
23) Jitirana	249
5 ブラシルの寒地型牧草	250

I 熱帯の草地土壌

1. 熱帯の草地農業

我々温帯で生活するものにとって、熱帯での生活とくに農業とか畜産とか自然環境の影響を直かに受ける仕事をなりわいとする場合想像の枠を超えた様々な問題につきあたるものであり、温帯での技術が全く役に立たないこともある。この小冊はとくに熱帯ここでは中南米を中心とする移住者で草地農業を行っている人々あるいは計画している人々のために役立つことを目的とするが、まず熱帯の草地利用の一般について概説する。

草地の生産量と一口にいても、例えば日本でも北海道と九州では同レベルの肥料を施用しても、暖地の方が高い傾向がある。これは太陽エネルギーの差にもよるし、これに関連するが気温の影響もある。これは同じ種類のオーチャードグラスについてみていえるのである。勿論暖地は刈取回数が5回、6回もできるが、冷涼地では2回か3回刈だからだというが、刈取回数も多いとあまり収量への大きな要因にはならないことが多くの試験で実証されている。日本国内でもこのように差があるのに、まして熱帯諸国と日本との間ではなおのことと考えられよう。熱帯や亜熱帯では後章で述べているが、暖地型草が栽培されており、日本では寒地型草が主であるので、この両型の太陽エネルギー利用率の差が、またこれに加わるのである。その他に高温多湿条件と高温乾燥条件という両極端の環境は草本の生長に、場合によっては苛酷な条件を与えることになるし、またそれを糧とする牛や羊にとっても大変な影響を受けることになる。

草地の生産量と家畜の要求量とよく適合させている技術は、ニュージーランドの子羊肥育業にみられる。例えば草地の最高生産を示すのは晩春と初夏で、この時期に目標をおいて肥育し、16～20週令で売却するが、この時は草地生産の下降期になっている。日本の場合はこのような条件の利用より、市場条件が優先してなかなか肉牛の売却期は難しいし、草地の条件がこの様に影響する程草地の経営面に果す役割は大きくない。ニュージーランドの気候は温帯に入り、草地農業では非常に恵まれており、家畜は年間を遡じて放牧が可能で、乾

草とかサイレーンは最小の準備でこと足りる。例えばある地方では ha 当り乾物で 15,700 Kg を草地で採食し、粗蛋白はその 20～30% をとることができる。

熱帯での草地農業はこれに較べて遙かに条件が悪い。雨季と乾季が分かれている場合が多く、乾季が 5～6 カ月にもなり、その間の牧草の生産は見込まれぬし、牧草の質も牛の維持要求量にも充たぬくらい低い、劣悪なもので、牛乳生産とか肥育や育成要求などおよびもつかぬ場合が多い。この周期的栄養欠乏は家畜の成熟期を遅滞させ、あるいはそのままこじれてしまう例が多い。例えばブラジルの北東部のゼブー種は 300 Kg 程度だし、コロンビアや中米諸国のクリオウロは同様に 300 Kg で生育がとまっている場合が多い。そしてこの暑熱のストレスの他に病気とくにトリパノソーマとかピロプラズマあるいは口蹄疫のようなものが、それに拍車をかける。肉牛の生産は殆ど粗放管理にまかされ、改良草地で集約的経営がみられるのは研究所やヨーロッパ移民の農場に限定される。極端な場合はアフリカにみられるように半遊牧経営で、雨季を目標に家畜群を移動する形態もある。熱帯の遊牧条件に適合した家畜は、肢が長く長距離歩行能力があり、しかも長期間の半餓状態に耐久するような体質でなければならぬ。こうした形質はゼブーとくに晩成種のもものが備えている。ナイジェリアの遊牧経営は大部分がゼブー種で、季節移動は草地を求めて移動するばかりでなく、ツェンエバイの分布も関連している。北ナイジェリアの半砂漠地帯にある Cameroons 高地と Bauchi 高地は年間通してツェンエバイがないが、長い乾季（10月～4月）がある。また北ギニアのサバンナでは、ゼブーの牝は 18 カ月で 252 Kg 牝は 234 Kg にしかない。しかしこれが他の地域では 3 年もかかる。ナイジェリアの西部地方のサバンナにおける草地の牧養力を示すと次のようである。

表1 animal unitあたり要求草地面積

草地型	1年のうちの期間	animal unitあたり平均
灌木地放牧	{ 生育期	2.4 ha 計
	{ 乾期	7.2 9.6
牧草地	{ 生育期	0.3~0.4
	{ 乾期	2.0 2.4
乾季にサイレージを補給	{ メイズ	0.1
	{ 草	0.2~0.26

この場合の1 animal unitは成熟したNdama牛で体重320 Kg (3 1/2年)

この表で分るように乾季用に小面積でも牧草地をもつことが有利である。例えばElephant grass, Andropogon gayanurをマメ科のStylosanthes guyanensisと混生させると効果的である。これらの草地は牧棚で囲い、なん区画かに分けて輪かんさせる必要がある。また給水場の設備は大切だが、あまり遠く離すと水飲場付近が過放牧になり、草地が破かいされる。この他Cynodon plectostachys (パーミューダグラスの類)やPanicum maximum (パニックグラス、ブラジルではCapim colôniaの類)の草地では、この辺で7月から10月の季節で1日の増体が220g~320g, 両草の混生草地では400gということである。またIbadamの大学の試験では、このCynodon plectostachysとマメ科のCentrosema pubescensの混生草地では、5月~6月は1日570g, 半乾燥期である10月~12月は430g, 12月~3月の乾期では体重維持でha当り4頭であったと報告している。この場合の牛は2才令のNdama去勢牛である。この成績は濃厚飼料なしで、12カ月連続で、平均200gの日増体で、1ha当り0.24頭, 肉生産は307Kg/ha, というように低生産である。しかしながらカリブ海沿岸地帯では、同じ熱帯でも明らかに高い生産量を示し、雨量の比較的多いところでは、バンゴラグラス草地が適しており、年間ha当り1178Kgの増体を得ており、このような草地はやはり施肥管理に注意している。この場合は335Kgの硫酸を施用しているが、無肥料の草地は365Kgの増体にすぎない。

熱帯における草地管理：熱帯の草地改良の緊急な方法は、まず草種を変えることである。つまり低生産の *Aristida* 属のような野草にかえてより高生産性の種子を播くことであるが、この場合十分に風蝕や雨による侵蝕に注意することが必要である。また条播、条植のときは播き幅を充分とり、活着をよくするために最初のリン酸肥料の施用が成否を決定する。またマメ科で最も有効なのは *Stylosanthes* 属がよく、条播は幅を広くすることが必要である。施肥は窒素とリン酸が主になるが、自然草地であるサバンナへの施肥も生産量をかなり増加するといわれる。また牧草地への侵入野草の調整には選択性除草剤がよく使われている。火入れは原則として乾季の終りに実施するのが推奨されている。草地改良の若干の例をあげると、印度では蓄水草地の普及まではかつているが、エレファントグラス、バニックグラス、またブラジルで *Capim Marmelada* とよんでいる牧草 (*Brachiaria* 属) とスーダングラスを導入して、野草地の改良を行っている。またブラジルで *Capim Mimoso* とよんでいる牧草がマッドグロソソ州などに多いが、この牧草とマメ科の *Alyosia* や *Siratiro* を混播して成績をあげたという報告がある。

コロンビアの改良で成績をあげた例は、この国の草地の90%は1頭の牛の飼養に5haもの面積が必要という非常に低生産性であるが、これは古く、緊密に張ったシバ型の草地をブラオヤテイスクハローで破かいして、生産性の高い牧草を播くことで大きな成果をあげている。高地の冷涼地は寒地型の牧草で効果をあげ、低地の暑いところはバンゴラクラスの茎を播いて(幅90cm)成功している。

コンゴでは、低地は *Stylosanthes guyanensis* の導入で成績をあげ、とくに *Capim mimoso* の類の *Brachiaria ruziziensis* (イネ科) にこのマメ科の *Stylosanthes* を混播して成果をあげ、乾季でさえ785kg/haを得ている。

2. 熱帯草地の地力

熱帯草地の地力を論ずるには、まず気象と土壌の関係を知る必要がある。そのために雨量効果 (Precipitation Effectiveness, PE) と温度効果 (Temperature Effectiveness, TE) と植生との関係をみよう。PEとは降雨量に

よって、砂漠-半砂漠-短草型草地-中草型草地-高草型草地-森林というように雨量が多いほど森林に向って植生が変わっていく。そして構成種の数も種類も変わる。このような変化を数字で示すことができる。同様に T E は高緯度から低緯度に向って進むと気温は寒冷から温暖そして暑熱という方向に変わるから、草地の構成種は寒地型草が優占するものから次第に暖地型が優占する草地へと変化する。この T E を Thornthwaite が示数で示すように考案した。次式が P E と T E の示数を求める式で、両者ともほぼ同じくらいの大きさの範囲で示されるように工夫されている。

$$P E \text{ 示数} = \frac{12}{1} 115 \left(\frac{P}{T-10} \right) \quad , \quad T E \text{ 示数} = \frac{12}{1} \left(\frac{T-32}{4} \right) \quad , \quad P = \text{降水量 (インチ)}$$

T は F° . T E 示数は 32 F° 以上の月平均気温の計算

次表はその P E と T E の数字の大きさと植生との関係を示したものである。

表 2 P E と T E による気象と植生の標示

気象(雨量)	示 標	植 生	気象(気温)
A 過 湿	PE>128	降雨林	A' 熱 帯
B 湿 潤	PE=64~128	森 林	B' 温 帯
C 亜 湿 潤	PE=32~64	草地(長草型)	C' 低 温 帯
D 半 乾 燥	PE=16~32	" (短草型)	D' タ イ ガ
E 乾 燥	PE<16	砂漠(疎林)	E' ツンドラ
D' タ イ ガ	TE=16~32	タイガ	
E' ツンドラ	TE=0~16	ツンドラ	
F' 永久凍土	TE=0	無	

(J. R. HARLAN)

自然草地は上表のように湿潤と砂漠の間であって C と D で示される。砂漠性気候 E は普通砂漠性小灌木と草本との混生クライマックスであるが、E' はツンドラで北極圏の草原すなわち地衣類、イグサやセージそしてイネ科草のあるものによって構成されている。ところで Thornthwaite の方式で、上表の A → E に対応して気温で分けると表の右側のようになる。この P E と T E の示標に

加えて雨の季節分布を表現すると、r = 四季とも雨が豊かである、s = 雨が夏少なく、冬多い、w = 雨が冬少なく、夏多い、d = 四季を通じて雨が少ないという4記号が使われる。W'を使うことがあるが、これは冬より春に乾期があり、雨季が夏よりむしろ秋にあるような熱帯性気象条件のときに用いられる。とくに熱帯と亜熱帯ではB気象のなかに草地をみることができるが、その場合は雨季と乾季が明確に存在している。温帯多雨と熱帯多雨、例えばBB'wかBB'sとBA'wかBA'sがサバンナである。またサバンナ草原と森林との間に移行型としてのサバンナもみられる。自然草地として地球上に占める面積とその比率を示すと次のようである。

表3 大陸に占める自然草地の面積 (J. R. HARLAN)

大陸	C	D	E	大陸	C	D	E
北米				アジア			
1000平方マイル	1287	1,142	378	1000平方マイル	2,699	3,403	2,461
%	149	132	44	%	167	210	152
南米				ヨーロッパ			
1000平方マイル	2,340	665	447	1000平方マイル	1,660	177	46
%	326	93	62	%	438	4.7	12
アフリカ				オーストラリア			
1000平方マイル	3,283	2,286	3,839	1000平方マイル	530	846	1,306
%	288	201	336	%	17.8	28.4	43.9

B気象は6型で示され、そのうち熱帯性のもので湿潤熱帯気候BA'rは南米とアフリカに広汎にみられ、一般に混合林が占める。冬雨の少ない湿潤熱帯気候BA'wは南米と東南アジアに広くみられ、土壌要因による局地的森林-サバンナ極相を示すことである。

C気象は10型を示すが、まず冬雨の少ない亜湿潤熱帯気候CA'wは南米、アフリカ、インド、東南アジアとオーストラリアに広くみられる。冬雨の少ない亜湿潤帯気候CB'wはメキシコ、アフリカの南部、中国のかなりな部分を占

め、雨季のない亜湿潤温帯気候 CB'd と CC'd は北米のプレリー地帯として広く占有している。またアジアの南西、中央部にも広大な範囲で占めている。そのクライマックスは長草型草原である。

D気候は北米、アフリカ南東部、オーストラリアと中央アジアに広くみられる。D気候はb型が知られており、半乾燥温帯気候 DB'd と半乾燥低温帯気候 DC'd が最も広い。砂漠気候 E は 3 型が知られており、乾燥熱帯気候 EA'd はまずサハラ、アラビア、バルキスタンとオーストラリアの砂漠が代表される。乾燥温帯気候 EB'd は南北両アメリカの砂漠の一部、アフリカの南東部、アジアの南西部とオーストラリアの一部に特徴的にみられる一方、乾燥低温帯気候 EC'd はアルゼンチンのバタゴニアと中央アジアに存在する。砂漠地帯の極相はイネ科草と小灌木である。

1) 気象と土壌

成熟した土壌断面は気候と植生の両者の影響下で発達するものであるから、気候と土壌の間の密接な符合点が期待される。事実、大土壌群の世界的分布は大気候型の分布に符合している。土壌は一般に 2 群に分けられる。すなわち Pedalfer (鉄アルミナ土壌)あるいは湿潤土壌、それと Pedocals (石灰土壌)または乾燥土壌である。この分類は多雨によって根圏部から多くのミネラルが溶脱される結果に基づいたものである。寡雨地帯では溶脱は上層のみにとどまり、ミネラルの集積をもたらす。とくに表層 60 ~ 90 cm へ石灰の集積がみられる。この石灰層は非常に緻密で雨水の浸透は困難である。そうなるこの層の上の層のみが水貯蔵と根系発達のための唯一の層となる。Pedalfer では石灰塩は普通根圏以下に溶脱される。Pedalfer と Pedocals の区別はアメリカではとくに "Lime line" としてかなり明確にしているが、一般にこの境界線はプレリーの亜湿潤気候型のなかにある。そして Pedalfer から Pedocals を分けるために使用される示標は $PE = 48$ である。

さて湿潤熱帯気候では、原則的には土壌生成過程はラテライト化作用である。この過程では、高温と化学作用の促進に起因して洗脱物質の大きな変化が生ずる。普通温帯では土壌の骨格をなすシリカが、ここでは上層から除去され、下層に珪酸粘土として沈積する。そして植生に由来する物質は非常に早く分解す

るため有機物の集積はきわめて乏しい。しかしサバンナや他の熱帯の草地ではかなりの集積がみられる。冷-温帯のポドソル化土壌と熱帯のラテライト化土壌との間には移行型が一般にある。すなわち灰褐色ポドソル土は典型的ポドソルの南限にまであり、種々の面で類似する。また赤色、黄色ポドソル土はかなりラテライト化しているのが普通である。P EとT Eの関係からみると高T Eのラテライト化から低T Eのポドソル化まで土壌群の配列を模式化できるわけである。この土壌群の配列の中で乾燥側にあるのはプレリー土壌と熱帯サバンナ土壌である。一般に草原土壌は有機物とミネラル含有量が森林土壌より多い傾向があるが、熱帯では必ずしもそうでない。

高いP Eから低いP Eへの移行のなかで pedocals は チェルノーゼム、栗色土、シエローゼムそして砂漠土壌となる。亜湿潤から砂漠への移行のなかで、土壌要因として原則的なものは寡雨による溶脱の減少と植被の減少による有機物生産の減少である。チェルノーゼムは下層のC層の遊離の炭酸塩でしばしば土壌反応が中性を示す。また栗色土は表土近くでいくらかアルカリ性を示すように、B層で遊離の炭酸塩のかなりの量が集積している。シエローゼムと砂漠土に至っては遊離のCa塩が表土でさえ集積がみられる。

ラテライト化作用、塩類集積化作用、アルカリ化作用とソロチ化作用：熱帯の土壌を知る上にとくに知っておかねばならないのは、熱帯土壌生成作用である。石灰集積化作用あるいはポドソル化作用、グライ化作用など温帯でみられる土壌生成作用よりも上記の作用が最も大きく土壌生成に関与しているのである。このなかで粘土の SiO_2/R_2O_3 の低い、(酸化鉄とかアルミニウムと珪酸の比)置かん容量(粘土粒子が表面に陽イオン、Ca, Mg, Kなどを保持できる能力)の小さい、第一次鉱物の少ない、可溶性塩類の少ない、しかも団粒形成力のある赤色の土で熱帯、亜熱帯にあるものを Latosol とよんでいる。そしてこのラトソールを作る土壌生成作用を Laterization と総称するのである。この作用は熱帯の気候条件下で過剰な水分と高温にさらされる雨季と乾燥の続く乾季の交代する地域の土壌に典型的に生ずる。この条件では微生物の活動が激しく、有機物は徹底的に分解されて中間産物である有機酸すら生成されず、灰分は土壌溶液中に供給される。また珪酸塩の加水分解も急激で、 SiO_2 は急速

に洗脱されて Fe や Al の水酸化物また酸化物が土壤中に集積して赤色を呈するのである。

次ぎに熱帯の乾燥地帯に多い土壌は塩類集積土で、この塩類集積化作用がナトリウム土壌生成の第一歩になる。この作用は土壌水分の上昇運動が多く、(雨量が少なく、蒸発が多いから)しかも自然排水が悪く場合に生ずる。しかし降雨量の多い台湾、インド、東シナ海沿岸地帯にもみられる。起源としては海水が乾涸したものとか、火山噴出物や岩石の風化物によるもの、あるいは Na の多い有機物とくに塩生植物の堆積が分解して土壌に集積したものなどが考えられる。代表的土壌は、ソロンチャク、白色アルカリ土、含塩土壌などである。そしてこのような土壌の粘土コロイドの表面に付着している陽イオンが周辺の土壌溶液中の Na と交かんして、Na の多い粘土コロイドとなる。そしてこれらの交かん性陽イオンの総量(主として Ca Mg K Na であるが)のうち Na+K が 12% 以上になるとソロネツ土壌ということになる。この Na+K の量が多いが、12% に達しない場合はソロンチャク-ソロネツ複合体とか含塩アルカリ土とよぶ。ソロネツの場合は Ca が減少し(普通の土壌では交かん性陽イオンのなかでは Ca が圧倒的に多く、次いで Mg である)、Na が増加すると Na を多くもったコロイドは加水分解を受けて遊離の NaOH を形成し、このため土壌の pH は 9 から 10 という異常に高い値となり、そのため有機物が溶解されるから土は黒褐色になる。これが黒色アルカリ土である。そして Na-粘土は分散し、下層に集積してアルカリ粘土盤を形成するから透水性が極めて悪くなる。以上がソロネツ土壌の典型である。このような土壌での作物生産は容易でない。このソロネツ土壌の Na-粘土盤がなんらかの原因で割れ目が入り、水ぬけができるようになると脱アルカリ化作用が働き、土壌断面から Na_2CO_3 や Na 塩が除去されていき、表層の pH は次第に低下していく。この過程がソロチ化作用である。アルゼンチンのアンデス地方はこのソロネツ、ソロチ土壌が広く分布し、農耕を妨げているが、一部開拓者はブドウ園の建設に、アンデスの雪解水を利用して苦心している姿を私はみている。

註 1 土壌コロイドと交かん性塩基：土壌は大小種々の大きさの粒子からなっており、そのうち広義では $0.001\text{mm} = 1$ ミクロン以下の部分、狭義では 0.1 ミク

ロン以下の部分をコロイドといている。でんぶん、膠などもコロイドで、水に分散させたときは、水を吸収して膨潤になるから親水性コロイドというが、金属やここで述べているCaとかNaは親水性でなく、そ水性コロイドである。このようなコロイドは電解質に非常に敏感で、加えると凝固する。土壌の無機コロイドは大体そ水性で、懸濁コロイドであるが、一価の陽イオンと結合した有機無機コロイド複合体（土壌のA層にみられる土壌など）のコロイドは、むしろ親水性を示す場合がある。いずれにせよこの土壌コロイドは一般に負に荷電しているので、その周辺の陽イオンを吸着して電氣的に中性になろうとする。このコロイド粒子の表面に吸着している陽イオンは、他の陽イオンと容易に交かんされる。またこの陽イオンを保持する能力はコロイドの種類によって著しく違う。例えば2：1型粘土鉱物は親水性で膨潤になるモンモリロナイト、パーミキュライト、そ水性で非膨潤性のイライト 1：1型粘土鉱物は板状型のものカオリナイト、伸長状のものハロイサイトなどがあり、これらは結晶性の鉱物である。しかし非結晶のものにアロフェンがあり、これは日本に広く分布している火山灰土の粘土鉱物の主体である。一般に陽イオン交かん能は腐植を多く含む土、モンモリロナイトを含む土に大きい。また砂と粘土と比較すると粒子の小さい粘土が遙かに大きい、1：1型のカオリナイトを多く含む土壌は7～10 me くらいよりなく、モンモリロナイトの40 me などに比較すると著しく小さい。

