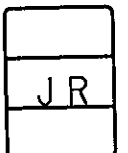
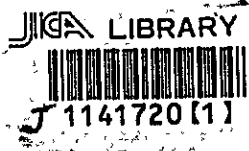


イグアス地域の農耕地土壌の理化学性と  
長期輪作体系が地力維持に及ぼす効果に関する試験成績書

平成10年3月

三浦 昌司  
麻田 渉  
Jorge Bordon

パラグアイ農業総合試験場  
CETAPAR-JICA



イグアス地域の農耕地土壌の理化学性と長期輪作体系が地力維持に及ぼす効果に関する試験成績書  
パラグアイ農業総合

7/38  
80.7  
160  
BRARY  
三月







イグアス地域の農耕地土壌の理化学性と  
長期輪作体系が地力維持に及ぼす効果に関する試験成績書

平成10年 3月

パラグアイ農業総合試験場 三浦昌司 麻田 渉 Jorge Bordon

目 次

はじめに . . . . .	1
SUMMARY . . . . .	2
第1章 東部パラグアイの農耕地土壌の理化学性と水質 . . . . .	7
1. パラグアイ農業総合試験場圃場土壌分類調査 . . . . .	7
2. イグアス地区土壌保全定点調査 . . . . .	20
3. アマンバイ地区土壌保全定点調査 . . . . .	27
4. イグアス地区の土壌侵蝕に関する実態調査 . . . . .	33
5. イグアス地域の河川、湖沼、地下水などの水質調査 . . . . .	36
第2章 長期輪作体系が地力維持に及ぼす効果 . . . . .	43
1. 大豆小麦体系に永年牧草等を導入した輪作体系と地力維持効果 . . . . .	43
2. GTZ圃場における輪作作物の種類と土壌理化学性の変化 . . . . .	59
3. 不耕起栽培圃場における土壌構造の発達程度と作物生産性 . . . . .	62
第3章 適正技術開発研究 . . . . .	65
1. ヒマワリにたいする施肥量と施肥法に関する試験 . . . . .	65
2. 粗粒質土壌のヒマワリにたいする炭カル、ヨーリンの施用効果試験 . . . . .	70
3. アルファルファにたいする改良資材の施用効果試験 . . . . .	75
第4章 総合考察 . . . . .	80
参考文献 . . . . .	84
写 真 . . . . .	85



## はじめに

最近のイグアス地域は入植35年を経て圃場条件も安定し、また生活環境も改善されて農業をとりまく社会環境も大きく変化してきた。とくに農業機械と畑作用除草剤の進歩はかつての小規模経営から大型機械と不耕起栽培の導入による大規模経営を可能にし、生活環境の向上に大きく貢献してきた。そしてこのすぐれた不耕起栽培技術の適応性をさらに拡大するとともに、将来これを持続的畑作栽培技術として発展させることが重要な課題となってきた。著者の一人三浦はこの課題に関する諸試験を実施するため、平成6年4月から平成10年3月までの期間、土壤保全専門家としてパラグアイ農業総合試験場に勤務した。本成績書はその間実施した調査、試験などの結果を取纏めたものである。輪作体系試験は3年以上の継続試験であるため、最終的な取纏めにはいたっていないが、これを除いては大凡その結果は得られたものと考えている。

本試験成績のうち T-C、T-N および粘土鉱物の同定に関する部分は、著者の一人麻田が本邦研修として1996年3月～6月の期間、農林水産省農業環境技術研究所環境資源部土壤管理科土壤調査分類研究室において実施したものである。御懇篤な御指導を賜った同室長浜崎忠雄博士はじめ室員の方々に厚く感謝申し上げます。また本成績中のイグアス地区土壤保全定点調査には、小川和夫氏らが1990年に実施したイグアス地区土壤調査の成績を第1回定点調査の成績として利用させていただいた。

土壤調査、侵蝕実態調査、水質調査、現地栽培試験などに関してはイグアス日本人会、イグアス農業協同組合、アマンバイ農業協同組合などの関係者の方々に格別のご配慮と御協力をいただいた。ここにあつく感謝申し上げます。

本試験の圃場管理業務は専ら Santiago Bogado氏が担当し、室内実験には Rosana 田中氏、Aureliana Franco両氏の熱心な助力をえた。記してあつく感謝申し上げます。





## SUMMARY

イグアス地区の土壌は地力の高い強粘質または粘質のテラロシア土壌であるが、パラグアイ農業総合試験場圃場土壌分類調査、イグアス地区土壌保全定点調査などによって、これまで表層部の粘土あるいは塩基が溶脱をうけてきたことが明らかとなった。この被害は不耕起栽培の導入によって軽減されたが、持続的畑作栽培技術として、より効果的な輪作体系の導入が必要と考えられた。そこで大豆・小麦体系にマيسやヒマワリ、永年牧草としてアルファルファを導入した長期輪作体系試験を行うとともに、これらの作物について施肥法試験、改良資材施用効果試験などを実施した。これまでに得られた試験結果の概要は次の如くである。

1. パラグアイ農業総合試験場圃場の土壌の性質を知る目的で、1994年7月、土壌分類調査を行った。調査地点は200m方眼で選定し、深さ1mの土壌断面調査を行うとともに、土性、粒径組成、可給態リン酸などの土壌理化学性について調査した。そして表土の粘土含量を分類基準として土壌分類を行った結果、パラグアイ農業総合試験場圃場は次の4土壌区に分類された。

第1土壌区 粘土60% 区：表土粘土含量60% 以上、面積 19.8ha (24.6%)

第2土壌区 粘土45% 区：表土粘土含量45~60%、面積 18.4ha (22.8%)

第3土壌区 LiC 区：表土粘土含量25~45%、面積33.6ha (41.6%)

第4土壌区 SCL区：表土粘土含量25% 以下、面積 8.9ha (11.0%)

これらの4土壌区の分布状況は、中央農道東側の平坦部に第1土壌区、その西側に第2土壌区、さらにその西側の緩傾斜地帯に第3土壌区、西南隅に第4土壌区が分布していた。そしてパラグアイ農業総合試験場の土壌分布がこのようになったのは、表層部からの粘土の流亡が原因と考えられた。粘土含量と土壌理化学性の関係では、粘土含量の増加とともに下の式で示されるように、リン酸吸収係数が増大する傾向がみられた。

$$Y = 6.434X + 141.44 \quad r^2 = 0.5525 \quad (Y: \text{リン酸吸収係数} \quad X: 0 \sim 30\text{cmの粘土含量})$$

パラグアイ農業総合試験場圃場の土壌分布がこのように異なることは、栽培試験結果などを解析するうえで、考慮する必要がある問題と思われる。またパラグアイの農耕地の立地条件はほぼ類似していることから、この土性による分類は他地域にも適用できるものと考えられた。

2. パラグアイ東部地域土壌保全定点調査では1994年アマンバイ地区、1995年イグアス地区の調査を行った。アマンバイ地区調査は1回目調査、イグアス地区調査は1990年につぐ2回目の調査である。

アマンバイ地区調査では4調査定点のほかに10数点の調査点を設けて調査、分析を行った。その結果、アマンバイ土壌も大部分HC土壌であること、土壌酸性とヒマワリ生育の間には密接な関係があること、表土が中性であっても第2層が酸性の場合、ヒマワリ生育に障害がでること、場所によっては20cmから下層に極端に塩基飽和度の低い強酸性土壌が存在すること、などが明らかとなった。そしてこれらの結果をもとにして、後述のヒマワリ現地改良試験が行われた。

イグアス地区定点調査では今回の調査と1990年の調査を比較した結果、粗粒質土地帯ではこの5年間で表層10cmが流亡したとみられる圃場があったこと、各圃場とも土壌硬度の増大がみら



れたこと、土壌化学性では全般的なpHの低下と下層土の可給態リン酸の減少が著しいこと、置換性成分では置換性カルシウムの減少と置換性カリの増加がみられること、などが明らかとなった。そしてこのような変化が不耕起栽培圃場でも起こっていることから、永続農法として大豆・小麦体系にかわる、よりすぐれた栽培体系の確立が必要と考えられた。

3. イグアス地区土壌侵蝕調査では、これまでに土壌侵蝕被害をうけたことのある9圃場について聴取調査と現地調査をおこなった。聴取調査では被害発生の日時、被害状況、とった対策などについて調査した。現地調査では現在侵蝕被害の発生している圃場において、侵蝕地点と付近の正常地点で土壌調査を行い、被害の発生しやすい条件について考察した。その結果下記の諸点が明らかとなった。

被害発生の日時については同一の降雨による被害は1例のみであったことから、被害発生の程度は降雨量のみならず、降雨時の圃場条件が大きく関係しているものと思われた。侵蝕防止の対策としては、すべて不耕起栽培をあげていた。

現地調査で認められた侵蝕の状況は、侵蝕面の幅は最大で1m、深さ30cm程度で、大規模な侵蝕は認められなかった。侵蝕地点の第1層は正常地点の第2層とほぼ同一の性質を示しており、また侵蝕面の下方に砂の堆積のある場合が多かった。同一圃場内で耕起栽培と不耕起栽培が行われていた圃場の例では、上方の耕起栽培部分で発生した土壌侵蝕は下方の不耕起栽培部分に流入後、消失していた。このことから不耕起栽培の土壌侵蝕防止効果の大きいことが知られた。

4. イグアス地域の河川、湖沼、地下水の水質調査では、1995年3月からイグアス地域の10地点で3か月おきに採水して、pH、電気伝導度、COD、蒸発残渣、大腸菌群数などを測定した。

1998年1月までの3年間の推移をみると、河川、湖沼水は平均pH=6.5で変化は小さいが、自家井戸水は平均pH=5.3で変動も大きかった。電気伝導度はサントドミンゴ川やアカラウ川など、人口の少ない地域を流れている川の値は低く、これにたいしてモンダウ川やピクボ川など、集落の生活排水の流入する川の電気伝導度は高かった。CODにも電気伝導度と同様な傾向があり、モンダウ川のCODは極めて高く推移していた。サントドミンゴ川のCODも高い値を示していたが、これは周辺低湿地からの分解有機物の流入によるものと思われた。

蒸発残渣量は全地点とも比較的少なく、降雨後の調査においても土壌流亡を示すような高い値は認められなかった。大腸菌群はイグアス市及びCETAPAR 水道水以外のすべての水から検出された。イグアス湖は測定初期の大腸菌群数は少なかったが次第に増加する傾向がみられ、イグアス湖への生活污水の流入が増加してきたことを示していた。全測定期間の大腸菌群数平均値が最も高いのはピクボ川の57.3個/ml、次いでサントドミンゴ川の39.5個/mlで、ピクボ川の大腸菌群数が高いのは、イグアス地区からピクボ川への生活污水の流入量が多いことを示していると考えられた。このように本調査によってイグアス地区の水質の汚染が次第に進んでいることが明らかになり、今後水質の汚濁防止が重要であることが知られた。

5. 1994年7月から6年計画で長期輪作体系試験を実施している。この試験は将来の持続的農業の確立を目指し、現在の不耕起栽培による大豆小麦二毛作体系にかわる新しい輪作体系を確立しようとするもので、試験区は ①大豆小麦体系区、②マيس・ヒマワリを導入した2年5作3年輪作

作体系区、③アルファルファ1年、大豆小麦2年・3年輪作体系区、④アルファルファ3年、大豆小麦3年・6年輪作体系区の4区を設けた。またアルファルファは酸性や磷酸欠乏の影響を受けやすいことから、試験開始時、それぞれの区に炭カル・ヨーリンの施用区、無施用区を設けた。

これまでの3年間の試験結果を総合すると、大豆の収量では大豆小麦体系区が優ったが、ヒマワリの収量が小麦収量に優ったことから、収益の面では差がなかった。炭カル、ヨーリンの施用効果では、アルファルファを含むすべての作目で炭カル、ヨーリン区の収量が優り、輪作体系導入にさいしては炭カル、ヨーリンの施用が必要であることが知られた。

1997年10月に行った土壌調査・分析の結果によると、アルファルファ3年区では下層の団粒が増加してpF水分値が低下するなど、有効水分と気相が増加して根の発育に良好な条件になっていることが認められた。1998年3月10日現在の大豆生育では大豆小麦体系区に比較してアルファルファ3年区の生育量が大きく、また登熟期間も長くなって、より多収になるものと考えられた。

6. GTZプロジェクトがパラグアイ農業総合試験場圃場で実施している輪作体系試験について、その主な試験区の土壌について分析を行っている。これまでの調査結果を総合すると、ルーピンを栽培した場合に大豆収量が高い傾向があった。土壌分析によるとルーピン跡土壌は他区に比較して粒径0.5mm～0.1mmの団粒が増加するとともに、置換性カルシウムの減少とpHの低下がみられた。そしてこれがルーピンの根による下層土の酸化を促進し、その後の大豆の生育を旺盛にしていることを示すものと思われた。本試験は今後も継続されることになっているので、98/99年に予定されている大豆収穫で、さらに詳細な結果が得られるものと期待される。

7. 不耕起栽培が優れている理由の一つに下層に亀裂構造の発達しやすいことが挙げられている。これをさらに明らかにするため、土壌構造と作物生産性に関する試験では1994年6月15cmから下層に5%、10%、20%の亀裂を有する圃場を人工的に造成して大豆・小麦を栽培した。3年間の試験結果を総合すると、亀裂によって大豆小麦ともに生育量が増大して収量が増加する傾向がみられた。そしてこの場合の最適の亀裂の量は10%で、亀裂量20%では生育遅延となって減収した。これまでの調査結果からみると不耕起栽培によって生成する亀裂の量は5%程度と思われるので、不耕起栽培の継続によって収量のさらに増加する可能性があると考えられた。

8. 適正技術開発研究ではヒマワリにたいする施肥法試験と改良資材試験、アルファルファにたいする改良資材試験の3試験を行った。ヒマワリにたいする施肥法試験は1995～1997年にパラグアイ農業総合試験場圃場で実施したものである。試験区の構成は窒素、磷酸施用量の標準区と増施肥区、それに窒素追肥区である。3年間の試験結果を総合すると、平均収量をもっとも優ったのは窒素・磷酸増施肥区、次いで窒素追肥区であったが、他区との収量差は小さかった。

本試験の土壌分析では、①パラグアイ農業総合試験場土壌の年間窒素天然供給量は80kg/100gと推定されること、②アンモニア態で施用された窒素は施用3日目にはその65%が硝酸態となって下層に移動すること、③施用されえた磷酸の大部分は表土に止まり、下層には移動しないこと、などが明らかとなった。そして3年間を通じて窒素の肥効が小さかったのは、このようにパラグアイ農業総合試験場土壌の窒素的地力が高かったためと考えられた。

## 結論がみりません

9. 適正技術開発研究の一つである、粗粒質土壌のヒマワリにたいする改良資材試験は1997年、現地試験としてアマンバイ地区で行われた。この試験は1994年の土壤保全定点調査の際、土壤酸性と磷酸不足がヒマワリ生育に悪影響を与えていることが知られたので、その改良法試験として実施されることになったものである。試験区は無肥料区、標準区、炭カル15cm区、炭カル30cm区、ヨーリン区、炭カル・ヨーリン区の6区である。改良資材の施用量は、炭カル 2t/ha、ヨーリン 300kg/haとした。

播種後の生育についてみると、初期には窒素の有無の影響のみ認められたが開花期にはヨーリン区の生育が優った。鳥害のため収量は全般的に低下したが、最高収量は炭カル・ヨーリン区の0.95t/ha、次いで炭カル30cm区の0.54t/haであった。土壤分析によると炭カルを施用した区のpHは6.0以上の高い値で推移しているが、ヨーリンのみの施用区のpHは急速に低下しており、これが低収となった原因と考えられた。

10. 適正技術開発研究としてアルファルファにたいする改良資材の施用効果試験を行った。この試験は酸性や磷酸不足の影響を受けやすいとされるアルファルファについて、炭カルやヨーリンの施用効果のみようとしたものである。試験区はパラグアイ農業総合試験場内の輪作体系試験圃場で、1994年11月に耕起播種と不耕起播種した草地3年圃場のなかに設けた。試験区の構成はそれぞれの圃場に、炭カル、ヨーリンの単用区と併用区、刈取り後の追肥多量区、これらの総合区の合計12区を設けた。改良資材の施用量は炭カル 4t/ha、ヨーリン300kg/haとした。試験開始の1995年7月から試験終了の1997年10月までの期間中、延べ14回の刈取り調査と12回の土壤分析を行った。

試験1年目のアルファルファの生育は良好で、刈取り毎の平均乾草重は1.5～2.0t/haであったが、2年目以降生育は次第に不良となり、刈取り毎平均乾草重は0.8～1.5t/haであった。試験終了時までの全乾草重では最高が耕起播種・炭カル・ヨーリン区の29.2t/ha、刈取毎平均乾草重は2.1t/ha、次いで不耕起播種・炭カル区23.7t/ha、刈取毎平均乾草重1.7t/haであった。

土壤分析の結果によると、炭カル無施用区の第1層のpHは次第に低下し、播種1年以降はpH=5.0前後で推移していた。これにたいし炭カル施用区の第1層では一時的なpHの低下はあるものの、ほぼpH=6.0以上で推移していた。第2層では炭カル施用区pHと無施用区pHに0.2の差が認められたが、第3層以下の土層ではpHに差は認められなかった。ヨーリン施用の有無と可給態磷酸含量の関係では、ヨーリン施用区の可給態磷酸が平均して5mg/100g高く推移していた。これらの試験結果から、輪作体系にアルファルファを導入する場合、播種前に炭カル、ヨーリンを施用しておく必要があること、多量の窒素あるいは磷酸の刈取り毎追肥はマイナスに働く場合があること、などが明らかとなった。

以上3年間の試験結果を総合すると、輪作体系に永年牧草を導入した場合土壤物理性の改善効果が大きく、これに炭カルによる酸度矯正や、ヨーリン施用により磷酸富化によって作物生産性の向上することが知られた。しかしパラグアイ土壌は一般に置換容量が小さいため、肥料や資材の過度の投入はかえって地力の減耗を招くおそれがあり、この意味で不耕起栽培や永年牧草の栽培で、土壌に常に有機物を投入することが極めて重要であると考えられた。

## 第1章 東部パラグアイの農耕地土壌の理化学性と水質

東部パラグアイの土壌はこれまで高い生産性を維持してきたが最近になって耕作年数の古い地域を中心に地力の低下が指摘されるようになった。イグアス地区の圃場は日系移住地のなかでは最も新しく、また不耕起栽培の導入も早かったため明らかな地力の低下はみとめられていないが、一部の先進農家では地力維持を目的とした輪作体系が積極的に取り入れられている。そこでこのようなイグアス地区の圃場の実態を明らかにするため数ヶ所の調査定点を設け、これについて5年間隔で土壌調査・分析を行う土壌保全定点調査を実施することとした。対象地域はイグアス地区とアマンバイ地区であるが、この調査を実施する前段階としてパラグアイ農業総合試験場圃場の土壌調査を行うとともに、イグアス地域でこれまでに発生した土壌侵蝕に関する実態調査とこれに関連して河川、湖沼の水質調査を行った。

### 1. パラグアイ農業総合試験場圃場土壌分類調査

パラグアイ農業総合試験場(CETAPAR)では1962年の発足以来、各種の栽培試験や調査が行われてきたが、試験場の圃場全体についての体系的な調査は未だ行われていない。これまでCETAPARの土壌は東部パラグアイ地域の大部分の土壌と同様に、粘土質のいわゆるテラロシアであるといわれてきた。しかし場内には普通畑、野菜畑、草地、コラールなどがあり、また砂質土壌も分布している。土壌保全分野で新しく試験を行うことになった圃場はこれまで主に草地として利用されてきた圃場であって、他の圃場と性質が異なることも考えられる。このようなことからCETAPAR土壌の概要を知る目的で土壌調査を実施することとした。

#### 1) 調査方法

CETAPAR 圃場は面積約90haで東西700m南北1,300mの長方形をなし、中央部に南北に農道が走っている。これに200mの方眼を引き、その交点を4haに1点の調査地点とした。中央農道東側の部分については圃場の幅が狭く、また中央に小農道があるため、200m×65mの交点で1.25haに1点の調査密度とした。このように設定した調査地点28地点のうち18地点については深さ1mの試坑による土壌断面調査を行ったが、条件が類似しているとみられる他の10地点については簡易調査として深さ50cmまでの土壌を0~15cm、15~30cm、30~50cmの3層に分けて採取し、土壌分析のみを行った。

調査地点を第2図に示した。

畑地のうち農道東側の部分は耕作年数は古いが、西側の部分はこれまで牧場(コラール)或いは草地としても利用されており、西南の隅約5haは現在も林地として残されている。圃場は西に向かって僅かに傾斜しており、また西側中央部には凹地が存在する。土壌保全の試験圃場は試坑地点94-4、94-5を含む約2haである。

各調査地点においてはSR-2型土壌抵抗測定器により深さ60cmまでの土壌貫入抵抗を測定するとともに、層別別に土壌を採取して理化学性分析を行った。調査項目および分析方法は次のようである。

土壌断面調査：試坑地点において深さ1mの試坑を掘り断面を記載。土壌硬度は山中式

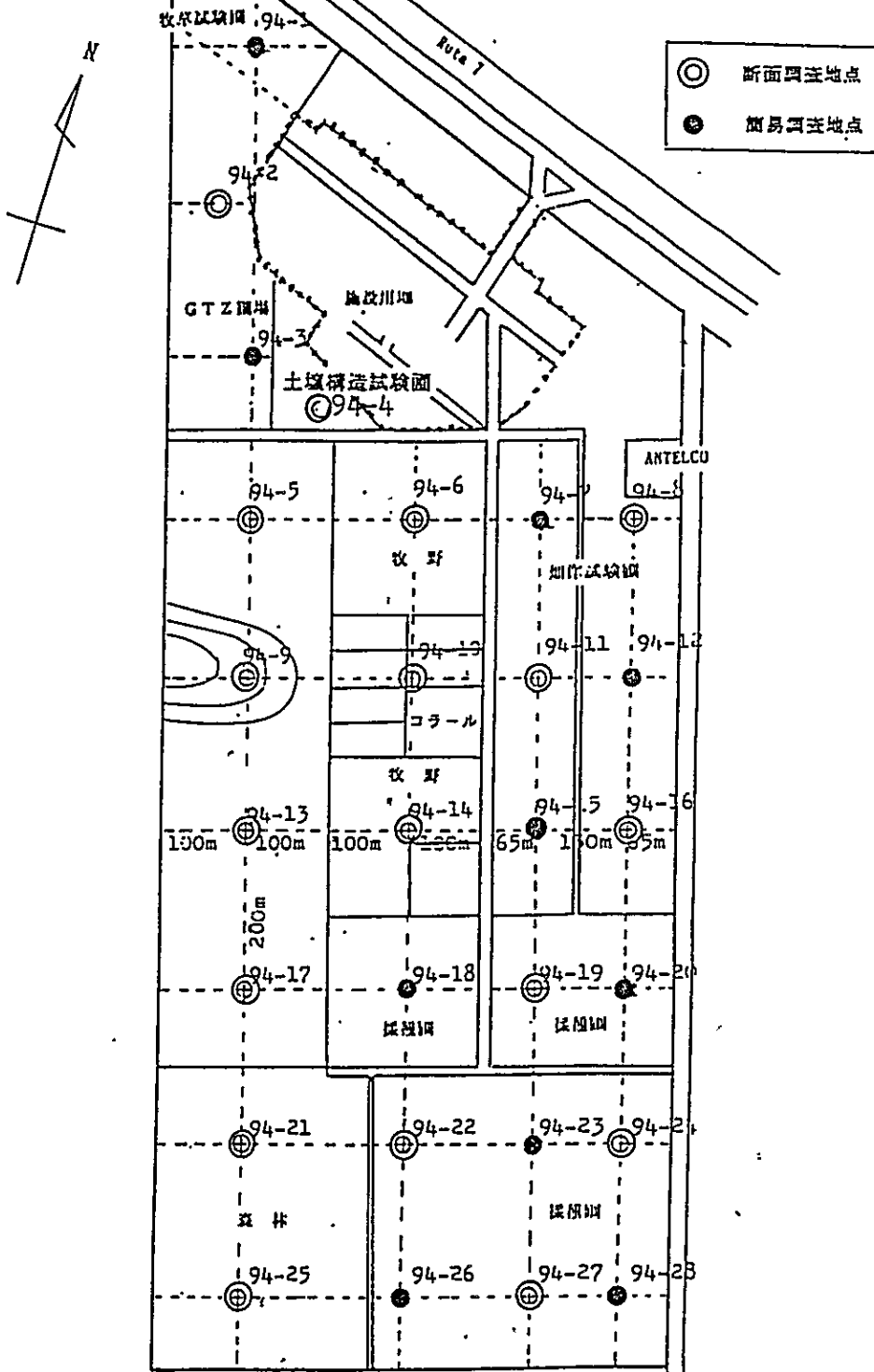
土壌硬度計を使用

土壌貫入抵抗：SR-2型土壌抵抗測定器により60cmまで測定

粒径組成：国際法によるピベット分析法

第2図 パラグアイ農業総合試験場土壤調査地点図

平成6年6月24日 土壤保全



pH : 風乾土 1:2.5水懸濁液につきORION-900Aを使用するガラス電極法  
 T-C、T-N : SUMIGRAPH-80炭素窒素自動定量装置により測定  
 可給態磷酸 : 風乾土 1:10 Mehlich-1 液 (0.025N-HCl+0.05N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 混液) 浸出液につき島津UV-220-1 型分光光度計を使用し硫酸モリブデン酸法により測定  
 磷酸吸収係数 : 土壤に2.5%磷酸アンモンを吸収させ濾液について磷酸を測定する  
 置換性成分 : pH=7.0 1N-酢酸アンモニア液を使用するSchollenberger法。Ca、Mg、K の測定は日立170-30型原子吸光分析装置を使用

土壤断面調査は1994年 7月に行ったが、土壤分析とこれに基づく土壤分類は1997年 2月までの期間に実施した。

## 2) 調査結果

### (1) 土壤断面調査結果

土壤断面柱状図を第3図、第4図に示した。層厚は第1層は6~19cmで林地では表層に薄い軟らかい土層があるが畑地化でこれが失われ、不耕起栽培圃場の第1層の厚さは15cm程度である。全体の土色は2.5YR3/4~7.5YR3/6の範囲内にあり層界は不明瞭であるが、第1層ないし第2層が2.5YR色、第3層以下が10YR色を示すものが多い。土壤硬度は一般に表層部で大きく25以上であるが30cm以下で小さくなる。牧場の土壤硬度は極めて大きく32に達するものがあった。土性についてはこれを分類基準として用いたのであとに詳述するが、粘土含量は各調査地点とも表層で低く、下層で高い傾向が見られた。

### (2) 土壤貫入抵抗測定結果

土壤貫入抵抗の地目別平均値を第1表に示した。貫入抵抗値が最も小さいのは林地で、表層10cmまで5.0 kg/cm<sup>2</sup>、10~20cmが13.5kg/cm<sup>2</sup>であるのに対し、小麦畑 0~10cm 12.4kg/cm<sup>2</sup> 10~20cm 17.6kg/cm<sup>2</sup>、草地 0~10cm : 18.7kg/cm<sup>2</sup> 10~20cm : 17.8kg/cm<sup>2</sup>、牧野 0~10cm : 20.8kg/cm<sup>2</sup>、10~20cm : 20.6kg/cm<sup>2</sup>であって、開畑による土壤硬度の増大が認められた。

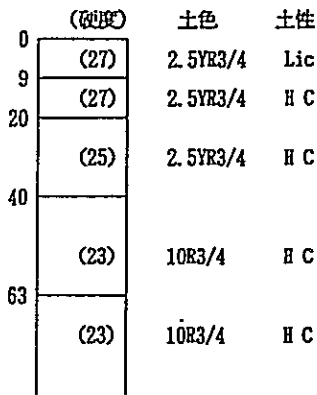
このような高い土壤硬度は当然根の透入を阻害しているものと思われる。不耕起栽培では乾燥時には播種せず、降雨をまって播種するが、これは乾燥時には発芽のみならず、根の透入も困難であることを耕作者も熟知しているためと考えられる。また牧場では土壤硬度が25kg/cm<sup>2</sup>以上で、SR-2型硬度計が使用出来ない場合があった。

第1表 土壤貫入抵抗. 平均値 (kg/ cm<sup>2</sup>)

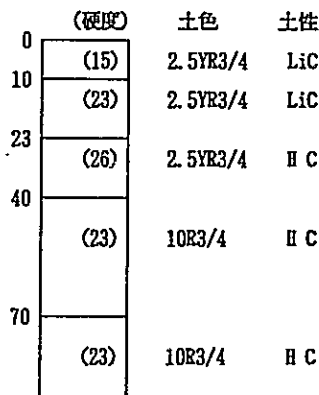
深さ (cm)	畑 (小麦)	草地	牧野	林地
0	10.0	16.1	21.5	2.3
5	13.0	19.8	21.8	4.8
10	14.3	20.3	19.2	8.0
15	16.6	19.8	22.3	11.8
20	17.8	17.3	19.7	14.0
25	18.4	16.3	19.7	14.8
30	17.8	15.3	19.3	15.5
35	17.6	15.8	17.7	14.5
40	17.0	18.6	16.8	15.3
45	16.2	19.0	17.2	16.0
50	16.4	19.1	17.5	17.3
55	17.9	18.9	16.0	18.5
60	17.9	20.8	16.7	18.8



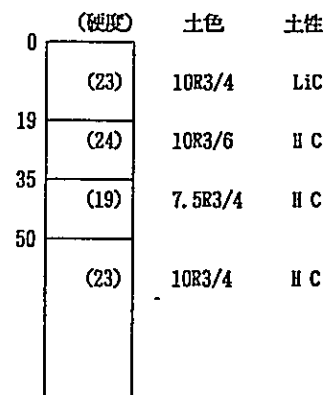
CIPR-2 GTZ試験圃場 (小麦)



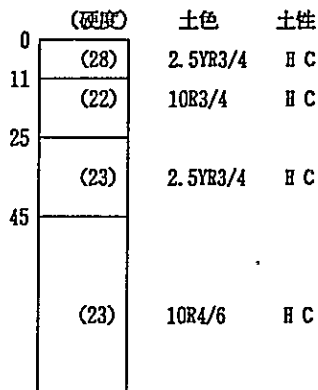
CIPR-4 土壌構造試験圃場 (小麦)



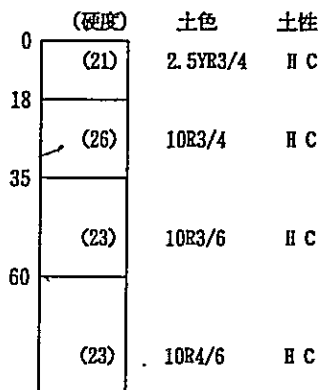
CIPR-5 (エンバク)



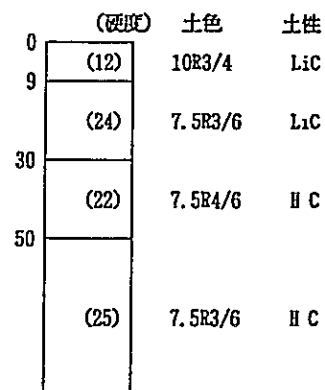
CIPR-6 (草地)



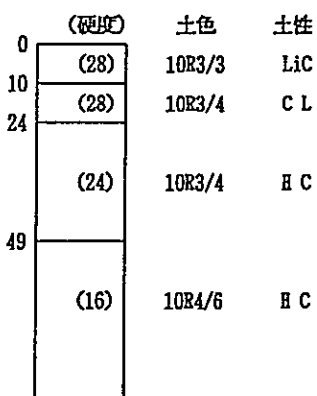
CIPR-8 (エンバク)



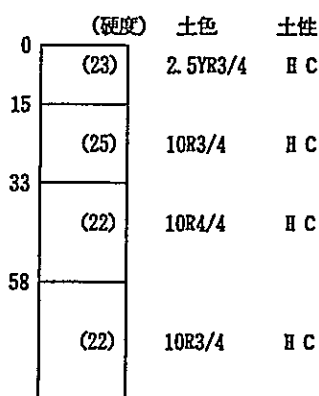
CIPR-9 (牧野・傾斜地)



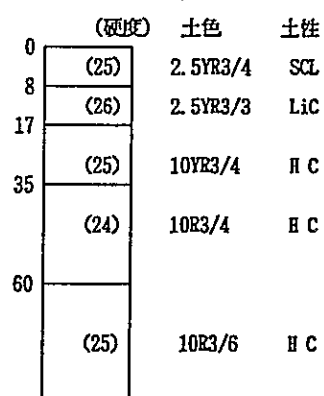
CIPR-10 (牧場)



CIPR-11 (小麦)



CIPR-13 (エンバク)



第3図 CETAPAR 圃場土壌断面柱状図 その1.