② 植生関係で極相（クライマックス）および各草地型の説明：地球上に広がるもろもろの植物群集の型は、気候によって支配されている。したがってもし人為や動物による攪乱が過度にならぬ限り、あるいは局所的な特別な土壌要因が働かぬ限りは、その地域の気象の特性を表わす植生構造を備えた安定した植物相におちついて、そのまま永続するのである。これをClimaxという。例えば日本の場合を考えてみよう。北海道の宗谷からオホーツク海岸地方そして根釧原野はコケモモトウヒ帯である。また中央部の山岳部は高山植生で、ハイマツ群落がみられる。しかし北海道の南部低地はミズナラブナ帯が占め、これは東北地方そして北関東までおよび、中部地方の山間部さらには中国山脈の高地、九州、四国の山岳部に不連続的にこの植生がみられる。そして南関東

から東海近畿から中国，四国，九州の大部分はヤブツバキ—シイ帯がクライマックスである。勿論緯度のみでなく，標高によっても区別ができる。

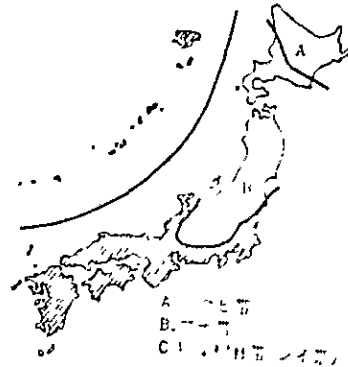


図1 日本列島の極相分布

例えば東北地方ではコケモモ—トウヒ帯は1500m以上で，それ以下ではブナ帯である。九州では1000m以上がブナ帯で，それ以下はヤブツバキ—シイ帯である。こうしてみると日本のクライマックスは森林で，草原はないということになる。しかし全くないわけではなく，尾瀬にみられる湿原，釧路や根室周辺の広大なヤチ（湿原）は，そのような環境で安定した極相なのである。また海岸や湖畔のヨシやアシの群落もそうである。しかしその面積は全体からみると微々たるものである。それでは日本にみられるススキ草原やシバ草原はどうか？という疑問が生ずるのは当然である。これらは持続群落ともいわれ，クライマックスの前の段階で停滞し，一応環境よりのストレスのある条件で安定して，変化しない状態にあるのである。例えば火入れとか，放牧とか，刈取りという行為が働いて，ススキ草原が維持されているのである。もしこの行為が中止されたら日本のように雨量が1500mmもあるところでは，早速森林形成へと進行し始める。ススキ草地に灌木，例えばヤブウツギ，ノリウツギ，タニウツギ，ヤナギ，ハンノキ，コナラ，ナツハゼ，ネジキなどの侵入が目立ち，遂には森林を形成し，なん100年後にはその地域のクライマックス植生にな

って安定するのである。ブラジルの Campo Cerradoはこのススキ草原に似ている。ブラジルの場合火入れというより山火事が多く、毎年乾季に山が焼けるこれが原因でブラジル中央部の草原が成立しているといわれている。ブラジルのこの Campo Cerrados はクライマックスだ、つまりサバンナと同様であるという学者もいるが、どうも真のクライマックスでないような気がする。もっとも年雨量が800mm程度以下であれば、そのようにも考えられる。大ざっぱに言って雨量が1000mmを超すようなところでは、草原クライマックスは形成されないとみてよい。このように放牧、火入などで自然の草原が維持されている場合を妨害極相ともいう。つまり真のクライマックスに対してディスクライマックス (dis-climax) というのである。

次に図2を説明すると、これは草原の景観である。これは3つの群集に分けられる。そしてそれらは優占している草種によって、それぞれ特徴をもった単位に分けられるのである。

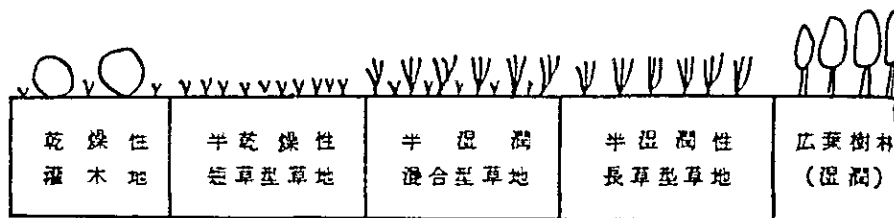


図2 乾燥から湿润までの植生の移行

ある種類はこの図の全群集に出現するが、1群集のみに優占しており、他の群集には準優占種として、あるいは他の群落では単なる構成種の一つであるというような場合が普通である。長草型の草種は草原の湿润な地区に最大の成育を示し、短草型の草種はさらに乾燥したところに適しているだろうし、両者の混生している型は、その中間的な土地条件のところに成育圏が自ら決ってくるのである。

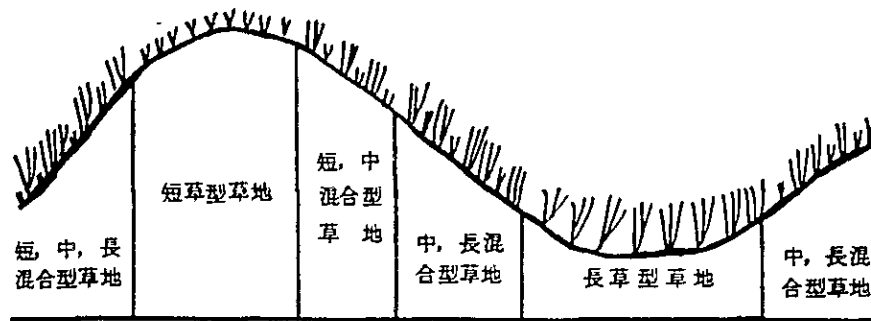


図3 草原と地形

図3は群集形成におよぼす地形と土壌の影響を混生型草地 (mixed grassland) について示したものである。ここでは長草型は土壌と水分がその成育に最も望ましい条件を備えている低地に優占している。これに対して短草型は丘の頂上付近に優占しているが、ここは炭素の多い層が浅く存在し、乾燥性の環境をなしている。そして本来の混生群集はその両者の中間にある緩い傾斜面を占めている。低地に占めている長草型群集は、この場合 post-climax (後極相) として、また短草型は混生型においてより乾燥した地区を占めて形成しており、これを pre-climax (前極相) という。これは母体を混生型とすると、それより前の低い段階を前、進んだ高い段階を後としたわけである。

土壌要因が草原形成にどの程度影響しているかという問題については、例えば草原を流れる川を想定してみると分かりやすい。つまりこの川に沿って砂質土壌の帯が続いているのによく遭遇する。この安定した砂質土壌は、細砂、微砂が多く、むしろ成熟した粘土の多い埴土よりも土壌水分の保持がよく、しかも水排けも適度であるから、植物に供給する水が多い。これに対して粒子の細かい埴土では、水の地下への透過が悪く、表面を流亡する水が多く、植物への水分の供給が悪い、したがって川の周辺に林地帯が続き、川から離れるにしたがって草原が広がるという風景が多くみられる。この場合は砂質土壌の方が埴土より水経済が良好であることの一例である。このような例は、短草型草原に流れ

る川沿いに長草型草地在指のように深く入り込んでいる場合などよくみられる。これはすべて post climax の例である。

また粘土コロイトが多い土壌は前述のように非常に透水性が悪いため極端に土壌が乾燥する。したがって気候的に当然森林が climax である湿潤な地域にこのような土壌が存在すると、その部分のみ草原として安定することがある。例えばアラバマとミシシッピ州に有名な三日月形の“black belt”があるが、これはこの辺一帯のクライマックスである森林のなかに長草型の草地在形成されている形を示したものである。これも土性に原因した一つの edaphic climax (土壌要因の極相)である。

また砂土でも粗砂の多い砂質土壌では、排水がよすぎて、保水力が乏しい。したがって降雨量の多い気象条件下でも、森林は形成できず、短草型や疎らな叢を形成するにすぎない。この例は日本でも海岸地帯の砂丘にもみられるし、フロリダからノースカロライナ州に続く海岸低地に点々とみられる草地やサバンナがそうである。このような土壌の場合は湿潤な気象条件下で当然考えられる森林クライマックスのなかで、草原形成を実現させているのであって、いいかえるとこの場合、この両極端の土壌型は、真のクライマックスである森林のなかに、それより低い pre-climax である草原をつくっている例である。

③ 植生の遷移 plant succession, processos de Mudança na Vegetação : さて植生は常にクライマックスに向って動いているのであるがこの植生の変遷過程を遷移 succession といっている。そしてそのクライマックスに至るまでの発達過程のシリーズを sere といい、この系列の各段階を seral stage という。例えば裸地に種子が活着してある植物が生育し、その生活環(その植物の一生)が完結し、その子孫がその周辺に繁殖し始め、同一血縁関係のコロニーを形成する。このときの最初の植物を開拓者つまり Pioneer という。そしてコロニーは、さらに同属のものを混じえ、さらにその形成された環境(例えば叢の内外的環境)に適応する種が、同一血縁関係でなくても同居するようになる。かくして一つの共同体 Community ができるわけである。この共同体はさらに発展し、1年生雑草型→多年生雑草型→灌木型→森林型と発展して最終的にはクライマックスに到達する。

植生は限定された場所に、限定された時期に発生し、その地域の歴史展開の機能を所有している。そして前世代の植生を含めて、植生の遷移はある環境のなかで生じ、その環境で確立するためにそれに順応してきたものである。いずれにせよ現在見る植生は気象的、土壌的環境要因の所産である。

④ 4 草地の型

長草型草原：クライマックスとしての草地を地球上に求めると、かつては温帯半湿润地帯の大部分は長草型草本によって被覆され、広大な草原を形成していた。すなわちソ連のウクライナ草原、ハンガリヤ平原、米国のコーンベルト、アルゼンチンのパンパスなどはそのなかでも有名である。要するに現在世界における最も肥沃な地帯で、重要な農業地帯に相当するところである。したがってこの地帯の多くは、現在は本来の姿を失って、耕地として、あるいは一部は都市として存在して、クライマックスのまゝに残っているのは、極めて少ないと考えてよい。そしてこれらの草原を構成している草本の主なものは、寒地型の草は Festuceae (フェスク族) Hordeae (大麦族) Aveneae (エンバク族) Agrostae (ペントグラス族) Phalarideae (キヤナリーグラスの類) Stipeae (ハネガヤ族) 暖地型の草は、Andropogon (ブルーステムの類) Panicum (パニックグラス、Capim colônia のなかま) Paspalum (ヒエや Grama de Batatais の類) Themeda (カルカヤの類) などである。

長草型草原がクライマックスである地帯は比較的雨量が少なく、溶脱(雨水の浸透によって土壌中の塩類が溶けて、下層へ洗脱されること)が小さいので土壌中には塩基とくに Ca が多いため、土壌の pH は中性か微アルカリ性を示す。土壌の構造は団粒がよく発達している。

短草型草原：長草型草原よりさらに雨量の少ない地帯に形成する草原である。これは気候的には長草型草原と砂漠の中間に位置する。寒地型の草は Agropyron (カモシグサやホイードグラスの類) Elymus など、暖地型の草は、Aristida 属(ワイヤグラスの類) Eragrostis 属(ラブグラスの類) Bouteloua 属(グラマグラスの類) Hilaria 属(メスキートグラスの類)、Sporobolus 属(ネズミノオの類)。この草型の土壌は栗色土、褐色土の大土壌群に属している。塩基含有量が高く、pH は微アルカリ性。しかし腐植含有量は前者より少なく、

土層も一般に浅い。雨量が少ないので草地の生産量は低い。もしこの地帯で無計画な農業をすると砂漠化する虞れが十分ある。

サバンナ：サバンナとは熱帯または亜熱帯にひろがっている木や灌木を混ざる草原で、乾季雨季が明瞭に分れているところに形成される。つまり乾季が存在するために森林形成が実現できぬところに形成される。木本で優占する種類は *Acacia* が多く、その他 *Eucalypts* (ユーカリの類) がある。草本は *Panicoidae* 族、*Andropogoneae* 族、*Eragrostoideae* 族のものが多い。

ステップ Steppe：熱帯にはあまり関係ないが、アジア大陸からヨーロッパロシアにかけて広大にひろがる大草原につけられた名称である。アジアではこの草原の北方にタイガ(北方針葉樹林帯)が境し、南方は砂漠が接する。ステップは短草型草原の代表的存在であり、米国の学者は Short grass steppe という言葉を用いるが、ソ連では必ずしもそうでなく、ときに長草型も含めているようである。しかし一般的には短草型と考えてよい。

プレリー Prairie：元来フランス語からきたので、アメリカの中部および北部の長草型の草原地帯をさしてつけられた名称である。アメリカ大陸にわたったフランス人がこのアメリカの中部をカナダまで続く広大な草原を発見してプレリーと名づけたことに由来する。アメリカでは長草型草原の代名詞でステップに対応させている。

2) 熱帯土壌の特性

熱帯土壌は以上の土壌生成作用を受けて種々の変遷を経て今日に至っているのであるが、アフリカ大陸などは10億年も風雨にさらされた地質学的に古い表層をもっているのが特徴である。したがって広大な面積が風化の結果削られて平坦な曠野をなすといったところがみられる。このようなところは一般に排水が不良である。この地質学的に古い平原あるいは準平原の表土は浅く、肥沃性に乏しいのが一つの特色であるが、浅いのは非常に深くまで風化しているのだが、…とき数10mにおよぶこともある…土壌生成過程で下層に硬い不透水盤を形成し、植物根の貫通を妨げているからである。そして数1000万年もの間溶脱にまかせ、上記の Compact pans が形成される以前に養分の大部分が洗脱されてしまったのである。そして結果的には土壌粒子は極端に風化

に抵抗する物質つまり典型的な石英粒か石英礫、粘土大のものではカオリン粒子、一部では酸化鉄の皮かくをもったものなどからなっている。ブラジルの場合はこのように古い地層に相当するのはブラジル累層で、これも10億年近い地質年代をもっている。サンパウロ州では東部一帯の高地として露出しており、その構成はきわめて複雑である。岩石は片麻岩、雲母片岩、花崗岩、大理石などで相錯そうして岩塊をなしている。海岸山脈やマンチーラ山脈がその実態である。

アフリカの場合は以上の古い地層に対して比較的若い地層が点在するが、これらは3つのグループに分けて考えられる。

第1のグループ：これは準平原と準平原の鞍部の間を埋める部分で、準平原の端は崖をなしているが、これが侵食し、脆い母岩あるいは母材によって埋没される結果、古い準平原は頂部の平坦部が島嶼状に点在し、その間をこれらの崩壊物の堆積地がかこむ形になる。したがってこの部分は前の肥沃性が継承されている場合があり、頂部の準平原部より数段勝れている。

第2グループ：これは一部第1グループのものが含まれるかも知れないが、花崗岩または片麻岩に由来する土壌で、片麻岩に由来したものはしばしば前カンブリア紀(古生代の初期)の基底複合体を構成する。またこのグループの土壌は地質学的に若い時期に隆起したところが、あるいは母岩上に準平原の縁の崩壊堆積物と混合して生じたものと考えられる。母岩は普通石英粒を含み、充填土か細砂壤土をつくる。したがって多くの場合排水が悪く、透水を促進する裂目、溝ができ難く、侵食を受け易い。

第3グループ：東アフリカで非常に重要である。種々の熔岩と凝灰岩の風化によって生じたもので、多雨の地域では典型的に赤色で土層は深く、非常に多孔質で比重が小さい土壌をつくる。一般にはカオリナイトの高い含有量を示すが、きわめて脆弱で酸化鉄によってコーティングされたラテライト土壌である。しかし寡雨の地域では、もし平坦地で排水が不良であれば、アルカリ化作用が進み、黒色アルカリ土を形成し、下層にアルカリ粘土盤あるいは炭酸カルシウム盤をつくる。つまりソロネッソ土である。この硬盤がこわれるとソロチ化が進む。この土壌には疎らな小灌木をともなう草原が形成する。それ故表層土の

年代と降雨量から次の3型の土壌を考えることができる。

① 相対的に浅い若い土壌で、土壌断面に同化し易い鉱物を含む土壌群、もしその鉱物が養分に富み、分解し易くしかも雨量が適当であれば非常に肥沃な土壌になる。

② 典型的に深く、排水のよい成熟した土層であるが、風化し易い鉱物を含んでいない土壌群。これらの土壌はもし降雨が多いと、植物が吸収する水の大量を貯蔵することが可能で、長期の乾季にも対応できる。しかし養分に不足している。これは地質年代的に長期にわたって植物は非常に深い下層土からも水や養分を葉まで吸い上げ、そしてそれは地上部とともに地表に還えるが、この分解養分は比較的土壌中で移動しないため表土に集中するので、侵食で簡単に失い易い。

③ 老成土。この土壌群は非常に深いところまで風化が進んでいるが、緻密層ないしは凝結層が下層にあるため植物の利用できる層は比較的浅。前述のように地力は非常に低い。

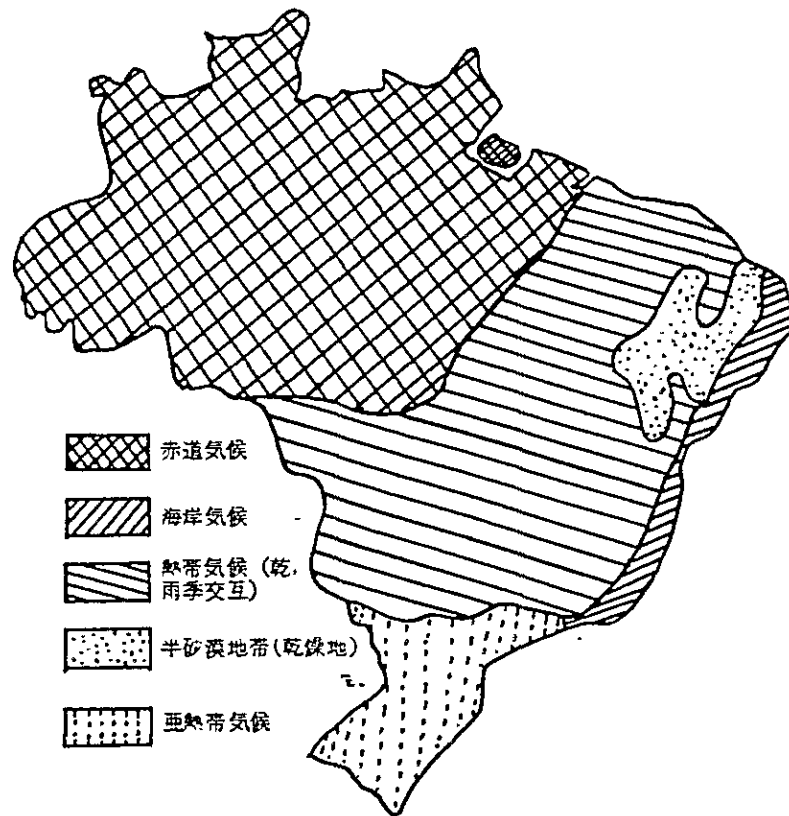
3) 土壌生成と地形：降雨と地形の関係は土壌断面と生物に大きな影響を示す。

G. Milne は 1935 年に既に丘の頂から低地までに明らかに土壌断面の移行的変遷を認め、このような地形的特徴に応じて一定の土壌断面が規則的にあらわれてくる土壌型を Catena と一括してよんだ。こうした地形たとえば広大な起伏地の連続は南米やアフリカに多く、丘の頂では過剰な雨水は傾斜の下方へ流亡するが、一方下層では Fe の団結傾向やときに iron stone による硬盤が深層で形成されるけれども、上層は排水のよいかなり厚い層がつくられる。そして斜面は団結作用あるいは硬盤形成は少ないが、底部は雨水が多く、次第に微細な粘土が下層に集積し、盤層を形成し易く、その上斜面上部からの可溶性風化産物は SiO_2 , Ca, Mg および K を含み、排水不良となればアルカリ土壌になり易い。粘土がモンモリロナイトで下層に炭酸カルシウム凝結が盤を形成して黒色であれば black cotton soil といい、カオリナイトであれば乾燥時でも割れず、そして炭酸カルシウムを含まねはこの土は vlei soil とよばれ、black cotton soil によく類似する。

II ブラジルの土壤

1. ブラジルにみられる土壤

日本の22位以上もある広大なブラジルの土壤を調査し分類し、土壤図を製作することは大変なことである。現在ブラジルで比較的よく調査し整理されている州は、南部の僅かな州にすぎない。したがって全ブラジルの土壤について明確に記載することはできないが、第9回国際草地会議で発表した M. Camargo の講演を基礎にして次のように分類し、説明を加えたいと思う。まずブラジルにみられる土壤型群を述べ、さらに地域的に概観してみよう。