CTPR-14 (牧場)

	(硬度)	土色	土性
0	(32)	2.5YR3/4	LiC
7	(27)	2.5YR3/6	H C
23	(22)	2.5YR3/6	H C
42	(20)	2.5YR3/6	H C
68	(22)	2.5YR3/6	H C

CTPR-16 (牧場)

	(硬度)	土色	土性
0	(25)	2.5YR3/4	H C
14	(26)	10R3/4	H C
30	(27)	10R3/6	H C
56	(23)	10R3/6	H C

CTPR-17 (草地)

	(硬度)	土色	土性
0	(26)	5YR4/4	SCL
10	(28)	5YR3/6	SCL
22	(25)	2.5R3/6	H C
40	(23)	10R3/4	H C
65	(26)	10R3/4	H C

CTPR-19 (小麦)

	(硬度)	土色	土性
0	(25)	10R3/3	H C
10	(27)	10R3/4	H C
25	(22)	10YR3/4	H C
48	(22)	10R3/6	H C
70	(18)	10R3/6	H C

CTPR-21 (林地)

	(硬度)	土色	土性
0		5YR3/4	LiC
6	(12)	2.5YR3/4	LiC
15	(22)	10R3/4	H C
30	(20)	10R3/6	H C
58	(19)	10R3/6	H C

CTPR-22 (小麦)

	(硬度)	土色	土性
0	(29)	2.5YR3/4	H C
14	(26)	2.5YR3/6	H C
34	(24)	2.5YR3/6	H C
57	(25)	2.5YR3/6	H C

CTPR-24 (小麦)

	(硬度)	土色	土性
0	(25)	10R3/4	H C
18	(25)	10R4/4	H C
35	(22)	10R4/4	H C
56	(24)	10R4/4	H C

CTPR-25 (林地)

	(硬度)	土色	土性
0	(16)	2.5YR3/4	SCL
9	(22)	10R3/4	S C
19	(21)	10R3/4	LiC
35	(21)	7.5R3/4	H C
55	(23)	7.5R3/6	H C

CTPR-27 (小麦)

	(硬度)	土色	土性
0	(24)	10R3/4	H C
14	(26)	2.5YR3/4	H C
29	(22)	2.5YR3/6	H C
50	(22)	2.5YR3/6	H C

第4図 CETAPAR 圃場土壌断面柱状図 その2.

### (3) 化学的性質

化学的性質について分析した結果を第2表以下に示した。pHは林地がpH=6.0 以上の中性を示すがその他はpH=5.2 ~5.9 の弱酸性を示した。腐植含量は第1層が 1.5~4.7%で不耕起栽培であるため第2層も3.0% 以上のものがある。腐植含量は下層にゆくにしたがって低下するが60cm以下の土層でも1.0%以上存在しており、下層の窒素的地力も比較的高いことを示している。これに対し可給態磷酸含量は極めて低く、小麦畑、草地、牧場には全層可給態磷酸含量ゼロの圃場も見られた。また施肥により表層部の可給態磷酸が増加しても下層にはほとんど移行していない。このことは土壤構造試験圃場(94-4)の可給態磷酸含量が7.24mg/100gであったことからみても明らかである。土壤構造試験では調査の直前に化成肥料(18-46-0) 200kg/haを表面散布した。これは磷酸9.2mg/100gに相当するから、土壤分析では施用した磷酸の約80% が可給態磷酸として検出されたことになるが、これはCETAPAR 土壤の磷酸吸収係数が表層部で320 ~1,100、下層部では 500~750 と比較的低いためと考えられる。

置換性成分を全調査地点の平均値でみると、第1層ではCaO 148.5mg/100g(5.1me/100g)、MgO 23.3mg/100g (1.2me/100g)、K<sub>2</sub>O 34.4mg/100g (1.1me/100g)であるが、下層50cmではCaO 137.6mg/100g(4.9me/100g)、MgO 24.9mg/100g (1.2me/100g)、K<sub>2</sub>O 21.5mg/100g (0.7me/100g)であった。K<sub>2</sub>O が表層に多いのは圃場表面に常に多量の有機物残さのあることが原因と考えられる。

第2表 CETAPAR土壤の化学的性質(その1)

地点	層位	pH	T-C (%)	T-N (%)	腐植 (%)	可給態磷酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g)	磷酸吸収係数	置換性成分 (mg/100g)		
								CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
1 (小麦)	1. 0~15cm	5.54	1.16	0.13	2.00	0	360	126.0	18.0	18.9
	2. 15~30	5.51	0.69	0.08	1.19	0	430	168.0	18.0	15.9
	3. 30~50	5.53	0.65	0.08	1.13	0	510	188.0	18.0	16.0
2 (GTZ) (小麦)	1. 0~9cm	5.62	1.81	0.19	3.13	0.06	390	211.0	30.0	40.0
	2. 9~20	5.36	1.61	0.18	2.77	0.51	400	201.0	24.0	23.0
	3. 20~40	5.48	0.86	0.11	1.47	0.01	300	165.0	24.0	26.0
	4. 40~63	5.13	0.73	0.09	1.26	0	540	177.0	32.0	27.5
	5. 63~	5.17	0.58	0.06	1.00	0	650	168.0	3.0	34.5
3 (小麦)	1. 0~15cm	5.46	1.05	0.12	1.80	0	560	151.0	18.0	13.0
	2. 15~30	5.39	0.68	0.09	1.17	0	440	134.0	18.0	11.3
	3. 30~50	5.27	0.59	0.07	1.02	0	480	148.0	21.0	11.5
4 (土壤構造) (小麦)	1. 0~10cm	5.41	1.80	0.18	3.10	7.25	400	100.0	19.0	35.0
	2. 10~23	5.81	1.25	0.14	2.16	0	480	105.0	13.0	-
	3. 23~40	5.80	0.84	0.10	1.44	0	380	96.0	16.0	-
	4. 40~70	6.22	0.69	0.08	1.18	0	570	115.0	17.0	34.0
	5. 70~	6.12	0.73	0.09	1.25	0	580	110.0	21.0	34.0
5 (エンバク)	1. 0~19cm	5.54	1.19	0.13	2.05	0	410	134.0	16.0	21.0
	2. 19~35	5.53	0.78	0.09	1.34	0	560	179.0	17.0	15.4
	3. 35~50	5.86	0.66	0.07	1.13	0	680	184.0	23.0	19.1
	4. 50~	5.98	0.61	0.06	1.04	0	600	181.0	22.0	24.5
6 (草地)	1. 0~11cm	5.69	2.29	0.21	3.95	0	590	203.0	28.0	43.0
	2. 11~25	5.85	1.90	0.19	3.27	0	470	240.0	20.0	30.0
	3. 25~45	6.14	0.91	0.11	1.58	0	510	218.0	24.0	24.0
	4. 45~	6.38	0.69	0.07	1.18	0	680	240.0	27.0	25.2
7 (小麦)	1. 0~15cm	5.83	-	-	-	8.12	500	-	-	45.6
	2. 15~30	5.64	1.00	0.12	1.73	0	510	184.0	28.0	13.6
	3. 30~50	5.63	0.87	0.10	1.49	0	590	215.0	31.0	13.3

第3表 CETAPAR土壌の化学的性質(その2)

地点	層位	pH	T-C (%)	T-N (%)	腐植 (%)	可給態磷酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .mg/100g)	磷酸吸 収係数	置換性成分 (mg/100g)		
								CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
8 (エンバク)	1. 0~18cm	5.65	1.67	0.18	2.87	5.15	520	188.0	26.0	42.5
	2. 18~35	5.76	0.85	0.10	1.47	0	530	138.0	29.0	18.4
	3. 35~60	5.72	0.79	0.09	1.39	0	570	138.0	28.0	29.4
	4. 60~	5.58	0.62	0.06	1.07	0	680	153.0	40.0	35.0
9 (牧野) (傾斜地)	1. 0~9cm	5.82	1.04	0.10	1.80	0	360	87.0	22.0	46.5
	2. 9~30	5.53	0.57	0.07	0.99	0	400	89.0	26.0	16.2
	3. 30~50	5.23	0.52	0.06	0.90	0	500	117.0	28.0	9.8
	4. 50~	5.17	0.44	0.04	0.76	0	460	91.0	27.0	6.0
10 (牧場)	1. 0~10cm	5.79	1.76	0.17	3.02	0	320	158.0	37.0	44.0
	2. 10~24	5.74	1.34	0.14	2.31	0	370	137.0	23.0	58.1
	3. 24~49	5.66	0.74	0.09	1.27	0	390	126.0	20.0	32.7
	4. 49~	5.66	0.76	0.08	1.31	0	510	169.0	31.0	44.0
11 (小麦)	1. 0~15cm	5.51	1.62	0.16	2.79	2.30	510	191.0	28.0	38.8
	2. 15~33	5.56	0.96	0.12	1.65	0	550	199.0	27.0	24.0
	3. 33~58	5.51	0.69	0.08	1.19	0	580	188.0	35.0	19.0
	4. 58~	5.41	0.63	0.06	1.09	0	740	158.0	39.0	16.4
12 (小麦)	1. 0~15cm	5.33	1.12	0.12	1.93	1.13	560	156.0	24.0	17.2
	2. 15~30	5.17	0.82	0.09	1.42	0.58	520	175.0	25.0	10.7
	3. 30~50	5.18	0.72	0.08	1.24	0	650	178.0	25.0	11.0
13 (エンバク)	1. 0~8cm	5.45	1.16	0.12	2.01	0	270	87.0	7.0	17.4
	2. 8~17	5.19	1.08	0.12	1.85	0	310	94.0	10.0	7.2
	3. 17~35	5.05	0.55	0.07	0.95	0	440	87.0	11.0	5.1
	4. 35~60	5.45	0.54	0.06	0.92	0	460	122.0	18.0	5.1
	5. 60~	4.80	0.69	0.06	1.19	0	530	106.0	30.0	2.4
14 (牧野)	1. 0~7cm	5.92	1.99	0.20	3.44	0.29	420	235.0	36.0	30.6
	2. 7~23	5.91	0.58	0.07	1.00	0.08	390	225.0	21.0	23.7
	3. 23~42	6.08	0.53	0.06	0.92	0	530	218.0	28.0	27.1
	4. 42~68	6.33	0.65	0.07	1.11	0	680	186.0	20.0	19.9
	5. 68~	6.31	0.76	0.08	1.32	0	750	184.0	38.0	16.2
15 (小麦)	1. 0~15cm	5.82	1.59	0.17	2.74	0.16	520	184.0	38.0	35.2
	2. 15~30	5.97	0.84	0.11	1.44	0.18	540	175.0	36.0	33.2
	3. 30~50	5.58	0.78	0.09	1.34	0	600	258.0	39.0	28.3
16 (小麦)	1. 0~14cm	5.92	2.74	0.26	4.72	2.60	570	174.0	46.0	39.7
	2. 14~30	5.98	1.82	0.20	3.14	0	580	181.0	31.0	28.6
	3. 30~56	5.18	0.76	0.09	1.32	0	660	169.0	31.0	14.6
	4. 56~	4.94	0.76	0.08	1.30	0	700	164.0	34.0	10.0
17 (草地)	1. 0~10cm	5.53	1.24	0.11	2.14	0.57	280	84.0	13.0	13.9
	2. 10~22	5.64	0.88	0.09	1.51	0	270	89.0	12.0	12.6
	3. 22~40	5.44	0.57	0.06	0.99	0	490	111.0	21.0	19.2
	4. 40~65	5.07	0.52	0.05	0.90	0	620	91.0	19.0	13.7
	5. 65~	4.99	0.50	0.05	0.86	0	560	94.0	18.0	10.5
18 (小麦)	1. 0~15cm	5.47	1.06	0.12	1.83	0.16	430	154.0	24.0	13.1
	2. 15~30	5.40	1.36	0.15	2.34	1.03	430	146.0	13.0	16.6
	3. 30~50	5.30	0.76	0.09	1.32	0.54	640	196.0	24.0	28.9
19 (小麦)	1. 0~10cm	5.53	2.05	0.22	3.53	2.91	860	201.0	32.0	60.6
	2. 10~25	5.38	1.83	0.20	3.15	1.14	1,080	188.0	27.0	23.0
	3. 25~48	5.37	0.71	0.08	1.22	0.67	850	158.0	32.0	12.3
	4. 48~70	5.07	0.82	0.10	1.41	1.06	780	185.0	30.0	12.1
	5. 70~	4.92	0.63	0.06	1.09	0.49	730	147.0	31.0	9.2

第4表 CETAPAR土壤の化学的性質(その3)

地点	層位	pH	T-C (%)	T-N (%)	腐植 (%)	可給態磷酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g)	磷酸吸 収係数	置換性成分 (mg/100g)		
								CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
20 (小麦)	1. 0~15cm	5.97	2.02	0.22	3.49	1.42	490	260.0	27.0	34.3
	2. 15~30	5.96	1.27	0.15	2.19	1.02	650	250.0	27.0	27.2
	3. 30~50	5.76	1.03	0.12	1.78	0.65	630	239.0	31.0	29.9
21 (林地)	1. 0~6cm	6.44	1.86	0.19	3.20	3.26	350	261.0	34.0	24.1
	2. 6~15	5.80	1.02	0.11	1.76	0.43	340	170.0	17.0	13.1
	3. 15~30	5.40	0.59	0.07	1.02	0.04	440	124.0	16.0	25.4
	4. 30~58cm	4.97	0.60	0.06	1.04	0	560	117.0	22.0	21.6
	5. 58~	5.00	0.58	0.05	0.99	0	560	117.0	24.0	11.8
22 (小麦)	1. 0~14cm	5.25	1.51	0.16	2.60	1.14	440	141.0	21.0	27.8
	2. 14~34	5.64	0.81	0.10	1.40	0	480	157.0	26.0	29.8
	3. 34~57	5.38	0.63	0.06	1.08	0.14	670	80.0	19.0	26.2
	4. 57~	5.72	0.73	0.07	1.25	0.13	600	93.0	21.0	35.4
23 (小麦)	1. 0~15cm	5.49	0.88	0.10	1.51	0.13	490	79.0	12.0	76.2
	2. 15~30	5.49	1.38	0.15	2.38	0.52	520	97.0	14.0	32.9
	3. 30~50	5.52	0.75	0.09	1.30	0.48	630	91.0	15.0	39.6
24 (小麦)	1. 0~18cm	5.73	1.83	0.19	3.16	1.57	500	118.0	15.0	35.0
	2. 18~35	5.25	1.19	0.13	2.05	0	650	114.0	17.0	17.8
	3. 35~56	4.99	0.72	0.07	1.25	0	780	80.0	14.0	12.3
	4. 56~	5.39	0.56	0.05	0.97	0.09	590	84.0	14.0	26.3
25 (林地)	1. 0~9cm	6.26	2.34	0.25	4.04	0	410	181.0	16.0	12.1
	2. 9~19	5.80	0.84	0.10	1.45	0	240	67.0	7.0	10.8
	3. 19~35	5.36	0.49	0.06	0.85	0	320	55.0	11.0	13.0
	4. 35~55	5.29	0.46	0.06	0.80	0	350	49.0	8.0	16.1
	5. 55~	4.90	0.48	0.05	0.82	0	430	44.0	12.0	13.4
26 (小麦)	1. 0~15cm	5.79	1.39	0.16	2.39	0.41	400	47.0	11.0	24.2
	2. 15~30	5.31	0.87	0.10	1.49	0	470	74.0	12.0	12.0
	3. 30~50	5.30	0.84	0.10	1.45	0	510	119.0	18.0	11.2
27 (小麦)	1. 0~14cm	5.52	1.57	0.17	2.71	2.32	450	122.0	16.0	32.6
	2. 14~29	5.99	0.73	0.08	1.25	0	490	101.0	15.0	21.3
	3. 29~50	5.97	0.74	0.09	1.28	0	570	101.0	16.0	24.6
	4. 50~	6.16	0.59	0.06	1.02	0.70	710	107.0	22.0	27.5
28 (小麦)	1. 0~15cm	5.81	1.20	0.14	2.06	0.58	580	103.0	15.0	79.8
	2. 15~30	5.49	0.88	0.10	1.51	0	590	111.0	19.0	90.6
	3. 30~50	5.56	0.98	0.11	1.68	0	500	94.0	17.0	20.8

(4) 粒径組成

粒径組成測定結果を第5表以下に示した。全般的にみるとCETAPAR 圃場の土壤は粘土含量ついで砂含量が高い細粒質土壤である。砂では粗砂と細砂はほぼ同量である。微砂含量は低く、表層では10%以上であるが下層では5%以下のところもみられた。粘土含量は各地点とも表層で低く下層で高い傾向があり、94-13、94-17 地点では表層は粘土含量が22~24%のSCLであるにもかかわらず20cm以下の層の粘土含量は45%以上のHCであった。また50cm以下の層では粘土含量80%をこすものがあり、下層の粘土含量はさらに高いものと思われた。

粘土含量と磷酸吸収係数の関係を第5図に示した。これによると両者の間には正の関係があり、粘土含量25%のSCLでは磷酸吸収係数300、粘土含量45%のHCでは磷酸吸収係数430、同45%のHCでは磷酸吸収係数430、同60%のHCでは磷酸吸収係数530である。前述したようにCETAPAR 土壤が高粘土含量にしては磷酸吸収係数の小さいことが磷酸の有効化に結びついていると考えられる。

第5表 CETAPAR土壤の粒径組成測定成績(その1)

地点No. (地目)	層位	粗砂 2.0~ 0.2mm	細砂 0.2~ 0.02mm	砂合計 (%)	微砂 0.02~ 0.002mm	粘土 0.002mm 以下	土性
1 (小麦)	1. 0~15cm	16.1	23.5	39.6	21.9	38.4	LiC
	2. 15~30	15.6	18.3	33.9	15.6	50.6	HC
	3. 30~50	11.6	15.5	27.1	9.1	63.8	HC
2 (GTZ) (小麦)	1. 0~9cm	19.2	16.6	35.8	38.7	25.5	LiC
	2. 9~20	15.9	22.0	37.9	17.4	45.5	HC
	3. 20~40	12.6	15.7	28.3	16.9	54.8	HC
	4. 40~63	8.3	10.8	19.1	8.0	72.9	HC
	5. 63~	5.4	6.4	11.8	6.4	81.8	HC
3 (小麦)	1. 0~15cm	22.5	19.3	41.8	16.4	41.8	LiC
	2. 15~30	14.6	15.3	29.3	13.9	56.2	HC
	3. 30~50	12.4	12.4	24.8	8.9	66.3	HC
4 (土壤構造) (小麦)	1. 0~10cm	16.9	26.2	43.1	25.8	31.1	LiC
	2. 10~23	20.3	19.1	39.4	19.2	41.4	LiC
	3. 23~40	12.0	19.4	31.4	13.9	54.7	HC
	4. 40~70	8.2	10.1	18.3	9.2	72.5	HC
	5. 70~	8.0	8.2	16.2	7.6	76.2	HC
5 (エンバク)	1. 0~19cm	22.2	17.7	39.9	16.2	43.8	LiC
	2. 19~35	14.5	9.2	23.7	9.9	66.3	HC
	3. 35~50	8.9	8.7	17.6	9.1	80.2	HC
	4. 50~	11.5	7.0	18.5	8.7	73.4	HC
6 (草地)	1. 0~11cm	17.4	17.8	35.2	19.6	45.0	HC
	2. 11~25	15.8	18.2	34.0	16.5	49.5	HC
	3. 25~45	11.3	15.2	26.5	16.6	56.9	HC
	4. 45~	5.2	7.7	12.9	7.4	85.7	HC
7 (小麦)	1. 0~15cm	10.0	17.9	27.9	12.5	59.7	HC
	2. 15~30	8.6	13.5	22.1	15.1	62.8	HC
	3. 30~50	8.7	9.7	18.4	15.7	65.9	HC
8 (エンバク)	1. 0~18cm	8.7	14.9	23.6	20.1	56.3	HC
	2. 18~35	8.6	10.2	18.8	16.7	64.5	HC
	3. 35~60	3.9	6.1	10.0	7.4	82.6	HC
	4. 60~	5.2	4.1	9.3	10.8	79.9	HC
9 (牧野) (傾斜地)	1. 0~9cm	27.3	27.2	54.5	10.6	35.0	LiC
	2. 9~30	19.5	19.8	39.3	16.5	44.1	LiC
	3. 30~50	18.0	15.4	33.4	12.8	53.8	HC
	4. 50~	8.1	13.7	21.8	14.4	63.9	HC
10 (牧場)	1. 0~10cm	26.0	28.9	54.9	15.9	29.2	LiC
	2. 10~24	31.3	35.7	66.9	10.0	22.9	CL
	3. 24~49	22.4	9.6	32.0	15.1	53.0	HC
	4. 49~	9.8	25.1	34.9	7.1	58.1	HC
11 (小麦)	1. 0~15cm	11.6	14.6	26.2	13.8	60.0	HC
	2. 15~33	10.4	15.7	25.4	16.3	58.3	HC
	3. 33~58	5.4	10.8	14.3	6.9	78.7	HC
	4. 58~	4.9	6.4	12.3	2.5	85.2	HC
12 (小麦)	1. 0~15cm	7.1	11.8	18.8	14.9	66.2	HC
	2. 15~30	4.4	6.0	10.4	8.7	81.6	HC
	3. 30~50	6.8	6.0	13.3	9.2	77.6	HC

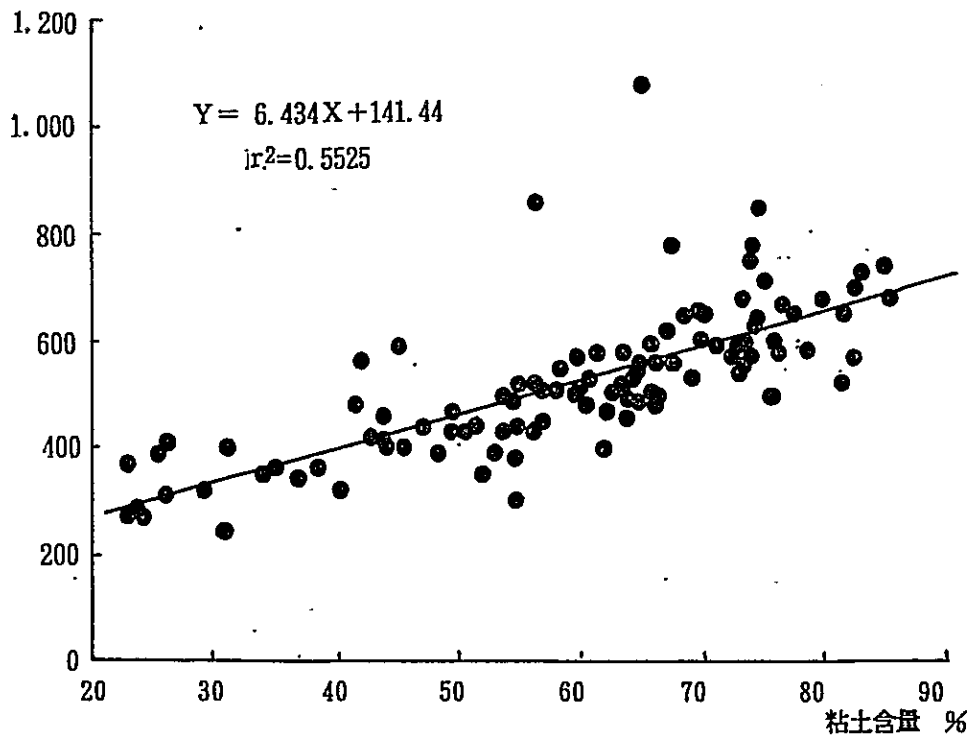
第6表 CETAPAR土壤の粒径組成測定成績(その2)

地点No. (地目)	層位	粗砂 2.0~ 0.2mm	細砂 0.2~ 0.02mm	砂合計 (%)	微砂 0.02~ 0.002mm	粘土 0.002mm 以下	土性
13 (エンバク)	1. 0~8cm	29.2	32.2	61.4	14.5	24.2	SCL
	2. 8~17	30.5	31.1	61.6	12.2	26.1	LiC
	3. 17~35	22.7	24.4	47.1	5.9	47.0	HC
	4. 35~60	30.6	20.3	50.9	5.4	43.8	HC
	5. 60~	15.4	11.5	26.9	3.9	69.2	HC
14 (牧野)	1. 0~7cm	18.4	20.9	39.3	18.2	42.6	LiC
	2. 7~23	19.9	18.2	39.1	13.6	48.3	HC
	3. 23~42	11.5	14.8	25.3	13.8	60.9	HC
	4. 42~68	11.2	7.6	18.8	8.0	73.2	HC
	5. 68~	12.0	7.2	19.2	7.0	73.8	HC
15 (小麦)	1. 0~15cm	12.2	15.6	27.8	17.2	54.9	HC
	2. 15~30	7.4	14.8	22.2	13.0	64.8	HC
	3. 30~50	6.3	13.2	19.5	10.3	70.1	HC
16 (小麦)	1. 0~14cm	8.2	10.8	19.0	21.2	59.8	HC
	2. 14~30	7.3	14.0	21.3	14.9	63.7	HC
	3. 30~56	12.6	7.8	20.4	10.1	69.6	HC
	4. 56~	4.5	6.6	11.1	6.2	82.7	HC
17 (草地)	1. 0~10cm	36.4	28.7	65.1	11.6	23.3	SCL
	2. 10~22	32.3	28.2	60.5	16.7	22.8	SCL
	3. 22~40	21.4	17.7	39.1	6.3	54.6	HC
	4. 40~65	8.2	17.6	25.8	7.4	67.0	HC
	5. 65~	13.9	15.7	29.6	5.5	64.9	HC
18 (小麦)	1. 0~15cm	13.4	19.5	32.9	13.4	53.7	HC
	2. 15~30	15.4	19.9	35.3	15.2	49.5	HC
	3. 30~50	6.3	9.8	16.1	9.6	74.4	HC
19 (小麦)	1. 0~10cm	12.2	14.7	26.9	16.7	56.4	HC
	2. 10~25	11.5	13.5	25.0	9.8	65.3	HC
	3. 25~48	6.2	8.1	14.3	11.1	74.6	HC
	4. 48~70	7.7	11.8	19.5	13.0	67.5	HC
	5. 70~	3.2	5.8	9.0	7.7	83.3	HC
20 (小麦)	1. 0~15cm	8.7	13.8	22.5	13.3	64.1	HC
	2. 15~30	4.1	11.9	16.0	13.9	70.1	HC
	3. 30~50	4.5	9.4	13.9	12.0	74.1	HC
21 (林地)	1. 0~6cm	26.7	22.8	49.5	16.3	34.1	LiC
	2. 6~15	24.2	29.4	55.4	9.8	36.8	LiC
	3. 15~30	18.3	15.2	33.5	11.7	54.8	HC
	4. 30~58cm	14.9	11.7	26.6	11.5	73.4	HC
	5. 58~	15.4	6.6	22.0	9.5	67.7	HC
22 (小麦)	1. 0~14cm	14.0	20.8	34.8	13.8	51.4	HC
	2. 14~34	11.1	17.0	28.1	11.2	60.6	HC
	3. 34~57	7.9	5.3	13.2	10.3	76.6	HC
	4. 57~	5.4	9.5	14.9	9.2	75.9	HC
23 (小麦)	1. 0~15cm	8.0	14.1	22.7	13.0	64.9	HC
	2. 15~30	9.1	15.0	24.1	12.1	63.7	HC
	3. 30~50	6.8	9.2	16.0	9.8	74.2	HC
24 (小麦)	1. 0~18cm	7.3	14.4	21.7	12.6	65.8	HC
	2. 18~35	10.2	8.4	18.6	12.9	68.5	HC
	3. 35~56	8.8	5.9	14.7	11.3	74.0	HC
	4. 56~	8.0	9.5	17.5	9.7	72.7	HC

第7表 CETAPAR圃場の粒径組成測定成績 (その3)

地点No. (地目)	層位	粗砂 2.0~ 0.2mm	細砂 0.2~ 0.02mm	砂合計 (%)	微砂 0.02~ 0.002mm	粘土 0.002mm 以下	土性
25 (林地)	1. 0~9cm	34.5	27.6	62.1	11.6	26.4	SCL
	2. 9~19	32.5	25.5	58.0	11.0	31.0	SC
	3. 19~35	28.8	22.7	51.5	8.4	40.1	LiC
	4. 35~55	24.1	16.8	40.9	7.1	52.0	HC
	5. 55~	25.3	11.4	36.7	7.3	56.1	HC
26 (小麦)	1. 0~15cm	15.1	8.3	23.4	14.7	61.9	HC
	2. 15~30	9.9	15.5	25.1	12.3	62.3	HC
	3. 30~50	13.0	12.5	25.5	11.5	63.0	HC
27 (小麦)	1. 0~14cm	11.5	17.4	28.9	14.1	57.0	HC
	2. 14~29	8.8	12.9	21.7	11.9	66.4	HC
	3. 29~50	7.7	8.4	16.1	10.1	73.8	HC
	4. 50~	8.8	6.9	15.7	9.3	75.0	HC
28 (小麦)	1. 0~15cm	8.3	15.9	24.4	14.4	61.4	HC
	2. 15~30	4.1	12.2	16.3	12.3	71.4	HC
	3. 30~50	4.1	9.1	14.0	10.4	75.6	HC

磷酸吸収係数



第5図 CETAPAR 土壤の粘土含量と磷酸吸収係数の関係



### (5) 土壌分類

CETAPAR 土壌は成因的に同一の土壌であって外観的にはほとんど差はみられない。しかし粒径組成でみるとCETAPAR には粘土含量80%のHC圃場から砂含量60%のSCL圃場まで種々の圃場が存在しており、土壌生産力にも大きな違いがある。従ってCETAPARにおける栽培試験についても、その試験がどの圃場で行われたかはその試験結果を利用する上で極めて重要な事項である。このような意味で粒径組成を分類基準としてとりあげることとした。この場合どの層位の土性まで考慮するかについては、イ、作土の土性が最も重要であること、ロ、すべての地点で20cm以下の土性がHCであること、ハ、HCのなかでも粘土含量が60%をこえるものがあること、などから深さは20cmまで、HC区は粘土含量により2つに分けることとし次の4土壌区を設定した。

第8表 CETAPAR 圃場土壌分類成績

土壌区	分類基準 <sup>1</sup>	面積	
		ha	%
① HC-60%土壌区	表土の粘土含量60%以上	19.8	24.6
② HC-45%土壌区	表土の粘土含量45~60%	18.4	22.8
③ LiC 土壌区	表土の粘土含量25~45%	33.6	41.6
④ SCL 土壌区	表土の粘土含量 25%以下	8.9	11.0
合計		80.7	100.0

このようにして作成した 第6図 土壌分類図をみると、CETAPAR 圃場東縁部にHC-60%土壌区、中央農道沿いにHC-45%土壌区、西側の大部分が LiC 土壌区、西南部にSCL 土壌区が分布しており、面積はHC区合計47% その他合計53% でその他区的面積がやや大きかった。

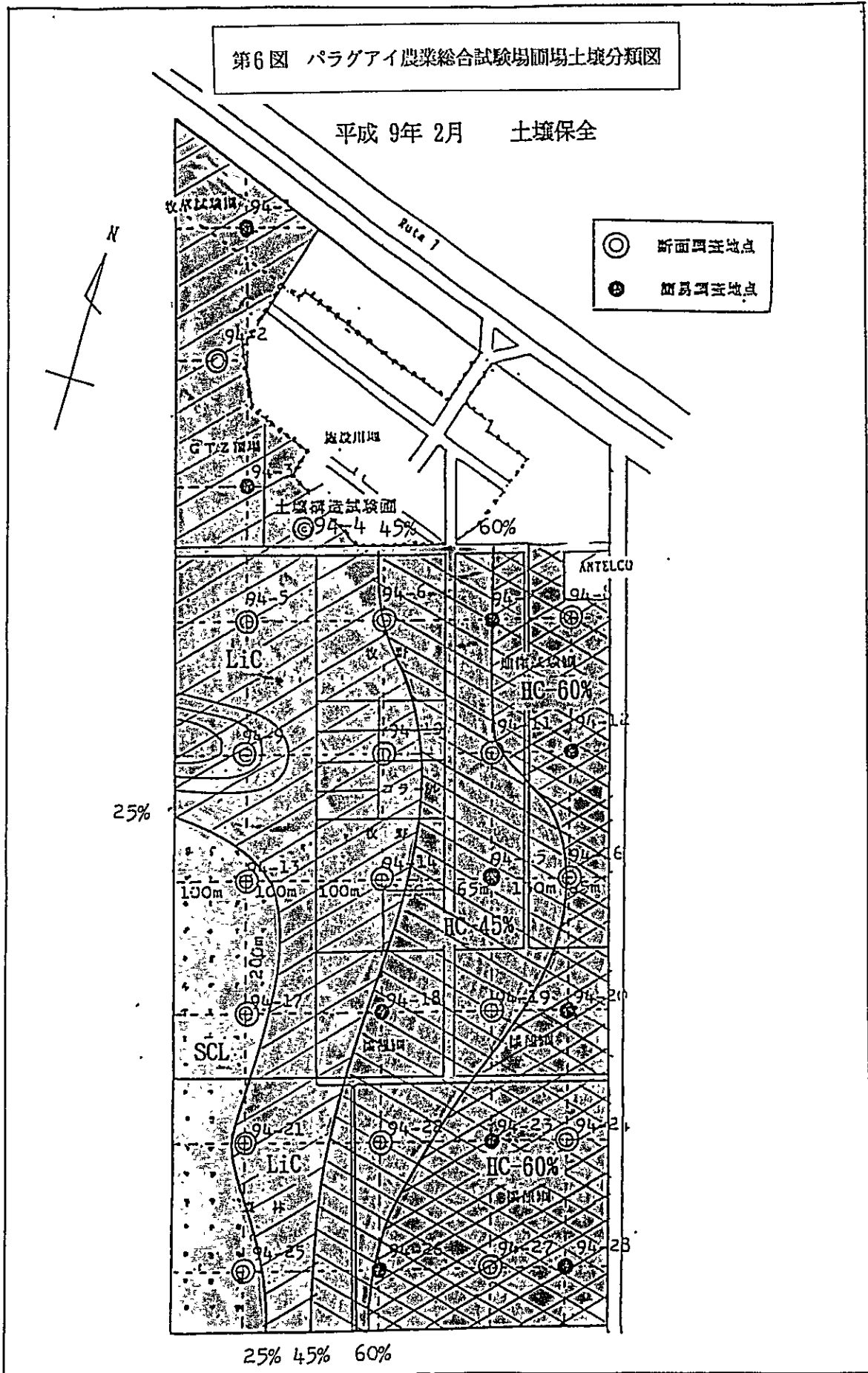
### 3) 考察

CETAPAR 圃場の土壌分布がこのようになっているのは圃場の傾斜に関係があるのではないかとと思われる。すなわち中央農道東側の平坦な部分は標高285mでイグアス地域で最も標高の高い場所である。降雨時の様子を見るとこの部分に降った雨は西側に流れ牧野をこえて西側圃場を流下し、試験区境の裸地部分などは常に溶脱をうけてえぐられている。現在はCETAPAR 圃場全体が不耕起栽培圃場であるため被害は大きくないが、不耕起栽培が導入される以前にはCETAPAR のような緩傾斜圃場でも常に表層部の粘土の流亡があり、それがこのような土壌分布をもたらしたのではないかと推測される。

CETAPAR 調査でみられた土壌分類が他地域にも適用できるか否かは不明である。しかしパラグアイは標高差が極めて小さく、最高のアマンバイ山脈も700m程度でCETAPAR との標高差は400mに過ぎない。したがって国土面積の60%、2400万haを占める農耕地の大部分がイグアス地区のような緩やか傾斜をなしている。このような立地条件からすると本調査でみられた土壌分類は他の地域にも適用可能ではないかと思われる。

第6図 パラグアイ農業総合試験場圃場土壌分類図

平成 9年 2月 土壤保全



## 2. イグアス地域土壌保全定点調査

イグアス地域の土壌はパラグアイのなかでも最も肥沃なテラ・ロシア土壌とされているが、最近地力の低下が指摘されている。そこで以前に比較して土壌が具体的にどのように変わってきているのかを明らかにする目的で土壌保全のための定点調査を実施することとした。調査は地区内の代表的な圃場について5年間隔で同一項目について調査しその変化の様子をみるもので、1990年に実施した小川、堀田らのイグアス地区調査を第1回定点調査とし、1995年6月に第2回目の調査を行った。

### 1) 試験方法

5年前の第1回調査では14地点について調査しているが、第2回調査ではこのうちの5地点について調査した。調査地点を第1図および第9表に示した。なお土壌型は小川らの分類によるものである。

第9表 イグアス地区定点調査地点

耕作者氏名	圃場の位置、圃場番号	土壌型
① CETAPAR	土壌構造試験圃場	細粒質赤色土壌 (Rodric Nitisols)
② 久保田洋史	I- 63 圃場	細粒質赤色土壌 (Rodric Nitisols)
③ 小矢沢和一	R-133 圃場	中粒質赤色土壌 (Haplic Acrisols)
④ 深見 明伸	H- 43 圃場	細粒質赤色土壌 (Rodric Nitisols)
⑤ 工藤 忠三	D- 47 圃場	粗粒質赤色土壌 (Haplic Acrisols)

調査項目は前述のパラグアイ農業総合試験場圃場土壌調査とほぼ同一であるが、本調査ではこのほか団粒分布の測定と粘土鉱物の同定を行った。なお粘土鉱物の同定は著者の一人麻田が本邦研修として農林水産省農業環境技術研究所において実施したものである。測定法の概要は次の如くである。

団粒分布測定法： 湿土を一旦 8mmで篩別する。これをDIK 団粒分析測定機を用いて水中で10分間篩別後熱乾、秤量し百分率で表示した。

可給態リンの定量法：1990年 Truog法、1995年 Mehlich-1法

粘土鉱物の同定： 土壌を過酸化水素処理で有機物を分解した後、比重法で粘土部分を集める。

これをX線回折機で処理し回折ピークの位置と面積を測定することにより粘土鉱物を同定する。

### 2) 調査結果

#### (1) 土壌断面の変化

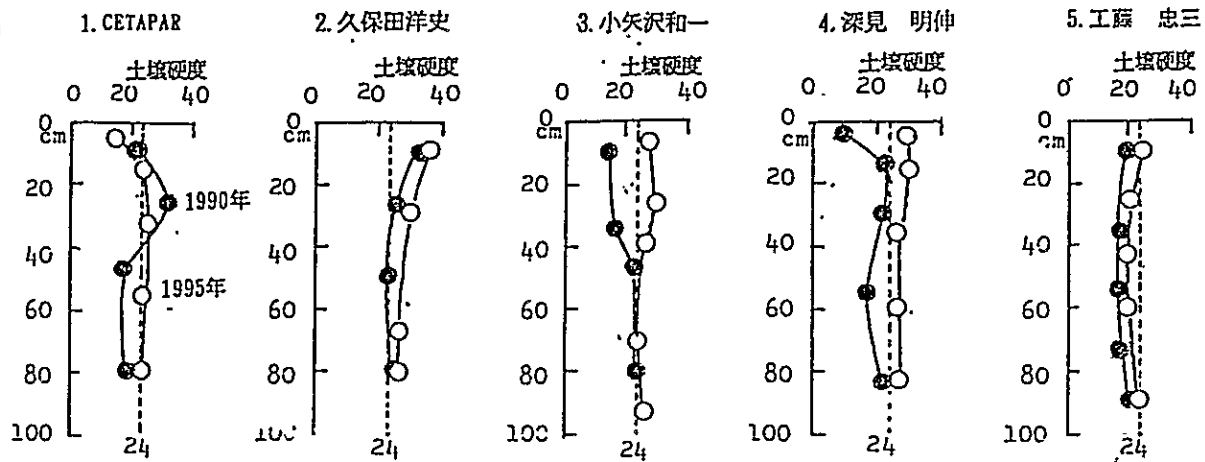
1990年と1995年の土壌断面を第7図以下に示した。表土の場合、侵蝕による土壌流亡や耕作年次を経るにしたがって土色は7.5R (赤褐色) 10R~5YR (黄赤褐色) と変化していくが、下層の変化は小さいと考えられる。これを目安に土層の変化をみると、各圃場ともYR色を呈する層が厚くなっており、表層部の酸化の進んでいることが認められる。また5圃場では表面の10cmほどの土層が失われているものと考えられる。

	1990年調査					1995年調査						
	土壌断面 cm 掘密度	土色	土性	pH	有効態燐酸 (mg/100g)	土壌断面 cm 掘密度	土色	土性	pH	有効態燐酸 (mg/100g)		
1. CETAPAR (土壌構造試験圃)	0	(22)	2.5YR3/4	HC	5.70	1.90	0	(15)	2.5YR3/3	HC	5.41	7.25
	15	(30)	10 3/3	HC	6.00	1.40	10	(23)	2.5YR3/4	HC	5.81	0.92
	32	(19)	10R 3/4	HC	6.40	0.60	23	(26)	2.5YR3/4	HC	5.80	0
	60	(19)	10R 3/6	HC	6.40	0.60	40	(23)	10R 3/4	HC	6.22	0
		(19)	10R 3/6	HC	6.40	0.60	70	(23)	10R 3/4	HC	6.12	0
2. 久保田洋史 (I-63)	0	(25)	2.5YR3/3	HC	6.90	4.50	0	(34)	2.5YR3/4	HC	6.19	2.78
	22	(25)	10R 3/4	HC	7.20	1.40	20	(29)	2.5YR4/4	HC	6.45	0
	45	(25)	10R 3/4	HC	7.20	1.20	38	(28)	10R 4/6	HC	6.60	0
	75	(25)	10R 3/4	HC	6.60	2.70	50	(26)	10R 4/6	HC	6.45	0.20
		(25)	10R 3/4	HC	6.60	2.70	75	(24)	10R 3/6	HC	6.20	0.36
3. 小矢沢和一 (R-133)	0	(15)	2.5YR3/4	SL	7.20	2.40	0	(26)	2.5YR3/3	SL	5.25	15.48
	25	(17)	10R 3/6	L1C	7.40	0.50	12	(29)	10R 3/4	L1C	5.58	0.43
	40	(22)	7.5R3/6	HC	7.20	0.40	23	(26)	7.5R 3/4	HC	4.60	0
		(23)	7.5R3/6	HC	6.00	0.40	57	(24)	7.5R3/6	HC	4.41	0
		(23)	7.5R3/6	HC	6.00	0.40	80	(27)	7.5R3/6	HC	4.50	0
4. 深見 明伸 (H-43)	0	(22)	2.5YR3/3	HC	6.20	12.70	0	(30)	2.5YR3/3	HC	5.60	1.97
	6	(22)	2.5YR3/4	HC	6.30	2.40	8	(30)	2.5YR3/3	HC	5.91	0
	23	(21)	10R 3/4	HC	6.40	0.80	22	(25)	10R 3/4	HC	5.85	0
	40	(18)	7.5R3/6	HC	6.60	0.80	45	(27)	7.5R3/4	HC	5.90	0
	72	(22)	7.5R3/6	HC	6.70	1.50	75	(25)	7.5R3/4	HC	5.96	0
5. 工藤 忠三 (D-47)	0	(20)	7.5R3/4	SL	5.90	4.80	0	(23)	5YR 4/4	SL	5.80	4.44
	24	(18)	7.5R3/6	SCL	6.10	0.30	20	(20)	2.5Y3/4	SL	5.90	0.12
	43	(17)	7.5R3/6	SCL	5.90	0.30	34	(19)	10R 3/3	SL	5.95	0.20
	65	(17)	7.5R3/6	SL	5.00	0.30	50	(20)	10R 3/6	SL	5.65	0.22
	80	(20)	7.5R3/6	SL	4.60	0.30	70	(23)	7.5R3/4	SL	5.48	0

第7図 イグアス地区定点調査における1990年と1995の土壌断面の比較

### (2) 土壌硬度の変化

山中式土壌硬度計による土壌硬度の変化を第8図に示したが、CETAPAR 以外の圃場で土壌硬度の増大が認められた。大豆や小麦の場合根の伸張阻害が現れ始める土壌硬度は24とされているが、これを基準にすると、②、③、④各圃場の土壌硬度はいずれもこの基準を超えているとみられる。



第8図 イグアス地区土壌保全定点調査における土壌硬度の変化

### (3) 粒径組成の変化

両年の粒径組成測定結果を第10表に示した。CETAPAR 土壌について比較すると深さ30cmまでの土層で砂含量の増加と粘土含量の減少が認められる。R-133 圃場については測定値が著しく異なり、またD-47圃場については前述したように表層が失われていることもあって変化は明らかでない。

第10表 イグアス地区圃場についての1990年および1995年土壌調査における粒径組成測定結果

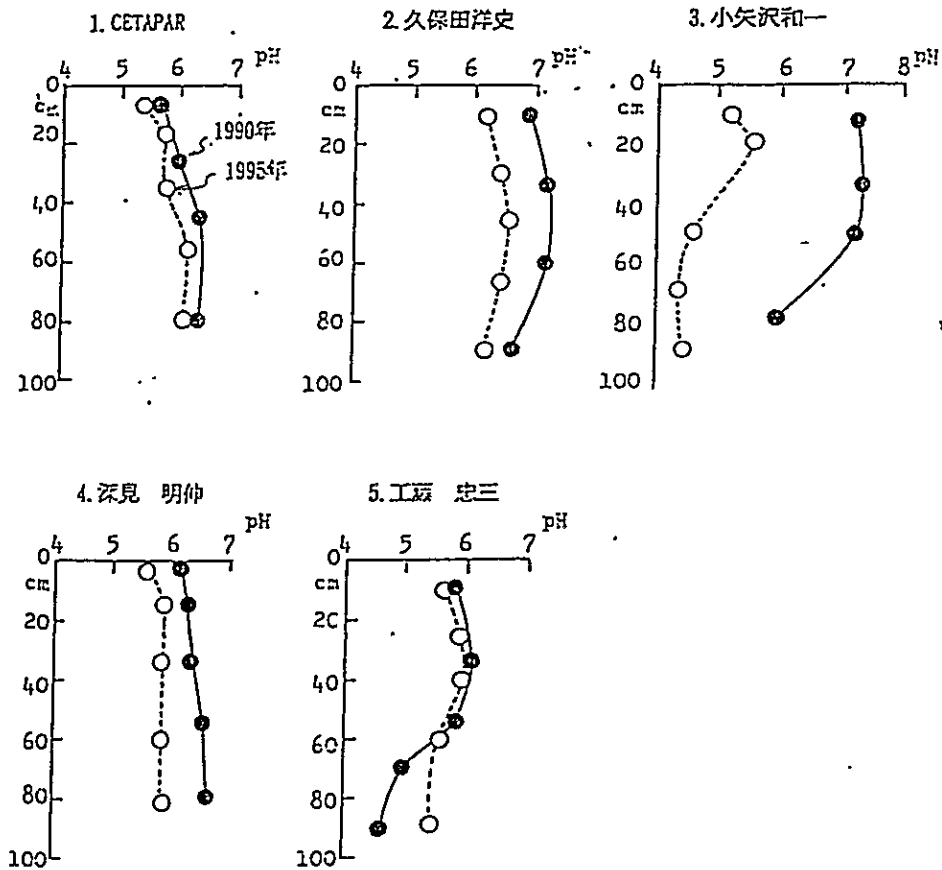
調査圃場	調査層位	1990年調査					1995年調査						
		粗砂	細砂	(砂合計)	微砂	粘土	土性	粗砂	細砂	(砂合計)	微砂	粘土	土性
		粒径 2.0 ~ 0.2mm	0.2 ~ 0.02mm	(33.9)	0.02 ~ 0.002mm	0.002mm 以下		2.0 ~ 0.2mm	0.2 ~ 0.02mm	(43.1)	0.02 ~ 0.002mm	0.002mm 以下	
CETAPAR	1	10.5	23.4	(33.9)	17.4	48.7	H C	16.9	26.2	(43.1)	25.8	31.1	LiC
	2	-	-	-	-	-	-	20.3	19.1	(39.4)	20.9	41.4	LiC
	3	7.4	13.5	(20.9)	14.6	64.5	H C	12.0	19.4	(31.4)	14.3	56.6	H C
	4	6.8	13.1	(19.9)	9.0	71.1	H C	8.2	10.1	(18.3)	9.8	72.5	H C
	5	4.7	7.2	(11.9)	8.6	79.5	H C	8.2	8.4	(16.6)	8.8	76.2	H C
久保田	1	-	-	-	-	-	-	7.3	24.9	(32.2)	25.8	40.0	LiC
	2	-	-	-	-	-	-	5.7	23.4	(29.1)	19.2	49.9	H C
	3	-	-	-	-	-	-	3.8	10.5	(14.3)	15.9	71.5	H C
	4	-	-	-	-	-	-	2.6	7.5	(9.8)	9.2	80.0	H C
	5	-	-	-	-	-	-	2.6	7.8	(8.8)	7.6	81.4	H C
小矢沢	1	4.6	51.8	(56.4)	14.2	29.4	S C	5.3	22.0	(27.3)	26.5	46.2	LiC
	2	3.3	39.4	(42.7)	12.4	44.9	LiC	4.8	22.0	(26.8)	19.1	54.3	LiC
	3	2.1	23.3	(25.4)	5.3	69.3	H C	4.3	9.1	(13.4)	10.5	76.6	H C
	4	3.1	20.3	(23.4)	4.9	71.7	H C	6.7	5.5	(12.2)	13.3	74.5	H C
	5	-	-	-	-	-	-	4.7	6.0	(10.7)	9.8	79.5	H C
深見	1	-	-	-	-	-	-	11.8	34.1	(45.9)	20.8	33.4	LiC
	2	-	-	-	-	-	-	6.0	34.7	(40.7)	23.0	36.3	H C
	3	-	-	-	-	-	-	3.0	18.5	(21.5)	12.8	65.7	H C
	4	-	-	-	-	-	-	2.9	15.4	(18.3)	14.4	67.3	H C
	5	-	-	-	-	-	-	3.3	14.3	(17.6)	13.6	68.8	H C
工藤	1	39.9	44.1	(84.0)	2.1	13.9	S L	39.5	37.9	(77.4)	11.7	10.9	SCL
	2	37.5	40.4	(77.9)	1.6	20.5	SCL	35.3	42.1	(77.4)	11.3	11.3	SCL
	3	38.9	40.4	(79.3)	3.1	17.6	SCL	30.0	46.6	(76.6)	12.1	11.3	SCL
	4	36.8	42.8	(79.6)	2.0	18.4	SCL	25.5	23.9	(49.4)	9.3	41.3	S C
	5	28.9	33.5	(62.4)	1.0	36.6	S L	23.1	23.0	(46.1)	4.6	49.3	H C

(4) pH、土壤有機物、可給態磷酸の変化

土壤pHの変化を第9図、土壤有機物の変化を第11表、可給態磷酸の変化を第10図に示した。

pHの低下は全調査地点で認められ、とくに地点3では下層土のpHも低下していた。これは後述するようにカルシウム、マグネシウムなどの塩基の溶脱が原因と考えられる。土壤有機物は測定方法が異なるので直接の比較は困難であるが、地点5を除き有機物含量は鉱物質土壤としては下層まで比較的高いといえる。

可給態磷酸含量では1990年に比較して1995年の含量が低い。可給態磷酸含量は栽培作物や調査時期の関係で直接の比較は困難であるが、1995年調査における下層の可給態磷酸の含量の低いことは不耕起栽培の結果として表層施肥のみをおこなってきたことにも原因があるのではないかと考えられる。

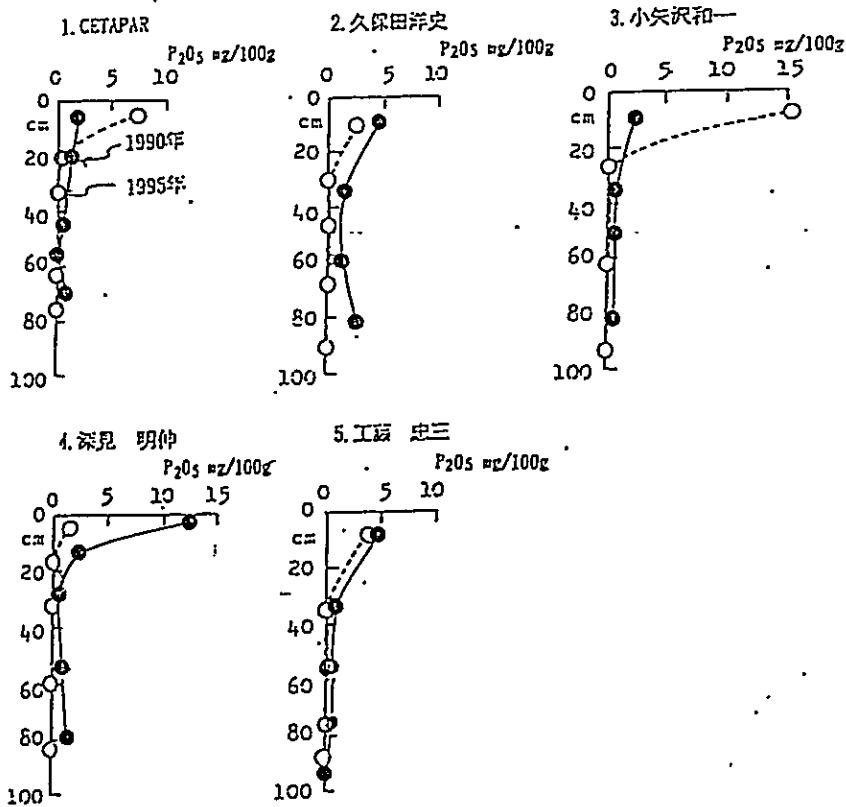


第9図 イグアス地区土壤保全定点調査における土壤pHの変化

第11表 イグアス地区土壌保全定点調査における土壌有機物の変化

調査地点	層位	1990年調査			1995年調査		
		T-C(%)	T-N(%)	有機物(%)	T-C(%)	T-N(%)	有機物(%)
1. CETAPAR	1.	1.28	0.15	2.22	1.80	0.18	3.10
	2.	0.73	0.10	1.27	1.25	0.14	2.16
	3.	0.61	0.09	1.06	0.84	0.10	1.44
	4.	0.55	0.07	0.96	0.69	0.08	1.18
	5.	-	-	-	0.73	0.09	1.25
2. 久保田洋史	1.	-	-	-	1.87	0.21	3.23
	2.	-	-	-	0.77	0.10	1.32
	3.	-	-	-	0.62	0.07	1.06
	4.	-	-	-	0.57	0.06	0.98
	5.	-	-	-	0.55	0.06	0.95
3. 小矢沢和一	1.	0.95	0.05	2.22	1.39	0.15	2.39
	2.	0.68	0.05	1.27	1.01	0.12	1.74
	3.	0.82	0.07	1.06	0.72	0.08	1.24
	4.	0.82	0.05	0.96	0.62	0.07	1.06
	5.	-	-	-	0.54	0.06	0.93
4. 深見明伸	1.	-	-	-	1.81	0.18	3.12
	2.	-	-	-	0.97	0.12	1.66
	3.	-	-	-	0.80	0.09	1.38
	4.	-	-	-	0.70	0.07	1.21
	5.	-	-	-	0.63	0.06	1.09
5. 工藤忠三	1.	0.45	0.05	0.78	0.64	0.06	1.11
	2.	0.20	0.02	0.35	0.31	0.03	0.54
	3.	0.15	0.02	0.26	0.31	0.03	0.54
	4.	0.09	0.09	0.16	0.63	0.06	1.09
	5.	0.17	0.17	0.30	0.72	0.06	1.23

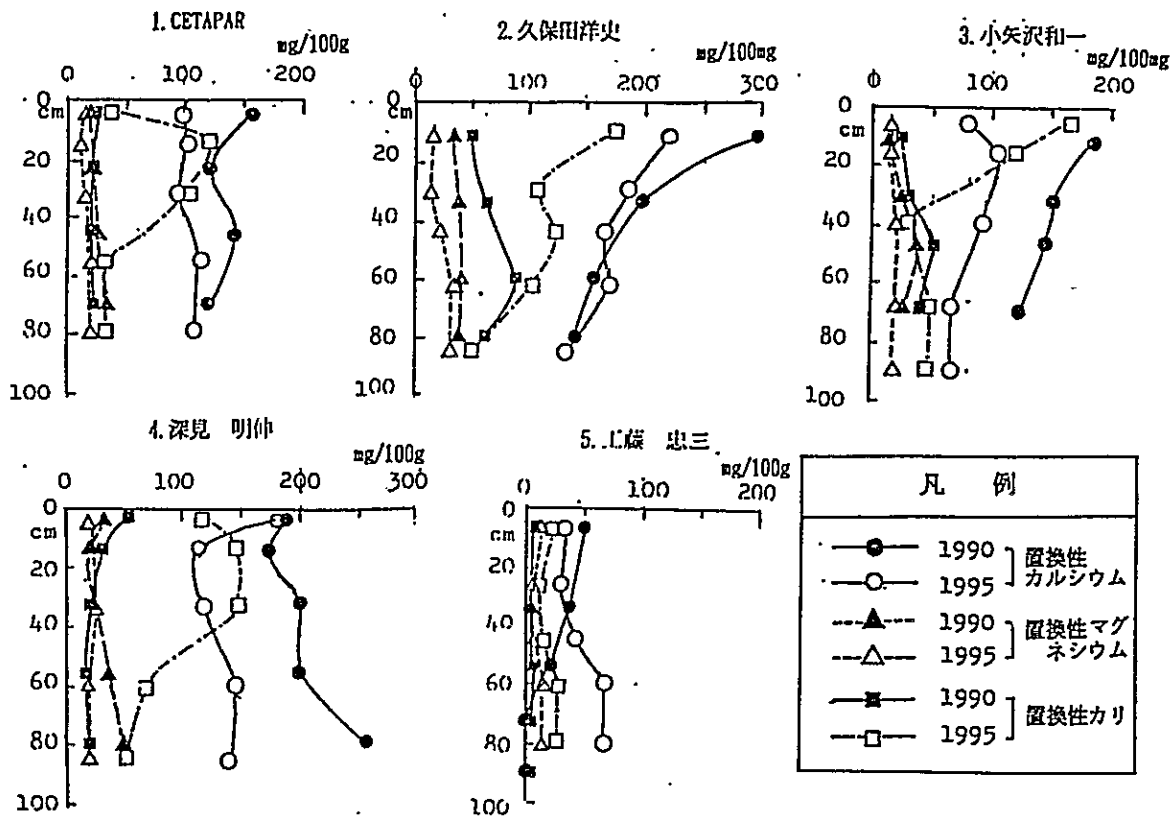
(土壌有機物分析法: 1990年デューリン法とキエルダール法、1995年CNコーダー法)



第10図 イグアス地区土壌保全定点調査における土壌可給態リン酸の変化

(5) 置換性成分の変化

置換性成分の変化を第 図に示した。これによるとCETAPAR を含めすべての地点で置換性カルシウム・マグネシウムの減少と置換性カリの増加が認められた。pH低下の原因となる置換性カルシウム・マグネシウムの減少は溶脱によるものであるが、置換性カリの増加は不耕起栽培の導入による植物残渣の蓄積によるものと考えられる。



第11図 イグアス地区1990年調査と1995年調査における置換性成分の変化。

(6) パラグアイ土壤の粘土鉱物と一次鉱物について

土壤の基本的な性質はその土壤を構成する粘土鉱物と一次鉱物によって決定されると考えられる。これまでみてきたようにイグアス土壤は粘土含量が多いにもかかわらず置換容量が小さく塩基の溶脱が早いとその原因は粘土鉱物組成にあるのではないかとと思われる。そこでイグアス地区定点調査と後述するアマンバイ土壤の第1層の合計4土壤について粘土鉱物と一次鉱物の同定を行った。本試験は CETAPARにおいて過酸化水素処理により分離した粘土を著者の一人麻田が本邦研修として農林水産省農業環境技術研究所土壤管理科において土壤生成分類研究室の諸先生の指導のもとX線回折法により実施したものである。



粘土鉱物組成を第12表に、一次鉱物の同定結果を第13表に示した。

第12表 パラグアイ土壤の結晶性粘土鉱物組成

試料	Kaolinite	Vermiculite
CETAPAR粘土	72	28
R-133粘土	79	21
H-43 粘土	71	29
アマンバイ粘土	89	11

第13表 パラグアイ土壤中の酸化物と一次鉱物

試料	Haematite	Magnetite	Gibbsite	Quartz
CETAPAR粘土	24.0 +++	3.0 +	3.0 +	16.0 ++
R-133粘土	23.0 +++	7.5 +	3.0 +	15.0 ++
H-43 粘土	19.0 ++	3.0 +	3.0 +	36.0 +++
アマンバイ粘土	19.0 ++	5.0 +	15.0 +	10.0 +

第12表によるとパラグアイ土壤の粘土鉱物組成はKaolinite 70% ~90%、Vermiculite 10%~30%でこれ以外の粘土鉱物は含まれていない。そしてそれぞれの土壤の生産力はVermiculite の含量と関係があるのではないかと思われる。粘土の大部分を占めるKaolinite は1:1 型粘土鉱物でその塩基置換容量は約10と小さいが、Vermiculite は2:1 型で塩基置換容量は50程度である。微砂、細砂、粗砂の塩基置換容量はほぼ 0であるから、土壤の塩基置換容量は粘土の絶対量のみならず、その粘土の質によって決定されるとみることができる。

これまでの作物生育からすると4土壤のうち最も生産力が高いは H-43 土壤次いでCETAPAR 土壤であって、R-133土壤、アマンバイ土壤の生産力はこれに比べて劣ることが知られている。その理由としては H-43 土壤やCETAPAR 土壤は細粒質のテラロシアでありアマンバイ土壤は粗粒質土壤であるためとされてきた。しかし粘土鉱物の同定結果からするとアマンバイ土壤はそのほとんどがKaolinite 粘土であることが地力の低い原因ということができよう。

結論は 21-1-23

### 3. アマンバイ地区土壌保全定点調査

パラグアイ東部地域を対象として行う土壌保全定点調査として、日系移住地として最も北に位置するアマンバイ地区について土壌調査を行った。アマンバイ地区には1965年以降数回にわたって入植した日系人農家約50戸が営農を行っている。