I. B. G. E. : Atlas do Brasil

図4 ブラジルの気候図

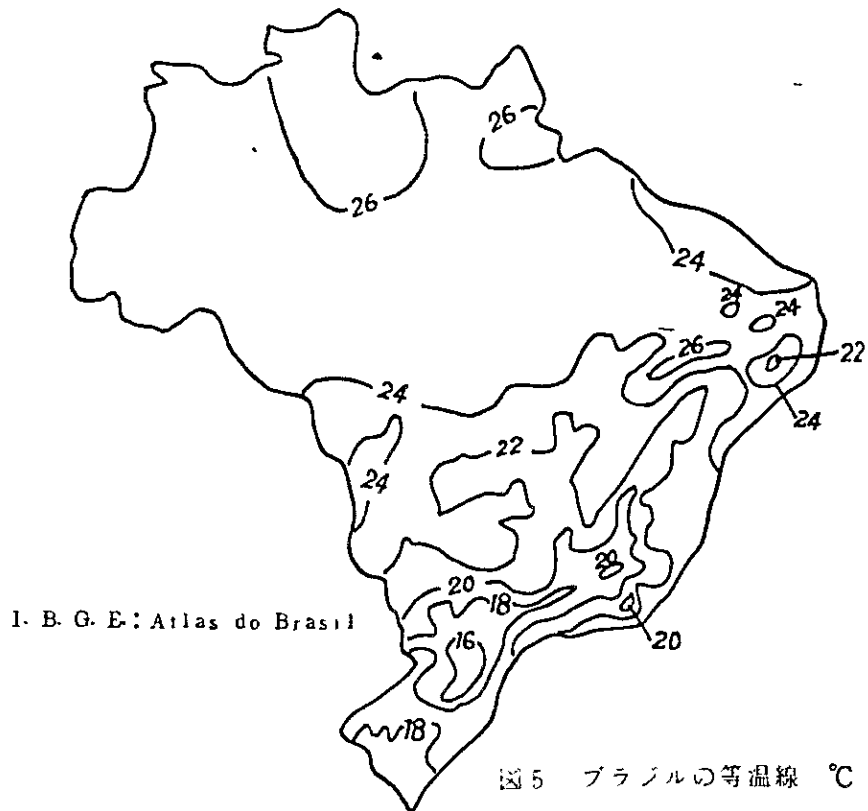


図5 ブラジルの等温線 °C

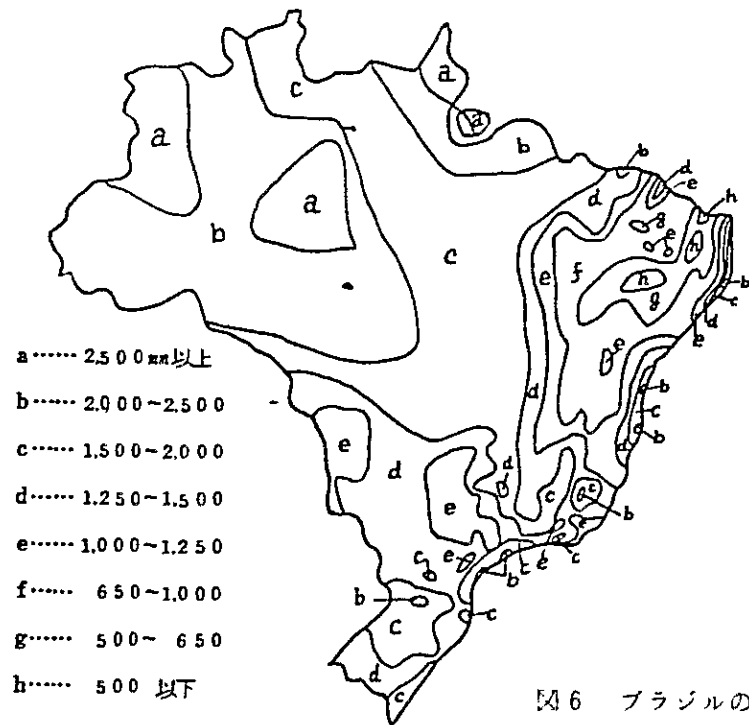


図6 ブラジルの雨量図

1) ラトゾール Latossolos (Latosol)

この土壤は排水が非常によく、土層は深く、碎易、多孔質で色は赤から帯黄色あるいは褐色もある。風化が著しく進んでいて溶脱を激しく受けている。したがって風化鉱物の残存量は極めて少なく、断面では層位の境界が不明瞭、粘土集積が下層にみられる。粘土鉱物はカオリナイトが多く、酸化鉄、酸化アルミニウムの含有量が高い。細い安定した団粒が目立ち、透水性が非常によいのが特色である。なおブラジルではこのラトゾールを塩基、酸基、有機質の含有量や土色によって次のように分類し、命名している。Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo Fase Terraço, Latossolo Vermelho Escuro, Latossolo Roxo, Latossolo Subtropicais, Latossolo Altimontanoそれから Latossolo Vermelho-Amarelo Humicoなどであるが、土色と乾湿が大きな標準になっている。またさらに土性のうえから細分されており、粘土を35%以上含む土を Fase Argilosa, 35%以下のものを Fase Textura média としている。

2) ポドゾール性赤黄色土 Podzólico Vermelho-Amarelo とその同系土壤

排水がよく、土層は中程度に深く、赤色か黄色で、風化は適度に進んでいる。層位の分化は明瞭で、粘土の集積が下層にみられ、より砂質である表層とよい対照をなす。シルト(砂と粘土の粒子の粗いもの)および鉱物の含有量は比較的多く、粘土部分にはカオリナイト群の珪酸質鉱物が多い。土色の濃度は表層の有機物含有量によって様々で、その地方の気象条件に非常に影響している。交かん性塩基の飽和度(置かん容量に対する全交かん性塩基量の比率)は非常に変動が大きい。同系統の土壤に Solos Lateríticos Bruno Avermelhados があるが、この土壤は鉄とマグネシウムの多い岩石から生じた土壤で、ポドゾール性赤黄色土によく類似する。多くの場合酸性土を除いて交かん性塩基の含有量が多い。

Rubroxems は表土が黒色で著しく酸性で、有機物の含有量が高く、下層土に粘土の集積をみる。

Podzolico Bruno Acinzentado は下層土に粘土の集積がみられ、土色は灰褐色で風化の進行の少ない物質が混じており、風化鉱物の含有量が高く、B層の交かん性塩基の含有率が高い。この土壌型群は温暖中層ないし熱帯地方で湿潤な気象条件下で発達する。ポドゾル化作用を主として、加えてラテライト化作用も若干進んでいる。針葉樹、落葉樹が混生する地帯に発達し、排水良好の酸性土壌である。A₀層は薄く、A₁層はかなりの有機質を含み、A₂層は淡色で漂白がみられ、B層は赤色、赤黄色で埴頁である。

3) 地中海沿岸赤黄色土とその同系の土壌

排水良好で土層はやや浅い。一般に赤色か帯赤色で、風化が進んでいない。中程度の層位の分化がみられ、粘土の集積が明瞭に下層土にみられる。表層はかなり砂質で色は明色である。粘土部分はカオリノ群が占めているが、イライトの存在も若干認められる。酸性は強くなく、交かん性塩基の含有量が高い。この土壌は一名 Solos Brunos não Calcícos とよばれる。

Solos Brunos Avermelhados はこれも同系統の土壌であるが、前者より土壌反応が中性に近い。したがって交かん性塩基の含有量が多い。粒子は集合体をなして碎易である。土壌断面では、しばしば下層に炭酸石灰の集積をみる。

4) Solos Hidromórficos e Solos Concrecionários

高水位の場合造成される土壌で、多くは鉄の酸化還元によって灰色斑紋状のグライ層をもつ。排水の悪い条件も加わる。

(註)¹ グライ化作用

土壌生成作用の一つであって、この作用は土壌体中にグライ層が形成される諸過程を含む。グライ層は過剰水分によって土壌中の鉄が $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{Fe}}$ より $\overset{\cdot}{\text{Fe}}$ に還元され、青色～緑青色になる。またこの水位が増減して、上下に繰返えし移動すると $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{Fe}} \rightleftharpoons \overset{\cdot}{\text{Fe}}$ が進行し、土壌断面の割目や根の孔のふちに鉄錆色の斑点が生ずる。また過剰水分条件では有機物の分解が阻止され、いわゆる黒泥や泥炭が堆積するのもグライ化の一種とされている。

(註)² ポドゾル化作用

この作用は湿潤地帯の針葉樹林下に典型がみられる。この作用のおこる条件

は、断面中の水の運動方向が下降型で、雨量が多く。地表に酸性腐植が集積する。この作用は溶脱が進み、極端に塩基が少なくなった条件下でおこる。針葉樹の落葉は分解して有機酸を出すため表土は著しく酸性に傾く。またその上樹木のタンニンがバクテリアの発育を阻害して、菌糸の生育を促進するため、ますます有機酸の発生を増す。Feなどを溶解し、同時に塩基を失ってHイオンで飽和された腐植がキレート作用でFeやAlをとらえてB層に沈着する。そのため上層が褪色し、下層のB層が濃色になる。つまり溶脱層と集積層ができるのである。このように層化される作用をいう。針葉樹林下では典型がみられるが、草原でも軽度のものがみられる。

5) Solos Hidromórficos Cimentados

表層は砂質で、一般に僅かに暗色を呈し、下層に粘土の集積をみる。

Laterita Hidromórficaは粘土の集積と酸化鉄の集合をみせ、一般に軟いが露出部は硬い。

6) Brunizemと Solos Prairie Avermelhados

排水良好なところで形成され、層位の分化はあまりよくない。表層は暗色で有機質の含有量が比較的多い。ブラジルでは時に下層に粘土の集積をみる。赤色ブレイリー土壌の場合は赤、Brunizemの場合は灰褐色か褐色である。土壌反応は弱酸で、交換性塩基の含有率は高い。赤色ブレイリー土は温暖で湿潤か半湿潤地帯あるいはやや熱帯条件下において発達するが、石灰集積化作用を受けると同時にポドゾル化作用を受けている。また時に草原のみならず森林にもこの土壌をみることがある。

1) リトゾール(Litossolo)、レゴゾール(Regossolo)、海岸土壌(Areias Costeiras)および酸性赤黄色土(Areias Ácidas Vermelhas e Amarelas)

これらは非成帯性土壌に入る土壌群であって、年代が極端に新しいか、急峻な斜面などで発達が全く不十分な土壌である。山岳土や沖積土も含まれる。

Litossolo (Lithosolsの岩石土)はほとんどあらゆる気候条件下で生成されるが、とくに砂漠にみられ、湿潤地では非常に少ない。特別な土壌生成の様式はなく、植生は気象条件に応じたものの型がみられる。排水状態はほぼ良好か過度によい。表層は薄く、礫質で溶脱はみられない。生産力は著しく

低く、不毛地が多い。

Regossolo (Regosols)は粗しよな岩石の崩壊物の深い堆積層よりなり、土壤化作用がまだ開始されていない状態のもの。砂丘、レス、氷河堆積物はこれに入る。

Areias Costeiras と Areias Ácidas Vermelhas e Amarelas は海岸砂質土と赤黄色酸性砂質土で、石英が多く、置かん容量が著しく小さい。保水力もまた低い。

8) 海岸ソロンチャク土、ソロネッツとブラノゾール Solonchak Costeiro, Solonety e Planossolo

これらは(註)のところで述べたが、ブラジルでは海岸低地帯にみられる。Planossolo は英語で Planosols といひ、比較的湿潤な地帯にあり、グライ化作用とホトノル化作用を受けた土壤であるが、熱帯ではラテライト化作用をも受けている。地形は平坦で排水悪く、上層は多少腐植を含み、強く溶胞を受けている。下層は重粘で盤層をなして淡色である。ある場合はこの盤層の上にA層、B層が発達することもある。酸性やや強く生産力は中程度である。自然には草原あるいは林地を形成している。

9) 褐色酸性土と沖積土

やや発達した土壤で、排水よく、時に排水の悪いものもある。土層は深くなく、粘土含有量は中程度で、黄色、帯赤色あるいは褐色を示す。層位の分化は一般に明瞭でない。粘土の下層集積も明らかでない。褐色酸性上の粘土部分はイライトとカオリナイトであつて、土壤反応は強酸性である。交かん性塩基の含有率は低く、風化鉱物の量が多い。沖積土は非常に種々様々である。

10) グルムゾール (Grumusolo)

排水が普通かやや悪い。粘土含有率が高く、層位の分化が僅かに認められる。粘土の集積層はみられない。典型的なものの土は重く、モンモリロナイトが多い。したがって湿ると著しく膨張し、乾燥すると著しく縮小する。僅かに酸性で、交かん性塩基の含有量が高い。しばしば炭酸石灰の集積を下層土にみる。

以上はブラジルに分布する大土壌群について記載したが、地域的に粗立てると次ぎのようになる。

2. 地域的分布

1) 埴土形成土壌群

粘土含有率によってその分布を明確にしていないが、ほぼ地質学的見地から分類が進められている。この土壌群を構成するものは次のようなものである。

優占土壌：アマゾン地域にみられる埴土性赤黄色ラトゾールと壤土性赤黄色ラトゾール。

準優占土壌：半湿潤グライ化土壌と湿潤グライ化土壌とこれらの土壌群の南西端を占める灰色湿潤土、東北ブラジルおよび北ブラジルとアマゾン地域に大きく占める進行的湿潤ラテライト土壌、赤黄色ポドゾル土壌、北ブラジルの赤黄色ラトゾール硬結土などである。

この他しばしばみられる土壌としては、湿潤ポドゾル土壌，“Bahiano”として知られるグルムゾールの帯、また“Terras Pretas do Indio”とよばれるアマゾン地域の赤黄色ラトゾールがある。

2) 湿潤ラテライト土の優占する土壌群

この土壌群についてはまだ明らかにされていないが、アマゾン地域に限局して分布しているCampestre de Vegetação（アマゾン草原植生）と相関して分布しているようである。この地域の優占土壌は湿潤ラテライト土である。

3) 東部熱帯森林土壌と東北ブラジル平地土壌群

東部ブラジルの熱帯森林で、埴土景觀団地と南東部海岸低地帯は除かれる。優占土壌は埴土性赤黄色ラトゾール土、埴土性赤黄色ポドゾール土、準優占土壌は帯黄褐色ラテライト土、半湿潤グライ化土、湿潤グライ化土、酸性褐色土とリトゾール。この他しばしばみられる土壌は湿潤赤黄色ラトゾール土、沖積土、壤土性赤黄色ラトゾール土、壤土性赤黄色ポドゾール土。

4) 中央ブラジルおよび南東ブラジルのセラード土壌群

これは中央ブラジル一帯に広がるセラードに密接に関連する土壌であるが、必ずしもセラード草原のみに限局するのではなく、他に森林型植生にもみられることがある。優占土壌は埴土性暗赤色ラトゾール土、壤土性暗赤色ラトゾール、埴土性赤黄色ラトゾールと壤土性赤黄色ラトゾール、準優占土壌は赤色酸

性土と黄色酸性土，これらの土壌群に続く北部扇状地帯のラテライト硬結土，
湿潤グライ化土と腐植土および南部の American Vine と称する土壌群がみ
られる。その他しばしばみられる土壌は南部扇状地にみられる埴土性赤黄色
ボドノル土，半湿潤グライ化土とこの土壌群の北部扇状地の湿潤ラテライト土，
南部扇状地の帯赤褐色ラテライト土その他リトゾールがみられる。

5) 北ブラジルの土壌群

現在僅かに知られているが，北，中央ブラジルのほとんど全域を含み，それ
に加えて西部ブラジルの北部を包含している。これらの土壌群は非常に特色が
あり，隣接土壌群に共通或成土壌として大きな比率を示している。つまりその
境界は移行帯を示す。この北ブラジル土壌群の優占土壌は湿潤ラテライト土，
ラテライト硬結土，赤色酸性土と黄色酸性土，埴土性赤黄色ラトゾール，その
他の土壌としてはリトゾール，グルムゾール，湿潤土，埴土性暗赤色ラトゾ
ール，赤色ラトゾール，南方赤黄色土（熱帯赤黄色土と同一），ノロネッソ土。

6) 母岩を含む土壌群と熱帯高原森林土と中間性の土壌

高原に局限して広く分布する土壌単位で，それ以外の地帯では小範囲に分布
している。ゴイアス州の原野とその隣接地域，パラ州の Alenquer の隣接地
域，ミナスジェライス州の南部および森林地帯に小範囲にみられる。またリオ
デジャネイロ州の北部にもみられる。優占土壌は赤色ラトゾール，これは
Latossolo Roxo で，種々のテラロソノキを含んでいる。その他赤褐色
ラテライト土壌，準優占土壌は埴土性暗赤色ラトゾール土，埴土性赤黄色ラト
ゾール土，赤色酸性土と黄色酸性土，サンパウロ周辺の塩地にみられる赤黄色
ボドノル土，半湿潤グライ化土。その他しばしばみられる土壌は埴土性暗赤
色ラトゾール，湿潤グライ化土とリトゾール。

7) 南ブラジルの白亜紀土壌景観をともなう土壌群

これはいわゆるバウルー層の分布をみるところがこれに当る。優占土壌は埴
土性赤黄色ボドノル土，平均して交換性塩基含有率が高い。準優占土は埴
土性暗赤色ラトゾール，灰色湿潤土，その他しばしばみられる土壌はリトゾ
ールと湿潤グライ化土。

8) 南東ブラジル海岸低地土壌群

この土壌群は南ブラジルに局限する土壌群で、海岸低地帯にみられる。リオグランデドスール州の南東山脈の西側に局限している。Serra Geralの斜面、海岸山脈の斜面、Serra Caparaó山腹、東部海岸および海岸湿地に局限した地域がそれである。優占土壌は埴土性赤黄色ポドゾール土、灰色湿潤土、半湿潤グライ化土、湿潤グライ化土、ブラノゾルこれはとくに南端に多い。準優占土は埴土性赤黄色ラトゾール、その他しばしばみられる土壌は沖積土、腐植性土、リトゾールと壤土性段丘性赤黄色ラトゾール土。

9) 南東部と南部高原地帯の土壌群

非常に適有性の強い土壌群単位になるが、Köppenの気候区分でいうcfb型に相当するところに占有している。優占土壌はRubrozem、酸性褐色土、ラトゾール、リトゾール(高山性土壌)準優占土壌は高山溪谷の湿潤な土壌と石礫土、その他しばしばみる土壌は小地域にポドゾール土、酸性母岩より発達した土壌、アルカリ性母岩より発達した土壌。

10) 南部高原内陸性土壌群

南部高原の内陸部に広く占める土壌群で、とくにパラナ松高原、パラナ州の南東部よりリオグランデドスール州の北部までにわたっている。優占土壌は帯赤褐色ラテライト土、この土は交かん性塩基の含有率は低い。埴土性ラトゾールの亜熱帯性土壌、準優占土壌は壤土性亜熱帯ラトゾール、その他しばしばみられる土壌はリトゾールと湿潤土。

11) 南部高原の南山腹土壌群

南ブラジル独得の土壌群である。しかし南側山腹のみにみられるのではない。この高原より起伏の激しい北部に続き、パラナ州南西部にまで広がっている。しかし急峻な溪谷をつくる山腹が多い。優占土壌は帯赤色草原土壌、準優占土壌はリトゾール、その他しばしばみられる土壌は石礫土である。

12) リオグランデドスール南東部山脈土壌群

前述の南部高原内陸性土壌群と南部高原の南山腹土壌群に類似している土壌群である。これは南ブラジルに局限する。優占土壌はリトゾール、灰褐色ポドゾール土とBrunizem、準優占土壌は石礫土、その他しばしばみられる土壌は

湿润土とブラノゾルである。

13) 低地平原土壌群と中央リオグランデドスール低地土壌群

同様にブラノルの南部独得のもので、次の土壌がみられる。優占土壌は Brun1-Zen, グルムノルとフラノノル。卑優占土壌は灰褐色ポドゾル土, 赤黄色ポドノル土, 帯褐色ラテライト土, 湿润グライ化土, その他しばしばみられる土壌はリトゾール土。

14) パンタナル土壌群

この地帯の土壌の性質について明解に説明することは非常に難しい。したがってこの土壌群について定義を下すことはできない。しかし現在ある資料から判断して、次の土壌をあげることができる。優占土壌は湿润土であるが、しかしここでとくにこの土壌を分類することに確たる根拠がないのである。

この他に優占する土壌は沖積土とグルムゾルその他ノロネッソとブラノノルが推定される。私がパンタナルを踏査した際、採取した土壌が、ついにサンパウロの宿舎に届かず、帰国後の分析に供し得なかつたのは残念であった。この地帯は雨季にパラグアイ川およびその支流が氾濫して、一帯が水浸するが、乾季は反対に砂漠のように乾燥しきってしまう特殊な地帯で、この500km四方にわたる広大な地域の土壌と植生については興味ある課題が数多く存在するであろう。

15) Bodoquena 地帯土壌群

この地帯の土壌に関する紹介はほとんどなく、その存在も疑わしい。ブラジルの土壌学者がとくにこの土壌群をあげているので、ここでとりあげたのにすぎない。

16) Espinhaça (有刺樹)とCanastra(樹木名)およびPacarainã (樹木名)群生地帯の土壌群

一般に地形が峻険で、平坦地が少ない。それ故ほとんど風化に耐えている堅い岩石に覆われていて、石英および片岩が多い。優占土壌はリトゾルと石礫土, その他しばしばみられる土壌は塩土性暗赤色ラトノル土および壤土性暗赤色ラトノル土, これらは普通高台の気候温和な地区に、また高山の谷合いの湿った個所, Cipo^o山脈やMoedo山脈の南地域にみられ, Sete voltas山脈や

Guarita山脈にもみられる。この他酸性褐色土壌地帯が点在している他、褐色ポドゾル土がEspinhaçaとCanastra地帯にみられる。

17) カーチンガ地帯の土壌群

この土壌群はかなり広く分布している。しかし資料を欠いているので明らかでない。この土壌群はいわゆる種々のカーチンガが植生と結びつけて判断した土壌群のみを指しているのではないようである。つまり落葉樹林群集土壌もまた中生層土壌やKöppenの気候区分でいうBSH型気象に含まれる土壌を入れているようである。優占土壌は埴土性カーチンガ・ラトゾル土、壤土性カーチンガ・ラトゾル土、リゴゾル、ブライゾル、グルムゾル、ソロネツ土と石礫土、その他しばしばみられる土壌はカーチンガ赤黄色ポドゾル土、この土壌は交かん性塩基の含有率が高い。帯赤褐色土、沖積土、湿潤土、ソロンチャック土、湿潤ラテライト土である。

18) 中部サンフランシスコ川地帯の砂丘土壌群

比較的小地域にもかかわらず、かなり特色のある地域である。それは環境条件が特殊であり、その地帯の風景も独得であるためである。しかしこの土壌群についても分類は資料不足で明らかでない。優占土壌は安定した砂丘の赤黄色酸性砂質土、半安定の砂丘の赤黄色酸性砂質土、準優占土壌は腐植性土、湿潤グライ化土およびソロネツ土。

19) 海岸地帯の植生に関連する土壌群

全海岸線にみられる細長い一帯に存在する土壌群である。優占土壌は海岸地帯の湿潤グライ化土、半湿潤グライ化土、腐植性土、海岸ソロンチャック土（これはパラナ州からリオグランデドスール州までにわたっている）。準優占土壌は湿潤ポドゾル土、海岸ソロネツ、ブラノゾル（これはポルトアレグレより南部に続いている）。その他しばしばみられる土壌は川の注ぐ地帯にみられる沖積土。

20) アマゾン低湿地土壌群

低湿地土壌の異型であって、他の地域にはこのような特色のある土壌はみられない。優占土壌は半湿潤グライ化土と湿潤グライ化土、準優占土壌は沖積土である。

3. サンパウロ州の地質と土

1) サンパウロ州の地質

ブラジルの地質と土壌で最も調査されている州であること。また日系人密度の最も高い州であるのでとくにこの州について記載しておく。

サンパウロ州は州境であるパラナ川の東岸まで、つまり海岸山脈の平均標高750m からパラナ川東岸の標高330m にかけて、西北西に向ってその標高差420m を530km にわたって傾斜しているから、1km当り標高差60cm である。この州の海岸地方は突然海よりそびえているため(ところにより多少平野部のあるところもみられる)、この断層のため州全体が西北西に傾いている。そのため主要河川はこの海岸山脈に源を発して内陸に向って流下するので一見奇異に感ずる。この海岸に接する大山塊はブラジル累層の一部をなし、花崗岩、片麻岩その他変成岩で形成されている。ブラジル累層の西側に弧を画いて帯状に存在する各層のうち、最初のものが石炭紀の氷河層である。この氷河層の西側には石炭紀のタツイ層が細長く存在し、さらにその西に二畳紀のコロンバイ層(黒色の頁岩を主とする)があり、その西に三畳紀のボッカツ層(砂岩を主とする)がある。石炭紀の氷河層というと奇異に感ずるかも知れぬが、後期石炭紀ではゴンドワナ大陸(アフリカ、南アメリカ、インドなどか一つの大陸であった)つまり現在の南半球は氷河期に入ったといわれる。普通いう氷河期は新世代のものをいっていることを付記しておく。ボッカツ層はサンパウロ州の西半分が存在している。なお三畳紀とジュラ紀に広く熔岩の噴出流下かみられたので、このボッカツ層の大部分はこれに被覆されている。これは玄武岩および輝緑岩としてブラジル各地、サンパウロ州の高地によくみられる。テラロツシャ(Terra Roxa)はこれの風化産物であるといわれている。この熔岩層上部をジュラ紀に生じたと思われるカイウア層という赤色の砂岩層が被っており、またその上層を白亜紀のパウル層の砂岩風化物が覆っている。これより新しい地層はパライバー川流域とサンパウロ市を中心とする第三紀層およびイグアッペー帯あるいは各河川流域にみられる第四紀層である。

(註) ブラジル累層とはComplexo Brasileiro のことで、世界でも有数の原始準平原で、水面下にあったことのない地殻基盤である。これはセア

ラ州からリオグランデドスール州の間、東部に連続している他、内陸にも各所にみられる。ブラジル全体の1/3を占め、この地層の風化土壌は肥沃であるという。

表4 サンパウロ州地質系統

一般地質系統表		サンパウロ州地質系統		
界	系	地 層	厚 m	特 徴
大古界		ブラジル累層		片麻岩, 雲母片岩, 花崗岩
原生界	アルゴンキア系	サンロック層		珪岩, 大理石, 角閃岩
		花 崗 岩		
古生界	カンブリア系			
	オールドヴィス系			
	シルル系			
	デヴォン系	フアンナ層	0-300	粗粒砂岩
	石 炭 系	氷 河 層	500 以上	漂石, 砂岩, 粘土
		タソイー層	0-100	粘板岩, 細粒砂岩
	2 疊 系	コロンバタイ層	0-250	砂岩, 粘板岩交層
中生界	3 疊 系	ピランボイア層	0-100	赤色砂, 粘土(水成)
		ボンカツ層	0-200	粗粒赤色砂岩(風成)
		塩基性噴出物	200-600	玄武岩, 輝緑岩
		アルカリ性噴出物		
		カイウアー層	0-200	細粒砂岩(風成)
		パウルー層	0- 50	赤色粘土, 砂岩(水成)
新生界		タウバテー層	0-300	湖沼, 河川沖積
		沖 積 層	0-100	

次にサンパウロ州の地質系統を表にしてまとめると表4のようである。

なおこの表中に示す地層の説明をすると、

a) ブラジル累層：前述の通り。

b) フアンナ層：この州の南端フアンナ付近に小面積でみられ、パラナ州に広がっている。この層はデヴォン紀に属し、石英、珪石の粗粒で構成される砂

岩層である。

c) 氷河層：イタラレー層とも呼ばれる。氷河層は氷河によって生じた沈積物の層である。ブラシル累層の上ののっており、東側はブラシル累層の露出部、西側はタノイ層に接して弧状をなしている。カーザブランカ、モノミリノ、カンピーナス、チエテ、ノロカーハ、フリーなどの都市はこの層の上に位置している。氷河層の基底には一般に砂岩層があり、その上に厚い(ところにより500mにもおよぶ層がある)粘土、砂、礫、石塊の混合物の堆積がある。

d) タノイ層：氷河層の西側に幅狭く弧状に発達している50cm~200cmの厚さの砂岩と砂質頁岩の互層である。厚さは40~100mである。

e) コロンバタイ層：タノイ層の西側に、タノイ層よりやや広く露出している。下部には暗色の粘質頁岩(厚さ70~100m)があり、上部には暗珪岩層、石灰質砂岩がある。

f) ボノカノ層：コロンバタイ層の西側に発達し、広くサンパウロ州の西半分の基底をなす。しかし本層は新しいカイウアやバウルー層にところどころ被われている。本層の最下部はピランゴイア層といい、砂岩と頁岩の互層であり、この層の上にボノカノ層の赤色の砂岩がのっている。本層は図のように熔岩の噴流によって変質されている。

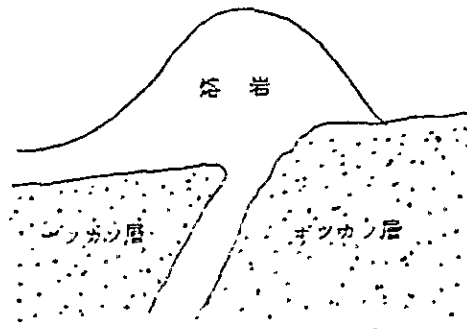


図7 ボノカノ層と熔岩噴流層との関係

g) 噴流熔岩：ポソカツ砂岩を被覆している層で、地殻の弱い部分を熔岩が突き破って地表を覆ってできたものである。塩基性火山岩で暗黒色の輝緑岩を主体としている。この熔岩層の風化して生成した土壤が、有名なテラロツシヤである。したがってこの熔岩層の厚いところはテラロツシヤの純粹な厚い層ができるが、薄いところは下層のポソカツ砂岩層と混合して様々のテラロツシヤをつくるわけである。

h) カイウア層：この層はポソカツ層および噴流熔岩層の上であり、サンパウロ州の西半分が発達している。総じて砂岩で、風成層であるといわれる。この層が噴流熔岩と接触した部分は暗赤色で、そのためよくテラロツシヤと間違えられる。この地層上に位置する都市はバレントス、アララクアラ、セルケラセーザル、パラグアスー、ブレンドンテベンセスラウ、プロミンソン、アラサノーバなどである。

1) バウルー層：カイウア層の上につており、サンパウロ州の西端ではパラナ川によって侵食されて消失しており、またサンパウロ州の諸川の下流は侵食によって消失しているかエスピゴン付近に帯状に残っている。バウルー層は白色がかかった石灰質砂よりなり、ところにより凝固して堅い露頭を示しているか、砂質石灰および粘土の薄層を交えている。したがって砂の色は白色、バラ色、緑色、赤色まで変化している。この地層上に位置する都市はオリンピア、タクアリチンカ、リオプレート、バウルー、リンス、マリリア、ボンベイア、ブレジデンテブルデンテ、この土壤は開拓初期数年はよいが、消耗か速い。

j) 第3紀層(タウバテ層)：州内各地に小面積で岩床をなしている他、パラíba川沿岸、チエテ川の上流、サンパウロ市付近ならびに海岸地方の断層に沿って発達している。砂、小石、粘土の混合層であり、各種の色を呈している。深いところでは200mの厚さにおよんでいる。この層の上に位置する都市はビンダ、タウバテ、モンダスクルーゼス、サンパウロなどである。次表は各地層の占める面積と比率である。

2) サンパウロ州の土壤の慣用名とその説明

カンピーナス農事試験場ではサンパウロ州の土壤をその地質構造に基づいて22種の土壤に分類しているが、ここでは山本喜誉司の記述にしたがって列挙

する。

a) マサツペ・ブランコ：地層はブラジル累層に属し、砂質を含む粘土、優良なものはマンチケラ山脈およびその支脈の花崗岩から生成する。これに粗砂を混じるものをSalmoirãoといわれる。良質のマサツペブランコの分布地はカンピナス、アチバイア、ブラガンサ、アンパーロ、セーラネグラ、エスピリット、サントドピニヤール、サンジョアンドドリオバルド、モンミリンなどである。

b) マサツペ・ベルメーリヨ：サンロンケ系層の生成土壌である。粘質砂土で石灰および鉄に富む。ンヤラグア、タイバス、ピラポーラなどの山麓に濃赤色のものか露出する。その母岩が角閃石、褐鉄鉱を含むためである。一般に山岳性で、あまり優良な土壌は少ない。タイバスよりジュノンノアイの間、サンパウロ鉄道とチエテ川の間をイソーまで、ピラザーラ、バルナイーハ、ソロカーバの南方および西北部、リベイラ高地などにあらわれる。

c) マサツペ・アマレーロ：これはブラジル累層より生じた土壌か、水に搬出されて各所に沈積したものである。マサツペ中最劣等の土壌で、砂質を混えた粘土である。透水性著しく悪く、主なる占有地カペナボリス、グリセリオ、オリンピア、リベロンブレット、ピラスヌンカ、パライーバ川流域、パタタイス、ブアルゼングランデ、タンパワーなどである。

d) マサツペ・プレット：ブラジル累層地帯にある土壌で、二畳紀、ボンカン層、カイウア層、コロンバタイ層、タンイ層の低地にも現われている。プレットの示すように腐植に富んでいる。

e) マサツペ・シンザ：氷河層のある部分に希にみられるだけである。砂質を含む粘土で軽石の風化物といわれる。コスモボリス、イバネーマ、ラランジャーラ、チエテなどの低地にみられる。きわめて肥沃でテラロンヤに勝るといふ。

f) サルモロン：ブラジル累層の花崗岩のうち斜長石の含有量の多いものより生成されたもの。肥沃で透水度大、耕土として優良である。ノロカーバ、ジュンジアイ、カンピナス、ピラール、コチアなどにみられる。

g) バニヤード・リトラネオ：海岸山脈の古生代岩石および母底岩石の崩壊、

海岸付近低地に沈積したものである。砂土または粘質砂土であって過湿潤地に多い。

h) サンゲ・デ・タツ：輝緑岩の一種より生成する砂質粘土であって、鉄の存在によって赤色を呈する。ピランカーバ、ピラススンガ、サンミゲール、リオダスベドラス、イタベチニンガ、ラランノヤールにみられる。

i) テーラ・ロツシヤ：玄武岩、輝緑岩などの噴流熔岩より生成し、なかでも Terra Roxa Legitima と称するものは、粘土含有率70~80%を占め、鉄およびマグネシアに富む最優秀の土壤である。サノマノエル、ボンカツ、レノノイス、オーリニヨス、リベロンブレット、バレットス、ピラジュー、チアウー、ペデルオーラ、ビノコ、チベドラ、サノンモン、オルランジア、イソペエラーブア、イカラバープ、アピタンゲーラ、セルトンジーニヨ、ブライドロー、クラヴィニヨス、フィラボンフィンおよび各川の流域低地部に現れている。

j) テーラ・ロツシヤ・ミストラダ：噴流熔岩の分解生成物とボンカツ砂岩生成物の混合したもので、砂質粘土である。肥沃で耕作容易である。丘陵斜面に多い。

k) テーラ・ロツシヤ・エンカロツサーダ：同様に噴流熔岩の生成物であって、きわめて肥沃で、むしろ砂質に近い赤色土である。一般に褐鉄鉱の小塊を含み、暗色に近い。リベロンブレット、サノマノエル、ボンカツ、ピツコベドラなどに散在する。

l) テーラ・ブランカ・アレノーザ：バウル層砂岩の生成土壤で、粘質砂土を示し、ノロエステ土壤ともいう。砂岩の膠結物質か粘土であるか、石灰質であるかによってこの土壤もいろいろと性質が変わる。この土壤は開墾当初は肥沃であるが、その後地力の消耗が速いので、施肥管理に注意を要する。アグーロス、バウルー、ピラチニンガ、ドアルチーナ、ガリア、ガルサ、マリリア、ボンベイア、ピラジュー、リンスの一部、ノーブオオリノンテの一部、ブレジデントブルデンテの一部、リオブレート、オリンピアの一部、モンテアブラジーベル、モンテアルトなどに広がっている。

m) テーラ・アレノーザ・プエルメーリア：粘質砂土でボンカツ砂岩より生

成したものである。赤色濃く、テラ・ブランカ・アレノーザより砂が少ない。その他の性質はバウル層土壤に酷似している。水蝕受け易く、また地力消耗の速度も速い。アラサノーバ、ブアルパライーゾ、ビリグイ、ペナポリス、アノス、バラグアス、アブアニアンダーブア、フレンデンテベンセスラオなどに広がっている。

n) テラ・トルフォーザ：泥炭礫の土壤である。一般に低湿地において特殊の水草の堆積によって生成したものである。サンパウロ市付近、バライーバ川流域にみられる。

サンパウロ州の地層と土壤群との関係を示すと表5のようである。

3) サンパウロ州の土壤

サンパウロ州の土壤図作成については、かなり調査が進んでおり、図のような分布図かできている。したかつてフラジル全土の土壤を論ずることと異なり、遙かに正確である。この項の記載は F.C. VERDADE の論文に負うところが大きい。

サンパウロ州の海岸線に接近して海岸山脈が走っているか、そのため州首都サンパウロは高地に位置し、西北西に向って緩く傾斜している。この高原形山脈は南部山塊の一部である。この山脈はサンパウロを中心みると一部は海岸にさらに及び、他はミナスジェライス州の境界を形成している。したかつてサンパウロ市周辺は高原台地をなし、一面は海岸に向って急峻な斜面をなしている。この高原地形は *Bacia de Taubaté* と称し、バライバ溪谷をつくり、ところにより陥没谷をなし、高原低地 (*Varzea*) と起伏の連続によって複雑に形成されていて、地質学的には第三紀層よりなっている。サンパウロ市周辺台地はコントラストの欠いた単調な風景が際限もなく続き、一般的にいうと緩い起伏に強い起伏かところどころ加わり、ときにより平坦な部分か間にはさまって起伏が多少乱れるといった地形を示す。次にこの州の土壤群について、その分布域と気象、地形と関連させて述べよう。

a) マサツペーサルモウロン土壤群

分布地域：カンブリア紀に形成された地層上に発達した土壤で、海岸山脈、マンチーラ、パラナビアカバー帯である。

気象条件：降雨量は非常に変動が大きく山間地と海岸では著しく異なる。海

表5 サンパウロ州の地質

一般地質系統表		サンパウロ州地質系統		
界	系	地 層	厚 m	特 徴
太古界		ブラジル累層		片麻岩, 雲母片岩, 花崗岩
	アルゴノキア系	サンロンケ層		珪岩, 大理石, 角内岩
		花 崗 岩		
古生界	カンブリア系			
	オールドヴィス系			
	ンルル系			
	デヴォン系	フアンナ層	0-300	粗粒砂岩
	石 炭 系	氷 河 層	500	漂石, 砂岩, 粘土
		タソイー層	0-100	粘板岩, 細粒砂岩
	2 疊 系	コロンバタイ層	0-250	砂岩, 粘板岩交層
中生界	3 疊 系	ピランボイア層	0-100	赤色砂, 粘土 (水成)
		ボノカン層	0-200	粗粒赤色砂岩 (風成)
		塩 基 性 噴 出 物	200-600	玄武岩, 輝綠岩
		アルカリ性噴出物		
		カイウアー層	0-200	細粒砂岩 (風成)
		バウル層	0-50	赤色粘土, 砂岩 (水成)
新生界		タウバテー層	0-300	湖沼, 河川沖積
		沖 積 層	0-100	

岸地帯のサントスとリオデジャネイロの間は年間1900mm 以上で、この間でもところにより4,500mm に達することもある。南部では海岸山脈斜面で1500~1900mm である。山間地では1300~1500mm である。気温は年平均17C~23Cで、Köppenの気候区分では熱帯湿潤気候に入る。

地形：山間地が広く占め、標高の高い地域が多い。この間に草地に適する地区もみられる。南海岸と内陸に向った斜面は、地形がさらによく、農耕地および牧草地に適す。

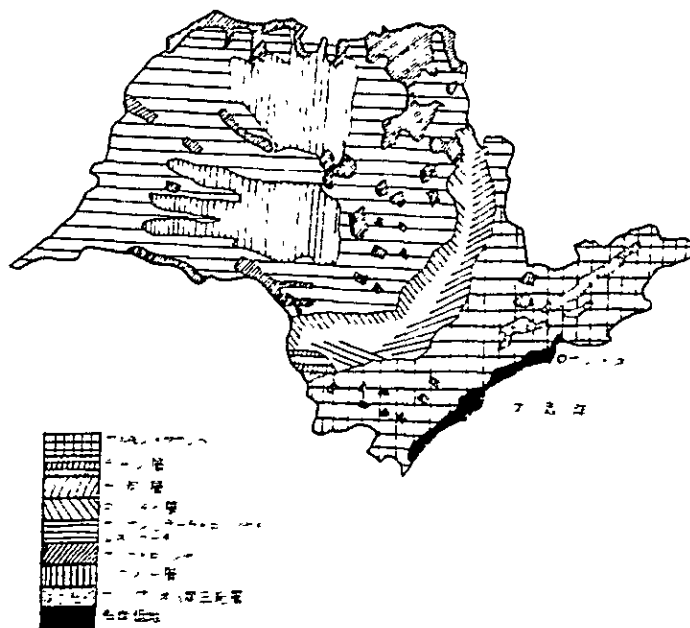


図8 サンパウロの土壤層

地質：Complexo Cristalino Brasileiroとよばれ、安山岩、片麻岩、雲母片岩、片岩などによって構成されている。

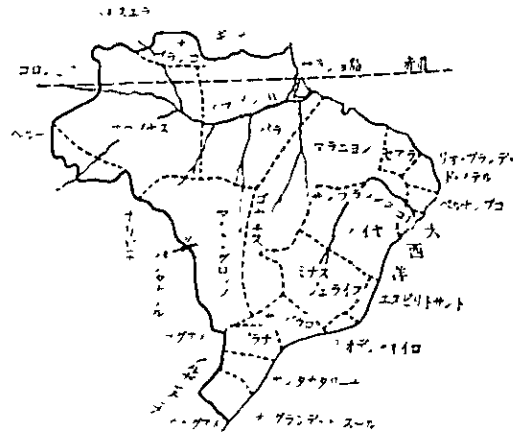


図9 ブラジルの州の位置

土壌：多くの土壌型が広範囲にわたって存在している。大土壌群のレベルではラトゾール土、赤黄色ポドゾール土とその中間型がある。ラトゾールは多孔質で、土壌構造は良好、層位の分化が少ない。また赤黄色のコロイドの強い土壌である。赤黄色ポドゾール土はB層が硬く、層位が明瞭に分化している。中間型土壌群はこの両者の中間的形質を有している。