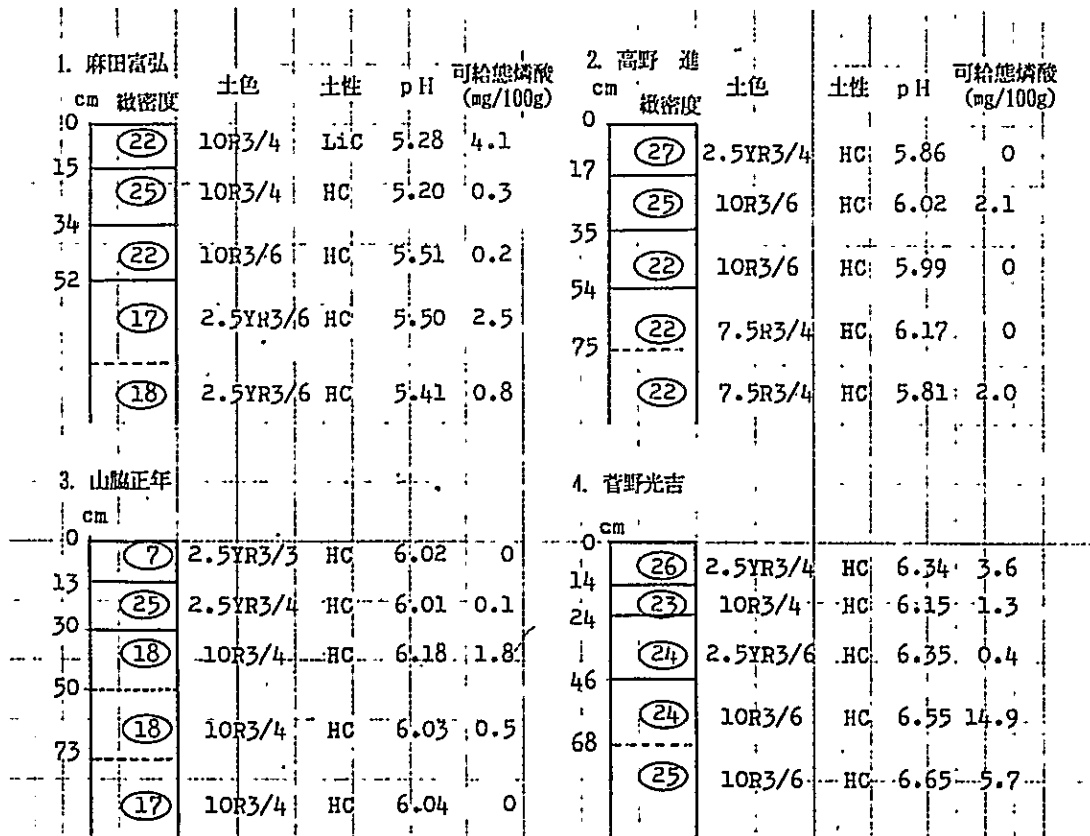
#### 1) 調査方法

調査地点は地区の代表的と思われる圃場4地点を選定し、これについて土壌断面調査を行った。またこれを補うため約20戸の農家圃場から表土(約0~15cm)と下層土(15~30cm)を採取し土壌分析のみを行った。調査方法、土壌分析項目はこれまでの調査とほぼ同一である。試坑調査地点を第図に示した。調査は1994年10月に行ったが①、②、③各地点はヒマワリ栽培圃場、④地点は休閑圃場であった。

#### 2) 調査結果

##### (1) 土壌断面調査

土壌断面柱状図を第13図に示した。土色は各地点とも第1層、第2層10R3/4~2.5YR3/4、第3層以下が7.5R3/6~2.5YR3/6を呈する赤色土壌であった。土性は第1層、第2層LiC、第3層は1ヶ所はCLで中粒質土壌、他の3ヶ所はHCで細粒質土壌であった。土壌硬度は③ヒマワリ圃場の表層はちいさかったが、その他の地点では第1層、第2層25~27、第3層、第4層17~22と高い値を示していた。



第13図 アマンバイ地区定点調査土壌断面柱状図



第12図 アマンバイ地区定点調査 調査地点図 (1994年10月)

(2) 三相分布と粒径組成

三相分布結果を第14表に、また粒径組成を第15表に示した。

三相分布では①地点は抜根直後であったこと、③ヒマワリ圃場では耕起されていたため、いずれも気相は35%と大きかった。しかし全体的にみて各圃場とも気相は下層まで多い傾向が見られた。

粒径組成では①圃場の第1層がLiCであったほかは、すべてBCであった。これはこれまでアママンバイ地区の土壌は砂質であるとされてきたことと異なる結果であるが、アママンバイ土壌には粗砂が多いこと、粘土鉱物ではカオリナイトが90%を占めることなどから、実際よりも粗く感じられてきたのではないかと考えられる。

第14表 アマンバイ地区定点調査土壌の三相分布

調査地点 No. 層位	層 界 (cm)	三相分布(%)			水分含量 (%)	孔隙率 (%)	飽水度 (%)	容気度 (%)
		固相	液相	気相				
麻田 ①-1	0~15	45.1	20.8	34.1	16.3	54.9	37.9	62.1
	-2 15~34	44.9	31.8	23.3	26.4	55.1	57.7	42.3
	-3 34~52	36.0	37.6	26.4	23.5	64.0	58.8	41.2
	-4 52~80	37.6	29.4	33.6	20.8	63.0	46.7	53.3
	-5 80~	34.8	29.3	35.9	21.4	65.2	44.9	55.1
高野 ①-1	0~17	46.7	30.0	23.2	17.6	53.3	56.5	43.5
	-2 17~35	41.8	39.5	18.7	24.3	58.2	67.9	32.1
	-3 35~54	41.2	42.4	16.5	26.0	58.9	71.9	28.1
	-4 54~75	40.6	42.3	17.1	27.9	59.4	71.2	28.8
	-5 75~	37.1	40.4	22.5	26.7	62.9	64.2	35.8
山脇 ①-1	0~13	55.1	10.3	34.6	8.1	44.9	22.9	77.1
	-2 13~30	40.0	37.5	22.5	23.1	60.0	62.5	37.5
	-3 30~50	36.4	33.5	30.1	22.7	63.6	52.7	47.3
	-4 50~73	39.1	28.5	32.4	24.0	60.9	46.8	53.2
	-5 73~	33.2	33.7	33.1	24.1	66.8	50.4	49.6
菅野 ①-1	0~14	47.2	35.0	17.8	19.8	52.8	66.3	33.7
	-2 14~29	50.9	35.3	13.8	19.3	49.1	71.9	28.1
	-3 29~46	42.1	44.2	13.7	24.4	57.9	76.3	23.7
	-4 46~68	43.7	40.5	15.8	29.5	56.3	71.9	28.1
	-5 68~	45.9	41.9	12.2	24.7	54.1	77.4	22.6

第15表 アマンバイ地区定点土壌の粒径組成

地点	層位 cm	粗砂	細砂	砂合計	微砂	粘土	土性
		2.0~0.2mm	0.2~0.02mm		0.02~0.002mm	0.002mm以下	
麻田 ①	-1 0~15	19.0	23.7	42.7	21.3	37.0	LiC
	-2 15~34	16.8	17.1	33.9	12.1	53.9	H C
	-3 34~52	14.2	18.3	32.5	12.3	55.2	H C
	-4 52~80	11.8	19.2	31.0	7.3	61.7	H C
	-5 80~	15.6	16.6	32.2	11.6	56.2	H C
高野 ②	-1 0~17	10.1	18.1	28.2	18.9	52.8	H C
	-2 17~35	11.5	17.7	29.2	11.7	59.2	H C
	-3 35~54	11.4	14.2	25.6	12.7	67.9	H C
	-4 54~75	4.8	11.1	15.9	8.4	75.7	H C
	-5 75~	5.1	11.4	15.5	13.5	69.9	H C
山脇 ③	-1 0~13	12.8	18.4	31.2	12.6	64.6	H C
	-2 13~30	10.7	15.1	25.8	7.2	66.8	H C
	-3 30~50	12.0	14.1	26.1	5.4	68.5	H C
	-4 50~73	11.8	14.2	26.0	6.2	67.8	H C
	-5 73~	10.6	14.7	25.3	4.6	70.1	H C
菅野 ④	-1 0~14	9.9	21.6	31.5	12.6	55.9	H C
	-2 14~29	8.9	18.4	27.3	10.2	62.8	H C
	-3 29~46	7.1	14.8	21.9	5.0	73.1	H C
	-4 46~68	4.2	10.8	15.0	6.1	78.9	H C
	-5 68~	4.8	10.4	15.2	5.3	79.4	H C

### (3) 土壌分析結果

試坑地点土壌の土壌分析結果を第16表に、その他の地点の分析結果を第18表に示した。

pHについて見ると、ヒマワリが栽培されている①、②、③の各圃場の表層のpHは5.3~5.9と矯正されていたが、15cmないし35cmより下層はpH=5.0以下の強酸性であった。ヒマワリの生育は②圃場は正常であったが、①、③の圃場は不良であった。このことから土壌pHとヒマワリ生育には関連があり、ヒマワリの生育を良くするには作土のみならず心土、深さ30cm程度までの酸度矯正が必要と考えられた。

同様なことはその他地点土壌の分析結果においてもみられる。高野②、同③土壌は同一のヒマワリ圃場から採土したもので、②はヒマワリが枯死している畝の表土でpH=4.6、③土壌はそのすぐ隣の畝のヒマワリが未だ生育している部分の表土でpH=5.7であった。

このほか深さ30cm以内にpH=5.0以下の強酸性を示す土層がある圃場は4圃場あるが、これらの圃場では石灰資材による酸度矯正が必要である。このことに関しては、後述のヒマワリ栽培現地試験において検討した。

第16表 アマンバイ地区定点調査土壌の化学性と作物生育

調査地点 No.	層位 (cm)	pH	T-C (%)	T-N (%)	C/N	腐植 (%)	可給態P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	栽培作物 の生育
麻田	①-1 0~15	5.28	0.79	0.09	8.7	1.36	4.1	ヒマワリ 生育不良
	-2 15~34	5.20	0.85	0.10	8.8	1.46	0.3	
	-3 34~52	5.51	1.04	0.07	15.3	1.79	0.2	
	-4 52~80	5.50	0.86	0.06	15.1	1.48	2.5	
	-5 80~	5.41	0.66	0.05	14.7	1.14	0.8	
高野	①-1 0~17	5.86	1.75	0.16	11.2	3.01	0	ヒマワリ 生育良好
	-2 17~35	6.02	1.99	0.17	11.9	3.43	2.1	
	-3 35~54	5.99	2.22	0.17	12.7	3.83	0	
	-4 54~75	6.17	1.14	0.09	12.4	1.96	0	
	-5 75~	5.81	0.62	0.05	12.4	1.06	2.0	
山脇	①-1 0~13	6.02	1.83	0.14	12.9	3.15	0	ヒマワリ やや不良
	-2 13~30	6.01	1.31	0.09	14.3	2.25	0.1	
	-3 30~50	6.18	0.90	0.06	14.5	1.55	1.8	
	-4 50~73	6.03	0.74	0.05	13.9	1.27	0.5	
	-5 73~	6.04	0.62	0.04	14.1	1.07	0	
菅野	①-1 0~14	6.34	1.75	0.17	10.6	3.01	3.6	休 閑
	-2 14~29	6.15	1.21	0.12	10.2	2.09	1.3	
	-3 29~46	6.35	0.90	0.09	9.7	1.56	0.4	
	-4 46~68	6.55	0.62	0.06	9.9	1.07	14.9	
	-5 68~	6.65	0.50	0.05	10.3	0.86	5.7	

第17表 アマンバイ地区定点調査土壌の置換性成分

調査地点	置換性塩基 (mg/100g)				置換性塩基 (me/100g)				全置換性塩基 (me/100g)	
	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O		
麻田	①-1	212.5	9.9	14.8	1.8	7.59	0.49	0.31	0.06	8.45
	-2	41.3	6.8	2.4	2.4	1.47	0.33	0.05	0.08	1.93
	-3	21.3	6.0	6.0	1.8	0.76	0.30	0.13	0.06	1.25
	-4	6.3	3.6	12.3	2.4	0.22	0.18	0.26	0.08	0.74
	-5	5.0	4.1	3.4	2.1	0.18	0.20	0.07	0.07	0.52
高野	-1	207.5	25.3	18.0	3.0	7.41	1.25	0.38	0.10	9.14
	-2	198.8	18.6	39.5	2.6	7.10	0.92	0.84	0.08	8.94
	-3	146.3	3.3	9.4	2.3	5.22	0.16	0.20	0.07	5.67
	-4	38.8	10.5	6.0	3.0	1.39	0.52	0.13	0.10	2.14
	-5	25.0	6.5	2.5	2.9	0.89	0.32	0.05	0.09	1.35
山脇	①-1	156.3	8.6	10.0	2.6	5.58	0.43	0.21	0.08	6.30
	-2	30.0	3.5	1.5	1.8	1.07	0.17	0.03	0.06	1.33
	-3	13.8	3.3	0.9	1.8	0.49	0.16	0.02	0.06	0.73
	-4	36.3	4.8	0.6	1.4	1.30	0.24	0.01	0.05	1.60
	-5	8.8	2.0	1.0	2.0	0.31	0.10	0.02	0.10	0.53
菅野	①-1	220.0	32.9	19.9	3.0	7.86	1.63	0.42	0.06	9.97
	-2	186.3	32.9	10.5	3.1	6.65	1.63	0.22	0.08	8.58
	-3	170.0	36.0	5.6	3.1	6.07	1.79	0.12	0.06	8.04
	-4	142.5	41.4	1.9	2.9	5.09	2.05	0.04	0.08	7.26
	-5	131.3	48.5	1.8	3.0	4.69	2.41	0.04	0.07	7.21

第18表 アマンバイ地区定点以外の土壌の化学性と作物生育

調査地点 No.	層位 層位 (cm)	pH	T-C (%)	T-N (%)	C/N	腐植 (%)	可給態P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	栽培作物 の生育
麻田	②-1 0~15	6.95	2.71	0.22	12.2	4.67	1.8	抜根整地
	-2 15~30	5.51	2.41	0.19	12.4	4.16	1.6	
麻田	③-1 0~15	5.51	1.50	0.11	13.6	2.59	0.4	ヒマワリ 生育正常
	-2 15~30	5.28	1.27	0.10	13.3	2.19	0	
西本	①-1 0~15	6.35	1.95	0.16	12.6	3.37	0	-
	-2 15~30	4.51	0.64	0.08	7.7	1.10	0	
西本	②-1 0~15	5.75	1.55	0.13	11.7	2.67	0	ヒマワリ生育 やや不良
	-2 15~30	6.15	1.30	0.11	12.2	2.24	0	
大石	①-1 0~15	5.58	2.00	0.16	12.4	3.45	6.9	ヒマワリ 生育正常
	-2 15~30	4.51	1.65	0.13	12.3	2.84	1.0	
大石	②-1 0~15	6.25	1.93	0.17	11.7	3.32	4.2	-
	-2 15~30	6.35	1.46	0.12	11.9	2.51	0.6	
高野	②-1 0~15	4.51	0.76	0.06	12.1	1.31	0	ヒマワリ枯死
高野	③-1 0~15	5.99	1.81	0.16	11.6	3.12	3.5	“生育不良
高野	④-1 0~15	4.85	0.93	0.08	11.9	1.60	0	-
川田	①-1 0~15	5.65	1.89	0.16	11.6	3.25	2.4	-
	-2 15~30	4.55	1.18	0.09	12.9	2.03	0.7	
岡部	①-1 0~15	4.99	1.35	0.11	12.5	2.32	0	-
	-2 15~30	4.50	1.05	0.07	14.5	1.82	0	
山脇	②-1 0~15	5.75	2.35	0.19	12.7	4.05	3.9	-
	-2 15~30	4.50	1.70	0.15	11.2	2.93	0	
山脇	③-1 0~15	6.25	3.01	0.25	11.9	5.18	4.5	-
	-2 15~30	6.4	2.66	0.23	11.5	4.58	-	
山脇	④-1 0~15	5.15	2.33	0.19	12.3	4.02	0	-
	-2 15~30	4.25	2.18	0.16	13.6	3.76	0	
山脇	⑤-1 0~15	6.15	2.12	0.16	13.2	3.65	3.1	-
	-2 15~30	6.20	1.39	0.13	11.0	2.39	0	
仙野	①-1 0~15	5.35	0.63	0.07	9.3	1.08	0	-
	-2 15~30	5.40	0.52	0.06	9.2	0.89	0	
仙野	②-1 0~15	5.30	0.70	0.06	10.7	1.20	0	-
	-2 15~30	5.20	0.54	0.05	10.1	0.93	0	

#### 4. イグアス地区における土壌侵蝕に関する実態調査

かつてイグアス地区においても著しかった土壌侵蝕による被害は、不耕起栽培の導入によって減少したが、現在もその被害をうけている圃場も認められる。そこで今後の土壌侵蝕防止の参考にするため、これまでに土壌侵蝕の被害を受けたことのある農家圃場について、聴取調査ならびに現地調査を行った。調査は1994年12月に行った。

##### 1) 調査方法

聴取調査ではこれまでに土壌侵蝕による被害を受けたことのある圃場を地区別に9圃場選定し、土壌侵蝕の発生状況、とった対策、現在の状況などについて調査した。現地調査ではそれぞれの圃場において、土壌侵蝕を受けている場所と受けていない場所で深さ50cmまでの土層の三相分布、団粒分布を比較し、土壌侵蝕を受けやすい土壌条件を明らかにしようとした。調査圃場を第 図に示した。

##### 2) 調査結果

###### (1) 聴取調査結果

9農家について調査した結果を第19表に示したが、現在土壌侵蝕で大きな被害を受けている例は見られなかった。

土壌侵蝕が発生した日時についてみると、入植当初に被害を受けたがその後は目立った被害をうけていないものから、毎年被害をうけているものまで、種々であった。しかし同一降雨による被害が指摘されていないことからみて、被害発生の程度は降雨量のみならず、降雨時の圃場条件も関係しているものと思われた。

傾斜はほぼ平坦なものから8度まであったが、5度以上の圃場では毎年中程度の被害が発生していた。被害面積が15haに及ぶものがあったが、これは1圃場30haとするとその2分の1に相当する面積であり、条件によっては侵蝕被害の著しいことが知られた。侵蝕防止の対策としてはすべて不耕起栽培をあげていた。

第19表 イグアス地区土壌侵蝕に関する聴取調査結果 (1994年 8月)

調査地点	土壌侵蝕発生の日時	圃場の傾斜	面積	とった対策	現在の被害状況
(1) A-1 松永真一	1972年12月降雨120mm	3度	15ha	不耕起栽培	被害なし
(2) A-46 高野 敏	毎年	4度	10ha	不耕起栽培	軽微
(3) C-56 西山功一	1972年12月 不耕起栽培初年	7度	10ha	5m おきに土嚢	中程度
(4) D-60 大西博源	毎年	4度	10ha	不耕起栽培	中程度
(5) E-23 竹内良一	1993年10月 甚 毎年	5度	10ha	不耕起栽培	中程度
(6) F-15 内山新一	1990年11月 甚 毎年		5ha	不耕起栽培	軽微
(7) G-29 黒沢貢次	1994年 9月降雨110mm 毎年		1ha	不耕起栽培	軽微
(8) I-12 久保田洋史	1989年		7ha	不耕起栽培	軽微
(9) L-125 池田広光	1993年 5月 甚	1度	15ha	不耕起栽培	軽微



(2) 現地調査及び土壌分析結果

調査は1994年12月に行ったが、すべての圃場で大豆が栽培されていた。侵蝕面の幅は最大で1m、深さ30cm程度で、大規模な侵蝕はみられなかった。D-60、E-23の両圃場は土性が粗粒質であるため侵蝕をうけた地点では下方の平坦面に大量の砂の堆積がみられた。またC-56圃場では侵蝕の著しい箇所に土嚢を置いて侵蝕の拡大を防いでいたが、小規模の侵蝕は各所で発生していた。

I-12圃場では同一圃場内で耕起栽培と不耕起栽培が行われていたが、上方の耕起栽培部分で発生した土壌侵蝕は下方の不耕起栽培部分に流入して消失していた。

今回の調査、分析では侵蝕部分と正常部分の間に大きな違いは認められなかった。現在の侵蝕地点の第1層は侵蝕を受ける以前の第2層と思われるが、侵蝕前の調査データがないので直接の比較は困難である。今後調査データが蓄積されればより正確な比較が可能となるものと思われる。

第20表 イグアス地区土壌侵蝕被害圃場土壌の物理性 その1.

圃場	土性	水分 (%)	三相分布(%)			飽水度 (%)	団粒分布 (%)						
			固相	液相	気相		>2mm	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1mm>	
A-1	Nor-1	LiC	14.5	47.1	22.1	30.8	41.8	24.4	20.5	21.0	19.1	10.3	4.7
	-2	LiC	18.4	50.9	30.7	18.4	62.5	26.1	26.5	22.5	15.7	8.2	1.0
	-3	LiC	20.2	43.3	30.6	25.1	54.0	37.3	19.5	17.4	13.8	8.8	3.2
A-1	Ero-1	LiC	11.6	42.9	22.1	35.0	38.7	26.7	15.0	19.0	18.3	15.4	5.6
	-2	LiC	21.8	49.5	36.3	14.2	71.9	27.9	19.2	21.4	18.6	10.6	2.3
	-3	LiC	23.8	37.1	32.5	30.4	51.7	14.7	16.9	24.1	25.1	14.0	5.2
A-46	Nor-1	LiC	11.5	58.0	21.1	20.9	50.2	-	-	-	-	-	-
	-2	CL	20.6	52.2	36.4	11.4	76.2	-	-	-	-	-	-
	-3	CL	23.3	48.1	39.5	12.4	76.1	-	-	-	-	-	-
A-46	Ero-1	CL	16.2	51.2	28.5	20.3	58.4	-	-	-	-	-	-
	-2	CL	21.8	46.4	34.6	19.0	64.6	-	-	-	-	-	-
	-3	CL	23.9	43.1	36.8	20.1	64.7	-	-	-	-	-	-
C-56	Nor-1	CL	16.8	50.3	27.5	22.2	55.3	-	-	-	-	-	-
	-2	CL	19.0	58.2	30.5	21.3	73.0	-	-	-	-	-	-
	-3	CL	19.6	43.7	29.6	26.7	52.6	-	-	-	-	-	-
C-56	Ero-1	CL	12.9	61.2	17.7	19.1	45.6	-	-	-	-	-	-
	-2	CL	21.1	46.6	34.4	19.0	64.4	-	-	-	-	-	-
	-3	CL	16.5	44.3	24.8	30.9	44.5	-	-	-	-	-	-
D-60	Nor-1	CL	20.0	52.9	38.8	8.3	82.4	42.2	20.7	16.3	8.2	3.2	9.5
	-2	SCL	19.8	54.7	36.7	8.6	81.0	51.4	9.8	9.9	8.1	6.8	8.0
	-3	SCL	20.9	48.6	38.1	13.3	74.1	30.4	18.5	23.7	17.0	7.9	2.5
D-60	Ero-1	SCL	10.7	54.0	30.2	15.8	65.7	59.7	8.7	10.0	10.2	7.7	3.8
	-2	SCL	19.3	50.0	33.6	16.4	67.2	28.2	13.8	15.6	14.2	15.2	13.1
	-3	SCL	26.5	46.0	44.6	9.4	82.6	67.8	9.2	6.8	6.0	6.8	3.4

Nor: 正常地点 Ero: 侵蝕被害地点 第1層: 0~10cm 第2層: 10~20cm 第3層: 20~30cm

第21表 イグアス地区土壌侵蝕被害圃場土壌の物理性 その2.

圃場	土性	水分 (%)	三相分布(%)			飽水度 (%)	団粒分布 (%)						
			固相	液相	気相		>2mm	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1mm>	
E-23	Nor-1	SL	6.5	78.0	10.7	11.3	48.6	4.7	1.2	3.0	36.7	44.4	10.0
	-2	SL	6.4	67.1	12.2	20.7	37.1	9.6	1.7	7.7	37.1	37.4	6.4
	-3	SL	7.3	65.1	13.7	21.2	39.3	0.9	0.8	6.3	41.6	38.6	11.8
E-23	Ero-1	SL	7.6	73.9	14.1	12.0	54.0	1.1	0.9	5.7	40.9	42.4	9.0
	-2	SL	7.6	62.7	12.3	25.0	33.0	6.1	3.2	12.0	43.1	29.1	6.6
	-3	SL	11.6	54.7	20.0	25.3	44.2	3.3	4.2	14.1	41.4	27.2	3.8
F-15	Nor-1	CL	15.4	48.0	24.9	27.1	47.9	-	-	-	-	-	-
	-2	CL	17.5	49.6	29.8	20.6	59.1	-	-	-	-	-	-
	-3	CL	18.6	45.3	29.9	24.8	54.7	-	-	-	-	-	-
F-15	Ero-1	CL	15.1	53.2	26.5	20.3	56.6	-	-	-	-	-	-
	-2	CL	19.3	50.4	32.2	17.4	64.9	-	-	-	-	-	-
	-3	CL	24.2	45.3	39.8	14.9	72.8	-	-	-	-	-	-
G-29	Nor-1	L	11.4	63.9	22.6	13.5	62.6	-	-	-	-	-	-
	-2	L	17.8	50.3	32.1	17.6	64.6	-	-	-	-	-	-
	-3	L	21.2	51.2	36.6	12.2	75.0	-	-	-	-	-	-
G-29	Ero-1	L	20.4	56.1	36.9	7.0	84.1	-	-	-	-	-	-
	-2	L	25.1	41.1	40.1	18.8	68.1	-	-	-	-	-	-
	-3	L	18.0	47.9	32.1	20.0	61.6	-	-	-	-	-	-
I-12	Nor-1	CL	21.9	39.2	31.4	29.4	51.6	62.7	16.9	10.8	6.3	3.5	0.6
	-2	CL	19.0	52.0	35.2	12.8	73.3	36.3	14.8	13.4	13.0	11.2	11.3
	-3	CL	19.8	49.4	35.3	15.3	69.8	25.1	28.1	25.7	14.8	5.9	0.5
I-12	Ero-1	CL	21.1	49.3	35.7	15.0	70.4	49.8	14.4	12.2	11.1	9.8	5.6
	-2	CL	20.5	50.1	37.9	12.0	76.0	-	-	-	-	-	-
	-3	CL	21.7	47.3	38.4	14.3	72.9	-	-	-	-	-	-
L-125	Nor-1	L	14.7	58.3	26.9	14.8	64.5	19.8	9.1	15.2	21.8	22.1	12.1
	-2	L	15.6	57.2	29.2	13.6	68.2	14.8	10.0	22.2	24.4	17.8	10.8
	-3	L	16.8	53.1	30.1	16.8	64.2	21.8	11.6	22.0	25.6	14.6	4.3
L-125	Ero-1	L	13.6	61.3	26.0	12.7	67.2	18.3	12.5	15.2	16.9	19.9	17.3
	-2	L	16.2	49.3	29.5	21.2	58.2	33.7	14.4	12.6	11.5	13.2	14.6
	-3	L	21.8	38.7	36.4	24.9	59.4	22.2	13.5	19.1	19.9	15.9	9.4

## 5. イグアス地域の河川、湖沼、地下水などの水質調査

最近東部パラグアイにおいても農地造成が進んで森林が減少するとともに都市化が進行し、農地に対する肥料・農薬などの使用量も増加してきている。また土壌保全は水質環境の保全にも密接な関連があるところから、イグアス地域の水質についても検討することとした。

### 1) 調査方法

調査地点を第22表に示した。

第22表 イグアス地域水質調査採水地点

試料	採水地点
1. イグアス湖中央	km 48 Calle 20 先端
2. イグアス湖水門	イグアス湖水門
3. アカラウ川	km 37 Calle 先端
4. モンダウ川	Ruta 6 モンダウ橋
5. ピクボ川	ピクボ川下流 Camino 5 橋
6. サントドミンゴ川	サントドミンゴ川下流 橋
7. km 37 井戸水	イグアス市郊外自家用井戸水
8. km 41 井戸水	イグアス市街地自家用井戸水
9. イグアス市水道水	イグアス市水道水
10. CETAPAR 水道水	CETAPAR 自家用水道水

調査項目は土壌保全と関連する項目のみとし、土壌流亡を示す蒸発残渣、水質汚濁の指標としての化学的酸素要求量(COD)、肥料成分の溶脱に関連する電気伝導度(EC)、し尿混入のめやすとなる大腸菌群数などとした。

調査は1995年3月から3ヶ月毎に行った。分析方法は次のようである。

pH : pHメーター ORION 420A 使用。

電気伝導度 : 電気伝導度計 TOA CM-20A 使用。

化学的酸素要求量 : 200ml三角フラスコに水50mlをいれ、これに1:2 硫酸10ml、N/40過マンガン酸カリ10mlを加え、沸騰水浴中で30分間加熱する。次にN/40シュウ酸10mlを加えて脱色したのちN/40過マンガン酸カリで微紅色を呈するまで滴定

蒸発残渣 : 水 500mlをビーカーにいれ、はじめ水浴上ついで乾燥器中で乾燥し秤量

大腸菌群数 : 大腸菌試験紙使用

### 2) 調査結果

調査開始以1998年1月現在までの測定結果を第23表、第13図以下に示した。

2) 調査結果

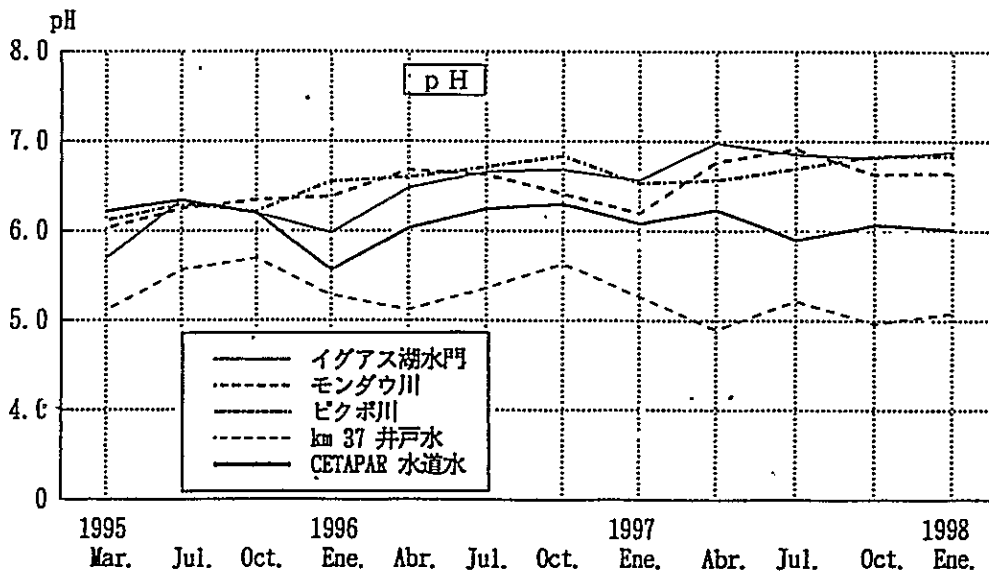
(1) pH

pHの推移を第23表に示した。また第13図はそれぞれの水のうちの代表的なもの1か所の推移を示したものである。pHはわずかな変動はあるが、ほぼ同じ傾向で推移している。すなわちイグアス地域の 大河川、小河川のpHは 5.7~6.9 で推移し、全測定期間を平均すると、いずれもpH= 6.5である。自家用井戸水のpHは低く、全測定値の平均はpH= 5.3であった。

CETAPAR 水道水は深さ約200mの地下水であってpH=5.6 ~6.4、平均6.10で変動は極めて小さく、水質の安定していることを示している。イグアス市水道水も深さ200mの地下水であるが、そのpHはCETAPAR 水に比較して高い。これは後述するようにカルシウム、マグネシウムなどの塩基類の濃度が高いためである。

第23表 イグアス地域の水質の推移 1. pH

試料	1995		1996				1997				1998	
	Mar.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.
1. イグアス湖中央	5.69	6.27	6.30	6.11	6.31	6.36	6.60	6.33	6.56	6.16	6.74	7.00
2. イグアス湖水門	5.70	6.35	6.20	5.98	6.48	6.66	6.69	6.56	6.99	6.85	6.82	6.88
3. アカラウ川	5.95	6.10	6.30	6.12	6.57	6.92	6.30	6.34	7.00	6.57	6.79	6.67
4. モンダウ川	6.03	6.25	6.35	6.39	6.69	6.64	6.41	6.20	6.77	6.91	6.64	6.65
5. ビクボ川	6.11	6.30	6.22	6.55	6.60	6.72	6.83	6.53	6.95	6.70	6.84	6.83
6. サントドミンゴ川	5.76	6.53	6.72	6.32	6.65	6.32	6.27	6.86	6.07	6.15	-	6.32
7. km 37 自家用井戸水	5.11	5.56	5.70	5.28	5.11	-	5.63	-	4.90	5.21	4.97	5.08
8. km 41 自家用井戸水	5.30	5.70	5.68	4.84	5.45	5.53	5.59	-	5.39	-	5.51	5.38
9. イグアス市水道水	6.08	6.30	6.22	6.45	6.92	6.86	6.88	6.35	6.80	6.96	6.08	6.74
10. CETAPAR 水道水	6.22	6.35	6.20	5.57	6.03	6.25	6.30	6.09	6.24	5.90	6.06	6.01