マサノベーサルモウロン土壌分布地域を3つの地域に分けることができる。1の地域は南海岸と北海岸地区で、深い酸性ラトゾールの層が発達している。第2の地域は標高が高く、赤黄色ポドゾールが占め、第3の地域は内陸側でラトゾールおよび赤黄色ポドゾール土である。肥沃度と化学成分の含有量には非常に相違があり、それぞれの母材と気象条件に原因している。マサノベーサルモウロン土壌の平均した分析値は表6のようである。

表6 マサノベーサルモウロン土壌の分析値

層 cm	水分%	PH	C%	N%	K _{me}	Ca _{me}	Mg _{me}	P ₂ O ₅ _{me}	塩基飽和度%
0~40	14.3	5.8	1.3	0.02	0.18	2.50	0.70	0.60	35
40~80	16.3	5.5	0.5	0.05	0.12	1.50	0.70	0.50	31
80~150	16.8	5.5	0.3	0.02	0.12	0.50	0.60	0.40	19

一般に粘土含有量が多く、埴土である。土層は深いか、部分的に浅い箇所もある。また岩石の露出しているところもある。

一般的観察：海岸地帯は暑く、降雨量が多い。したかつて土壌反応は酸性で、塩類の溶脱が激しい。元来は森林がクライマックスであるから、農耕を放棄すると森林形成の方向に殖生が遷移する。標高の高い地区は気候が温和で、放牧利用によい。しかし一面土壌侵食が多いこと、地這り、土石流などの警戒が必要。したかつてこの地区の過放牧はつしむべきである。施肥については一般にリン酸に対して反応が大で、次いで窒素および加里である。この地域に今一つの特色としてクライマックスが森林であるにもかかわらず、放棄されたままの草原が存在していて、森林の再生がみられていない。これらの草原はリオデジャネイロ州その境に近い Campos de Cunha と Campos do Tordão 市に近い草原である。これらは土壌学的観点からの研究がされていないか、Pre-Climax かどうかは明らかでない。

b) 第三紀層土壌群

地域：この地域はバライバ溪谷と一致する。つまりジャカレイ市とカシヨエラパウリスタの間のバライバ溪谷と一致する。

気象：雨量は年間 1,100~1,300mm の間にあり、気温は平均 19~21°C, W. Köppen にしたがうと年間通じて暑く、冬に乾燥するところに当る。

地形：緩い起伏より急峻な起伏までである。

地質：バライバ川の谷は微砂および粘土によって埋め立てられたもので、第三紀層に該当する。

土壌：おおよそラトゾール土に属する。しかしこれに次ぐ赤黄色ポドゾル土とラトゾールとの中間型土壌もかなり分布する。したがって大土壌群レベルではマサノベールサルモウロン土壌と同じ系統に入る。一般に粘土が多く、土層深く、土壌反応は酸性もしくは強酸性である。養分含有量は非常に少ないか、有機質の含有率は比較的高い。この土壌の平均した分析値は表 7 のようである。

表 7 第三紀層土壌の分析値

層 cm	水分%	HP	C%	N%	K _{me}	Ca _{me}	Mg _{me}	P ₂ O ₅ _{me}	塩基飽和度%
0~ 40	106	45	15	0.12	0.12	1.50	0.50	0.60	17
40~ 80	128	46	06	0.08	0.08	1.00	0.40	0.50	14
80~150	147	47	03	0.07	0.08	1.00	0.40	0.40	17

この土壌群には Bog (沼沢地土壌) もみられ、その他 Half-Bog (Meio-Bog) もある。グライ化土、湿润土も当然みられる。

(註) Bog は湿润で温暖または寒冷気候で、降水量多く排水の不良なところで、グライ化作用を受けて発達した土層である。沼沢地であるため過度に湿润状態にあって泥炭が集積する。この土壌の素材は有機物。

Half-Bog は Bog と同じ環境条件下で生ずるか、沼沢地と高地の中間に位し、おおよそ湿地周辺部の土壌にみられる。本質的には浅い沼沢地土で暗褐色あるいは黒色泥炭質層か上層を占めるか、Bog ほど発達せず、下層は灰色の無機質土壌である。上層と下層を混和し、排水すればきわめて良好な土地になる。

一般的観察：元来この土壌の占めるところは森林かクライマックスであるか、現在では Capim Gordura や Capim Colonião などの牧草地に変わっている。

この土壌の特性の第1は、養分に乏しいことである。したがって良好な草地にするためには、十分な施肥が必要である。またかなり酸性が強いので、石灰による酸度矯正が必要。またところによりコバルト欠乏地区があるので、牛のコバルト欠乏症発症に注意すべきである。例えば放牧牛が明確な原因もなく消瘦が目立ち、食欲が减退して貧血（可視粘膜例えば結膜、鼻粘膜など）しているような場合はまずコバルト欠乏症を疑う。伝染性のもの例えばピロプラズマ症の場合などは高熱が発する。土壌にコバルトが欠乏すると生育する草本や作物にもコバルトが欠き、これを採食する牛はコバルトの補給が絶たれる。牛は反芻獣で、その第1胃中には無数の微生物が棲息し、胃のなかの食塊（ほとんど粗飼料）を分解し、それによって増殖して、死滅したものは牛がこれを吸収

する。つまり菌体蛋白として牛が吸収するのである。だから牛と微生物は互いに共生しているわけである。この微生物がコバルトを必要とする。コバルトが不足すると微生物の増殖が阻害され、微生物が生産するビタミン B₁₂ が欠乏する。そのためこれを利用している牛がビタミン B₁₂ 欠乏になって悪性貧血にかかるわけである。もしコバルト欠乏症を発見した場合はコバルトの投与が効果をあげる。したがって早期発見が必要である。

土壌侵食の問題については比較的少なく、マサソベールサルモクロン土壌よりかに少ない。しかし地這りのおきる地域にかなりこの土壌群がみられるので、保全上植林も今後の大きな課題であろう。また白蟻、サウバ蟻に対する問題も大きい。ジャカレイとサンノセドカンハスの間に存在する草地は、著しく化学成分が乏しいのみならず物理性も悪いため、イネ科草本の匍匐性のものが地表を被っているか、裸地がきわめて多い。

c) 氷河紀層土壌

地域：図にみるように、パラナ州境よりミナスジェライス州境まで弓状に連なっている。

地形：年平均降水量は 1,100~1,300mm で 1,100mm 以下の地区は 2 箇所もある。年平均気温は 18~21°C であり、マサソベールサルモクロン地帯より内陸に向っている。乾燥した冬季も暑い。南部の一部は冬季の乾燥は弱い。

地質：氷河の移動と水流によって形成された岩石の碎片よりなり、岩石は Tilitos と Varvitos および砂質土などである。

土壌：ラトゾールと赤黄色ポドゾル土に属し、若干の地区ではリゴゾールとラトゾールの中間型を示す。この土壌は砂質で層位の分化が若干みられる。氷河紀土壌は砂質土より植土まであり、小範囲であるか、養分はかなり多く含有するものもある。しかし一般には成分が乏しく、酸性である。土層は厚く、砂質地帯が広く占め、植生は森林あるいは灌木林（または低木林）で半乾性であって、イネ科の代表的なものは *Aristida pallens* (Barba de Bode) である。養分含有量の多い物理的構造のよい地帯では植生は森林である。土壌の平均的分析値は表 8 のようである。

表8 氷河紀層土壌の分析値

層位 cm	水分%	PH	C%	N%	K _{me}	Ca _{me}	Mg _{me}	P ₂ O ₅ _{me}	塩基飽和度%
0~40	64	52	15	0.11	0.15	100	0.50	0.50	17
40~80	77	53	0.7	0.07	0.05	0.50	0.30	0.40	11
80~150	9.6	52	0.5	0.05	0.02	0.50	0.30	0.40	17

一般的観察：地形は農業あるいは畜産に好適であるが、地力が低いため、施肥が当面の課題である。砂質土壌の場合は有効水分量の保持力が小さいため、有機質の投入による改良が必要である。サンパウロ州南部では冬季にかなり多くの降雨量がある。

d) コルンバタイ層土壌群

地域：氷河紀土壌とともにパラナ州とミナスジェライス州の間を弓状に連続している。

地形：起伏性で、かなり強い起伏をとまらう。

気象：年平均降雨量は1,100~1,300mmで1,300~1,500mmの地域を含む一方において、1,100mm以下のところもある。年平均気温は19~21°Cの間である。北部は冬季乾燥し、南部は冬季の乾燥は著しくない。

地質：石灰岩と珪酸質のものが多く、粘土および微砂が多い。

土壌：赤黄色ポドゾル土が大部分である。この他にラトゾールとリトゾルがある。土性は植土で、養分含有量が多い。土壌反応は中性もしくは弱酸性である。土壌侵食を受け易く、緩傾斜でも侵食し易いが、これは母材の性質によるものであろう。

e) ボツカツ層砂質土壌群

地域：サンパウロ州の残りの部分を占めている。

地形：台地あるいは起伏地。

気象：大部分の地方は年平均1,100~1,300mmで1部は1,300~1,500mmの降雨量を示す。1,100mm以下のところも僅かみられる。年平均気温は20~22°Cで、熱帯性気候である。したがって大部分のところは年間水分平衡は不足気味である。

地質は砂質土。

土壌：レゴゾル-ラトゾル土とラトゾル土である。土性は前述のように砂質で粘土含有率は低い（最大10%、一般的には5%）。したがって保水力が低い。肥料の施用にあたっては移動の少ない P_2O_5 以外は容脱し易い。ポツカン砂質土は酸性で肥沃でなく、石灰の投入が奨められているか、過剰投入は有害である。ノロエステ地方（州の北西部）ではこの土壌群が上述の性質よりかなりよく、農業上非常に重要な位置を示している。さらに等高線栽培と肥培管理を研究する必要がある。この土壌群は州の中央部に発達しており、Campo Cerradoがみられる。これより森林景観の場合の方が土壌が良好である。

f) バウルー層砂質土壌群

地域：サンパウロ州の北部とノロエステにこの土壌が分布している。（図参照）

地形：緩い起伏地帯

気象：年平均降水量は1,100~1,300mmで、これより多少過不足のところか点在する。年平均気温は20~23Cの間にあつて、熱帯性気候である。

地質と土壌：砂質で湖成土壌。一般にラトゾルと赤黄色ポドゾルである。土性は砂質から植壤土までである。土層は平均1~2mみられ、これ以上深いところも多くみられる。保水力は比較的強く土性にしたがって変わる。一般に肥沃で、酸度は低く、ときに弱アルカリを呈する。平均した分析値は次表のようである。水分平衡については冬季の水不足が問題で、一般にノロエステの土壌は保水力が小さい。したがって乾燥（セノカ）に弱いとされている。

表9 ナノカノ層土壌の分析値

層位 cm	水分%	PH	C%	N%	K _{me}	Ca _{me}	Mg _{me}	P ₂ O ₅ _{me}	塩基飽和度%
0~40	5.0	5.0	0.4	0.03	0.08	0.80	0.20	0.25	25
40~80	5.6	5.2	0.2	0.02	0.05	0.50	0.10	0.20	19
80~150	6.8	5.3	0.2	0.02	0.03	0.30	0.10	0.15	17

一般的観察：典型的な農耕用土壌である。種々の要因が相互に関連し合つて、

大形牧草の栽培に集中しているようである。

g) テーラ・ロツシヤ

地域：サンパウロ州全体に点状に分布している。

地形：一般に平坦に近いが、緩い起伏をなす。

気象：他の土壌のところて記載した。

地質：塩基性岩石の噴出物であり、パウルー砂質土の前に造成されており、塩基性岩石か母岩をなしている。

土壌：この土壌は Terra Roxa で、地中海沿岸土壌の Terra Rossa ではない。これはよく混同されるので注意する必要がある。このテラロソニヤは粘土性で、置かん容量が大で、土層深く、土壌構造が著しく良好である。また有機質も多いため保水力も大きい。置かん性塩基の含有率も著しく高く、土壌反応は pH 7 前後のものが多い。塩基性岩石の風化と土壌生成作用によって形成されたものであるが、その過程において種々物質が混合し、様々な物理的・化学的諸性質が与えられたものである。テラ・ロソニヤ・ミストラダはその母岩の種類によって種々の型がある。日本人移民がコーヒーコロノ、歩合作、契約農として自作農として営農しているコーヒー園の多くは、このテラロソニヤの流れを追っていったものである。この土壌の平均的分析値は表 10 のようである。

表 10 テーラ・ロソニヤの土壌分析値

層位 cm	水分%	pH	C%	N%	K me	Ca me	Mg me	P ₂ O ₅ me	塩基飽和度%
0~40	17.8	6.2	2.0	0.18	0.20	5.00	0.70	3.00	47
40~80	17.7	6.5	0.9	0.08	0.20	3.00	0.50	2.00	41
80~150	17.9	6.5	0.6	0.05	0.10	2.00	0.40	1.50	33

一般的観察：ブラジルで最も肥沃な土壌で、土壌侵食は少ない。

低地土

この土壌は沖積土壌を含む非帯成土壌で、沼沢地土壌や半沼沢地土壌をも含む。沖積土はパライバ川とリペイラ川付近にみられる。

Ⅲ カンボセラード，カーチンガ， そしてサバンナについて

ブラジルの自然草地を論ずる場合，セラードとカーチンガが主役になるが，とくにセラードはブラジルの草地の代表である。そしてセラードとサバンナは種々の点で類似しており，同一視する研究者もいるし，クライマックスとしてセラードを位置づけられぬことや，植生の組成構造より非をとる研究者もいる。それでこの2つは後にゆずって先にカーチンガより述べよう。

1. カーチンガ

カーチンガは熱帯性乾燥灌木林で，若干のサボテン類を含むが，落葉樹の疎林である。Caatingaという語は“白い森”という意味でインヂオ語である。この言葉から人々はあるイメージを与えられる。それはこの森が非常に短時日のみ緑色で，速やかに落葉し，白いまがりくねった幹のみが目立つことより出たものである。カーチンガの特徴は1940年にEuchydes de Canhaによって“Os Sertões”のなかで語っているが，“刺多き緻なす木々の梢，そこからみ合い，大空にとけこみて，おぼろげなるあたり，……肌を傷つけるおぞましき枝々を切り払い，われは進めど，幾重にも幾重にも果しなく広がる，荒涼たる白き森，葉の失せて曲りくねりたる幹々，そは渴きて，身をそらし，交さくしてもたえ苦しむ白き妖精どものあやしき夢界に迷いこみたるがごとし”彼がこの森で感じた様子がよく表現されている。またMARTIUSやAUG.de St. HILAIREらもそれぞれこの憂うつな景観を文学的に表現している。

カーチンガの植生は，Cactaceae，例えばPilocereus gounellei Weber，Cereus squamosus Guerke，C. Jamacaru P.D.Cが優占し，岩石が多く散在する。サボテンの他の種はOpuntia bahiensis Brit et Rose，Melocactus bahiensis Brit et Rose Wandern，Bramelia laciniosa Mart.，が島嶼状に地表を占めている。そしてこれらの間をZizyphus Joazeiro Mart.，Jatropha phyllantha Mill.，Spondias tuberosa Arrvda Caesalpinia pyramidalis Tul.，Maytenus

rigide Mart., Buhsera leptophloeos Engl., Amburana cearen-
sis Smith., などがみられる。

これら植物の大部分は乾燥した生育地に限局して生育しているが、必ずしも乾性植物の形態をとっているとはいえない。つまり厚いコルク層 毛の密生した、または針状の葉などの形態的特色が表立っているわけでない。しかし一方真性の乾性植物例えばサボテンや Bromelia ceas とか Euphorbia ceas seculentas などが優占している。カーチンカの植物の気孔の開閉は非常に制限されていて、水と殖生との平衡が自然に保たれている。気孔の開閉は早朝に限られ、雨季でも終日開き続けるということはずない。したがって蒸散はクタクラを通して行われるだけで、カーチンカの場合セラードスに比較して著しく低い。そしてさらに水消費制限の手段として落葉を一斉に行ない、乾燥に対抗する。

カーチンカはレンフェ市より内陸に向って降雨量が400 mm以下のところに存在するが、その占有面積はセラードスに比較して遙かに小さい。この降雨量も年間2~3カ月でおわり、乾季が10カ月におよぶ。気温は40℃を越すのも珍しくない。このような条件下では蒸発量が涙大で、川の大部分は雨季の数週間に大量の水量が流れ、そして忽ち枯渇する。ある場合川床の低下によって水が残るが、この場合多くは塩分含有量が多いのが普通である。

カーチンカ地帯での牛の飼養は少ないが、山羊の飼育はかなりみられる。

次ぎにブラジル語の Campos について説明する。

2. カンボス Campos (草原)

この用語はブラジルでは広い観相上の言葉として使われている。したがって(1)草本-木本の混合型 (2)草本-灌木型 (3)純草本型に分けられる。そして(1)と(2)がとくに Cerrados として表現される。また Serido と表現されるのは、カーチンカの草生の著しく悪い過程のもので、(3)はバンバスやリオブランコの草原、アマゾン低湿草原などを含む。セリドの草本はスベリビユ、マンバボタンの類、イネ科では Aristida 属とくに Aristida setifoba が優占している。木本の優占種は Caesalpinia 属と Mimosa 属である。

Cerrados に似た言葉に Cerradão がある。このセラドンはブラジル中央

の大草原とアマゾン植生景観との接する地帯に形成されている植生型で、この他にも不規則に各地域にもみられる。つまり生態学的に Cerrados が Climax に向って進行したものと解釈され、植生構成はセラードとほぼ同じであるが、木本種は樹高が高く 10 ~ 12 m までもあり、幹はセラードと同様典りくねっている。密度は疎であるから草原としての利用も十分できる。

3. セラードス Cerrados

ブラジルの植生面積の約 $1/5$ はこの植生型に入るといふ。そしてこの型は国境を超えてベネズエラ、キアナまで続いている。このセラードスの生成の要因な種々論ぜられているが、気象、生物学的要因および土壌要因とくに人為（山火事）が考えられる。事実各地で、故意に“火入”の形で実行されているところも多い。典型的セラードスはイネ科草の優占する植生型で、樹高 3 ~ 5 m の低木が疎に生え、しかも幹が異常に捻じ曲っているのが特色である。また有刺木をセラードスにみるのは珍しい。草本は主としてイネ科で構成され、

Panicum, Paspalum, Tritachya Setaria, Andropogon 属が多く、マメ科では Desmodium と Arachis（例えば Amendoins forrageiros）がみられる。一部では牧草のエスケープしたものが旺盛に繁殖し、在来種を駆逐している場合もある。これらの牧草は Melinis minutiflora (Capim Gordura) Hyparrhenia rufa (Capim jaraguá) で、さらに最もよく広がっているものに Panicum maximum (Capim Colônia) がある。とくにサンパウロ、ミナスジェライス、マツトグロソ州でこの種の野草化が著しい。

放牧牛はほとんど zebu か zebu' の雑種であって、牧場には肥育の素牛を生産する牧場、肥育する牧場があるが、この素牛生産牧場は面積が広大で、中央ブラジルでは平均 7000 ha といわれている。

4. セラードスとサバンナ

Cerrados はしばしば Savanna と同一視されて論じられるし、文学界では全く同一にみている。しかし生態学の立場からみると、Savanna という語は

クライマックスを概念に入れた景観である。ブラジルのCerradosは実際にすべての場合クライマックスを示しているとは確証できない。それは地域的条件が支持している植生景観で、遷移の一段階で、なんらかの影響で安定しているものと解釈される。

FELIX RAWITSCHER およびその一派の人々はサンパウロ州のピラスムンガの近くのカンボセラードスで1940年以来研究を続けている他、カンボグランデ(マツトグロソ州)ゴイアニア(ゴイアス州)およびカンボモウロン(パラナ州)のセラードスでも観察している。そして1951年にはさらに研究の場をパウロアフォンサス(バイア州)のカーチンガにまで広げた。これらの研究はセラードスと水との関係についてのものが中心になっている。

セラードスと水：セラードスの植生の遷移など生態学的研究において、植生に作用する環境要因の第1は水である。砂漠や半砂漠では少なくと植生の限定要因は水である。彼らの15年以上にわたる研究成果を要約すると、カーチンガの場合はその景観はおそらくクライマックスであり、その環境に完全に適応した型であり、水々しい植物の存在はない。そしてカーチンガの植物群が雨季の比較的豊富な水条件の間中にも水の消費を節約する働きを示していることに明らかな区別がみられる。この群集の水消費制限は期日の経過とともに進行的に強められ、植物がその露出表面積を最小にする動きとなって表われ、ついには水分消費を最小にするため速やかに一斉落葉という形で示すのである。

これに対してセラードスは水分消費経済に関する必要な動きが認められない。セラードス地帯の土壌の保水量は一般に大きく、サンパウロ州ピラスムンガのエナスにあるセラードスの土壌中には3年間の降雨量に相当する水が貯蔵されていると計算されているが、これは毎年の水経済に残高があるということの意味する。M.G. FERRI は1959年に発表した論文のなかで、セラードスとカーチンガの水分関係についてかなり突込んだ見解を示している。再び触れるが“セラードスとサバンナ”の同一視に関しては、結極は乾燥に適応した植生型であるか否かということも重要な点である。すなわち多くの植物は樹皮のコールク層が厚く、葉は革質あるいは有毛であること、その上多くの植物がよく発達した地下貯蔵器管を有している。しかしこのような概念からはセラードスの植

生はいささか離れている。第1に Xerophilic plant である Cacta'ceae や Bromelia'ceae または Euphorbia'ceae (トウダイグサ科) は欠いているか希である。第2にセラードスの植物の多くは Aspidosperma tomentosum, Birsonyma verbasciolo, Kielmeyera coriacea, Caratella americana などのように著しい量の葉をつけている。そして多くの他の種類も大きな葉をつけているが、無数の小葉をつけ(マメ科)、時にはその小葉が大形な Bombax, Didymopanax や Tabebuia などが構成種になっている。このようになぜセラードスの植物が大形の葉を大量につけているかは、サンパウロ大学の研究グループが水分生理の研究成果を発表するまでは理解できなかった。セラードスの植生の生態学的問題は非常に豊富であるが、セラードスがアマゾンニアと赤道に接近したところにも多くみられると同時に南部のパラナ州にもみる。この間の気象条件の差は著しい。勿論中央ブラジルにも多く存在しているし、西ブラジル、東北ブラジルにもみられることはセラードスは非常に幅広い気象条件下で展開していることになる。パラナ州の Camp Mourão における年間降雨量は約 1.600 mm で、しかもこの地域には明確な乾季の存在がない。中央ブラジルでは年に 1300 mm の降雨量があり、そして3~5カ月に全く降雨がない。そしてアマゾンニアの約 2000 mm 以上の降雨量のところにもセラードスの形成をみている。気温については当然ながら赤道附近、アマゾンニア、中央ブラジル、南ブラジルでは大きな差がある。

セラードスの多くは砂礫土の上に展開しているが、地層中には石灰の塊が存在する場合もある。また閃緑岩の風化物も多い。若干の例では硬い不透水性の層(Canga という)が種々の厚さで形成され、多くは地層に発達しているのを見るが、一般的とはいえない。一般的には土層は著しく深く、母岩は地表より 20~30 m も下にある。

現在セラードスは人間によって作成することはできぬが、セラードスへの発達、移行をさせるための条件をつくることはできる。

乾季にセラードスを訪れてみると、なお葉がよく繁った灌木をみることができる。また多くの植物が乾季に開花するのも甚だ興味あることである。つまりセラードスでは萎凋した木や灌木をみることはほとんどない。これらの必要な

水が土壤中に貯えられていることは明白である。1943年にRAWITSCHER FERRI および RACHID はその成果を発表したが、少なくとも観察地であるサンパウロ州のエマスのセラードでは、土壤水分が著しく多いことを知った。表層のみ僅かに乾燥し、1 m以内では乾土重の75%以下という水分量はみなかったという。1.8 mの深さでは約40%の水を含み、Sheet of water に変化がなかったという。Schubartはセラード内に2つの立坑をつくり、雨季、乾季を通じて土壤水の動きを観察したが、彼によると表土から雨水がSheet of waterまで到達するのに約5カ月を要し、重力水が1カ年を通じて低部へ移動するのを示し、しかもSheet of waterの上層の水分量が3カ年間の合計雨量に等しかったと述べている。

セラードスの植物の根系についても研究されたが、一般に灌木林と森林は根が非常に深く、地上部が小さい。例えばAndira humilis は地上部が非常に小さく、高さ30 cm程度であるが1.8 mまでつび、Sheet of water に至っているのをしばしば観察した。Amorimia pumila と若干の他の種類についても同様である。しかし植物の多くはSheet of water まで根を伸張させることはないが、1.0~1.1 mの深さに達している。草本は表層のみに根を分布しているので、乾季には地上部は完全に失われる。セラードスの植物の蒸散については、かなりの報告があるが、大部分は自由に蒸散しており、乾季に僅かに制限を加えている程度である。浸潤法の測定であるが、ほとんど例外なくセラードスの植生は1日中気孔が開かれ、乾季でも同様であったという。一般にセラードスの植物の気孔開閉運動は非常に遅い。またクチクラ蒸散は一般に高く、厚いクチクラ層は蒸散防止にはなっていないという。

5. サバンナ

サバンナの概念：熱帯草地の代表としてサバンナがまずあげられる。そして最も明確な植生型として“サバンナ”と“ステップ”という言葉が草本クライマックスとして使われているにもかかわらず、地理学者の多くは一種の気候帯として示している。C. TROLL(1935)はhumid Savannahは乾季を25~5カ月をもつ熱帯夏雨気候帯、dry Savannahは5~7.5カ月の乾季をも

つ草原地帯で、トゲ性灌木 Savannah は 7.5 ~ 10 カ月の乾季をもつ草原帯として理解し、常に土壌的、生物的そして人類的要因と関連して、そのため木のない草原から森林に近い植生型までの種々型を反映させたものとして受けとめている。この意見にしたがうとサバンナは基本的な生態学的意味を失ってしまう。一方ステップという言葉はアフリカにも使用する学者があるが、これは非熱帯圏の草地のある型に使用するべきであると HEINRICH は強調している。ステップはロンヤの Stepj で、元来ヨーロッパの東南部にある草地のみを指していたので、むしろアメリカの *Prairie* と一致するものであるが、先述のように短草型として一般に理解されている。

サバンナは熱帯の夏雨帯の比較的均質な植生帯で、イネ科草の密な被覆と疎らな孤立した木本とよりなる草原で、このようなサバンナはおそらく 600 mm 以下の降雨量の地域にのみ生ずる。したがって JAEGER の "thorn - scrub" に非常に一致する。そして砂漠の境界域にみられる砂土の上に成立する木のない草原はサバンナでなく、単に *grassland* とよぶべきであるというのが SCHIMPER および DRUDE の意見である。

植物景観的に非常に類似するいわゆるサバンナは広くアフリカ、南アメリカのより湿潤な地域に分布しているが、これらは種々の Woodland 型におきかえらるべき二次的的植物共同体であることは疑いない。これらの成因の主なもの火入と山火事である。この山火事は雷による自然発生があるが、実際にはそれ程多いものではない。普通雷による場合は、自然林では非常に広範囲にわたることはない。何回もの火入や人為的山火によって、また放牧と関連して広大な草地が成立するものである。一方アントローブや縞馬、ウンカモシカの大群が草原形成の要因として強調される。これらの野獣群はある地方の Ecosystem に特別な重要性をもつことは疑いないが、これらが植生成立に決定的な役割を演ずるかどうかは疑わしい。しかし大型の草食獣のいるアフリカの草原のアカシヤはすべて有刺であり、カンガルーが主体をなすオーストラリアの草原のアカシヤは刺なしで、しかもカンガルーの大群というものはない。この辺も一考を費しよう。

真のサバンナに対して二次的に成立したサバンナを二次サバンナとするなら

ば、この土壌は繰返される山火のために有機物が少なく、したがって腐植が乏しいし、NやP₂O₅含有率も低い。そして雨季と乾季の繰返しによって浅い硬い酸化鉄の盤を形成し、これが土壌侵食によっていくらか露出している場合もある。したがってこのような土地は施肥管理に十分気をつけないと生産をあげることができない。また起伏地であれば、MILNEのCatenaの理論がよく示されており、傾斜の頂上から低地まで土壌型の成因的シリーズがよくみられる。丘の頂は赤土で、膨潤にならず、低地はハローをかけると黒くみえ、膨潤なモンモリロナイトを含む土が多い。

典型的サバンナの景観は、多少離れて、その距離は樹高の5~10倍の距離を距てて木本が草原に疎生する植生型である。しかし一見森林に近い外観を示すものもある。つまり森林内部では明らかに疎林で、周辺が森林に囲まれているような感じであるが、その一方に回って森林に到達しようとしても到達できないといったサバンナの型もある。温帯ではこのような草本と木本の混合体はみられず、森林か草原であり、forest — steppe型は森林と草原のモザイク型でしかない。これは熱帯の特有のものである。

サバンナの草本と水：サバンナの草本は蒸散が非常に活潑で、土壌水分の欠乏期でも減退しないから葉の細胞の水分が減り、滲透圧が急速に高まり、細胞は枯死する。まず外見上は葉先の枯死から始まり、次第に基部に広まる。イネ科草の大部分は分裂組織が葉の基部にある。これは乾いた葉鞘で保護されており、そのため数カ月間もの乾季の間生き残ることができ、雨がくると新しい葉を発育させるのである。地下部ではAristida属やEragrostis属は根の上皮とCortexは枯死し、萎縮して生きている根の中央部の周りに鞘のような形で保護する場合もある。またサバンナでないが砂漠地帯のイネ科草はbunch type（株形成型）で、その株のなかに生長点が保護され、乾燥期を生き残るしくみになっている。例としてAristida uniplumisがあげられ、これは南西アフリカに広く分布している。

休眠条件下では草本は非常に僅かな水を使うのみである。蒸散器管は枯死してしまふ。

丈の高いtall grass型は水消費が大きいので、乾季の長いところでは成

立しない。

サバンナの土壌水分と植生

草地管理の難易はその土地の標高、降雨量、排水条件と土壌に依存する。一般に樹林は排水を良好にする自然植生である。降雨量が適量であれば樹林の水収支は平衡するが、水不足では蒸散は制限され、自然植生は乾燥林や硬木林であっても草原の方が維持が遙かに容易である。しかし自然植生が草原であると排水は不良で、土壌の多くは black cotton soil, そしてサバンナではこの他にラテライト土が広大に広がる。このようなところの草地管理の要点は軽放牧と火入れである。牧草地は温帯、熱帯を問わず同じ要求がなされる。つまり草地土壌は牧草の根の good home でなければならぬ。そのためには根が網の目のように広がるように多孔質であり、透水、通気がよく、十分な水と養分を貯蔵する力をもつことが要求される。そこでその最も重要な水供給能について以下に述べる。

熱帯土壌の水供給能：熱帯と温帯草地の著しく違う点は、この両者の気象差が草地の水要求量に非常に大きな差をもつ点である。英国ではイングランドの南東部で年 600 mm の蒸散量であるのに過ぎぬが、赤道地帯では 2700 mm も示す。そして平均的な英国の田園では年降雨量は年蒸散量を大きく超えるが、大部分の熱帯では年降雨量が相対的に少なく、時に蒸散量より明らかに少ない。そして草原の場合とくにそうである。多くの熱帯草地は年間の蒸散量が年降雨量によって規制され、構成植物はいかに乾燥に抵抗できるか、さもなければいかに速やかに生育し、結実するか 2 つに 1 つの道よりない。それにはこれらの habitat の雨の季節分布、根圏部土壌の保水力が関係する。

雨季中の降雨量は多く、蒸散量より遙かに多いが、土壌はその際の水貯蔵の重要な役目をもつ、とくに熱帯の土層は温帯に比較して著しく厚く、熱帯性イネ科草はまた非常に深根性である。たとえば放牧によって地上部が短く制えられていても地下部は 450 cm 以上におよぶものも少なくない。そして 360 cm の深さで 15 気圧もの吸収力をもつという成績もみられる。温帯では 120 cm まで根がはり、10 cm の深さまで萎潤点以下に土壌が乾燥するという事は希である。ナイロビの近くのムグガでの成績を示すと、Star grass は熱帯性イネ

科草の深根性をよく示している。土壌は非常に深く、どこでも600～750 cmであって、非常に多孔質でホノライト熔岩（礫岩）の風化物に由来する。表11は乾季の終に放牧採食されたStar grass草地の土層300 cmの水分を示した。またこの表は土壌が50 cmと33 cm（1/3気圧）PFまたは15 PF時に保持できる水分量を示している。そしてStar grassが300 cm以上にわたって土層を萎凋点以下まで乾かしたことも示している。その他Kikuyu grassでの試験例であるが、一度grassが表土を乾かすと最初の90 cmから多少均一に水を吸い、この層が乾くと次の60 cmの層から吸い始めるという具合にかなり深い層まで吸い上げる。また雨が軽度であれば、僅かに表土を湿らすのみで、数年もこの状態が続くと土層が深い層まで乾ききってしまい、Greeping type（ほふく型）の草が有利になる。

表11 乾季の終期におけるスターグラス生育土層300 cmの土壤水分

土 層	水柱で示した水分量						計
	0～18cm	30～60	90～120	150～180	210～240	270～300	
根圏土壤の水分	246	1632	1911	2226	2250	2367	10632
1/3atm pF時の水分	561	2565	2820	3051	3042	3150	15189
15atm. pF時の水分	360	1869	2205	2586	2448	2628	12096
15atmpF以上で致取された水分	110	237	284	360	198	261	1464

サバンナ帯における土壤要因的植生：乾燥サバンナ帯では弱い塩類土壌の性質を帯び、Salsoa属（アカザ科オカヒノキ属）Mesembryanthemum属（ソルナ科サボテンギク属）がみられる。傾斜面には風化した岩石が露出しているところがあり、このようなところはgrassよりも灌木景観におきかえられる。

サバンナ様草原（二次サバンナ）では砂質土壌がみられるが、例えばブラジルのセラードスの多くは砂質の壤土である。アフリカでは草本のみの場合は土層が浅く、HEINLICHによると南西部のMarientalでは土層断面の浅いところに砂岩の硬盤があり、これは細粒層か粗粒層で、ときにその層は割れ目を生じている。表層は砂土で降雨の一部を貯えるのみで他は全部透水してしま

う。砂の層に貯えられた水は grass に利用されるが、砂岩の割れ目に溜った水は利用できず灌木が使うのである。Mariental の降雨量は 185mm、植被率 40%、grass の乾物収量は 400 kg/ha で、優占種は Aristida uniplumio で高さ 60cm ほどである。この草はブラジルでは Barba de Bode に相当する。したがってこの grass と Shrub の間には直接の競合はない。灌木 (Shrub) の代表種は 3 種で Boscia foetida、Catophractes alexandri と Rhigozum trichotomum で、これらは互いに水吸収については競合する。Boscia 属はこのなかで水を一番多く使い、非常に活性である。Catophractes 属は中間で、Rhigozum 属は水の使用量は最小で、植物体も最小である。これらの種の望ましい habitats は砂岩が下層にあって、その割れ目に十分な水が貯えられているようなところである。これらの種子はその周辺にほぼ均一に散布されるが、実生は雨の多い年で、乾季に入る前に砂岩の割れ目に水が豊かにあり、根がそこにとどくという条件下で生長できる。普通この 3 種の実生は同一場所に生え、しかも砂岩の割れ目の水はすべてを満たすだけの水量はない。結局 Boscia が他の 2 種に打ち勝つ。しかし好条件でない habitats つまり Boscia に十分な貯水がなければ、Catophractes のコロニーができ、最も条件の悪いところに Rhigozum のコロニーが形成される。このような条件の悪いところでは Rhigozum が唯一の本木植物になる。逆に浸食による溝の近くでは砂岩が表面の浸透の水を多く受けるから水が豊かで 3 種の混生をみることができ。そして砂土の層が深いところでは草本のみが植生を構成し、反対に浅いところあるいは欠く地域には草が少ない。したがってサバンナでは土壌と植生の分布はきわめて密接で、その短識は非常に必要である。すなわち夏雨の減少とともに地表では rain-green → dry woodland → savannah → grassland → desert と移るが、砂土が厚くなると草本群落が多くなる。Climax としてのサバンナは降雨量 250~500mm の幅のところに形成される。類似のものがサワラの南地域の夏雨帯にみられるが、SMITH の詳細な調査によって Climax でないと報告されている。これは草地帯を欠いており、サバンナ様の植生が年降雨量 900mm のところまでのびている。スーダンではエジプトとの国境にある Wadi Halfa に近いところは 0mm であり、コンゴへの

移行帯は1400 mmを超えるがその間に植生の移行がみられる。この地帯は平坦で土壌は北西に向って砂質土で、南東に向って粘土である。この間の植生帯は、1 砂漠 年降雨量50 mm以下 2 アカンヤ、砂漠-灌木帯 3 *Acacia short grass* 帯 4 *Acacia tall grass* 帯 5 落葉混交樹林を示している。このうち1は砂漠帯であって、草本のみが発育(雨季)、ラクダの放牧がなされる。粘土性の土壌では植生を欠く、*Acacia flava*(*Acacia ehrenbergiana*) は50 mmの等雨量線の南の砂土に生育、ユーロ-ンヨ-ン溝にそってこの*Acacia*の帯が北にのび、そこでは*Caoparis decidua*・*Maerua crassifolia* と *Leptadenia spartium* が群生する。12の場合は *Acacia desert-scrub* で、年降雨量50~250 mmの砂土地帯を占める。また400 mmでは埴土地帯にも成立する。典型は *Acacia tortilis* で、その他*Acacia raddinna*と*Boscia senegalensis* がある。粘土で表層を覆った砂丘には *Salvadora persica* が生育し、砂土地帯では *Panicum turgidum* と *Cyperus* 属が占めている。13 *Acacia Shorigrass* 型は *Acacia mellifera* *Boscia* と *rotundifolia* が優占し、これらは埴土に、また *Acacia Senegal* は砂土に *Albizzia* 属とともに生育する。この植生型は250~400 mm(砂土)、と400~600 mmの降雨量帯(埴土)に広がっている。4 *Acacia-tallgrass* 型、草丈が1.5~2.5 mにおよび、しばしば巨大な野火が地表をはい、あるいは埴地帯(Mahal)に至って止む。このようなところでは早雨で発芽し、乾燥で枯死する。純粋の草地は雨季は洪水となり、木の生育が制限される。優占樹は *Acacia segal* で、ときに *Balanite aegyptiaca* と混生する。この型は年900 mmの地域にまでひろがり、火事でコントロールされている。草本の疎らな岩石地帯は火事をまぬがれ、ここでは乾燥林の種々が形成される。*Lonchocarpus*・*Stereospermum*・*Sterculia Anogeissus*・*Boswellia*・*Fucus* とタケ属さえみられる。15は年平均900 mmの降雨量を超すところで、野火による被害も少なく、樹林によって grassの広がりが抑制される。ここでは広葉樹が dry woodlandを形成する。下繁草は最初の雨で、生育し始めるが、ほとんど多年生である。木の種類は *Sclerocarya*・*Eurpea*・*Pterocarpus*・*Stzychnos*、その他インド原産の

Tamarindus, Mimosa, Dalbergia で、水の比較的豊富なところには Chlorophora excelsa, Ceiba pentandra, 灌木層では Coffea robusta が多い。

乾燥地のこれらの植生帯をみるとアカシヤがむしろ grass より、ときには砂漠と接するところでさえもこの植生帯の重要な役目を果している。そして永年生草本はサバナ帯に欠いているが、これは人類発生論的条件下での影響つまり放牧による長い歴史の間に消失し、1年生、短年生草に変わったものと考えられる。サワラの南地方にラクダや山羊、羊の過度の放牧が数世紀にわたって続き、その上火入れの習慣は永年生草へ重大な被害を与えた。一方1年生草は種子として地表に残り、地表温度は100℃を超さぬから発芽を繰返す。木本にしてもラクダ、山羊に食われ、その上土着民によって、薪炭用に消費される。その結果恢復期を失い、二次植生とし有刺灌木—1年生雑草という型が元来の型におき代わっている場合が多い。

tall grass savannah の湿潤地帯への侵入は、激しい毎年の火入の結果で、SMITHはこの植生型を fire-climax community とよんでいる。したがって Climatic climax または true climax ではない。

IV. 熱帯における草地利用

1. 施肥効果について

1) 窒素肥料に対する反応

熱帯の大部分の地域では著しい窒素不足がみられる。これは、かなり高い雨量があるが、厳しい乾季をもつ地帯で、ここでは毎年草地を焼くのが慣行となっている場合が多い。これは結果的には牧草の地上部に含まれる窒素の全部を空中に飛散させ、ただ、ネラルのみを地上に還元している。