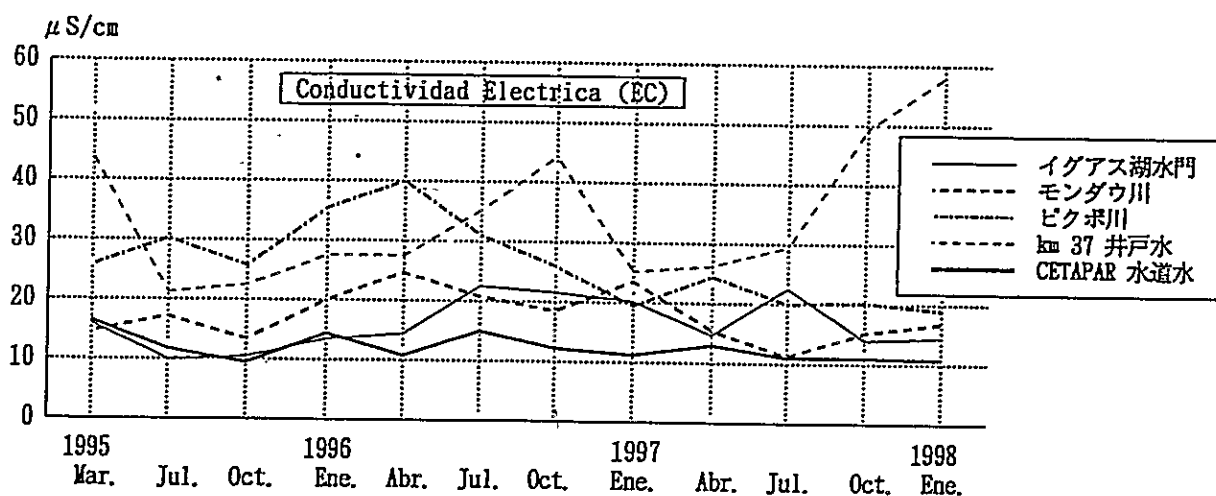
第13図 イグアス地域の水質の推移 1. pH

## (2) 電気伝導度

電気伝導度を第24表、第14図に示したが、河川ではアカラウ川とサントドミンゴ川の電気伝導度が低い。電気伝導度の上昇は無機、有機のイオン類の増加によるものであるが、両河川の電気伝導度の低いのは、これらの川の流域には集落や農地が少ないためと考えられる。これにたいしモンダウ川と km 37 自家用井戸水の電気伝導度が高く、その変動も大きい。モンダウ川はイグアス地域の南側の標高の最も低い地域を流れており、イグアス地域のすべての表面水がこれに流入する。したがって上流部分の水質の変化が結果的にモンダウ川の水質に集約されることになる。モンダウ川はエステ市南部の水も集めてパラナ川に流入するから、モンダウ川の水質浄化は今後の大きな問題となるであろう。

第24表 イグアス地域の水質の推移 2. 電気伝導度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

試料	1995			1996				1997				1998
	Mar.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.
1. イグアス湖中央	13.1	14.0	22.0	13.9	13.8	20.5	13.1	13.0	10.7	10.2	12.4	11.2
2. イグアス湖水門	16.0	10.0	10.4	13.4	14.6	22.5	21.4	20.3	14.7	22.6	14.0	14.4
3. アカラウ川	12.5	8.1	11.8	13.4	14.3	20.1	11.5	12.9	11.1	9.5	11.3	10.8
4. モンダウ川	14.8	17.3	13.6	20.1	24.8	20.7	18.4	23.5	15.6	11.3	15.3	16.7
5. ピクボ川	25.7	30.3	25.8	35.5	39.9	30.9	26.1	19.4	24.6	20.0	20.3	19.0
6. サントドミンゴ川	8.7	12.1	9.6	14.5	14.9	10.5	9.3	7.5	7.0	6.2	-	10.9
7. km 37 自家用井戸水	43.7	21.3	22.4	27.4	27.4	-	44.2	-	26.2	29.5	49.3	58.0
8. km 41 自家用井戸水	9.5	6.5	9.7	10.6	10.5	13.3	8.5	-	7.7	-	8.8	8.8
9. イグアス市水道水	39.5	38.1	30.5	41.2	41.2	40.5	37.4	32.0	30.8	42.3	34.6	36.8
10. CETAPAR 水道水	16.5	11.7	9.5	14.4	10.7	15.1	12.3	11.3	13.0	10.9	11.0	10.8



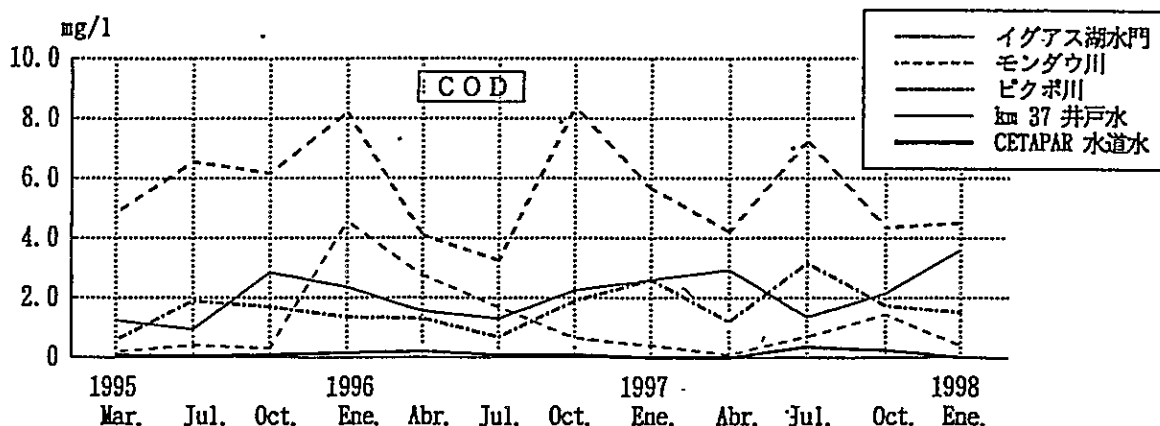
第14図 イグアス地域の水質の推移 2. 電気伝導度

(3) COD

CODの推移を第25表、第15図に示した。全測定期間を通じてCODが最も高く推移していたのはモンダウ川、次いでアカラウ川、サントドミンゴ川の順であった。COD値は一般に生活排水の混入による富栄養化の指標として用いられている。しかしアカラウ川、サントドミンゴ川は人口の少ない地帯を流れていることから、これは生活排水によるものではなく、流域に広く分布する低湿地からの未分解有機物の混入によるものではないかと思われる。モンダウ川の場合もその上流は川というよりも沼に近い状態で水性雑草が繁茂しており、これが降雨などにより流出するときにCOD値を上昇させるものと考えられる。しかしイグアス湖とピクボ川のCODの上昇はもっぱら人為的なものであるため、これらの水のCODの推移には十分留意する必要がある。

第25表 イグアス地域の水質の推移 3. COD (mg/l)

試料	1995			1996				1997			1998	
	Mar.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.
1. イグアス湖中央	1.00	1.77	2.14	3.03	1.83	1.30	2.66	2.64	2.36	2.04	3.74	3.20
2. イグアス湖水門	1.25	0.95	2.86	2.34	1.56	1.30	2.26	2.60	2.96	1.34	2.14	3.60
3. アカラウ川	2.24	3.97	2.60	3.54	1.57	1.66	8.46	4.80	3.00	5.99	1.34	5.30
4. モンダウ川	4.86	6.56	6.16	8.18	4.10	3.25	8.42	5.64	4.20	7.24	4.34	4.50
5. ピクボ川	0.62	1.91	1.68	1.35	1.32	0.70	1.88	2.60	1.20	3.14	1.74	1.50
6. サントドミンゴ川	3.24	3.30	4.16	3.25	2.38	1.55	3.68	4.64	2.30	4.34	-	3.00
7. km 37 自家用井戸水	0.20	0.41	0.32	4.57	2.77	-	0.66	-	0.10	0.70	1.44	0.40
8. km 41 自家用井戸水	0.20	0.40	0.56	0.91	0.33	1.22	0.18	-	0	-	0.24	0
9. イグアス市水道水	0.20	0.06	0.06	0.18	0.21	0.10	0.10	0.04	0	0.70	0.34	0
10. CETAPAR 水道水	0.10	0.04	0.12	0.14	0.20	0.09	0.10	0	0	0.34	0.24	0



第15図 イグアス地域の水質の推移 3. COD

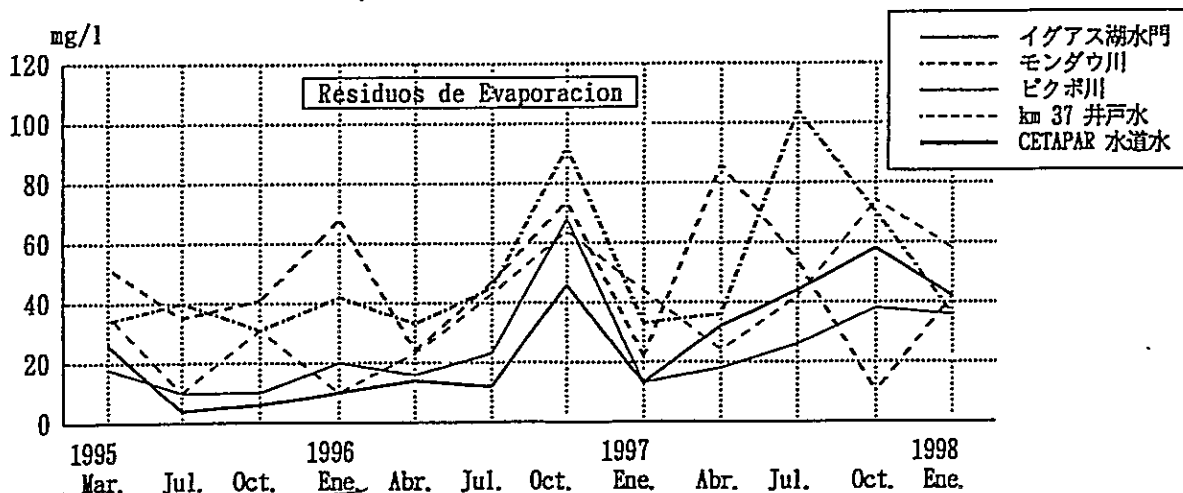
(4) 蒸発残渣

蒸発残渣の推移を第26表、第16図に示した。蒸発残渣は水の中に存在する固形物と溶解している成分との総量であるが、これが最も高く推移しているのはピクボ川で 50mg/l、次いでモンダウ川 46mg/l で 50mg/lを超えるものはなく、全体として蒸発残渣は小さいといえる。降雨後など水に濁りがみられるがこれは一時的なもので、多量の土壌が蒸発残渣に混入している例はみられなかった。

蒸発残渣の平均がもっとも低かったのはサントドミンゴ川の 23mg/l であるが、この川の水は常時暗緑色に着色していた。これは他の川でもある程度認められる現象であるが、サントドミンゴ川の場合高いCOD値を示すことからみて有機物分解生成物の影響と思われる。有機物は電気伝導度を上昇させず、また比重が小さいから蒸発残渣としての値は低い、外観的に水質を低下させる大きな要因と考えられる。

第26表 イグアス地域の水質の推移 4. 蒸発残渣 (mg/l)

試料	1995			1996				1997				1998	
	Mar.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.	
1. イグアス湖中央	42	25	60	26	40	52	48	5	26	26	54	40	
2. イグアス湖水門	18	10	10	20	16	23	68	13	18	26	38	36	
3. アカラウ川	60	31	17	28	8	28	76	24	22	60	56	42	
4. モンダウ川	52	35	41	68	24	47	74	22	86	54	10	42	
5. ピクボ川	34	40	31	42	33	45	92	33	36	104	70	36	
6. サントドミンゴ川	32	14	11	32	12	23	42	15	14	28	-	24	
7. km 37 家用井戸水	36	10	31	10	23	-	64	-	24	42	74	58	
8. km 41 家用井戸水	10	4	9	4	12	14	52	-	16	-	104	28	
9. イグアス市水道水	44	44	28	36	28	35	38	18	30	72	64	60	
10. CETAPAR 水道水	26	4	6	10	14	12	46	13	32	44	58	42	



第16図 イグアス地域の水質の推移 4. 蒸発残渣

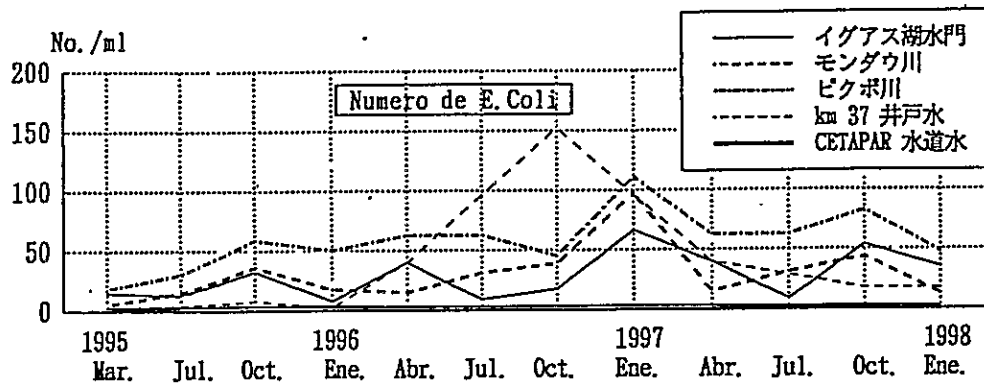
(5) 大腸菌群数

大腸菌群数の推移を第27表、第17図に示したが、イグアス市水道水とCETAPAR 水道水以外のすべての水で大腸菌群が検出された。最も多く検出されたのはピクボ川、次いでサントドミンゴ川で小河川ほど大腸菌群数による汚染が著しい。また自家用井戸水以外の水では大腸菌群数が増加する傾向がみられる。

本調査では大腸菌群数を試験紙法により測定し、水 1 ml 中の大腸菌群個体数で表示しているが、公式には水100 ml中の個体数で表示することになっている。したがって試験紙法で 1/mlであった場合は 100/100mlとなり、汚染が進んでいることを示していると思われる。

第27表 イグアス地域の水質の推移 5. 大腸菌群数 (個/ml)

試料	1995			1996			1997			1998		
	Mar.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.
1. イグアス湖中央	4	12	23	15	43	20	3	40	42	26	16	10
2. イグアス湖水門	15	7	32	7	40	9	17	66	40	9	54	35
3. アカラウ川	4	15	18	9	36	13	8	48	36	13	27	56
4. モンダウ川	5	30	36	18	15	31	39	98	15	31	44	13
5. ピクボ川	19	25	59	50	62	63	45	111	62	63	82	47
6. サントドミンゴ川	13	4	36	30	65	32	24	77	65	32	-	56
7. km 37 自家用井戸水	3	38	7	3	40	-	152	-	40	-	17	-
8. km 41 自家用井戸水	98	0	39	54	13	35	38	-	13	35	5	53
9. イグアス市水道水	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10. CETAPAR 水道水	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



第17図 イグアス地域の水質の推移 5. 大腸菌群数



### 3) 考察

イグアス地域の自然環境の保全をはかるための基礎資料とする目的で、10地点において3か月毎の水質調査を実施してきた。これまでに得られた結果を総合するとイグアス地域の水は電気伝導度で示される無機イオン類は少ないが、CODで示される有機物濃度の高いことが明らかとなった。この場合の有機物は人為的な負荷よりも、低湿地からの分解有機物の流入によるものが大きいと考えられる。

パラグアイの小河川は一般に標高差の小さな地域を流下するため蛇行しており、流域には広大な低湿地を伴う。繁茂する植物は年間を通じて生長、分解を繰り返し、一部の水溶性有機物は河川水に混入する。モンダウ川の場合はこれにイグアス市街地や付近の集落からの生活排水も流入するからCOD値の上昇は今後も続くものと考えられる。

大腸菌群は水道水を除くすべての表面水、井戸水で検出された。イグアス地域は水道の普及率が低く、市街地外ではほとんどの家で自家用井戸を使用している。最近では深度100mを超えるものもあるが、大部分は十数メートルの浅井戸である。今後飲料水として使用する水については大腸菌群のほか農薬や除草剤汚染の有無などについても調査することが必要となろう。

この調査は、社協への指導範囲内では、

## 第2章 長期輪作体系が地力維持に及ぼす効果

東部パラグアイの日系農家においては現在不耕起による大豆小麦体系がひろく行われ、経済的な安定がはかられるとともに、パラグアイ農業の先進地帯としてパラグアイ農業の発展に大きく貢献している。この栽培体系は ①豆科作物の栽培によって富化された窒素的地力を他作物の生育に効果的に利用できる、②播種から収穫乾燥調製まで大型機械による一貫作業体系が可能で、大規模経営に適している、③常時土壌表面が被覆されているため発芽、初期生育が促進されるとともに、土壌侵蝕、連作障害防止など、環境保全の面での効果が大きい、などの多くの利点がある。

しかしその一方で、夏作として常に大豆が入る本栽培法は土壌肥沃度維持の点からみると完全とはいえず、永続農法としてより好ましい栽培体系があるのではないか、という問題が提起されてきた。そしてイグアス地域の一部の農家では永続農法という名称で、野生大根などをとり入れた輪作栽培が大規模に行われるようになってきている。このような問題に対処するため、土壌保全部門では1994年から下記のような長期輪作体系試験を実施するとともに、これに関連する試験を実施することとした。

### 1. 大豆・小麦体系に永年牧草などを導入した輪作体系と地力維持効果

本試験は大豆小麦体系を①標準体系とし、これにマイス、ヒマワリをとり入れた②2年5作体系、さらに永年牧草を1年、または3年栽培し、その後大豆小麦体系とする③草地1年体系、④草地3年体系の4栽培体系について、これが地力維持におよぼす効果について検討した。この場合の草地は販売可能な粗飼料生産を目的とするもので、試験結果も可及的速やかに実際の営農に適用できるよう、試験規模を2haとし、諸作業もすべて大型機械で行うこととした。

長期の継続試験であるため、土壌改良は試験開始前に行っておく必要がある。しかし炭カル、ヨーリンなどの土壌改良資材は土壌混和を前提としており、不耕起栽培圃場で表面散布した場合の効果は不明である。このようなことから試験区としては初年目のみ資材鋤込みのための耕起区と表面散布の不耕起区を設け、2年目以降はすべて不耕起栽培法で管理した。この場合作物生育ははじめ耕起、不耕起で異なったがその後差は小さくなったので、3年目以降はすべて不耕起区として扱った。土壌分析値については初期から耕起区、不耕起区の平均値で表示した。

#### 1) 試験方法

##### (1) 試験区の構成

試験区の構成を第28表に示した。

第28表 長期輪作体系試験の試験区構成 その1. 1年目及び2年目

改良資材 施用の有無	資材施用法 耕起方法	試験区名	処理の概要
1.		①大豆・小麦体系区	栽培作物
2.	1年目から	②マイス、ヒマワリ2年5作体系区	① 大豆・小麦体系区
3.	不耕起栽培	③草地1年・3年輪作体系区	大豆、小麦の二毛作体系
4. 改良資材 無施用		④草地3年・6年輪作体系区	② マイス、ヒマワリ2年5作体系区 試験開始1年目の冬作としてマイ ス、ヒマワリを栽培、ほかの2年 間は大豆小麦体系の3年輪作体系
5.	1年目のみ	①大豆・小麦体系区	
6.	耕起	②マイス、ヒマワリ2年5作体系区	
7.		③草地1年・3年輪作体系区	③ 草地1年・3年輪作体系区
8.		④草地3年・6年輪作体系区	試験開始1年目アルファルファ栽 培、その後2年間は大豆小麦体系 の3年輪作体系
9. 1994年11月	改良資材	①大豆・小麦体系区	
10. (試験開始時)	表面散布	②マイス、ヒマワリ2年5作体系区	④ 草地3年・6年輪作体系区
11. タンカル2t/ha		③草地1年・3年輪作体系区	最初の3年間はアルファルファ栽 培、その後3年間は大豆小麦体系 の6年輪作体系
12. ヨーリン 300kg/ha施用		④草地3年・6年輪作体系区	
13. 1996年3月	改良資材	①大豆・小麦体系区	改良資材施用
14. 改良資材	鋤込施用	②マイス、ヒマワリ2年5作体系区	pHの低下が著しいので1996年3月 同量の改良資材を再度施用した。
15. 同量施用		③草地1年・3年輪作体系区	
16.		④草地3年・6年輪作体系区	

第29表 長期輪作体系試験の試験区構成 その2. 3年目以降

改良資材施用の有無	試験区名
1.	①大豆・小麦体系区
2. 改良資材	②マイス、ヒマワリ2年5作体系区
3. 無施用	③草地1年・3年輪作体系区
4.	④草地3年・6年輪作体系区
5.	①大豆・小麦体系区
6. 改良資材	②マイス、ヒマワリ2年5作体系区
7. 施用	③草地1年・3年輪作体系区
8.	④草地3年・6年輪作体系区

(2) 年次別栽培作物および耕種概要

年次別栽培作物とその耕種概要を第30表以下に示した。

第30表 輪作体系試験における年次別栽培作物

試験区	94/95 夏作	1995 冬作	95/96 夏作	1996 冬作	96/97 夏作	1997 冬作
①大豆小麦区	大豆	小麦	大豆	小麦	大豆	小麦
②2年5作区	大豆	マيس ヒマワリ	大豆	小麦	大豆	マيس、ヒマワリ
③草地1年区	アルファルファ	アルファ	大豆	小麦	大豆	小麦
④草地3年区	アルファルファ	アルファ	アルファ	アルファ	アルファ	アルファ

第31表 輪作体系試験 耕種概要 その-1

	1994/95夏 大豆	1995冬 小麦	1995/96 夏 大豆	1996冬 小麦	1996/97 夏 大豆	1997 冬 小麦
品 種	BR-4	Anahuac	BR-16	Anahuac	BR-16	Anahuac
播種期	94.12.19	95.6.26	95.11.14(12.26)	96.5.25	96.10.27	97.5.28
播種法	33cm条播	12cm条播	33cm条播	12cm条播	33cm条播	12cm条播
播種量	70kg/ha	130kg/ha	70kg/ha	130kg/ha	70kg/ha	130kg/ha
施 肥	化成(18-46-0) 250kg/ha	化成(18-46-0) 200kg/ha	無肥料	化成(18-46-0) 250kg/ha	無肥料	化成(18-46-0) 200kg/ha
収穫期	95.4.24	95.10.26	96.4.3(4.25)	96.10.10	97.3.27	97.9.20

( )は2年5作体系区のヒマワリ跡

第32表 輪作体系試験 耕種概要 その-2

	1994/95 夏～ アルファルファ	1995冬 マيس	1995冬 ヒマワリ	1997冬 マيس	1997冬 ヒマワリ
品 種			G-104		G-104
播種期	94.11.30	95.4.30	95.7.14	97.4.25	97.6.15
播種法	散播後ディスク混和	80×20点播	80×20cm点播	80×20点播	80×20cm点播
播種量	5kg/ha	130kg/ha	35kg/ha	130kg/ha	35kg/ha
施 肥	化成(18-46-0) 200kg/ha刈取毎分施	無肥料	化成(12-12-17-2) 200kg/ha	無肥料	化成(18-46-0) 200kg/ha
収穫期	年6回	刈り倒し	95.11.28	刈り倒し	97.11.25

## 2) 試験結果

### (1) 年次別作物収量

輪作体系試験開始以来の年次別の作物収量を第33表に示した。平均の大豆収量についてみると資材無施用区の場合、大豆小麦区 4.10t/ha、草地1年区 4.13t/ha であったのにたいし、2年5作区の収量は 3.45t/ha であった。資材施用区においても同様な傾向があり、他区に比し2年5作区の大豆収量が劣った。しかし2年5作区の花マワリ収量は資材無施用区 2.70t/ha、資材施用区 3.02t/ha といずれも同期の小麦収量を上回っており、収益的には2年5作区が優ったと考えられる。資材施用の有無と大豆収量の関係についてみると、資材無施用区平均 4.02t/ha、資材施用区平均 4.30t/ha で資材施用の効果がみられた。

小麦収量は処理間よりも年次間差が大きく、資材施用の効果も見られなかった。大豆小麦区についてみると資材無施用区平均 2.64t/ha、資材施用区平均 2.67t/ha であり、また全区平均では資材無施用区 2.84t/ha、資材施用区 2.77t/ha であった。

アルファルファ収量には資材施用の効果が大きく現れていた。すなわち草地3年区における全乾草量は資材無施用区 23.3t/ha にたいし、資材施用区 37.1t/ha で60%の増収であった。また増収率の推移についてみても、1年目 5%、2年目 38%、3年目 46%で、改良資材の効果が増大する傾向がみられた。

第33表 輪作体系試験年次別収量

試験区		94/95 夏作	95冬作	95/96 夏作	96冬作	96/97 夏作	97冬作
1. 資材	大豆小麦区	大豆 3.40	小麦 2.26	大豆 4.33	小麦 4.30	大豆 4.58	小麦 1.37
2. 無施用	2年5作区	大豆 3.23	Grs1 2.70	大豆 2.70	小麦 4.40	大豆 4.41	Grs1 1.94
3. "	草地1年区	Alfa 2.13	Alfa 3.49	大豆 4.13	小麦 4.00	大豆 4.13	小麦 1.43
4. "	草地3年区	Alfa 2.19	Alfa 4.46	Alfa 6.04	Alfa 6.65	Alfa 4.64	Alfa 3.96
5. 資材	大豆小麦区	大豆 3.66	小麦 2.36	大豆 4.38	小麦 4.25	大豆 4.83	小麦 1.40
6. 施用	2年5作区	大豆 3.46	Grs1 3.02	大豆 2.92	小麦 3.80	大豆 4.74	Grs1 1.89
7. "	草地1年区	Alfa 2.41	Alfa 4.28	大豆 4.46	小麦 4.15	大豆 4.56	小麦 1.41
8. "	草地3年区	Alfa 2.50	Alfa 4.50	Alfa 9.25	Alfa 8.29	Alfa 6.44 <sup>†</sup>	Alfa 6.13

### (2) 土壌断面調査結果

第1期の3年間の試験が終了した1997年10月に行った土壌断面調査の結果を土壌断面柱状図として第18図に示した。試験区 1. 3. 5. 7. の各区は小麦跡であり、2. 6. 区は花マワリ跡、4. 8. 区はアルファルファ跡であるが、柱状図には栽培作物の影響が強く現れており、資材施用の有無の違いは認められなかった。

層位についてみると、各区とも表層部にはA1層に相当する 3~5cm のやや膨軟な土層があり、その下に10cm程度のA2層が認められた。B1層に相当する部分の土壌硬度は23~27で他の層位に比較してやや大きい、これが根の透入に影響を与える硬度とは考えられない。50cmから下層はB2層となり、土色は明るくなり赤みが増加する。

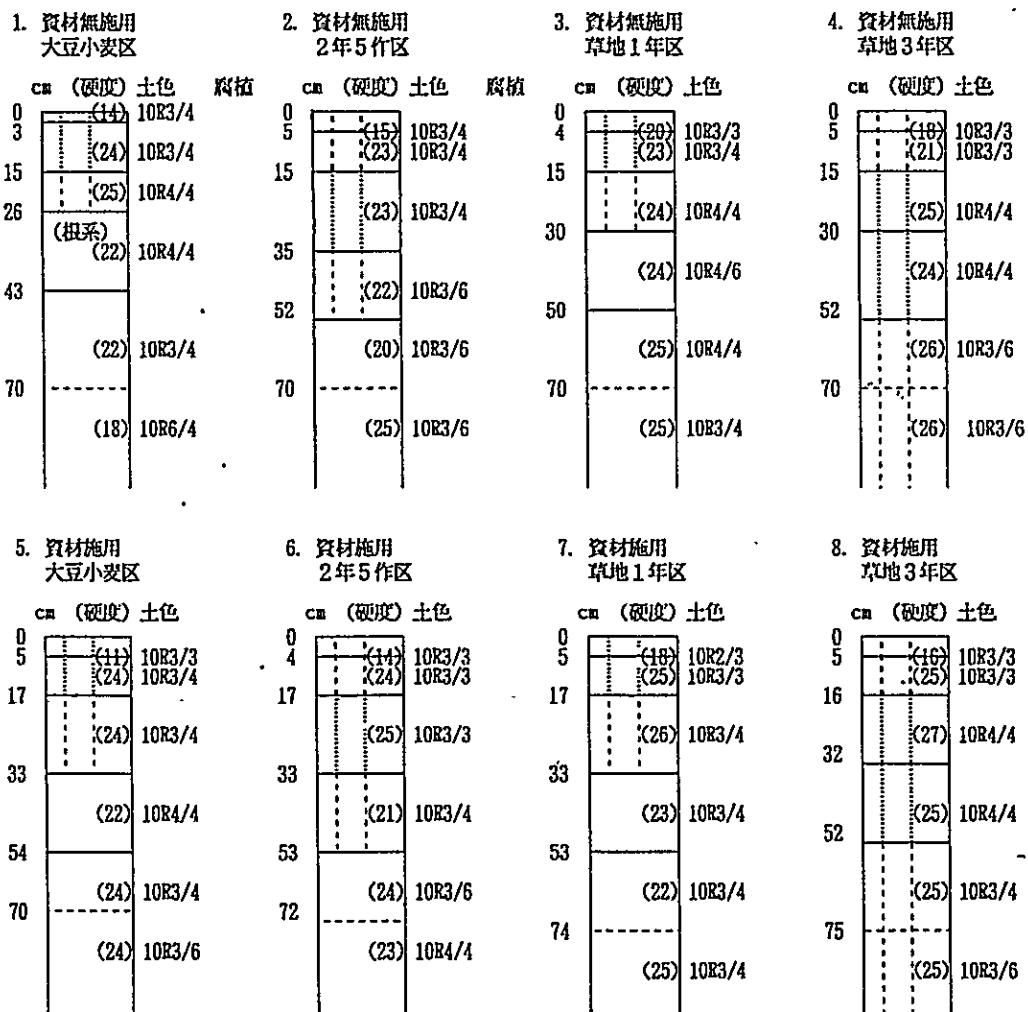
アルファルファの根は1m以下の土層にも認められたが、これは3年間継続して栽培した結果と思われる。2年5作区では50cmまで、  
では30cm程度であっ

(2) 土壤断面調査結果

第1期の3年間の試験が終了した1997年10月に行った土壤断面調査の結果を土壤断面柱状図として第18図に示した。試験区 1. 3. 5. 7. の各区は小麦跡であり、2. 6. 区はヒマワリ跡、4. 8. 区はアルファルファ跡であるが、柱状図には栽培作物の影響が強く現れており、資材施用の有無の違いは認められなかった。

層位についてみると、各区とも表層部にはA1層に相当する 3~5cm のやや膨軟な土層があり、その下に10cm程度のA2層が認められた。B1層に相当する部分の土壤硬度は23~27で他の層位に比較してやや大きいが、これが根の透入に影響を与える硬度とは考えられない。50cmから下層はB2層となり、土色は明るくなり赤みが増加する。

アルファルファの根は1m以下の土層にも認められたが、これは3年間継続して栽培した結果と思われる。2年5作区では50cmまで根が認められたが、これにはマイスの効果もあったのではないかと思われる。小麦跡の各区では30cm程度であったが、大豆跡調査の場合には根はより下層にまで透入していたと考えられる。



第18図 輪作体系試験土壤断面柱状図 1997年10月調査

### (3) 化学的性質

土壌断面調査において採取した土壌の化学的性質を第34表に示した。pHについてみると資材無施用区の場合、草地3年区をのぞく第1層の平均pH=5.84、第2層平均pH=5.83であった。しかし草地3年区はpH=5.31の強酸性を呈しており、資材無施用でアルファルファを栽培するときは表土のpHの低下することを示していた。これにたいし資材施用区第1層平均はpH=6.37、また第2層はpH=6.03で資材施用によりpHの上昇がみられた。しかし第3層以下の土層のpHに差はみられなかった。有機物含量は草地区表土がむしろ低く、また改良資材施用により有機物含量の低下する傾向がみられた。

可給態リン酸は改良資材施用の有無に拘らず、ヒマワリ跡の2年5作区、アルファルファ跡の草地3年区では全層存在していなかった。これはヒマワリ、アルファルファが土壌中の可給態リン酸のほとんどを吸収したためと思われる、これらの作物のリン酸吸収力の大きいことを示すとともに、これらの作物の栽培跡のリン酸施用の重要性を示すものと思われた。置換性成分では改良資材施用により第1層、第2層の置換性カルシウム含量は増加するが、第3層以下の土層では差はみられなかった。またpH=5.5以下の強酸性を示す土層の置換性カルシウム含量はいずれも100mg以下であった。

### (4) 三相分布

pF=1.5に調整した試料について測定した三相分布を第35表、第19図に示した。固相についてみると一般に第2層、第3層の値が大きく、第4層以下では小さいが、資材無施用・草地1年区、草地3年区ではこの傾向は見られない。これはアルファルファの根の透入によって下層土が酸化脱水され、その結果固相の比率が増大したためではないかと思われる。

### (5) 団粒分布

団粒分布の測定結果を第36表、第20、21図に示したが、すべての土壌で大粒径のものほど多かった。これは測定に先立ち土壌を4.0mmで篩別しているため、土塊として残っているものをも含んでいるためと考えられる。そこで0.5~0.1mmの部分耐水性団粒としてみると、この部分の含量が25%を超えたのは2年5作区第1層(25.4%)と草地3年区の第1層(26.4%)であった。またこの粒径の団粒は表層に多く下層に少ない傾向があるが、草地1年区や草地3年区では15%以上の値を示す場合があった。これらのことからするとミス、ヒマワリ、アルファルファなどの導入は表層、あるいは下層の粒径0.5~0.1mmの団粒を増加させる働きがあるのではないかと考えられた。

### (6) pF水分値

pF水分値の測定結果を第37表、第22、23図に示した。各試験区の土壌に共通していたのは深さ30cmまでの層位のpF水分値が低いのにたいし、それ以下の層位では高いことであった。これを第1層~第3層と、第4層~第6層の平均値でみると、pF=0では大豆小麦区それぞれ25.9%、33.8%、また草地3年区27.2%、32.6%、pF=2.7では、大豆小麦区19.2%、25.2%、また草地3年区19.0%、27.5%で、表層部と下層部で5~8%の差がみられた。

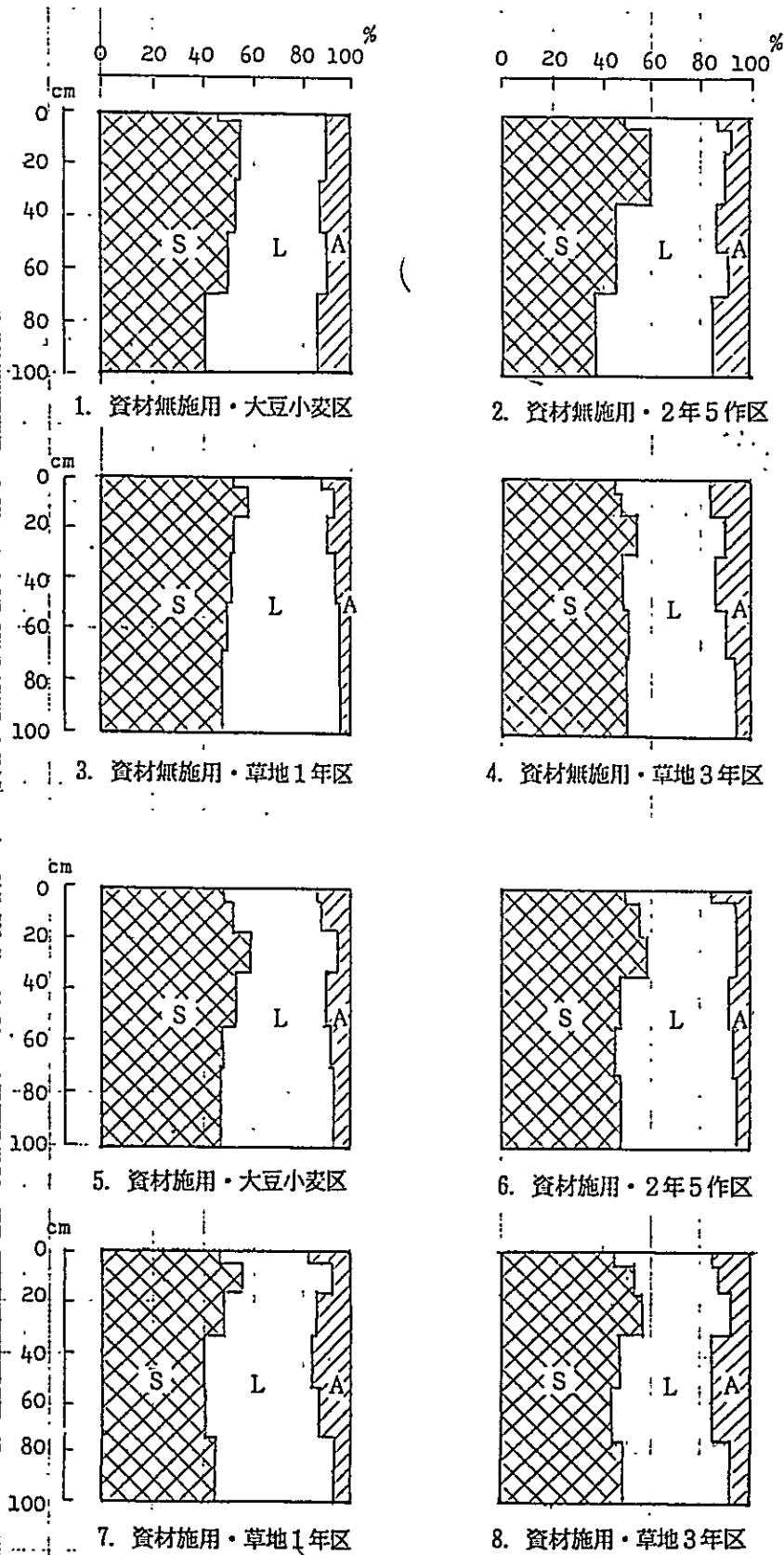
第34表 輪作体系試験土壌の化学性 (1997. 10. 15採土)

試験区	層位	pH	T-C (%)	腐植 (%)	可給態磷酸 (mg/100g)	置換性塩基 (mg/100g)			全置換性塩基 (me/100g)	
						CaO	MgO	K <sub>2</sub> O		
改良資材 無施用区	1. 大豆小麦区	1.	5.98	0.78	1.35	1.60	143.8	21.4	35.8	6.96
		2.	5.78	0.60	1.05	5.10	128.1	15.3	24.0	5.84
		3.	5.99	0.45	0.78	0	137.5	14.1	14.6	5.92
		4.	6.09	0.27	0.47	0.45	140.6	14.2	10.2	5.95
		5.	6.03	0.19	0.34	0	137.5	16.0	8.9	5.90
		6.	5.89	0	0	0	118.8	24.5	7.1	5.61
	2. 2年5作 3年輪作区	1.	5.95	1.17	2.02	0	130.5	14.3	30.1	6.03
		2.	5.73	0.90	1.55	0	128.1	15.0	22.2	5.80
		3.	5.90	0.43	0.75	0	125.0	15.0	21.6	5.67
		4.	5.34	0.19	0.34	0	110.9	17.6	21.3	5.30
		5.	5.31	0.08	0.14	0	104.7	17.6	21.3	5.08
		6.	5.41	0	0	0	105.5	17.9	18.2	5.05
	3. 草地1年 3年輪作区	1.	6.12	0.86	1.48	1.57	134.1	19.2	38.5	6.57
		2.	5.99	0.43	0.75	5.82	134.4	14.7	30.2	6.18
		3.	6.30	0.47	0.81	1.10	156.3	17.8	23.1	6.93
		4.	6.49	0.24	0.41	0	150.6	19.8	24.9	6.89
		5.	6.55	0	0	0	140.6	21.8	25.9	6.65
		6.	6.64	0	0	0	133.6	24.9	29.0	6.63
	4. 草地3年 6年輪作区	1.	5.31	1.21	2.09	0	96.9	12.0	29.6	4.69
		2.	5.81	0.84	1.45	0	95.3	13.2	29.3	4.69
		3.	5.97	0.58	1.01	0	123.4	13.4	22.2	5.55
		4.	6.07	0.39	0.67	0	156.0	18.9	21.9	6.98
		5.	6.08	0.28	0.49	0	133.6	21.4	27.2	6.42
		6.	6.18	0.12	0.20	0	115.6	27.5	28.8	6.12
改良資材 施用区	5. 大豆小麦区	1.	6.43	0.58	1.01	0.96	181.3	19.8	49.0	8.50
		2.	5.96	0.51	0.88	3.90	137.5	13.8	25.6	6.15
		3.	5.84	0.39	0.68	0	154.7	13.1	21.1	5.91
		4.	6.45	0.24	0.41	0	173.4	15.3	24.9	7.46
		5.	6.32	0.04	0.07	0	176.6	17.0	28.2	7.79
		6.	6.50	0	0	0	162.5	18.9	28.5	7.35
	6. 2年5作 3年輪作区	1.	6.10	1.03	1.79	0	149.2	16.3	27.9	6.73
		2.	5.92	0.47	0.81	0	123.4	13.1	25.0	5.58
		3.	5.97	0.55	0.95	0	135.9	14.7	21.9	6.05
		4.	6.05	0.29	0.51	0	150.0	18.2	23.2	6.76
		5.	6.44	0.23	0.40	0	134.4	22.0	22.2	6.38
		6.	6.31	0	0	0	141.4	19.1	22.8	6.49
	7. 草地1年 3年輪作区	1.	6.24	0.86	1.49	0.63	144.5	17.0	28.2	6.61
		2.	5.69	0.74	1.28	2.39	109.1	14.6	23.4	5.12
		3.	5.34	0.35	0.61	0	95.0	16.5	21.9	4.68
		4.	5.38	0.23	0.40	0	100.0	18.9	24.0	5.02
		5.	5.35	0.10	0.17	0	98.4	16.6	25.5	4.89
		6.	5.82	0	0	0	117.2	16.0	22.8	5.47
	8. 草地3年 6年輪作区	1.	6.69	1.24	2.14	0	196.9	16.0	35.6	8.59
		2.	6.54	0.97	1.69	0	159.4	16.3	24.5	7.02
		3.	6.30	0.65	1.13	0	139.4	16.5	16.4	6.15
		4.	6.23	0.35	0.61	0	139.1	20.5	16.2	6.33
		5.	5.65	0.30	0.52	0	107.8	26.9	20.0	5.62
		6.	5.38	0.14	0.24	0	92.2	22.4	18.6	4.81



第35表 輪作体系試験土壌の三相分布 (pF=1.5) 1997. 10. 15調査

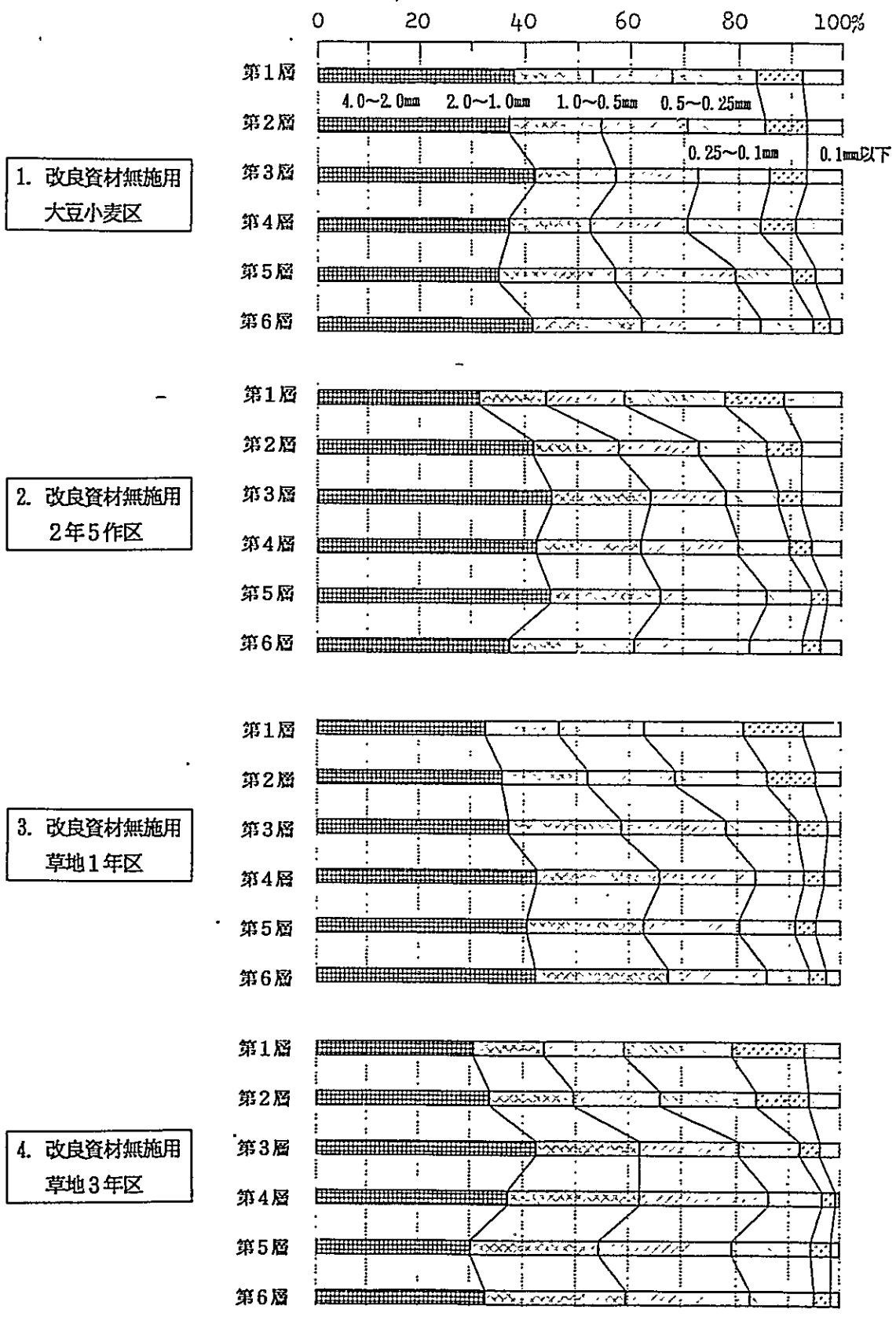
試験区		層位	固相 (%)	液相 (%)	気相 (%)	水分率 (%)	孔隙率 (%)	飽水度 (%)	容気度 (%)
改良資材 無施用区	1. 大豆小麦区	1. 0~3	-	-	-	-	-	-	-
		2. 3~15	54.4	35.6	10.0	18.1	45.6	78.1	21.9
		3. 15~26	54.0	35.3	10.7	18.3	46.0	76.7	23.3
		4. 26~43	51.6	35.4	13.0	19.3	48.4	73.1	26.9
		5. 43~70	49.3	39.6	11.1	21.6	50.7	78.1	21.9
		6. 70~	40.4	45.8	13.8	27.2	59.6	68.5	31.5
	2. 2年5作 3年輪作区	1. 0~5	49.7	38.3	12.0	20.3	50.3	76.1	23.9
		2. 5~15	59.9	35.2	9.9	17.9	45.1	78.0	22.0
		3. 15~35	59.0	34.1	6.9	17.0	41.0	83.2	16.8
		4. 35~52	44.8	41.5	13.7	24.3	55.2	75.2	24.8
		5. 52~70	44.3	45.4	9.3	25.8	54.7	82.7	17.3
		6. 70~	37.5	48.0	14.5	29.1	62.5	76.8	23.2
	3. 草地1年 3年輪作区	1. 0~4	51.4	36.3	12.3	19.6	48.6	74.7	25.3
		2. 4~15	57.8	34.9	7.3	18.1	42.2	80.7	19.3
		3. 15~30	52.6	37.4	10.0	20.3	47.4	78.9	21.1
		4. 30~50	51.0	43.0	6.0	24.3	49.0	87.8	12.2
		5. 50~70	49.9	44.7	5.4	25.0	50.1	89.9	10.1
		6. 70~	47.4	45.9	5.7	26.2	51.6	87.3	12.7
4. 草地3年 6年輪作区	1. 0~5	45.5	38.0	16.5	24.5	54.5	69.7	30.3	
	2. 5~15	46.6	36.6	16.8	20.5	53.4	69.8	30.2	
	3. 15~30	54.3	35.9	9.8	18.6	44.7	80.3	19.7	
	4. 30~52	47.5	37.2	15.3	21.9	52.5	70.9	29.1	
	5. 52~70	49.3	40.5	10.2	22.6	50.7	79.9	20.1	
	6. 70~	50.0	42.7	7.3	24.5	50.0	85.4	14.6	
改良資材 施用区	5. 大豆小麦区	1. 0~5	48.9	36.8	14.3	22.3	51.1	72.0	28.0
		2. 5~17	51.4	35.6	13.0	19.7	48.6	78.1	21.9
		3. 17~33	59.1	35.4	5.5	18.3	40.9	86.6	13.4
		4. 33~54	51.4	37.7	10.9	20.9	48.6	77.6	22.4
		5. 54~70	48.0	43.5	8.5	25.2	52.0	83.7	16.3
		6. 70~	47.5	44.7	7.8	25.0	52.5	85.1	14.9
	6. 2年5作 3年輪作区	1. 0~4	49.0	38.6	12.4	21.0	51.0	75.9	24.1
		2. 4~17	55.0	38.4	6.6	18.6	55.0	69.8	30.2
		3. 17~33	57.9	36.3	5.8	18.3	42.1	86.2	13.8
		4. 33~53	46.7	45.0	8.3	27.4	53.3	86.3	13.7
		5. 53~72	44.8	47.7	7.5	27.3	52.3	91.2	8.8
		6. 72~	46.8	46.6	6.6	28.1	53.2	87.6	12.4
	7. 草地1年 3年輪作区	1. 0~5	44.9	37.2	17.9	20.4	55.1	67.5	32.5
		2. 5~17	55.0	37.5	7.5	16.7	43.0	74.7	25.3
		3. 17~33	48.3	36.9	14.8	21.1	51.7	71.3	28.7
		4. 33~53	39.8	43.5	16.7	26.5	60.2	72.3	27.7
		5. 53~72	40.9	45.7	13.4	26.6	59.1	77.3	22.7
		6. 72~	45.0	47.8	7.2	27.8	55.0	86.9	13.1
8. 草地3年 6年輪作区	1. 0~5	44.3	41.7	14.0	22.9	55.7	74.9	25.1	
	2. 5~16	52.9	35.2	11.9	18.8	47.1	74.7	25.3	
	3. 16~32	56.2	36.7	7.1	19.1	43.8	83.7	16.3	
	4. 32~52	47.0	40.5	12.5	22.2	53.0	76.4	23.6	
	5. 52~75	43.9	43.6	12.5	24.5	56.1	77.7	22.3	
	6. 75~	47.8	44.7	7.5	25.2	52.2	85.6	14.4	



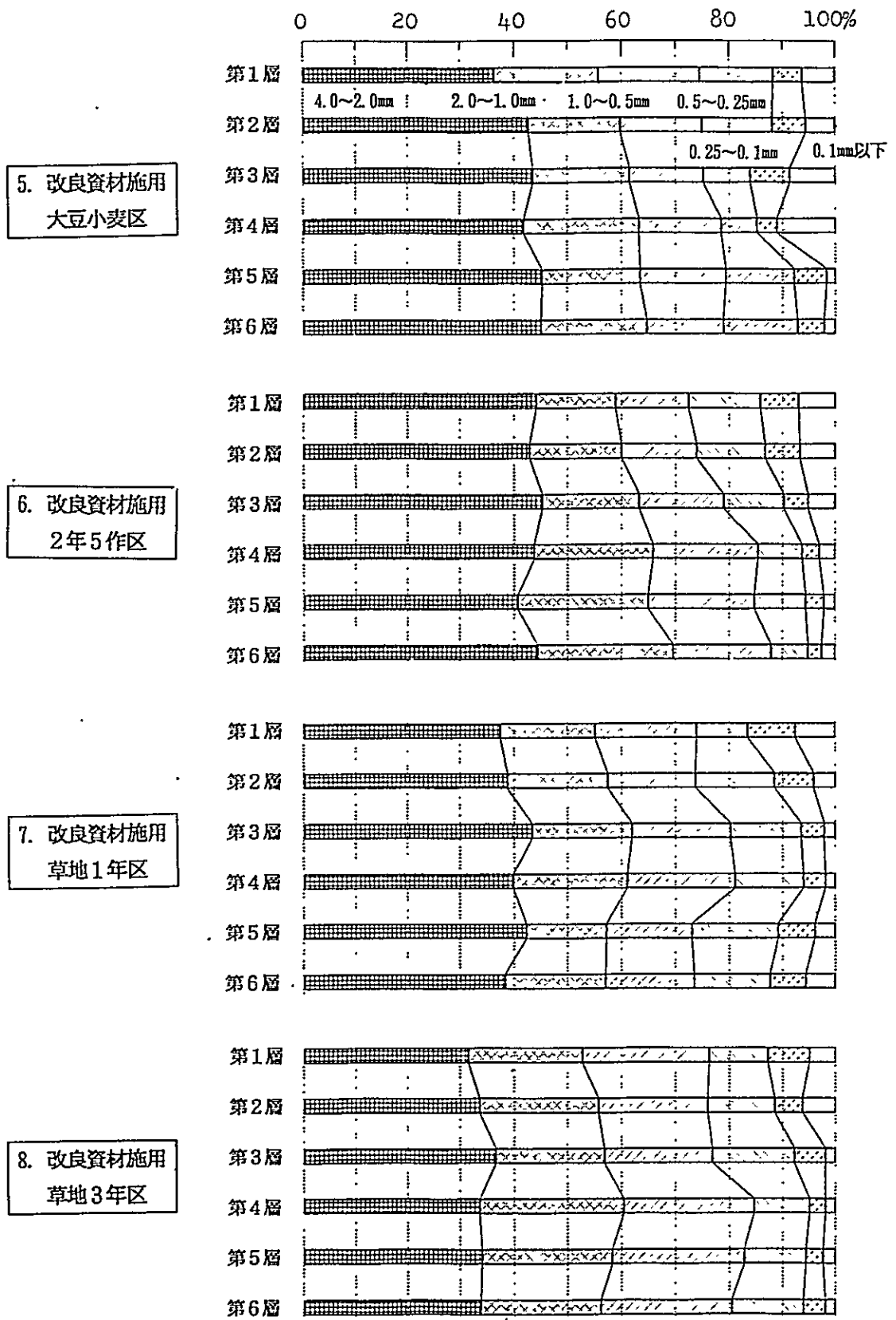
第19図 輪作体系試験土壌の三相分布. 1997年10月調査

第36表 輪作体系試験土壌の団粒分布 (1997. 10. 15採土)

試験区	層位	4.0~	2.0~	1.0~	0.5~	0.25~	0.1mm
		2.0mm	1.0mm	0.5mm	0.25mm	0.1mm	以下
1. 大豆小麦区	1.	37.9	14.9	15.1	15.6	9.0	7.6
	2.	37.0	17.4	16.3	14.4	8.1	6.6
	3.	41.7	15.5	15.2	13.4	7.2	6.5
	4.	37.0	15.3	18.4	13.7	6.8	8.7
	5.	35.2	22.0	22.4	10.9	4.6	5.0
	6.	41.4	21.0	22.1	10.3	3.3	1.9
改良資材 2. 2年5作 3年輪作区	1.	31.4	12.6	15.1	18.6	11.3	10.9
	2.	41.5	16.5	14.9	12.7	6.8	7.4
	3.	45.7	19.2	14.1	10.1	4.8	7.5
	4.	42.2	20.1	17.9	9.8	4.5	5.5
	5.	44.7	21.1	19.7	8.7	3.2	2.4
	6.	37.2	23.8	21.4	10.3	3.6	3.6
無施用区 3. 草地1年 3年輪作区	1.	32.8	13.8	16.5	18.5	11.5	7.0
	2.	35.9	16.1	16.5	16.9	9.4	4.6
	3.	37.3	21.3	19.5	13.7	5.9	2.3
	4.	42.6	23.6	17.8	9.3	3.9	3.0
	5.	40.8	22.3	17.8	10.7	4.2	4.1
	6.	42.4	25.3	18.5	8.3	3.4	2.2
4. 草地3年 6年輪作区	1.	30.6	13.5	15.3	20.1	13.8	6.5
	2.	33.8	15.8	16.7	17.8	10.1	5.7
	3.	42.5	19.9	18.4	11.8	3.9	3.4
	4.	37.3	25.0	23.9	10.4	2.7	0.5
	5.	30.2	24.3	24.9	15.2	4.0	1.3
	6.	33.0	26.7	23.1	12.3	3.3	1.6
5. 大豆小麦区	1.	36.3	19.4	18.7	13.7	5.5	5.7
	2.	42.7	17.2	15.2	13.3	6.4	5.1
	3.	44.0	18.1	13.6	8.4	7.5	8.3
	4.	41.7	21.5	15.3	6.7	4.0	10.8
	5.	46.6	18.8	16.4	13.2	6.3	1.4
	6.	45.0	19.8	14.3	13.8	5.1	1.9
改良資材 6. 2年5作 3年輪作区	1.	44.2	14.9	13.4	13.6	7.3	6.6
	2.	43.0	17.3	13.8	13.0	6.4	6.4
	3.	45.2	18.1	15.8	11.2	4.6	5.1
	4.	43.7	22.3	19.6	8.3	3.4	2.5
	5.	40.8	24.3	19.9	9.6	3.5	1.8
	6.	44.5	25.3	18.3	7.1	2.7	2.2
施用区 7. 草地1年 3年輪作区	1.	39.8	21.3	20.1	9.0	8.3	6.6
	2.	38.8	18.8	16.3	14.9	7.5	3.9
	3.	43.4	18.9	18.3	13.2	4.5	1.7
	4.	34.8	23.3	23.1	12.7	4.3	1.8
	5.	45.3	16.3	17.0	17.4	7.6	3.8
	6.	42.7	20.9	18.3	16.0	7.6	5.6
8. 草地3年 6年輪作区	1.	31.4	21.4	23.5	11.1	7.8	4.8
	2.	33.7	22.2	20.3	12.5	5.3	6.0
	3.	36.6	20.3	20.1	15.3	6.0	1.5
	4.	33.7	27.0	24.3	10.4	3.2	1.5
	5.	34.1	24.4	24.6	11.6	3.3	2.2
	6.	34.1	22.6	24.7	13.8	4.2	1.7



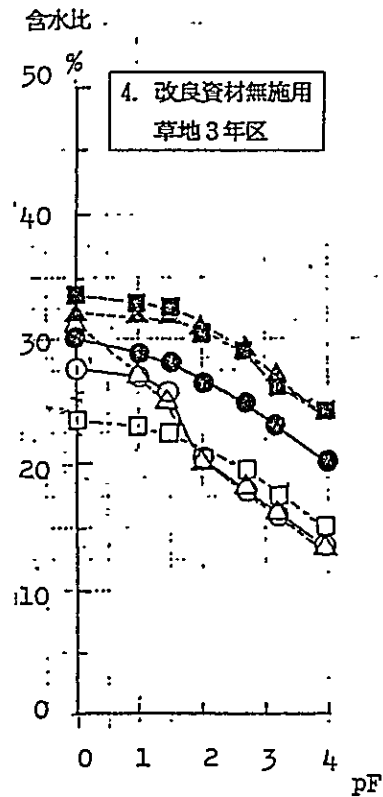
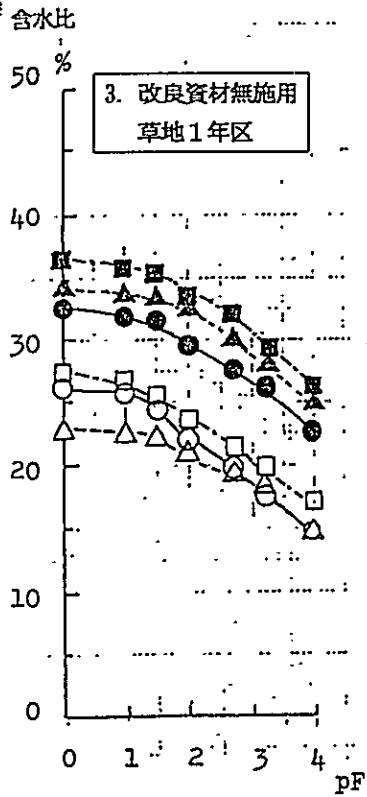
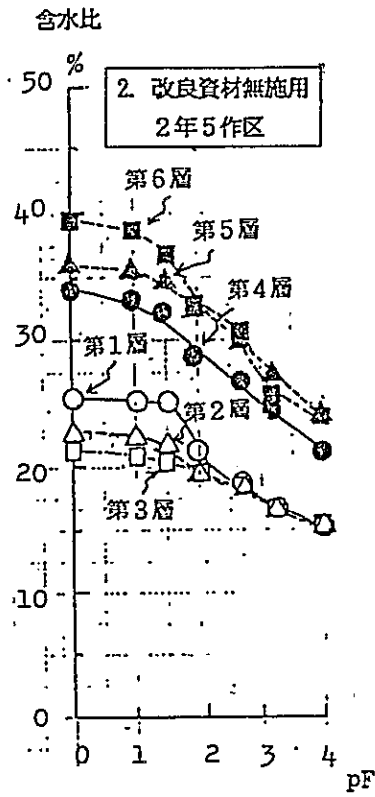
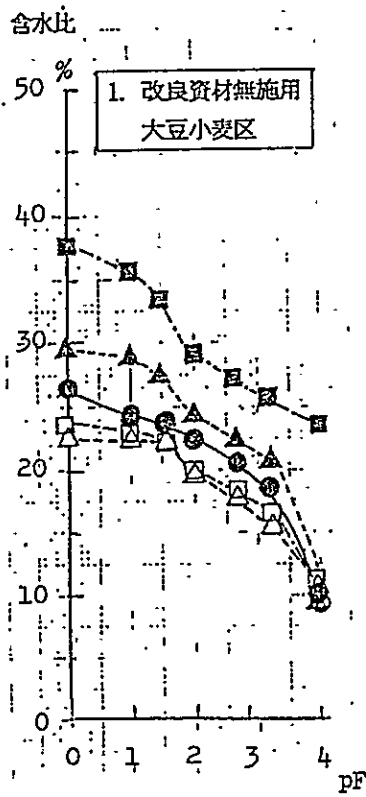
第20図 輪作体系試験3年目土壌の団粒分布. その1. 改良資材無施用区  
1997年10月調査