Hyparrhenia 属の牧草地への窒素の肥効試験をみると熱帯草地の場合種々の反応が示される。*Hyparrhenia* 属の牧草でブラジルで一般的なのは *Hyparrhenia rufa* で *Capim jaragua* あるいは *Capim vermelho* ともいわれている。アフリカでは *Hyparrhenia dissoluta* が多い。SMITH はこれに *Heteropogon contortus* の優占する自然草地に硫酸を40ポンド/エーカーを3回施用したが、窒素肥料1ポンドにつき乾物23ポンド、粗蛋白3ポンドの増加をみたといっている。粗蛋白は乾物当り61%より95%に増加したが、草地の種類構成に変化をみていない。また、NOLAND, BROCESとVERGARAらはパナマにおいて、*Panicum* 属の混生する *Hyparrhenia rufa* (ジャラグアグラス) 草地への窒素施用試験で、乾物および粗蛋白質が窒素の施用が40と80ポンドまで各々が直線的に増加したのをみている。またこの場合は、窒素1ポンド当り、草の粗蛋白は8ポンド増加、若牝牛の体重は25~30ポンドの増加をみた。しかしながら、前述のSMITHの成績と異なり、窒素の施用は自然草地の植生構成を変える例が多いようである。それは葉が大形に、分けつも増加し、牧草類が優占種になる。POULNEYはケニアで、*Setaria* 属を含む *Hyparrhenia* 草地で、硫酸50ポンド/エーカーを施用したが、乾物収量の増加のみならず、草地における *Setaria* の比率が増加し、とくに *S. sphacelata* が増加し、かつ家畜の嗜好性が高かったと報告している。なお、牧草として栽培されているイネ科草例えばギニアグラス、ローズグラス、エレファントグラスあるいはペンゴラグラスはアフリカ、中米、南米において多く経験しているが、上記の自然

草地より窒素の効果が高く示される。WESTのローデシヤにおける試験では、自然草地では云勢牛の150日放牧で90ポンドの体重増加をみたが、この草地に80ポンドの窒素を施用すると体重増加が150ポンドになり、さらに同量の施用を牧草地にすると440ポンドの体重増を得たといっている。また雨季の終りに施用すると乾季の間中の草の蛋白含量が高く維持されることも知られている。

表12 乾季中のギニアグラスの粗蛋白含有率におよぼす窒素の施肥量

Nの施用量 ポンド/エーカ	蛋白含有率			乾物収量 5月1日
	12月1日	2月1日	5月1日	
0	120	61	48	1320
100	17.6	75	72	2010
200	17.6	86	77	2010
400	19.8	94	90	1330

2) リン酸肥料に対する反応

リン酸は熱帯草地の施肥で非常に重要であるが、窒素のように明瞭な効果は示さない。これはリン酸肥料が不溶性であり……というのは有効でないというのではない……土壌に散布されると、土壌の表面に一面に広がらずに点在するような形になり、そこが湿っており、根が接近したときのみ吸上げられるからである。そしてリン酸の目立つ肥効は造成の年にみられ、継続年中には明瞭な効果が示されないのが普通である。その上、雨季にリン酸が土壌中に含有されていることが重要である。

そして、熱帯の下層土はリン酸含有率が著しく低いことも注意すべきことである。たとえば、私が採集したブラシルのサルパトリール近郊の放牧地あるいはアマゾン下流のグアマ、トメアスの野草地では表土の有効リン酸が0.00036%下層土では痕跡より認めなかった。

窒素の施肥量と動物生産：次に牧草地の窒素施肥量と動物生産に関して EVANS と PEAKE の試験成績がある。これは Beerwah において行ったもので、連続放牧条件下の Pangola grass (Digitaria decumbens) と Nandi grass (Setaria anceps) の 2 草地において、放牧頭数と窒素肥料の適正量を追求したものである。放牧頭数は 2.5, 4.3, 6.2 と 8.0 頭/ha とし、窒素肥料の施用量は慌安で 280, 378 と 476 KgN/ha/year とした。その結果、Setaria 草地の動物生産量は Pangola grass の草地の 66.5% にすぎなかった。次に示すのは 1 頭当り体重増におよぼす放牧頭数の影響を示した回帰式である。

a) Setaria 草地

$$280 \text{ KgN 施用} \quad y = 287 - 333x \quad (r = -0.997)$$

$$378 \text{ KgN 施用} \quad y = 300 - 296x \quad (r = -0.947)$$

$$476 \text{ KgN 施用} \quad y = 289 - 238x \quad (r = -0.984)$$

b) Pangola grass 草地

$$280 \text{ KgN 施用} \quad y = 245 - 133x \quad (r = -0.987)$$

$$378 \text{ KgN 施用} \quad y = 300 - 230x \quad (r = -0.979)$$

$$476 \text{ KgN 施用} \quad y = 230 - 85x \quad (r = -0.705)$$

Pangola grass 草地の動物生産は施用 N 量に有意に関係しなかったが、Setaria 草地では関係した。

2. カンボ・セラードスの生産力

ブラジル中央部に広く占めるこのサバンナ様草原の地力と施肥利用に関して記載する。ここでは L. M. M de FREITAS と A. C. McCLUNG の 2 つの試験例を紹介する。

1956~1957 年に行った McCLUNG の試験は、完全区 (N + P₂O₅ + K₂O + Ca + 微量要素) および、これらの各 1 要素の欠いた区および対照区を設けて観察した。微量要素は Fe, Cu, Zn, F および Mo に硫黄 S をも加えた。マメ科牧草を指標牧草として根粒菌を接種して播種した。基礎肥料は 1 ha 当り N 180 Kg, P₂O₅ 180 Kg, K₂O 180 Kg, Ca は Mg と 1:1 の割合に土壤の

pHを6.0するように加えた。Znは1.0 Kg, Cuは1.0 Kg(硫酸銅として), 硼素は9 Kg(Boraxとして), Moは9g((NH₄)₂MoO₄として), Feは1.8 Kgを加えた。なお, Nは硝酸アンモニウムを用いた。使用した耕地土壌はNo.1がテラ・ロッシェ・ミストラータ, No.2はマトン付近のもので砂壤土, No.3はゴイアス州のアナポリス付近の砂壤土である。

表1.3 試験土壌の粒径の分布割合

土 壤 No.	粘土含有率	シルト含有率	細 粒		
	% 0.002mm以下	% 0.003~0.05mm	0.05~0.1mm	0.1~0.25mm	0.25~0.5mm
1	27.5	17.5	3.5	2.00	2.55
2	9.5	6.0	3.5	2.90	3.85
3	0	22.0	5.5	2.60	3.45

No.1の土壌にはジャラダグラスと大豆, No.2の土壌にはバンゴラグラスとアルファルファ, No.3の土壌にはバンゴラグラスのみを植えた。これに追加としてNo.5, No.6とNo.7の土壌(アナポリス付近の土)でそれぞれ完全区, 無リン酸区, 無微量元素区, 対照区を設けバンゴラグラスで試験した。ポットは陶器のものを用い, 風乾した土3.5 Kgを入れた。なお, ジャラダとアルファルファは種子を播き, バンゴラグラスは茎の切片を用いた。土壌水分はできるだけ1.5%(乾土に対して)程度に保った。

結果: ジャラダグラスの生長は無リン酸区で悪く, その乾物量は完全区の1/2以下であった。

無肥料区は4.3 g, これに対して完全区は15.0 gを示した。無カリ区, 無微量元素区は有意な減収をみていない。化学分析の成績は, NとK₂Oを施用しなかった試験区のジャラダとバンゴラのNおよびK₂Oの含有量は低い結果を得ている。そして石灰を投入していない区は低カルシウム, 低マグネシウムをみた。無肥料区は完全区よりN, Ca, Mgが低く, とくにCaとMgの差が大きかった。No.1の土壌に生育したバンゴラはリン酸欠乏を顕著に示した。無リン酸区のポット当たり平均重量は1.3 gで, これに対して無肥料区は1.7 g,

完全区が 8.3 g であったから無リン酸区の 6.4 倍になっている。

そして、植物の分析値ではリン酸含有量においてのみ無肥料区は完全区より低い結果を得ている。無微量元素区はこれらの牧草に顕著な減収を認めている。これは完全区の 1/4 の乾重量を得たにすぎない。そして、一般的なクロロシスが減収にもなってみられた。クロロシスの現象は葉中のクロロフィルの総体的減少あるいは消失によって起こる。この研究によって、カンボセラードスの土壌は著しいリン酸欠乏と微量元素欠乏の状態にあることが分った。

リン酸以外の全要素を施用しても完全区の収量の僅か 5 ~ 15 % より得られなかったことより、なかでもリン酸欠乏が著しい。この研究によりカンボセラードスにはまず、リン酸の施肥が最優先することが明らかとなった。

FREITAS らの試験：ゴイアス州のアナポリスとサンパウロ州のサンジョアキンダバラーの付近のセラードスを選び、実験を行った。

アナポリス付近のカンボセラードスは標高 1,200 m で南緯 16° にあり、サンジョアキンダバラーは 700 m の標高で南緯 21° である。両試験区は強度の乾季と雨季の両期を有し、年間降雨量は両地とも 1,800 mm 付近である。ゴイアス州の乾季はブラジルの平均より長くかつ強いが、10 ~ 4 月までの雨量は時に過剰でさえある。

年平均気温は両地区とも 19.2 °C 前後である。ゴイアス州の地域はイネ科草と小灌木の混生した植生で覆われているが、この大部分は FEUER によって指摘されているように 2 次侵食された表面に生じたものようである。両地区の土壌は湿润ラトノール大土壌群に入り、サンパウロ州の分はテラロシジャミストラダに入る。これらの土壌の性質は表 14, 15 のようである。

表 1 4 両地区の土壌の化学的性質

層位 土壌	pH	%	%	有効態 リン酸 me	父かん性塩基 me		
					K	Ca	Mg
Anapolis							
0 ~ 15cm	4.7	232	012	0031	002	痕跡	020
20 ~ 40	4.9	139	007	0021	001	"	020
50 ~100	5.1	103	006	0015	004	"	020
S. J. da Barra							
0 ~ 15cm	4.5	139	010	0112	012	"	0.33
20 ~ 40	4.3	083	009	0091	018	"	-
50 ~100	4.5	052	009	0091	018	"	-

表 1 5 両地区土壌の土性 (%)

	粗砂 ~ 細砂	微砂	粘土
Anapolis			
0 ~ 15cm	6478	1000	2522
20 ~ 40	5278	1000	3722
50 ~100	4678	1200	4122
S. J. de Barra			
0 ~ 15cm	6878	600	2522
20 ~ 40	7848	200	1922
50 ~100	7848	200	1952

1.5 mの土層中礫を認めず。

ゴイアスの試験地：大豆の栽培試験に対して完全区 P_2O_5 200Kg K_2O 150Kg, S 40Kg, Zn 6.0Kg, モリブデン酸ソーダ 0.3Kg, 白雲石の石灰 5,000Kg を ha 当り投入した。Nは ha 当り 200Kgである。

トウモロコシに対しては、完全区は N 150Kg P_2O_5 150Kg K_2O 75Kg S 40Kg, Zn 6.0Kg, 白雲石石灰 3,000Kg を ha 当り投入した。この他追加試験については P_2O_5 , K_2O をそれぞれ完全区の 1/2 量 (75Kg) を ha 当り投入した。

サンパウロの試験地：完全区は大豆に対しては P_2O_5 200Kg K_2O 150Kg S 40Kg, Zn 6 Kg, モリブデン酸ソーダ 0.3Kg, 石灰は 4,000Kgである。

石灰の量は pH を 6.0 に矯正する量である。

ワタに対する試験は、さらに BAIRD と MASON の方法を修正して広範囲に行ったものである。すなわち、N、 P_2O_5 については 5 段階に試験区を設けた。それは 0 kg、50 kg、100 kg、150 kg、200 kg/ha 区である。また、カリは 0 区、25 kg、50 kg 区、75 kg 区と 100 kg 区である。全試験は N、 P_2O_5 および K は上述のように種々の量に変えてあるが、Zn 6 kg、S 30 kg は ha 当り一様に散布し、pH は 6.0 に矯正した。

試験の成績

発芽後、尚もなく作物の生育および外見に大きな差が両試験地ともにあらわれた。

ゴイアス試験地の結果：リン酸について著しい反応がとくに発育初にみられた。無リン酸区のトウモロコシは典型的症状として紫紅色に変じ、その後徐々に褪色して萎縮した。興味あることは無肥区がこの紫紅色にならず、僅かに試験区の境界部にみられた。したがって、この区はリン酸が第 1 限定要因ではないことがわかった。また、石灰区の境界部がリン酸欠乏の色変化を示すことから Ca 欠乏が第 1 の原因になっているのであろうと推測している。

ダイズについての試験ではトウモロコシより若干弱いけれども、同様の症状をみている。無 N 区、無 K 区、無 Zn 区のトウモロコシの反応については、それぞれ特徴的な症状を認めている。完全区と無 S 区は播種後、約 60 日間は非常に順調に生育したが、この時期から無 S 区は古い葉が枯れはじめてきた。しかし、この現象は、この区のみでなく N と P_2O_5 を中程度施用した試験区に認めている。第 10 週まで最初の 2～3 葉は完全に枯れ、第 3、4 葉に変化が認めはじめた。また、しばしば非常に若い上部 4～5 葉の緑色にも異常をきたし、紅紫色に変じたのも認めている。これの一般症状はほとんどカリ欠乏症と類似している。しかし、カリ欠乏症の場合は変色した部分に壊死があらわれ、カリ施用区には絶対に生じない。

ダイズの観察では根粒菌を接種し、多くの根粒を認めたが、明らかな窒素不足がみられた。つまり、植物の大きさ、色に顕著に示された。

表16 カンボセラード土壌でのダイズ栽培
試験 kg/ha

試験区	アナボリス	サンジョアキン ダバラー
N 区	1,308	·
完 全 区	1,077	1,976
1/2 P 酸 区	2,064
無 P 酸 区	181	2,252
1/2 K 区	...	1,907
無 K 区	481	2,040
無 S 区	1,058	2,050
無 Zn 区	446	2,138
無 Mo 区	1,115	1,946
無 Ca 区	791	1,815
無 (Ca+Mo)	571	..
1/4 Ca 区	910	..
1/4 Ca と 無 Mo	789	...
無 肥 料 区	70	1,717

表17 同, トウモロコシ栽培試験
(アナボリス)

試験区	kg / ha
完 全 区	708
1/2 N 区	760
1/2 P 区	378
無 N 区	381
無 P 区	35
無 K 区	129
無 S 区	1,011
無 Zn 区	225
無 Ca 区	340
無 肥 料 区	1

トウモロコシの収量については表17のような成績を得ている。無肥料区では残存したトウモロコシは44本にすぎず、また無S区が有意に収量が高かった理由は不明である。

サンパウロの試験地：ワタについてはCa, Sおよび、この両者に強く生育が影響をうけた。これらのいずれかを施用しなかった試験区では萎縮と褐色現象をかなり強くみている。そしてN, P₂O₅ およびKを十分施用し、CaあるいはSを欠いた場合は、N, P₂O₅ およびKを欠いてSまたはCaを施した場合より生育が悪かった。

ダイズについては、ほとんどの試験区がよい成績を示したが、無Ca区と無肥料区が初期の成育障碍を認めている。

以上の成績でみるように、同じカンポセラードスでも肥料成分に対する反応が地区によって異なり、また、作物によっても違うようである。したがって、このゴイアス州とサンパウロ州の2つのカンポセラードスの試験成績から、ブラジルに広く占めるこの景観の土壌を推量するのは危険であるが、今まで述べてきたようにリン酸、S、Caの欠乏は十分考えられるし、ときに窒素不足も考慮すべきである。

3. 熱帯草地におけるミネラルの問題

上述のようにカンポセラードスの僅かな試料を分析してもSの欠乏が目立った。ブラジルの草地のミネラル欠乏については、日本で考えるより深刻であることは疑いない。ブラジルの個々の問題に入る前に熱帯草地のミネラル問題を詳細に研究しているオーストラリアのC. H. WILLIAMSとC. S. ANDREWの論文から要点をひろって述べたい。

オーストラリアはほとんど熱帯に位置するが、その草地土壌はまずリン酸と窒素の欠乏土壌であるといつて過言でない。リン酸と窒素の欠乏の他に多量元素としてのカリ、硫黄の欠けている地域も多く、微量元素に欠けているところもかなりある。そして、熱帯農業での窒素不足は窒素肥料の高価に連がり、リン酸と2つの肥料要素欠乏をいかに克服するかがオーストラリアあるいは熱帯農業の発展に結びつくものと考えられる。

過リン酸塩は常時よく使用されており、オーストラリアで使用される肥料の約88%にもおよんでいる。窒素肥料は高価であるが、オーストラリアでは草地においてはマメ科草の導入により、その根粒着生に力を入れ、窒素固定を草地にうまくとり入れ、それが過リン酸石灰の追肥によって効果をあげている。また、後作の生育のためには裸地として休閑し、土壌窒素の無機化をはかっている。このためにも輪作形態の中に短期のマメ科牧草の組入れが重要な意義をもつことになる。つまり、英国のley方式をそのまま入れているわけである。南オーストラリアの牧草地改良は地中海沿岸種とくにサブレーニアンクローバの導入と過リン酸石灰の施用が経営の基本となり、草種として、さらにTownsville Lucerneも用いた。ところが、このようなパターンの繰返しの方

ちにカリ欠乏が表われ、今日では微量要素欠乏が示され、従来の方法では失敗する例が多く出てきたわけである。微量要素欠乏が最初に示されたのはアルファファのCu欠であった。これはRICEMANとDONALD(1938)によって報告され、次いでANDUSON(1942)がMo欠、RICEMAN(1945)がZnをサブタレニアンクローバで発見し、1960年にはCo欠乏をPOWRIE OZANNE, GREENWOODとSHAWらによって示されるに至った。

1) 土壤養分の有効性に影響する諸要因

オーストラリアの土壤の養分不足の広い範囲におよぶ発生は、アフリカの場合のように地質年代的経過から由来している。すなわち、きわめて長期の溶脱、深く風化した表層はしたがって養分に乏しい。① 火山活動は東と南東海岸の狭い地域に限局している。② 本土大陸の限局的な隆起は長期の風化によって基底岩石が露出し、崩壊しているが、これは限局している。③ オーストラリアの南東部の小地域とTasmania地帯は氷河の氷河を受け、そのため基底岩石が露出し、氷河の運搬してきた堆積物の堆積が一部にみられる。第三紀土壤の面積と多くの現世土壤はこれらの低層の残積層上か沖積性残積層の上に発達したものである。この土壤は低肥性であって、多孔性であり、雨量の多い地帯では溶脱が激しい。土壤は珪酸含有量が高く、粗い土地である。

窒素：オーストラリア土壤の低窒素性は低有機物性に関連する。一般には全窒素は表土で0.01%から0.2%である。PRESCOTT(1931)は降雨量と表土の窒素との間に相関のあることをみており、彼は、さらに表土の全窒素とリン酸含有量の高い相関のあることを示し、多くの土壤の著しいリン欠は自然植生のなかでのマメ科植物の消長に大きく関係することを示唆した。

BEADLE(1962)は侵食による有機物と表土の流失はオーストラリアの土壤の低リン酸の重大な要因であると述べ、同時に窒素の欠乏もこれに関連しているとみている。

このように窒素の乏しい土壤であるにもかかわらず、窒素肥料は僅かよりオーストラリアでは用いられていない。窒素肥料の大部分はサトウキビと園芸作物にむけられ、牧草地には僅かではない。そして、畑作は休閑により窒素の無機化をまち、かつ、マメ科牧草を組み入れたleyによる窒素の自然増加に

依存している。

(註) ley とは英国で用いられている短期性のマメ科を含む草地を組み入れたローテーション農法

牧草地の窒素をほとんどマメ科に依存するのは牧草地へのマメ科草の適応性が高いことが第1であるが、窒素肥料が高価で、広大な草地への施用が困難であることにある。そしてサブタレニアクローバは南オーストラリアにきわめてよく順応している。

DONALD は南オーストラリアの耕地への窒素の添加量は年間Nとして1,000,000 tのオーダーで、これがすべてマメ科牧草でまかなわれていると発表している。この数値は窒素固定の量とすれば、かなり過剰でないかとも思われる。しかし、1960年以來、播種した牧草地の面積を考慮すると、オーストラリアの農地とマメ科牧草から年間1,500,000 tのオーダーが考えられる。これは、最近のオーストラリアの肥料価格からすると300,000,000弗に等しい窒素ということになる。

南オーストラリアの草地は、このようにマメ科によって窒素を維持しているのが実態である。そして、窒素肥料は季節的にある期間の生産をあげるための、マメ科窒素の従属物的、促進剂的に位置づけられているとみてよい。

北オーストラリアにおける窒素肥料の位置は明らかでないが、ley system における穀実作への効果にあるようである。SIMPSON(1912)は草地の表土における窒素の消長を観察したが、生育期間には低レベルで、休眠中は硝酸態窒素の上昇(40~50 ppm)があり、作物の吸収のないとき湿潤な土壌では有機態窒素から無機化によって生ずることを指摘した。