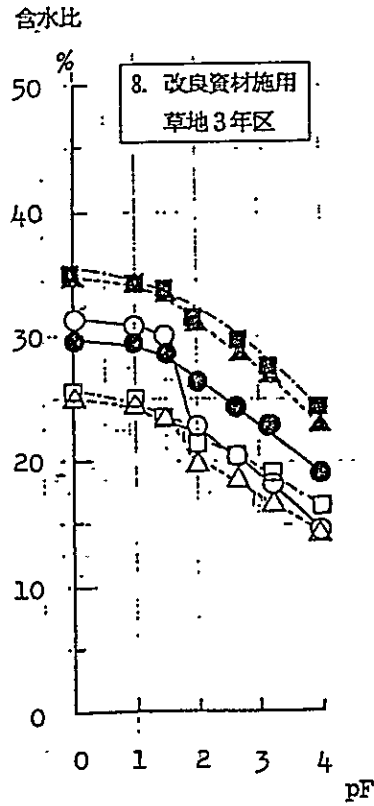
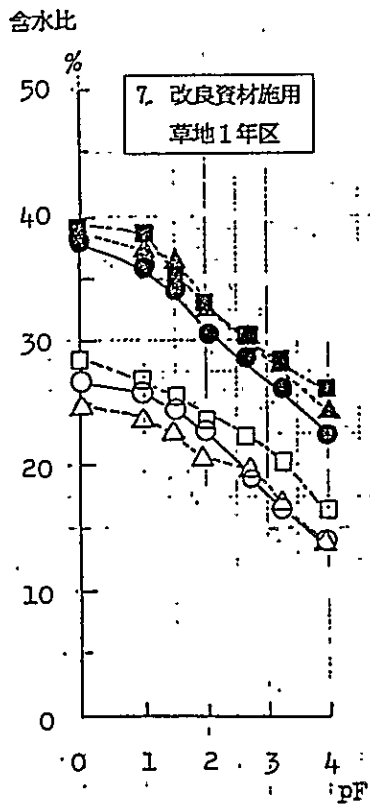
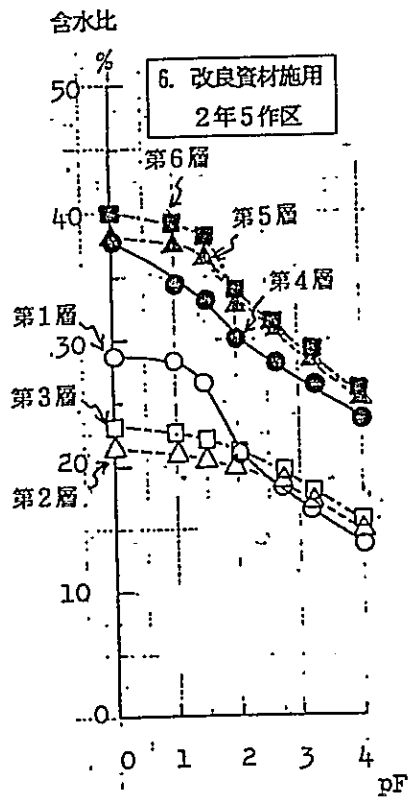
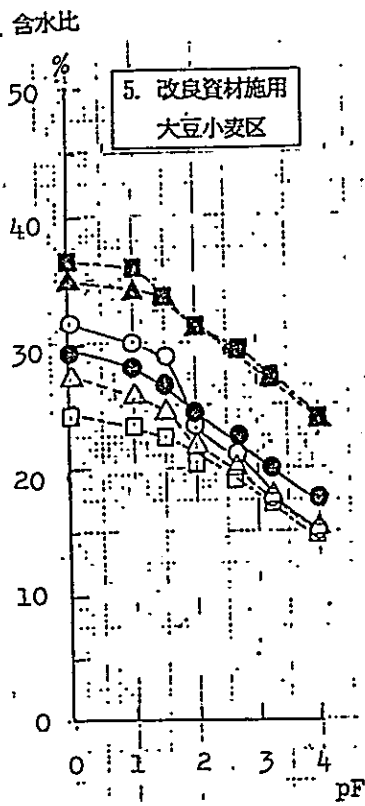
第21図 輪作体系試験3年目土壌の団粒分布. その2. 改良資材施用区  
1997年10月調査

第37表 輪作体系試験土壌のpF水分値(1997.10.10採土)

試験区		pF=0	1.0	1.5	2.0	2.7	3.2	4.0	
		層位 (水分当量)							
改良資材 無施用区	1. 大豆小麦 体系区	1.	-	-	-	-	-	-	
		2.	22.6	22.3	22.2	19.4	17.7	15.7	9.9
		3.	23.3	23.1	22.3	19.9	18.4	16.6	11.2
		4.	26.2	24.7	23.9	22.4	20.9	18.8	9.6
		5.	39.4	28.8	27.5	24.5	22.7	20.7	9.9
		6.	37.7	35.8	33.3	29.1	27.2	25.8	23.8
	2. 2年5作 体系区	1.	25.6	25.4	25.5	21.1	18.8	16.5	15.1
		2.	22.7	22.7	21.9	19.3	18.1	16.8	15.3
		3.	31.3	21.1	20.4	19.8	18.5	17.1	15.6
		4.	34.1	33.1	32.0	28.8	26.5	24.6	21.6
		5.	35.9	35.4	34.8	32.2	29.6	27.6	24.3
		6.	39.7	38.9	36.8	32.2	29.9	25.0	24.4
	3. 草地1年 体系区	1.	25.9	25.3	24.4	21.9	19.7	17.5	14.7
		2.	22.7	22.5	22.1	20.9	19.0	18.5	14.6
		3.	27.3	26.4	25.4	23.3	21.5	19.9	17.1
		4.	32.4	32.0	31.3	29.6	27.5	25.8	22.6
		5.	34.2	33.9	33.4	32.4	30.2	28.2	24.7
		6.	36.3	35.9	35.6	33.7	32.0	29.4	25.7
	4. 草地3年 体系区	1.	27.2	26.7	25.7	20.1	17.8	15.8	13.4
		2.	31.9	27.3	25.0	20.0	18.0	15.9	13.6
		3.	23.4	23.0	22.2	20.3	19.4	17.4	15.2
		4.	30.0	28.9	28.1	26.3	24.7	22.7	20.3
		5.	32.3	32.2	32.1	31.2	29.5	27.5	24.8
		6.	33.1	32.8	32.4	30.9	28.8	26.1	23.6
改良資材 施用区	5. 大豆小麦 体系区	1.	31.5	30.0	28.8	23.1	20.9	17.7	15.5
		2.	27.3	25.7	24.5	21.8	20.0	17.6	15.1
		3.	23.8	23.1	22.4	20.5	19.0	17.0	14.8
		4.	29.0	27.7	26.4	24.1	22.5	19.7	17.3
		5.	35.9	24.9	33.8	31.0	29.0	26.9	23.7
		6.	34.4	33.9	33.4	30.9	28.8	27.0	24.0
	6. 2年5作 体系区	1.	28.5	28.2	26.5	21.2	18.4	16.3	13.6
		2.	21.0	20.8	20.4	19.7	18.5	16.9	14.7
		3.	22.7	22.5	22.0	20.9	19.4	17.6	15.5
		4.	37.7	34.4	32.2	30.1	28.4	26.5	23.7
		5.	37.5	37.5	36.5	32.7	30.6	28.4	25.2
		6.	39.4	39.0	38.1	33.4	31.3	29.1	25.9
	7. 草地1年 体系区	1.	26.4	25.7	24.4	22.6	18.6	16.4	14.0
		2.	24.6	23.5	22.8	20.8	19.5	16.9	13.9
		3.	28.3	26.7	25.5	23.2	22.0	19.9	16.7
		4.	38.1	36.0	34.2	30.4	28.5	25.9	22.1
		5.	38.9	37.6	36.3	32.4	30.3	27.8	24.1
		6.	38.9	38.5	35.4	32.6	30.1	28.0	26.3
	8. 草地3年 体系区	1.	31.1	30.8	29.7	22.2	20.1	17.9	14.5
		2.	24.9	24.3	23.1	19.8	18.4	16.6	14.2
		3.	24.8	24.3	23.7	21.3	20.3	18.9	16.6
		4.	29.5	29.6	38.6	26.0	24.3	22.7	19.3
		5.	36.4	34.1	33.2	30.7	28.7	26.7	22.9
		6.	34.5	34.1	33.6	30.9	29.0	27.3	23.9



第22図 輪作体系試験 土壌のpF水分曲線 その1. 改良資材無施用区  
1997年10月調査



第23図 輪作体系試験土壌のpF水分曲線 その2. 改良資材施用区



### 3) 考察

長期輪作体系が土壌の理化学性改善に及ぼす効果について試験を行っているが、これまでの3年間の調査結果について取り纏めた。作物生育については現在のところヒマワリ跡大豆の収量が劣るが、その他の区では大きな差は認められなかった。アルファルファ生育は初期の発芽に問題があったことから期待した収量を得ることはできなかった。

炭カル、ヨーリンなどの改良資材の施用効果はアルファルファに大きく現れ、草地3年区の場合、3年間の全乾草重は資材無施用区 23.3t/ha にたいし、資材施用区 37.1t/ha で60%の増収であった。またアルファルファは大豆と同じ豆科であるほか、3年間の継続栽培には問題があるので、第2期以降は、より生育量の大きい禾本科牧草の導入が望ましいと考えられる。

土壌断面調査では栽培作物によって根の分布が異なり、土色、土壌硬度などが変化していた。草地3年区の場合アルファルファの根は1m以下の下層にも認められた。

土壌理化学性の変化では三相分布、団粒分布、pH水分値など、主として土壌物理性について検討した。これらの測定値の関係についてみると、三相分布で固相が増加し、団粒分布で0.5~0.1mmの部分の団粒が増加した場合にpH水分値が低下する傾向がみられた。一般に未風化の粘土の場合高いpH水分値を示すが、これが湿潤・乾燥、脱水・酸化を繰り返すことによりpH水分値は低下するとされているが、CETAPAR 土壌にもこのことがあてはまるのではないかと考えられた。

本試験は第1期の3年を経過したところであり、永年牧草導入が後作作物の生育に及ぼす影響は不明である。また現在認められる土壌変化も後半の3年の大豆小麦栽培でどのように推移して行くのか、引き続いた検討が必要である。

## 2. GTZ圃場における輪作作物の種類と土壤理化学性の変化

ドイツのGTZ プロジェクトでは、1993年からパラグアイ農業総合試験場内の圃場で土壤保全を目的とした輪作体系試験を実施している。そこでこれに協力しながら、その代表的な試験区について種々の輪作作物が土壤理化学性に及ぼす影響について検討している。GTZ の輪作体系試験は8区で構成されているが、基本となっているのは4区であるので、これについて調査・分析を行った。

### 1) 試験方法

調査した4試験区の年次別栽培作物を第38表に示した。この試験では6年に一度すべての試験区で大豆を栽培する年があり、この時の大豆収量によって輪作体系の評価をしようとするものである。このため大豆小麦区以外の区では複数の同一処理区を設けて試験の効率化をはかっている。

土壤については各年次とも冬作収穫後、上から 1. 0～10cm、2. 10～20cm、3. 20～30cm、4. 30～50cmの4層に分けて土壤を採取し、分析を行った。

第38表 GTZ輪作試験における年次別栽培作物

試験区	1994	94/95	1995	95/96	1996	96/97	1997	97/98	1998
	冬作	夏作	冬作	夏作	冬作	夏作	冬作	夏作	冬作
(1) 大豆・小麦区	小麦	大豆	小麦	大豆	小麦	大豆	小麦	大豆	小麦
(2) ルーピン・マウス区	ルーピン	マウス	小麦	大豆	ルーピン	マウス	ルーピン	マウス	小麦
(4) ルーピン・マウス・エンバク区	ルーピン	マウス	エンバク	大豆	小麦	大豆	ルーピン	マウス	エンバク
(7) マウス・ヒマワリ区	小麦	大豆	マウス・ヒマワリ	大豆	小麦	大豆	小麦	大豆	マウス・ヒマワリ

### 2) 試験結果

#### (1) 作物生育

これまでにえられた夏作作物の収量調査結果を第39表に示した。大豆収量でみると各年次とも

(4) ルーピン・マウス・エンバク区の収量が高く、(7) マウス・ヒマワリ区では低かった。

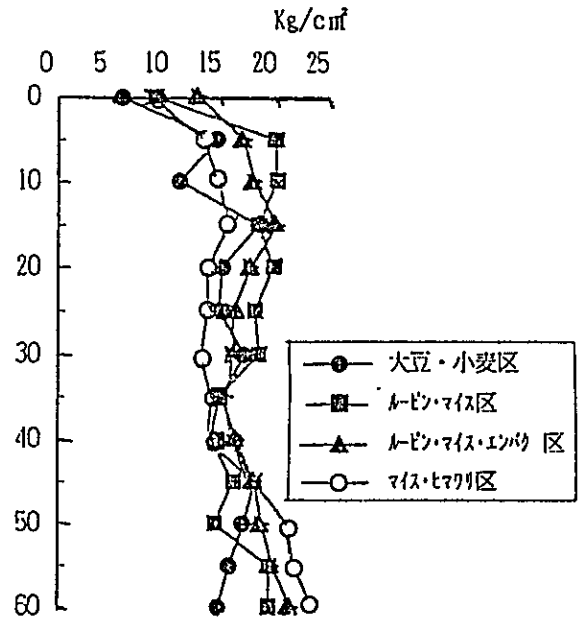
第39表 GTZ輪作試験における夏作作物収量調査結果

試験区	94/95		95/96		96/97	
	大豆	(t/ha)	大豆	(t/ha)	大豆	(t/ha)
(1) 大豆・小麦区	大豆	3.44	大豆	2.20	大豆	3.32
(2) ルーピン・マウス区	マウス	4.49	大豆	2.48	マウス	7.36
(4) ルーピン・マウス・エンバク区	マウス	4.43	大豆	2.57	大豆	3.59
(7) マウス・ヒマワリ区	大豆	2.43	大豆 (乾燥)		大豆	3.00

(2) 土壌調査・分析成績

1997年 9月に測定した土壌貫入抵抗を第24図に示した。表層 0~20cmの部分の土壌貫入抵抗値が最も小さいのは大豆・小麦区で、ルーピン跡では20~40cmの部分の土壌貫入抵抗が大きい傾向があった。マيس・ヒマワリ区は40cm以下の貫入抵抗が大きかった。

団粒分布測定結果を第40表に示した。通気、保水能力に優れる 0.5~0.1mm の部分の団粒含量が最も多いのはルーピン・マيس・エンバク区であった。マيس・ヒマワリ区の 0.5~0.1mm 団粒は他区に比較して20cmまでの土層では少ないが、20cm以下では多い傾向があり、これが下層の土壌貫入抵抗の増大に因与しているのではないと考えられた。



第24図 GTZ 圃場の土壌貫入抵抗 (1997.9)

第40表 GTZ 輪作試験圃場土壌の団粒分布 (1997年 9月採土)

試験区	層界 (cm)	2.0mm 以上	2.0~ 1.0mm	1.0~ 0.5mm	0.5~ 0.25mm	0.25~ 0.10mm	0.10mm 以下
(1) 大豆 小麦区	0~10	22.5	13.4	14.9	19.6	13.7	15.8
	10~20	16.8	16.8	18.5	19.8	13.2	15.0
	20~30	23.4	20.6	20.0	17.8	9.9	8.2
	30~50	37.8	25.2	18.9	9.8	4.3	4.0
(2) ルーピン マيس区	0~10	19.6	13.6	13.5	18.6	13.4	21.2
	10~20	21.4	16.6	16.9	18.2	13.5	13.4
	20~30	22.7	25.1	21.8	15.6	7.6	7.3
	30~50	33.1	25.9	21.8	10.6	4.5	4.1
(4) ルーピン エンバク区	0~10	21.6	13.7	15.0	21.6	15.5	12.7
	10~20	16.7	17.2	20.9	22.4	13.4	9.4
	20~30	29.3	21.7	21.1	16.0	7.0	5.0
	30~50	36.5	25.6	20.6	9.9	4.1	3.4
(7) マイス ヒマワリ区	0~10	32.1	14.9	15.0	18.5	8.5	11.1
	10~20	23.8	18.6	20.5	19.1	10.5	7.5
	20~30	26.6	21.3	21.8	16.2	7.5	6.7
	30~50	30.9	22.4	20.5	13.2	6.1	6.9

土壌化学性について調査した結果を第41表に示した。

pHについてみると、ルーピン跡の(2) (4) 区は他の区に比較して20~30cm、30~50cmの層位のpHがともに低い。これはこれら2区の置換性カルシウム含量が低いことに原因している。可給態磷酸含量は(2) 区が高く、他の3区には差は認められなかった。

第41表 GTZ輪作試験圃場土壌の化学的性質 (1997年 9月採土)

試験区	層位 (cm)	pH	可給態磷酸 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g)	置換性塩基 (mg/100g)		
				CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
(1) 大豆 小麦区	0~10	5.75	2.87	143.3	14.1	31.2
	10~20	5.96	0.40	148.7	9.7	19.7
	20~30	6.09	0.28	127.4	8.7	13.9
	30~50	6.14	0.11	133.3	12.7	12.0
(2) ルーピン マウス区	0~10	5.63	5.21	91.0	10.1	25.9
	10~20	5.65	0.78	90.2	10.1	17.3
	20~30	5.89	0.19	100.2	13.1	16.8
	30~50	5.76	0.02	108.6	16.9	15.8
(4) ルーピン エンバク区	0~10	5.50	2.61	99.7	12.3	46.6
	10~20	5.46	0.81	84.3	8.9	55.7
	20~30	5.51	0.31	97.4	10.3	23.5
	30~50	5.44	0.15	106.4	13.1	73.0
(7) マイス ヒマワリ区	0~10	5.75	2.41	154.0	14.3	43.2
	10~20	5.92	0.49	142.8	10.9	34.1
	20~30	6.27	0.30	133.6	11.1	37.0
	30~50	6.42	0.16	137.8	13.3	25.9

### 3) 考察

GTZ プロジェクトで実施している輪作体系試験では、これまでの3年間の結果としてルーピン、エンバクを導入した試験区の大豆収量が優る傾向がみられた。これと土壌の理化学性についてみると、ルーピン、エンバク区土壌は他区の土壌に比較して土壌物理性では粒径が0.5~0.1mmの部分の団粒含量が高く、化学性では置換性カルシウムが減少してpHが低下する傾向がみられた。これはルーピンの根が下層土の物理性を改善する一方で、下層土の酸化・溶脱を促進しているのではないかと思われる。このことは前項の輪作体系試験のアルファルファについてもみられたことで、一般に緑肥作物は他作物に比較して、下層土に与える影響の大きいことを示しているとも考えられる。

以上の2輪作体系試験は一つは永年牧草をとり入れた長期輪作体系試験、いまひとつは1年生の緑肥作物試験であるが、いずれも6年間の長期輪作試験であるので、補完しながら試験を進めることが望ましいと考える。

## 2. 不耕起栽培圃場における土壌構造の発達程度と作物生産性

不耕起栽培法が耕起を伴う慣行栽培法に優れている点の一つに、これにより下層に土壌構造の発達しやすいことがあげられている。そこで土壌構造の発達が作物生育に及ぼす影響を明らかにする目的で、下層に種々の密度の土壌構造を有する圃場を人為的に造成し、これと大豆、小麦の生育の関係について検討することとした。

### 1) 試験方法

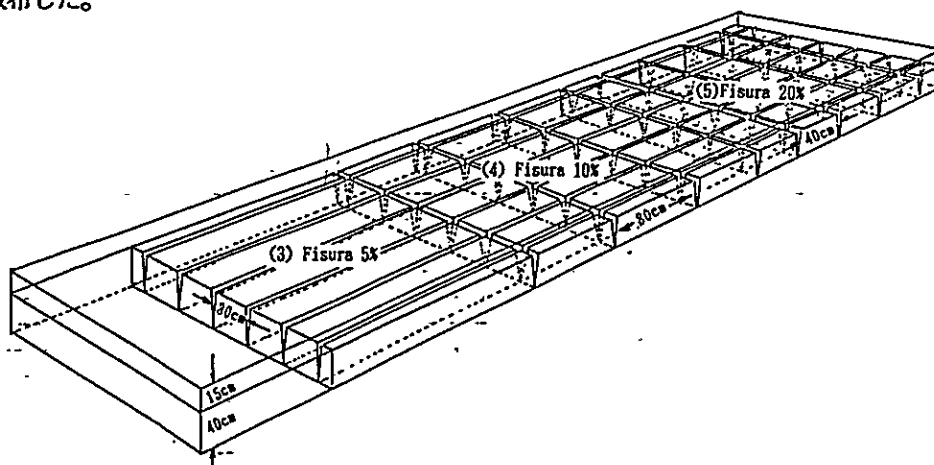
これまで3年間不耕起栽培を行ってきた CETAPAR圃場の一部に第25図に示す試験圃場を設けた。まず表土15cmを取り除いて下層土を露出させ、亀裂を作ったのち表土を埋め戻した。亀裂の形は上幅5cm、深さ40cmの楔型である。したがって試験区③、④、⑤は1年目は耕起栽培となる。

試験区の構成を第42表に示した。試験区面積は1区10㎡、2連制とした。

第42表 土壌構造試験の試験区構成

試験区	処理の概要
①耕起区	深さ15cm耕起のみ・亀裂なし
②不耕起・無亀裂区	不耕起・亀裂なし
③不耕起・亀裂5%区	不耕起・亀裂5%造成後埋め戻し
④不耕起・亀裂10%区	不耕起・亀裂10% 同上
⑤不耕起・亀裂20%区	不耕起・亀裂20% 同上

耕種概要は各年次ともほぼ同一である。小麦は品種Anahuac 播種量130kg/ha、12cm条播、施肥は化成(18-46-0) 250kg/ha、大豆は品種BR-4、播種量70kg/ha 33cm条播、無肥料とした。試験開始時の表土がpH=5.45であったので炭カル 2t/haを均一散布した。



第25図 土壌構造試験圃場見取図

## 2) 試験結果

小麦、大豆の収量を第43表、第26図に示した。

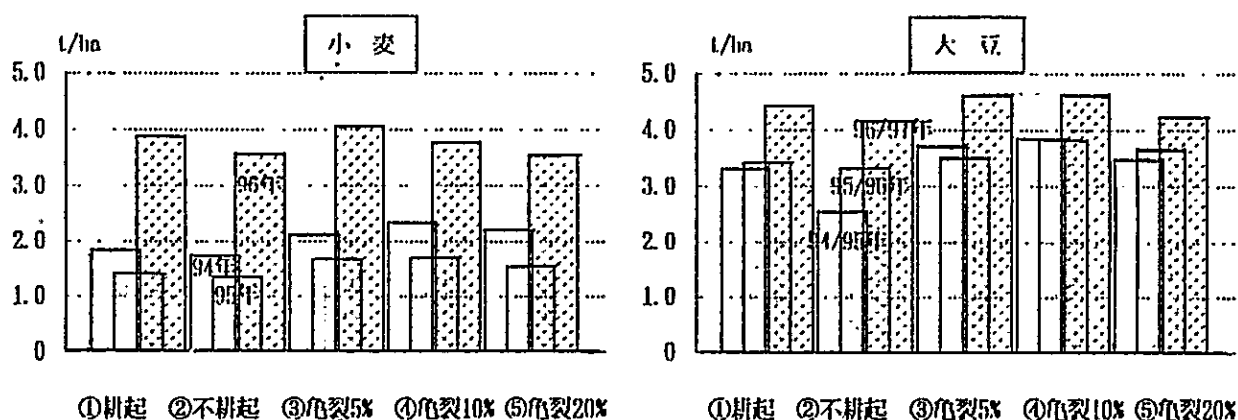
試験開始以来の小麦の生育についてみると、1994年冬作小麦の出穂は亀裂の多い試験区ほど遅れたが、収量は亀裂10%区が最も高かった。1995年小麦の生育にも同様な傾向がみられ、亀裂20%区では登熟遅延で減収した。1996年の小麦生育は極めて良好で、各区とも収量は3t/haを超えたが、亀裂の効果はみられなかった。

大豆生育についてみると1994/95大豆では亀裂区の主茎長が大で登熟期の生葉数も多く、さらに百粒重も増加して亀裂10%区が増収した。1995/96大豆、1996/97大豆にも同様な傾向があり、ともに亀裂10%区の収量が最も高かった。

耕起、不耕起についてみると、小麦では耕起区平均2.12t/ha、不耕起無亀裂区平均2.34t/haで不耕起区が優ったが、大豆では耕起区平均3.97t/ha、不耕起無亀裂区平均3.48t/haで、亀裂のない試験区の収量は耕起区に劣った。

第43表 土壌構造試験の小麦、大豆の収量

試験区	小麦 (t/ha)				大豆 (t/ha)			
	1994	1995	1996	平均	94/95	95/96	96/97	平均
①耕起区	1.86	1.43	3.06	2.12(91)	3.99	3.46	4.46	3.97(114)
②無亀裂区	1.76	1.37	3.89	2.34(100)	2.92	3.34	4.18	3.48(100)
③亀裂5%区	2.15	1.68	3.75	2.53(108)	4.36	3.54	4.64	4.18(120)
④亀裂10%区	2.38	1.70	3.80	2.63(112)	4.40	3.84	4.65	4.30(124)
⑤亀裂20%区	2.23	1.54	3.51	2.43(104)	4.02	3.70	4.25	3.99(115)



第26図 土壌構造試験における小麦、大豆の収量

### 3) 考察

以上の試験結果から下層の亀裂構造は作物の生育量を増大させ、小麦、大豆ともに増収することが知られた。このことは一般の深耕の効果と類似しており、不耕起栽培の増収原因の一つと考えられる。しかし過度に亀裂構造の発達するときは過繁茂、生育遅延となり減収する。

不耕起栽培によって生成する下層の亀裂量については不明であるが、土壌断面調査の結果などからみると、5 %程度と推定される。本試験の結果によると亀裂による増収効果の上限は亀裂10%程度とみられるから、不耕起栽培の継続で下層の亀裂を増大させることにより、より高収量が期待できるものと考えられる。

### 第3章 適正技術開発研究 ヒマワリ及びアルファルファに関する試験

イグアス土壌の地力維持向上をはかるため1994年から長期輪作体系試験を実施しているが、これに導入したヒマワリやアルファルファについては未だその具体的な栽培法が確立されていない。そこで1995年から3年間の適正技術開発研究として、ヒマワリとアルファルファの施肥法と改良資材の施用効果について検討することとした。

#### 1. ヒマワリ栽培における施肥量と施肥方法に関する試験

輪作体系への導入作物として重要な作物であるヒマワリの施肥法について3年間同一設計で検討した。試験は1995年は耕起播種、不耕起播種の両圃場を設けて試験を行ったが、不耕起播種区の生育が全般的に劣ったため、平成8年は耕起播種条件でのみ試験した。しかし耕起播種は実際にそぐはないとのことから、1996年は不耕起播種条件で試験を行った。このように播種は年次により耕起播種、不耕起播種の両者、もしくはそのいずれかで実施したが、取り纏めに際しては同一試験区として取り扱った。

##### 1) 試験方法

試験圃場はCETAPAR内の輪作体系試験圃場である。品種はDEKALB G-103を用い、播種密度は畝幅80cm株間20cmとした。肥料は各年次とも硫酸、過磷酸石灰、塩化カリの単肥を使用し窒素追肥は開花初期に行った。また試験開始に先立ち全圃場に炭カル2t/haを散布した。

試験区の構成を第44表に、年次毎の播種期と収穫期を第45表に示した。

第44表 ヒマワリ試験の試験区構成

試験区	施肥量 (kg/ha)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. 無肥料区	0	0	0
2. 窒素減施肥区	30	60	30
3. 窒素標準区	60	60	30
4. 窒素追肥区	60+30	60	30
5. 磷酸増施肥区	60	90	30
6. 窒素磷酸増施肥区	90	90	30

第45表 ヒマワリ試験の播種期と収穫期

年次	播種期	収穫期
1995	1995. 7. 14	1995. 11. 28
1996	1996. 6. 14	1996. 11. 11
1997	1997. 5. 13	1997. 10. 6

#### 2) 試験結果

##### (1) ヒマワリの生育及び収量

年次別のヒマワリの生育と収量を第46～48表に示した。



第46表 1995年度のヒマワリ生育と収量

試験区	開花期	草丈 (cm)	全重 (t/ha)	子実重 (t/ha)
1. 無肥料区	22 Set.	86.2	7.30	2.87
2. 不 窒素減施肥区	16	95.5	7.56	2.98
3. 耕 窒素標準区	18	93.3	7.76	2.83
4. 起 窒素追肥区	19	85.8	7.97	3.02
5. 磷酸増施肥区	20	83.2	8.57	3.10
6. 窒素磷酸増施肥区	18	97.9	8.70	3.13
7. 無肥料区	11 Set.	127.7	7.51	3.06
8. 耕 窒素減施肥区	11	128.2	7.73	3.17
9. 窒素標準区	12	115.8	8.17	3.04
10. 起 窒素追肥区	12	120.2	7.92	3.21
11. 磷酸増施肥区	11	126.9	8.42	3.50
12. 窒素磷酸増施肥区	12	130.3	9.00	3.58

第47表 1996年度のヒマワリ生育と収量

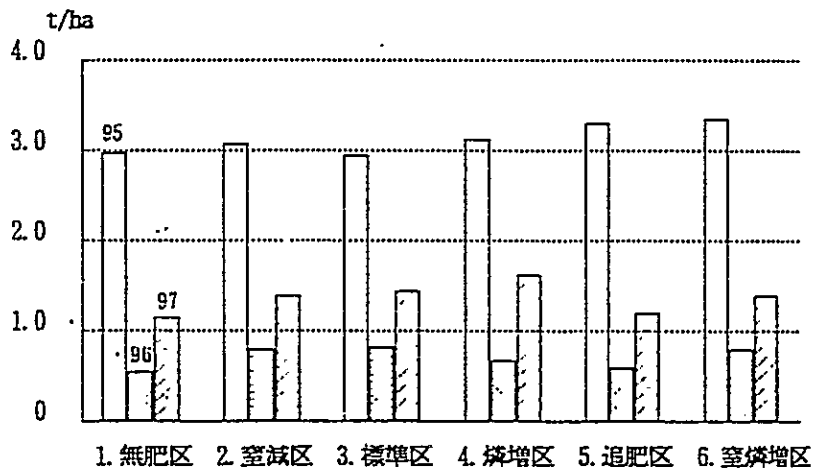
試験区	開花期	草丈 (cm)	全重 (t/ha)	子実重 (t/ha)
1. 無肥料区	26 Set.	124.8	3.59	0.55
2. 窒素減施肥区	24	126.7	3.92	0.79
3. 窒素標準区	24	125.6	3.77	0.83
4. 窒素追肥区	24	125.7	3.46	0.68
5. 磷酸増施肥区	24	129.1	3.44	0.59
6. 窒素磷酸増施肥区	22	132.3	3.76	0.80

1997年度の生育をみると、窒素標準区の開花始めは8月15日であったが無肥料区の開花期はこれより2~3日おくれた。この傾向は昨年と同様であった。収穫期の草丈は平均191cmで3年間では最も良い生育であった。収穫期の全重は6.41t/ha(無肥料区)~7.30t/ha(窒素磷酸増施肥区)で1995年とほぼ同一水準であったが子実重では最高が窒素追肥区の1.63t/ha、ついで標準区の1.44t/haであった。

第48表 1997年度のヒマワリ生育と収量

試験区	開花期	草丈 (cm)	全重 (t/ha)	子実重 (t/ha)
1. 無肥料区	22 Set.	191.7	6.41	1.14
2. 窒素減施肥区	18	196.6	7.03	1.41
3. 窒素標準区	18	184.2	6.84	1.44
4. 窒素追肥区	21	189.6	7.25	1.63
5. 磷酸増施肥区	16	190.4	6.66	1.21
6. 窒素磷酸増施肥区	16	193.8	7.30	1.39

3ヶ年の収量を第27図に示した。試験区平均の最高収量は窒素磷酸増施肥区 (1.85t/ha、標準区比106)、次いで窒素追肥区 (1.81 t/ha、104)で区間差は小さかった。



第27図 ヒマワリ施肥法試験の年次別収量

(2) 土壌分析結果

1997年度に行った時期別の土壌分析結果を第49表～第52表に示した。pHについてみると播種1ヶ月後の第1層はpH=5.14～5.47 (平均 5.33)、第2層pH=5.20～5.92 (同5.50)、第3層pH=5.25～5.63 (5.49)、第4層pH=5.11～5.70 (5.47)であったが、収穫期の平均では第1層はpH=5.96、第2層pH=5.59)、第3層pH=5.56、第4層pH=5.57であった。これから見ると炭カル施用によって第1層のpHは約0.6 上昇しているが第2層以下のpHの上昇は見られない。肥料成分をみると無機態窒素では収穫期の無肥料区で第1層1.0mg、同第4層1.3mg、施肥区では第1層2.3 mg、同第4層1.9mg が存在しており、いずれも開花期より高い値であった。また収穫期の可給態磷酸の可給態磷酸含量は無肥料区第1層3.8mg、施肥区第1層6.6mg で、これも開花期より高い値であった。

以上1997年に得られた分析結果も含めヒマワリ生育期間中の土壌養分の動きをまとめて第47表に示した。

第40表 1997年度ヒマワリ施肥法試験土壌の化学的性質 (その1. 1997.6.11 調査)