リン酸の欠乏：オーストラリアの土壌のリン酸含有率は0.0001%以下から0.5%以上まで様々であるが、外国の土壌と比較して一般に低い。事実DONALD(1964)はWILD(1958)がオーストラリア全土の93%が平均して0.03%以下であるという成績を示したことから、種々検討を加えたが、この低リン酸の原因は母岩の低リン酸というよりも第三紀の中頃において排水条件の悪い下でラテライ化作用が盛んに進行し、リンの溶脱が激しく起ったものと推察している。また、BEADLE(1962)はリン酸含有量の低い母岩から

形成された地域もあるが、堆積岩が風化し、細粉化された段階で、細粉部分はリンが豊富であるが、これは風雨によって移動消失し、残ったリンの少ない粗粒のものによって土壌が形成されたと推定している。

リンの比較的高い土壌は黒土と Kraznozems (これはオーストラリアの東部にかなり大きな地域を占める) である。これらは多くは、玄武岩あるいは玄武岩由卒の沖積土であり、母材はリン含有率が高い。一般に黒土 (Black earth) は全土壌の 5% 以下である。しかし、Kraznozem は全リン酸は高いがリン欠が生じ易い。これは活性の Fe が高く、かつ Al の含有量も高いので不溶性のリン化合物にする力が大きいためである。無機リン酸の多くは極端に植物に吸収され難い形で存在しているものとみられる。NORRISH (1957) はこれらのリン酸の大部分は Gorceixite として存在し、種々のミネラルと結合し、不溶性の形で存在していると報告している。NORRISH と SWEATMAN (1962) は南オーストラリアの Barossa Valley の土壌中のこれらのミネラルを認めているが、これらは第三紀初期の表層の残積層上に風化した土壌とともに存在していた。オーストラリアの古い土壌中には、このような形で P が存在するため、これがひとつはオーストラリアの低リン酸土壌の原因になっていると指摘している。

リン酸肥料：オーストラリアにおけるリン酸肥料の位置は重要である。これは、一般に熱帯諸国にいわれることでもある。過リン酸塩は使用した全肥料の 89% を示し、そのまた 96% が牧草地に使われている。平均して 144 kg/ha という数字がでていいる。これは現在の姿であるが、1938~1939 年には全肥料中僅か 32% がリン酸肥料であったのにすぎない。過リン酸塩は牧草地にドリルか spinner または blower を使って一様にまいたが、最近では top dressing には航空散布が一般である。1966 年にはオーストラリアの牧草地のリン酸散布の約 25% が航空散布法によっている。

リン酸肥料の残効：オーストラリアの土壌の大部分は、リン酸の固定について深刻な問題はないようであるが、多くの報告は Common Wealth の全域で作物畑、牧草地の両者で過リン酸塩の過去使用の残効が、かなりあることを報告している。リン酸の高い固定については、Kraznozem のあるものにつ

いて認められており、酸性土壌の可溶性アルミニウムのある小地域や三二酸化物の活性の高いKraznozern でみられる。また、耕地より草地においてリン酸肥料の残効が有効である。それは、①酪農草地は刈取りによる収奪が大きい、放牧中心の場合は農場産物によるリン酸の収奪は穀類に比較して遙かに少ない。②過リン酸塩の表面撒布を行った草地ではリン酸肥料の残積量がかなりある。しかしながら、この集積したリン酸の多くは牧草地では有機態に変化しており、これはきわめて徐々に有効態に変化する。勿論、無機化合物として固定される場合も十分考えられる。NEWMAN(1963)はリン酸を高率に固定するKraznozernで25年間過リン酸を3765kg/ha施用したが、それでも年62kg/haも牧草生産に有効に働いたと報告している。

また、砂土の場合は表面からの溶脱が起きても牧草根圏部には十分停滞しているので、溶脱とか非有効化にとくに神経質になることはないという見方が一般的にされている。

硫黄の問題：S欠の土地はオーストラリアでは広く分布している。とくに、New South Walesの台地と西オーストラリアの海岸砂質地帯がそれである。通常の過リン酸塩の広い使用のため(これは11%のSを含む)、欠乏は今日では重大な問題でなくなっている。

オーストラリアの土壌のS欠乏の高い存在の理由は、有機質が一般に少ないこと、また、雨のなかにSが少ないことなどである。例えば、1年間に1.1kg/haというのが降雨によるSの添加量で、日本などでは考えられぬくらいに低い。これは、工業地帯から著しく離れているからである。海岸地帯は比較的工業、都市が接近するので34~7.8kg/ha/yearであるが、内陸に入ると急速に低下し、平均して2.2kg/ha程度になる。MCARTHURとSPENCER(1963)はDorrigo高原におけるS欠の深刻程度は海岸から内陸への距離によって急速に増加し、また、雨量の減少にも関係するといっている。

S欠はマメ科草に重大な影響を与える。その原因は非マメ科草はNとSを土壌に求め、そのソースは主として土壌有機物である。植物のNとSの要求比率は15:1であるが、土壌有機物のN:Sは8:1であり、植物はまず第1制限要因であるNを吸収してからSを吸収する。しかし、マメ科はNを固定し、

自ら吸収利用するので、Sが第1制限要因になる。したがって、Sが欠乏していると、マメ科の方が早く徴候を示すことになる。しかしながら、S欠の問題は窒素欠よりも低く、雨量も適当なところで、排水のよい土壌で、表土に殆どSを含んでいなくても、下層土に自由な形か吸着のSの若干が含まれており、これが容易に植物に有効な形となる可能性があり、深根性のものは利用できることになる。また、酸性土の場合は、とくにKraznozemでは表土にさえ吸着Sを含んでいる。

S欠を示す土の大部分は、またP欠でもあり、Sのみ欠という土壌は比較的少ない。これらは塩基的起源の土壌に主にいえよう。この多くは黒土で、New South Walesの台地上に存在する。

一般に普通の過リン酸塩はP欠とS欠の両方に対して適応するとして、長く使用されている。しかしながら、New South WalesのS欠土壌の地域はP欠が軽度かP欠がないのでS強化の過リン酸塩(26% S入)と石こうを用いている。ここでは、石こうでtop-dressingし、この面積は1958~1959年には1,200haから1966年には520,000haにまで伸びている。

2) K、CaとMgについて

カリの欠乏土壌もオーストラリアに広くみられるので、カリ肥料の効果に関する報告は全国的にみられる。欠乏土壌は西オーストラリアの南西部、Tasmania, VictoriaとQueenslandの南海岸地帯である。カリ欠乏については1933年にすでにVictoria州で、まず発見され、処女地ですでにカリ欠の場合と馬鈴薯などの連作によって生じた場合と二通りがみられる。カリ欠乏の場合は殆ど常にリン酸欠乏と関連するか、または微量要素欠乏とも関係している。今日までオーストラリアではカリの施肥に比較的注意が足りず、草地の全施肥の僅か1.5%よりカリを施用していなかったが、最近、知識の普及により急速に施用量の上昇をみるに至り、最近では全肥料の37%に達している。現在までカリ欠が深刻さを示さぬのは欠乏の要因による。

① 多くの潜在的カリ欠土壌は、同時に生じているリン欠によってマスクされていて、目立っていない。リン欠は過リン酸塩である程度の水準が維持されているが、K欠が限定要因になっている草地がまだ明確でない。

② カリ欠はときに酷い微量元素欠に関連しており、これらとの関連における補正がまだ正確でない。

③ 放牧草地の場合はさほどでないが、乾草収獲草地や刈草用の草地の連用はカリの収奪が大きく、カリ欠を誘発し易い。

④ カリ欠は常に容易にみられない。植物の症状は、しばしば酷い欠乏のときのみ明らかで、症状をみずして収量の減退が始まる。

羊毛生産牧場では農場生産にともなうカリの収奪は小さく、大部分の土壌では施用したカリ肥料の残効がきいている。例えば、PATON(1956)は最近4~5年の塩化カリの施用量125kg/haの残効について証明している。勿論この残効は地域によって種々変っているが、一般的にはカリの維持のため、しばしばtop dressingが必要である。Victoria州ではNEWMAN(1956)の方法、つまり最初の基肥に125~250kg/haを投入し、後は1年おきに31~62kg/haのカリをdressingするだけの方法を推奨している。これは羊の放牧草地であるから維持されるのであろう。

Ca：石灰不足のための施肥よりもpHの矯正のために用いられ、可溶性アルミニウムとマンガンの毒性を抑制するのが主目的であることが多い。また、このpHの上昇によるモリブデンの有効果もみのがせぬ事実である。また、石灰はマメ科草の根粒着生と増加に重要であり、マメ科牧草の確立に不可欠である。

Mg：オーストラリアではMg欠土壌に関する報告はあまりみられない。

微量元素：南オーストラリアで問題になるのはCu、ZnとMoである。例えばSTEPHENSとDONALD(1958)は南オーストラリアで微量元素の施用が必要な面積は全施肥耕地(草地を含む)の1/3を超えると述べており、一方、BURVILL(1965)は西オーストラリアでCuとZnを施用した全面積は約400万haを超えると推測している。前述のように微量元素欠乏は殆どリン酸欠乏と関連し、しかも多くはリン欠が甚しいので、過リン酸塩に微量元素の若干の配合によって処理している。オーストラリアでは過リン酸塩へその10%の微量元素剤配合が一般に用いられている。そして、このような過リン酸塩の70~80%が牧草地に用いられている。

この配合割合は地方により異なり、西オーストラリアでは過リン酸塩の15.5%、南オーストラリアではVictoria州とNew South Wales州では各々14.8%と7%である。また、西オーストラリアではMo欠乏地帯が明�きりしたので、Moを含む混合肥料が1963年頃には全体の35%であったのが、1967年には70%にも達するに至った。

2種以上の微量要素の欠乏症もしばしば生ずる。そして、ときにカリ欠乏にも関連する。これらの欠乏は、この国に広く分布しており、各州に殆んどみられる。図10にはその欠乏地の位置を示した。個々の元素の欠乏はときに土壌型とは関係しない場合もあり、例えば、東オーストラリアの牧草地土壌を用いたポット試験では(土はVictoria州、New South Wales州、南Queenslandのもの)32ポットのうち12ポットにMo欠の徴候をMcLACHLAN(1952)はみており、欠乏をみたのはKraznoz em、赤黄色ポドゾル土、赤褐色土とBasaltとGraniteと堆積土を含む母岩を含んでいた。これらの土壌はすべてリン欠をともなっていた。また、McARTHURとSPENCER(1963)はDorrigo高原とNew South Walesの草地土壌のポット試験で48ポットのうち、44ポットにMo欠をみている。

これらの欠乏土は、Kraznoz em Chocolete Soil, Alpine腐植土、赤色ポドゾル土、赤色土とBasalt, Graniteと堆積土を含む母岩よりの土であった。

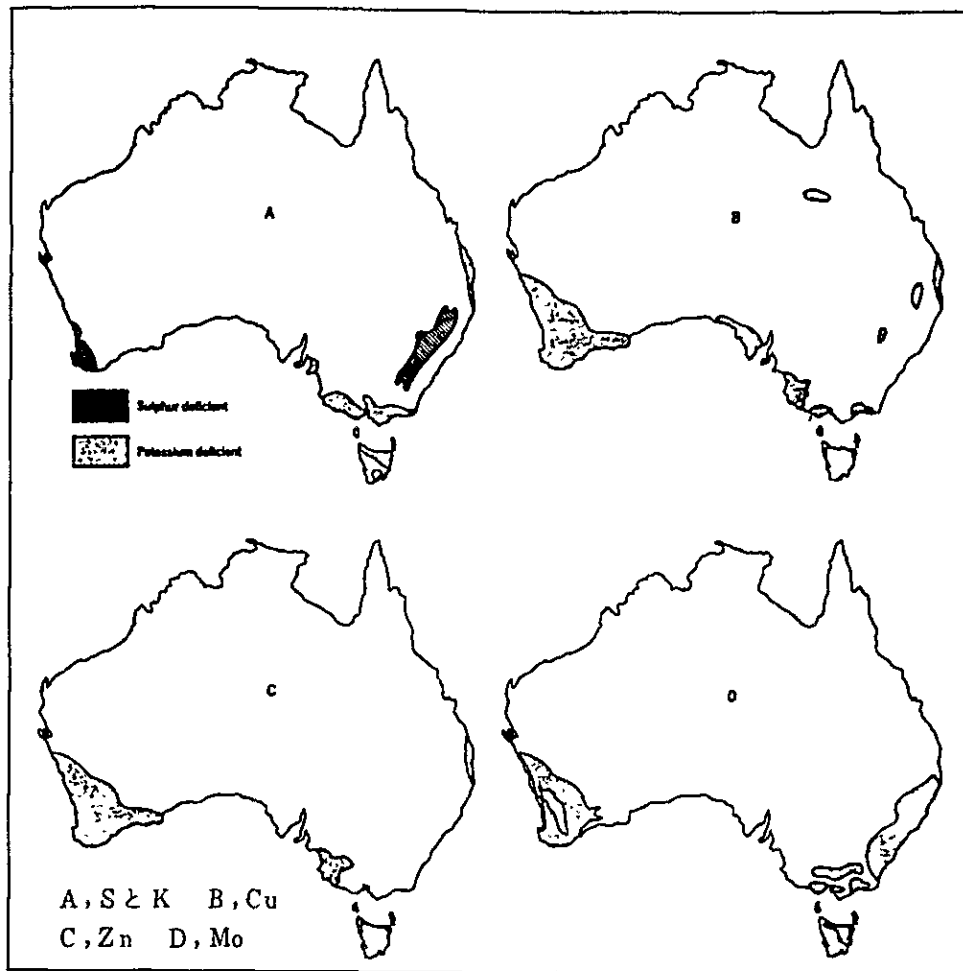


図 10 オーストラリアの S, K, Cu, Zn と Mo 欠乏地

Cu : 動物および植物に影響する Cu 欠は南オーストラリアに広くみられる。Cu 欠の認識は Co と関係している。“Coast disease”の原因として(小羊の風土的機能障害)植物の病気に先立って人々に認識された。しばしば、他の微量元素にも関連するようでもあるが、南オーストラリアでは草地肥料の 80% は Cu を含めている。また、Victoria 州と西オーストラリアでは微量元素入り肥料の 50% は Cu を含んでいる。Cu 欠の主な地方は南オーストラリアの Coonallyn Down, 西オーストラリアの南西にある “Sand plain”, Victoria 州の Gippsland 地方, また Cloncurry-Hughender 地域, Queensland と Queensland の南海岸地帯である。

Zn : Cu の様に, Zn 欠は南オーストラリアに広くみられる。最も普通に

他の微量元素欠乏に関連し、普通Cu欠乏に関係する。Victoria州のWimmeraの小麦に生ずるが、単一欠乏症は少なく、合併症である。Znの最も重要な地方は南オーストラリアのCoonah Downであって、ここは前述のようにCu欠乏地帯である。西オーストラリアの南西部ではCuとMo欠乏の両方に関係し、QueenslandではDarling Downsで単一欠乏としてみられ、南海岸地域でもCu欠乏と合併欠乏症がみられる。

Mo：牧草地におけるMo欠乏は、Cu欠乏より広くみられるが、とくに東オーストラリアに多い。New South WalesではMoは施用肥料中にすべて混入が証明されている。一方、Victoria州、西オーストラリアのTasmaniaと南オーストラリアではMoを含む微量元素入り過リン酸塩肥料の比率は各々70%、60%、62%と30%になっている。

単一欠乏症は少なく、リン欠とはよく合併する他、K、Cu、Zn欠とよく関連する。なお、Moはマメ科植物の根粒菌のN固定に大量に必要とされる(ANDERSONとTHOMAS 1946)。

Mo欠乏の主な地域はNew South Walesの台地、Victoria州の中央高原、Tasmania(単一欠乏症発生)、Victoria州のGippsland地方の一部(Cuと合併欠乏)西オーストラリアの南西部ここはCuとZn欠乏に関係する。また、Queenslandにもよくみられる。

欠乏土壌は大部分は酸性であって、Moの化合物が非有効態になっているから、石灰を施用してpHを上昇させると、しばしば植物の要求量に合う十分な有効態のMoを解離する。オーストラリアの石灰施用効果の大部分はMoの効果であるといわれるほどである。

Co：オーストラリアの牧草地は家畜の必要量に対して若干Coが不十分であるといわれている。これは、随分前より分っていたが、Coに対する植物の反応が最近まで不明であった。

Moはマメ科牧草の根粒菌のN固定能の増加ということで明らかであるが、Coの場合は植物による反応より、家畜による反応が先行した。

反芻獣のCo欠乏はCu欠乏症の“Coast disease”と同一のものか、合併症なのか容易に区別が付き難い。1日0.1～1.0mgのCoの摂取はビタ

ミンB₁₂の合成のためルーメン微生物によって要求される。Co欠乏は西オーストラリア、南オーストラリアとTasmaniaの海岸地帯に限局されている。Co-Cu欠の2重欠乏は海岸の風積石灰性砂土地帯に多発するが、単純Co欠乏は石灰性砂土の接近する多くの土壌を含む広い地域に通じてみられる。これらの土壌は、例えばテラロッサ、レンジナ、ポドゾル土とクラズノゼムなどの土壌型の広い範囲にわたっている。

海岸土壌のCo欠の存在は循環する塩類の高度の接近になんらかの方法で関係しているのかも知れぬ。

Mn : Cu, ZnとMoに比較して、Mn欠乏はオーストラリアの土壌では大きな問題はない。なお、Mn欠土壌は南オーストラリアの南東部にみられる。

B : 圃場試験の範囲で、この欠乏はNew South Wales州の台地のポドゾル土とTasmaniaにおいて報告されている。

Fe : オーストラリアの牧草地におけるFe欠はMARRETT(1963)が南オーストラリアの南東部低地土壌で報告したのが僅かにみられる。

SeとI : 子羊のSe欠乏症は西オーストラリアの南西部にみられる軽しゅう土において若干の報告がある。また、New South Walesの北台地にもみられる。ヨード欠はその南台地に発見されている(SETCHELL(1960))。

3) 微量要素含有肥料の効果

一般にオーストラリアの土壌への微量元素の施用はよい結果をみている。FITZPATRICK(1962)によると西オーストラリアの南西部の泥炭の混合する砂質土壌を用いたのであるが、Cuを施したところ、その大部分が非有効態になるのをみて、このような土壌にはCuの施用は3~4年目に1回施用程度でよいこと、また、一般の草地では6~7年に1回の施用で目的を達するという見解を示した。

ZnとMoもよく残効があり、施用は10年に1回で大体よいが、Queenslandの土壌のうち、ある種のものにはMoをしばしば施用する必要がある。

また、西オーストラリアのある牧草地帯ではZnの施用をしばしば行い、その効果をみている。

Coについては、一般にオーストラリアでは、3年ごとに施用しており、Mn

についてはあまり行われていない。

4) 養分補給に対する種の反応

オーストラリアにおける牧草種のすべては外国産である。そして、その牧草には暖地型と寒地型があり、この2つの型による施肥への反応の違いがある。

リン酸に対する反応：温帯系のアルファルファ (medicago 属) とクロバネ (trifolium 属) のリン酸要求の間にはあまり差はない。しかし、Stylosanthes 属 と Lotononis 属 は Phaseolus と Desmodium 属 など他の熱帯性のもよりリン酸の低いレベルで最大収量を得ている。

Stylosanthes humilis の場合はリン酸吸収の高い効率とリン酸要求量が少ないのに起因している。

Caに対する反応：Ca欠乏の補正、低pHによるMo欠、また逆に可溶性Alと過剰Mnの矯正のためにCaの施用がなされる。したがって、これらの要素に対する耐久性の差によって各種類間の反応に違いが生ずる。一般にいて、イネ科はマメ科より酸性土壌条件に耐える。温帯のマメ科であるMedicago属のなかにはtrifolium属より酸性に鋭敏なのが多くある。そのため例えば、アルファルファなどは石灰質性の土壌か肥沃な土壌に播種される。しかし、痩せ地には石灰でコーティングしたLime-pelleted seedといった種子を用いて成功した例も多い。このLime-Pelleted seed法はクロバネ類にも成功している。

New South Walesの南の台地でMUNNS(1965)が試験した例ではpH5.5~6.0の幅では、アルファルファの場合根粒形成に障害を受け、pH5.0~5.5の幅では可溶性Alの毒性によって抑圧されたと報告している。サブタレニアンクロバネの場合はこの可溶性Alの毒性に耐久性がある。一般に熱帯性マメ科は温帯性マメ科より酸性土壌条件により耐えるようである。

Phaseolus属を除いて熱帯性マメ科は過剰Mnにもかなり抵抗性がある。北オーストラリアではCaの施用を殆んどしておらず、例外的にQueenslandの南海岸低地で施用している。これは熱帯性マメ科にCaが必要であるという証拠がないということにもなる。

CuとZnに対する反応：アルファルファは他の種よりもZn欠乏に対して