試験区	pH	無機態窒素(mg/100g)			可給態磷酸 (P2O5 mg/100g)	置換性塩基 (mg/100g)			
		NH4-N	NO3-N	N-total		CaO	MgO	K2O	
1. 無肥料区	-1	5.37	0.16	0	0.16	1.97	161.8	15.9	23.5
	-2	5.92	0.14	0.31	0.45	1.16	133.8	13.0	23.7
	-3	5.38	0.32	0.18	0.50	0.36	119.1	14.2	12.3
	-4	5.15	0.67	0	0.67	0.10	114.7	13.5	10.3
2. 窒素減施肥区	-1	5.47	0.17	0.14	0.31	2.93	123.5	15.8	25.5
	-2	5.62	0.31	0	0.31	1.59	123.5	15.7	28.0
	-3	5.25	0.30	0.67	0.97	0.17	120.3	17.3	14.2
	-4	5.11	0.44	0.21	0.65	0.12	114.1	18.6	14.7
3. 窒素標準区	-1	5.51	0.36	1.35	1.71	6.68	150.6	16.2	31.7
	-2	5.71	0.43	0.34	0.77	1.81	148.5	18.6	36.1
	-3	5.63	0.46	0.09	0.55	0.24	117.6	15.9	26.0
	-4	5.70	0.30	0.24	0.54	0.11	132.6	17.6	24.3
4. 窒素追肥区	-1	5.14	0.23	0.43	0.66	3.86	118.2	13.9	29.0
	-2	5.20	0.23	0.11	0.34	0.21	106.4	13.8	19.2
	-3	5.48	0.35	0.03	0.38	0.16	122.1	17.3	17.7
	-4	5.59	0.57	0	0.57	0.30	123.5	19.9	19.5
5. 磷酸増施肥区	-1	5.35	0.45	0.19	0.64	3.36	129.4	13.5	18.7
	-2	5.34	0.23	0	0.23	3.34	118.2	15.6	19.1
	-3	5.61	0.52	0	0.53	0.31	128.9	17.9	8.6
	-4	5.56	0.29	0.45	0.74	0.17	138.9	18.9	7.4
6. 窒素磷酸増施肥区	-1	5.16	0.78	1.37	2.15	2.94	140.8	16.8	24.8
	2	5.21	0.42	0.68	1.10	2.04	134.2	16.2	26.5
	3	5.57	0.33	0.78	1.11	0.22	144.7	19.5	17.6
	4	5.69	0.64	1.50	2.14	0.04	147.4	19.7	16.2

第50表 1997年度ヒマワリ施肥法試験土壌の化学的性質 (その2. 1997.8.6調査)

試験区	pH	無機態窒素(mg/100g)			可給態磷酸 (P2O5 mg/100g)	置換性塩基 (mg/100g)			
		NH4-N	NO3-N	N-total		CaO	MgO	K2O	
1. 無肥料区	-1	6.01	0.32	0.44	0.76	3.80	138.2	12.9	17.8
	-2	6.20	0.46	0	0.46	2.00	153.7	13.2	17.3
	-3	5.93	0.57	0.16	0.73	0.33	119.3	13.3	13.6
	-4	5.79	0.45	0.03	0.48	0.22	134.6	16.5	12.0
2. 窒素減施肥区	-1	5.43	0.15	0	0.15	5.85	139.0	13.6	24.0
	-2	5.25	0.23	0.32	0.55	1.44	121.6	14.0	18.1
	-3	5.41	0.24	0	0.24	0.20	143.1	19.6	13.3
	-4	5.72	0.32	0.46	0.78	0.47	131.7	20.6	14.3
3. 窒素標準区	-1	5.98	0.09	0	0.09	4.77	126.6	13.5	26.6
	-2	5.84	0.15	0.31	0.46	0.84	117.1	13.2	21.6
	-3	5.86	0.37	0.26	0.63	0.11	129.9	16.1	19.7
	-4	5.91	0.22	0	0.22	0.05	124.9	14.7	18.0
4. 窒素追肥区	-1	5.83	1.68	0	1.68	4.71	116.6	12.6	21.3
	-2	5.45	1.40	0	1.40	0.56	99.5	11.6	19.3
	-3	5.70	0.28	0.32	0.60	0.09	121.6	14.7	19.4
	-4	5.81	0.64	0.13	0.77	0.02	125.0	17.5	18.9
5. 磷酸増施肥区	-1	5.79	0.82	0.02	0.84	4.54	112.4	11.2	17.6
	-2	5.71	0.80	0	0.80	2.34	113.7	10.5	18.0
	-3	5.51	0.42	0.02	0.44	0.22	122.0	13.2	11.3
	-4	5.84	0.33	0.09	0.42	0.01	135.8	15.9	10.2
6. 窒素磷酸増施肥区	-1	5.92	0.29	0.33	0.62	4.62	131.1	12.8	28.0
	-2	5.53	0.60	0.60	1.20	0.97	117.0	11.2	18.3
	-3	5.64	0.50	0.20	0.70	0.10	130.1	14.9	16.1
	-4	5.87	0.55	0.07	0.57	0	115.3	17.1	16.9

第51表 1997年ヒマワリ施肥法試験土壌の化学的性質 (その 3. 1997.10.5 調査)

試験区	pH	無模態窒素 (mg/100g)			可給態磷酸	置換性塩基 (mg/100g)			
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N-Total	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g)	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	
1. 無肥料区	-1	6.03	0.83	0.18	1.01	3.79	143.2	15.6	23.2
	-2	5.58	0.80	0.27	1.07	0.87	124.0	14.8	13.6
	-3	5.21	0.62	0.51	1.23	0.35	110.0	15.6	9.2
	-4	5.22	0.92	0.27	1.29	0.28	104.0	15.2	9.6
2. 窒素減施肥区	-1	5.84	1.20	0.92	2.13	4.97	136.8	14.4	22.0
	-2	5.79	1.05	0.33	1.38	0.96	146.0	1607	22.8
	-3	5.76	1.49	0.29	1.78	0.32	133.2	18.8	21.2
	-4	5.87	1.00	0.75	1.75	0.24	140.0	23.2	21.2
3. 窒素標準区	-1	5.99	1.60	0.48	2.08	7.59	144.0	13.2	30.0
	-2	5.85	1.17	0	1.17	0.89	130.0	14.0	17.6
	-3	5.71	0.56	0.91	1.47	0.19	138.0	17.6	14.0
	-4	5.80	1.45	0.11	1.56	0.23	150.0	19.6	15.6
4. 窒素追肥区	-1	6.09	0.82	1.28	2.10	5.90	146.0	13.2	25.6
	-2	5.63	1.11	0.27	1.38	1.20	126.0	14.4	18.8
	-3	5.66	1.31	0.06	1.37	0.94	139.2	16.4	18.0
	-4	5.77	1.08	1.08	2.16	0.04	148.8	19.6	19.6
5. 磷酸増施肥区	-1	6.01	1.24	1.24	2.48	6.62	119.2	14.0	24.8
	-2	5.53	0.86	0.52	1.38	0.80	144.0	13.6	14.4
	-3	5.56	1.48	0.73	2.21	0.45	136.0	18.4	14.0
	-4	5.35	1.39	1.09	2.48	0.08	135.2	16.0	12.2
6. 窒素磷酸増施肥区	-1	5.79	1.09	1.25	2.34	8.10	119.2	14.8	35.2
	-2	5.15	1.49	0.90	2.39	1.54	124.0	14.0	11.6
	-3	5.44	0.59	0.66	1.25	0.40	124.0	16.8	12.4
	-4	5.38	0.64	0.58	1.22	0.34	132.0	19.2	12.0

第52表 ヒマワリ施肥法試験における土壌養分の推移

成分	試験区	層位	1995年		1996年		1997年	
			開花期	収穫期	開花期	収穫期	開花期	収穫期
無模態窒素 (N mg/100g)	無肥区	-1. 0~10cm	7.34	0.75	1.11	0.92	0.76	1.01
		-2. 10~20	1.87	0.29	0.77	0.70	0.46	1.07
		-3. 20~30	2.00	0.38	0.61	0.70	0.73	1.23
		-4. 30~50	1.54	0.28	0.74	0.84	0.48	1.29
	施肥区	-1. 0~10	13.64	1.15	2.67	0.82	0.81	2.25
		平均 -2. 10~20	2.52	0.74	2.73	0.89	0.97	1.58
		-3. 20~30	2.89	0.74	2.22	0.68	0.59	1.58
		-4. 30~50	2.01	0.76	1.43	0.78	0.50	1.86
可給態磷酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g)	無肥区	-1. 0~10cm	1.15	1.10	0.24	0.39	3.80	3.79
		-2. 10~20	0.25	0.15	0.35	0.10	2.00	0.87
		-3. 20~30	0	0	0	0.10	0.33	0.35
		-4. 30~50	0	0	0	0.12	0.22	0.28
	施肥区	-1. 0~10	15.38	7.71	1.35	1.59	4.90	6.64
		平均 -2. 10~20	1.81	0.39	0.06	0.18	1.23	2.41
		-3. 20~30	0	0	0	0.11	0.14	0.46
		-4. 30~50	0	0	0	0.10	1.11	0.19

### 3) 考察

以上述べたように3ヶ年の試験を通じて施肥の効果は必ずしも明らかでなかった。これまでの試験結果をみると、1995年には ①開花期には無肥料区でも7mg以上あった無機態窒素は収穫期にはほぼ消失していること、②アンモニア態で施用した肥料窒素は施用3日目にはその65%が硝酸態となって下層に移動すること、③可給態リン酸に関しては施用されたリン酸は大部分表土にとどまり下層には殆んど存在していないこと、などが明らかになった。また1996年試験からは ①炭カル施用によって第1層のpHは上昇するが第2層以下のpHには殆ど差がないことから、表層に散布された炭カルは1年後においても下層には移動していないこと、②無肥料区の無機態窒素は播種直後から収穫期まで終始1mg/100g程度で推移していること、④窒素の天然供給量は80kg/haと推定されること、などが知られた。

1997年度試験においても以上とほぼ同様な結果が得られたことからCETAPAR圃場のように窒素、リン酸、カリのいずれも天然供給量の多い圃場では、三要素の施肥よりも適正な酸度矯正や下層への根の繁茂を促進する土壌物理性の改善がより重要と考えられた。

## 2. 粗粒質土壌のヒマワリにたいする炭カル、ヨーリンの施用効果試験

ヒマワリは輪作体系への導入作物として重要な作物であり、これまでパラグアイ東部のアマンバイ地区では広く栽培されていた。しかし1994年10月に行ったアマンバイ地区定点調査においては多くのヒマワリ生育の不良な圃場があり、調査の結果、その原因は強酸性とリン酸不足であることが知られた。そこで1996年粗粒質土壌の多いアマンバイ地区においてヒマワリにたいする炭カル、ヨーリンの施用効果に関する現地試験を実施した。

### 1) 試験方法

試験場所はアマンバイ県ペドロ・ファン・カバジェロ市アマンバイ農業協同組合内圃場である。試験区の構成を第53表に示した。定点調査では、表土のpHは中性であっても15cmからの第2層が酸性を示す場合も生育障害が現れていたことから、炭カルを30cmまで混和した区も設けた。

第53表 アマンバイ地区ヒマワリ現地試験設計

試験区	処理の概要
1. 無肥料区	肥料、改良資材とも無施用
2. 標準区	NPK 施用 改良資材無施用
3. 炭カル 15cm区	NPK 炭カル 2t/ha 15cm 混和
4. 炭カル 30cm区	NPK 炭カル 2t/ha 30cm 混和
5. ヨーリン区	NPK ヨーリン 300kg/ha 15cm混和
6. 炭カル・ヨーリン区	NPK 炭カル ヨーリン 15cm混和

品種はG-103 を使い、1996年5月7日 80cm×20cm点播、1区面積50㎡の2連制で試験を行った。施肥は N 60、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60、K<sub>2</sub>O 30 kg/haを硫酸、過リン酸石灰、塩化カリで施用した。収穫は1996年10月15日に行った。

## 2) 試験結果

### (1) 生育及び収量

ヒマワリの生育と収量を第54表に示した。ヒマワリ生育には発芽直後から施肥効果が大きく現れ、播種22日後の調査では茎長、葉身長ともに標準区が優った。播種50日後の調査ではヨーリン区の生育が最も優れ、次いで標準区で、炭カルのみ施用区の生育は他区に比し劣った。

収穫期に鳥害をうけたが、被害の比較的軽微な部分で行った収量調査によると、最高収量は炭カル・ヨーリン区の0.95t/ha、次いで炭カル30cm区0.54t/haで、無肥料区、標準区は低収であった。

第54表 アマンバイ現地試験におけるヒマワリの生育・収量

試験区	29 May. 96		3 Jul. 96		収穫期の生育		収量		
	茎長 (cm)	第一葉身 長 (cm)	茎長 (cm)	最大葉身 長 (cm)	茎長 (cm)	花径 (cm)	全重 (t/ha)	茎重 (t/ha)	子実重 (t/ha)
1. 無肥料区	7.1	11.8	13.3	9.4	77.2	6.0	1.15	0.67	0.23
2. 標準区	9.1	15.9	24.2	16.2	88.4	7.1	1.82	0.99	0.21
3. 炭カル15cm区	8.5	14.5	16.0	10.6	82.1	7.0	1.37	0.70	0.43
4. 炭カル30cm区	8.2	14.7	18.1	13.1	81.4	7.8	1.81	0.94	0.54
5. ヨーリン区	7.9	14.6	25.3	17.6	92.9	7.8	1.97	1.00	0.35
6. 炭カル・ヨーリン区	8.0	14.1	20.1	13.6	95.2	8.7	2.03	0.88	0.95

### (2) 土壌分析結果

生育期間中に行った土壌分析結果を第55表～第58表及び第28図に示した。

pHについてみると無肥料区のpHが異常に高いのでこれを除いてその推移をみると、炭カルを施用した試験区のpHはいずれも高い値で推移しているが、ヨーリンのみの施用区のpHは急速に低下していた。また層位別のpHをみると炭カル施用の有無に拘らず、深さ20cmまではpH=5.0以上であるが、20cm以下では5.0以下の強酸性となっており、これが全般的な低収につながったものと考えられる。

可給態リン酸含量は10cmまでは1mg以上の値を示すが10cm以下の層位では0.1mg以下で推移しており、リン酸の下層への移動は殆ど見られない。これにたいし無機態窒素は速やかに硝酸態窒素に変化して下層に移動していることが知られ、収穫期には表層より下層の無機態窒素濃度が高い傾向が見られた。第28図に示した置換性塩基の推移についてみると、カルシウム、マグネシウム、カリのいずれも生育期間中著しく減少しており、これが下層のpHが5.0以下の強酸性を示す原因と考えられた。

第55表 アマンバイ・ヒマワリ現地試験における土壌pHおよび可給態磷酸の推移

試験区	層位	pH					可給態磷酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g)				
		8 May. 96	29 May.	3 Jul.	31 Jul.	15 Oct.	8 May.	29 May.	3 Jul.	31 Jul.	15 Oct.
1. 無肥料区	1	6.34	6.00	6.16	5.90	6.55	0.31	0.38	0.21	0.24	0.39
	2	6.70	5.65	5.77	6.49	7.12	0.22	0.17	0.13	0.35	0.15
	3	5.53	5.05	5.60	5.02	5.61	0.01	0.08	0.04	0	0.10
	4	5.23	5.20	5.78	4.88	5.11	0	0.09	0.06	0.01	0.12
2. 標準区	1	5.92	5.56	5.53	5.70	5.18	0.36	0.58	2.07	0.72	0.88
	2	6.25	5.23	5.44	4.85	5.48	0.02	0.15	0.15	0.08	0.15
	3	5.65	4.79	4.80	4.75	5.15	0	0.09	0.06	0.02	0.09
	4	5.54	4.99	4.85	4.79	5.05	0	0.09	0.07	0	0.07
3. 炭カル 15cm区	1	6.64	6.04	6.53	6.30	6.68	0.48	1.82	1.92	1.41	1.17
	2	6.37	5.88	5.36	6.01	5.70	0.04	0.17	0.14	0.10	0.21
	3	5.60	4.96	4.77	4.73	4.80	0	0.08	0.05	0	0.09
	4	5.90	4.63	4.79	4.90	4.58	0	0.06	0.04	0	0.06
4. 炭カル 30cm区	1	6.43	5.87	5.90	6.02	5.57	0.48	0.48	1.29	0.99	1.21
	2	6.26	5.67	5.65	5.35	5.80	0.02	0.15	0.13	0.07	0.23
	3	5.79	5.05	4.89	4.78	5.37	0.01	0.07	0.07	0.01	0.11
	4	4.80	4.63	4.90	4.64	4.81	0	0.06	0.03	0	0.09
5. ヨーリン区	1	5.63	5.24	5.30	5.20	5.02	3.80	1.48	1.80	2.23	2.53
	2	5.98	5.23	4.86	4.98	5.17	0.05	0.22	0.13	0.06	0.07
	3	5.46	4.51	4.37	4.88	4.66	0	0.07	0.03	0	0.09
	4	5.05	4.55	4.84	5.00	4.77	0	0.07	0.05	0	0.10
6. 炭カル ヨーリン区	1	6.45	5.91	5.87	5.77	6.03	2.64	1.59	0.67	0.75	1.45
	2	6.30	4.98	5.25	5.18	5.28	0.01	0.15	0.17	0	0.19
	3	5.26	4.74	4.82	4.78	4.78	0	0.05	0.07	0	0.16
	4	4.95	4.82	4.86	4.90	4.66	0	0.03	0	0	0.13

第56表 アマンバイ・ヒマワリ現地試験における無機態窒素の推移 (その1)

試験区	層位	8 May. 96			29 May.			3 Jul.		
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	合計	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	合計	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	合計
1. 無肥料区	1	0.32	0.75	1.05	0.27	0.04	0.91	0.01	0.29	0.30
	2	0.35	0.78	1.13	0.21	0.09	0.30	0.23	0.06	0.29
	3	0.40	0.14	0.54	0.28	0.09	0.37	0.62	0.21	0.83
	4	0.69	0.19	0.89	0.22	0.31	0.53	0.23	0.09	0.32
2. 標準区	1	6.28	0.37	6.65	2.28	0.86	3.14	0.45	0.33	0.78
	2	0.57	0.14	0.81	0.56	0.51	1.07	0.24	1.45	1.69
	3	0.53	0.10	0.63	0.33	0.51	0.84	0.36	2.55	2.91
	4	0.44	0.31	0.75	0.32	0.14	0.47	0.35	0.53	0.88
3. 炭カル 15cm区	1	6.32	0.16	0.48	0.99	1.45	2.44	0.28	0.82	1.10
	2	0.17	0.48	0.65	0.18	0.50	0.68	0.16	1.31	1.47
	3	0.25	0.19	0.44	0.16	0.54	0.70	0.27	1.05	1.32
	4	0.19	0.35	0.54	0.06	0.48	0.54	0.32	0.71	1.03
4. 炭カル 30cm区	1	5.53	0.46	5.99	0.35	1.35	1.70	0.27	0.74	1.01
	2	0.22	0.64	0.86	0.56	0.65	1.21	0.26	0.65	0.91
	3	0.18	0.29	0.47	0.08	0.62	0.70	0.24	0.62	0.86
	4	0.28	0.78	1.06	0.06	0.69	0.75	0.26	0.79	1.05
5. ヨーリン区	1	4.58	0.30	4.88	2.40	1.38	3.78	0.17	0.36	0.53
	2	3.91	0.35	4.26	4.13	0.68	4.81	0.55	1.22	1.77
	3	0.20	0.15	0.35	0.44	0.55	0.99	0.36	1.08	1.44
	4	0.32	0.63	0.95	0.33	0.42	0.75	0.87	0.75	1.62
6. 炭カル ヨーリン区	1	5.10	0.19	5.29	1.41	2.81	4.22	0.50	0.33	0.83
	2	0.41	0.32	0.73	2.71	1.04	3.75	0.66	0.93	1.59
	3	0.34	0.13	0.47	0.63	0.50	1.13	0.56	1.03	1.59
	4	0.36	0.53	0.89	0.42	0.57	0.99	0.59	0.23	0.82

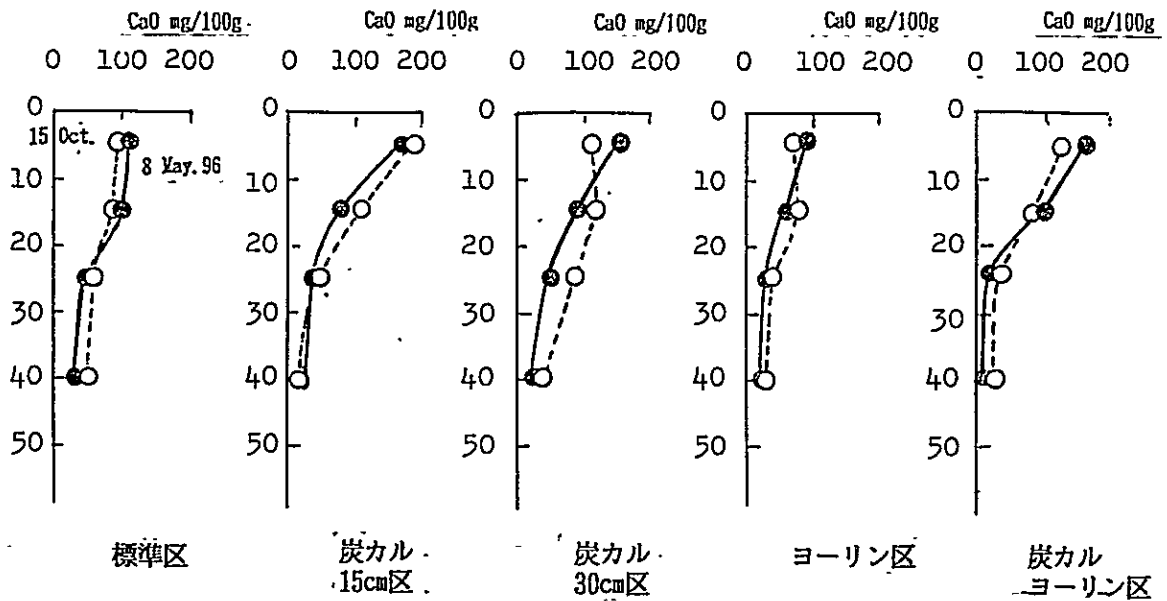
第57表 アマンバイ・ヒマワリ現地試験における無機態窒素の推移 (その2)

試験区	層位	31 Jul. 96			15 Oct.		
		NO <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	合計	NO <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	合計
1. 無肥料区	1	0.27	0.31	0.58	0.51	0.40	0.91
	2	0.33	0.28	0.61	0.68	0.08	0.76
	3	0.41	0.33	0.74	0.79	0.04	0.83
	4	0.44	0.45	0.89	0.86	0.26	1.12
2. 標準区	1	0.29	0.35	0.64	0.86	2.52	3.38
	2	0.35	0.61	0.96	0.77	0.47	1.14
	3	0.48	0.87	1.35	0.57	0.65	1.22
	4	0.34	0.67	1.01	0.49	0.88	1.37
3. 炭カル 15cm区	1	0.35	0.49	0.84	0.59	0.95	1.54
	2	0.37	0.85	1.22	0.63	0.39	1.02
	3	0.45	0.98	1.43	0.62	1.77	2.39
	4	0.52	0.55	1.07	0.75	0.91	1.66
4. 炭カル 30cm区	1	0.44	0.04	0.48	0.75	1.13	1.88
	2	0.50	0.85	1.35	0.91	0.60	1.51
	3	0.48	0.86	1.34	0.47	0.63	1.10
	4	0.81	0.39	1.20	0.92	0.28	1.20
5. ヨーリン区	1	0.27	0.48	0.75	1.03	1.24	2.27
	2	0.38	0.83	1.21	0.42	0.42	0.84
	3	0.36	0.56	0.92	0.50	1.27	1.77
	4	0.48	0.44	0.93	0.66	0.86	1.52
6. 炭カル ヨーリン区	1	0.33	0.14	0.47	0.83	0.80	1.63
	2	0.37	0.13	0.50	0.57	0	0.57
	3	0.51	1.11	1.62	0.67	0.43	1.10
	4	0.38	0.66	1.04	0.93	1.39	2.32

第58表 アマンバイ・ヒマワリ現地試験における土壌中の置換性成分 (mg/100g)

試験区	層位	CaO		MgO		K <sub>2</sub> O	
		8 May. 96	15 Oct.	8 May. 96	15 Oct.	8 May. 96	15 Oct.
1. 無肥料区	1	121.1	151.0	11.7	9.4	13.1	13.3
	2	145.4	201.0	13.1	9.0	15.2	10.1
	3	38.6	75.3	5.3	4.3	2.9	5.1
	4	24.8	108.0	5.0	6.3	3.2	8.9
2. 標準区	1	109.0	102.0	10.0	6.4	18.9	7.9
	2	102.6	99.2	9.0	6.1	7.0	6.5
	3	47.2	55.0	5.3	4.4	3.8	5.4
	4	39.2	40.8	6.2	4.1	4.1	4.7
3. 炭カル 15cm区	1	181.1	181.0	10.4	6.9	15.0	8.0
	2	90.8	121.0	7.7	6.2	11.2	2.6
	3	40.1	49.0	4.0	2.7	2.9	3.7
	4	27.6	21.5	3.0	1.3	1.4	2.6
4. 炭カル 30cm区	1	155.5	113.2	10.8	5.4	10.8	9.4
	2	94.8	119.0	11.4	7.5	12.3	8.6
	3	55.6	81.0	5.7	4.4	4.5	5.0
	4	17.6	26.0	3.0	1.4	2.3	1.0
5. ヨーリン区	1	92.0	75.0	10.8	7.1	10.4	6.9
	2	71.6	75.2	7.8	5.5	10.5	1.1
	3	27.3	32.0	3.0	2.8	5.0	3.5
	4	20.4	28.0	3.3	2.0	1.1	2.4
6. 炭カル ヨーリン区	1	178.4	128.0	13.1	7.7	10.5	7.7
	2	92.7	87.0	8.0	4.7	8.0	2.6
	3	13.5	24.0	2.2	1.9	3.7	3.7
	4	10.0	19.0	2.0	1.6	1.0	2.5





第28図 アマンバイ・ヒマワリ試験土壤中の置換性カルシウムの変化

### 3) 考察

バラグアイ東北部アマンバイ地区の粗粒質強酸性土壌地帯では、ヒマワリにたいし炭カル、ヨーリンなどの改良資材施用効果の大きいことが知られたが、土壌分析の結果から置換性塩基含量の低下しやすいことが明らかとなった。この原因はアマンバイ土壌の塩基置換容量が小さいばかりでなく、塩基との結合力そのものが小さいためではないかと思われる。

前章のイグアス地区定点調査で述べたバラグアイ土壌の粘土鉱物の同定結果では、アマンバイ土壌の粘土鉱物組成は89%がカオリナイトでバームキュライト含量は11%であった。このバームキュライトの値は供試粘土のなかでは最も小さい値であって、酸度矯正の目的で炭カルを施用しても置換容量が小さいために土壌に吸着されず、過飽和となって容易に溶脱されるのではないかと考えられる。

本試験においても炭カル施用区では一時的に第3層までのpHが矯正されるものの、開花期以降はpH=5.0以下の強酸性になる例が多くみられた。上方からのカルシウムの移行が続くとすれば下層の酸度もある程度矯正される筈であるが、これがみられないのはカルシウムが作土下に止まらず、さらに下層に移行しているためと考えられる。

アマンバイ地区は初期コーヒー園として開発され、その後畑作地帯となった。永年作物の栽培は相当の深度まで土壌の風化を促進したことが下層までの置換性塩基の減少につながったとも考えられる。これを改善するには腐植の富化によって置換容量を増大させることが必要である。石灰資材の投入は腐植の分解をすすめるから結果的には地力低下をもたらすことになる。困難なことではあるが、不耕起栽培と緑肥作物をとり入れた長期の輪作体系の導入で地力増強をはかることが必要と考えられた。

### 3. アルファルファに対する施肥と改良資材の施用効果

畑作農家が輪作体系に長期間永年牧草を導入する場合は、その牧草は粗飼料として販売可能なものでなければならない。そこで長期輪作体系試験に低温・乾燥に強く、栄養価も高いとして最近南米各地で栽培面積が増加してきたアルファルファを導入することとした。しかしアルファルファは酸性に弱く、リン酸不足の場合には正常に生育しないことが知られている。そこでアルファルファを導入した場合の播種前の炭カル、ヨーリンなど土壌改良資材施用の効果について検討した。

#### 1) 試験方法

試験区の構成を第59表に示した。試験規模は1区面積50㎡、2連制とした。

第59表 アルファルファ改良資材試験 試験区の構成

試験区	肥料・改良資材施用量 (kg/ha)				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	炭カル	ヨーリン
1. 不 改良資材無施用区	60	60	30	0	0
2. 耕 炭カル区	60	60	30	4,000	0
3. 起 ヨーリン区	60	60	30	0	300
4. 播 炭カル・ヨーリン区	60	60	30	4,000	300
5. 種 追肥多量区	90	90	30	0	0
6. 区 総合区	90	90	30	4,000	300
7. 耕 改良資材無施用区	60	60	30	0	0
8. 起 炭カル区	60	60	30	4,000	0
9. 播 ヨーリン区	60	60	30	0	300
10. 種 炭カル・ヨーリン区	60	60	30	4,000	300
11. 区 追肥多量区	90	90	30	0	0
12. 総合区	90	90	30	4,000	300

試験場所はパラグアイ農業総合試験場内の輪作体系試験圃場で、アルファルファを1994年11月30日に播種した改良資材無施用区である。これに1995年7月20日、第3回刈り取り後に改良資材として炭カル2t/ha、ヨーリン300kg/haを表面散布して試験開始した。その後pHが低下したため、1996年3月14日再度炭カル2t/haを表面散布した。

刈取りはアルファルファ開花期で1995年7月から1997年10月までの期間に14回行った。おおむね年6回の割合である。追肥は単肥を用い刈取り毎に分割して施用したが、1997年にはいり土壌中の可給態リン酸含量が高まったので、それ以降追肥は行わなかった。

#### 2) 試験結果

##### (1) アルファルファの生育と収量

試験期間中に行った刈取り調査の乾草重を第60表に示した。

1994年11月に播種したアルファルファの生育は比較的良好で、試験開始後1年間の刈取り毎の平均

乾草重は1.5 ~2.0t/haであった。しかし播種後2年を経た頃からアルファルファ生育は不良となり、1996年8月以降の平均乾草重は0.8 ~1.5t/haであった。1997年10月までの14回の全乾草重は、最高が耕起播種・炭カル・ヨーリン区の29.2t/ha、刈取り毎平均2.08t/ha、次いで不耕起播種・炭カル区の23.7t/ha、平均1.69t/ha、耕起播種・総合区のもの23.5t/ha、平均1.68t/haであった。このように炭カル施用の効果は不耕起播種区では認められたが、耕起播種区では不明であった。

第60表 アルファルファ改良資材試験における刈取毎乾草重 (その1)

	1995		1996						
	13/Set.	16/Nov.	25/Ene.	18/Abr.	10/Jun.	5/Agt.	13/Set.	4/Nov.	18/Dec.
1. 不 資材無施用区	0.86	1.86	1.16	1.78	1.27	1.57	2.08	0.62	1.63
2. 耕 炭カル区	0.91	2.52	1.01	1.84	1.56	1.57	2.28	0.84	1.48
3. 起 ヨーリン区	0.98	2.20	1.28	1.80	1.74	1.68	1.77	0.67	1.26
4. 播 炭カル・ヨ区	1.01	2.65	1.31	1.80	1.52	2.04	2.06	0.82	1.45
5. 種 追肥多量区	0.94	2.42	1.14	2.24	1.61	1.52	1.77	0.59	1.04
6. 総合区	1.04	2.00	1.44	2.18	1.88	1.96	2.14	0.94	1.28
7. 資材無施用区	0.91	2.02	1.28	2.10	1.45	1.83	2.14	0.71	1.43
8. 耕 炭カル区	0.97	2.17	1.45	2.13	1.56	1.33	1.84	0.93	1.08
9. 起 ヨーリン区	1.16	2.47	1.50	2.76	1.85	1.47	1.98	0.89	1.09
10. 播 炭カル・ヨ区	1.38	2.36	1.52	2.32	1.94	2.01	2.73	1.01	2.25
11. 種 追肥多量区	1.04	2.15	1.53	2.07	1.71	1.40	1.75	0.74	1.19
12. 総合区	1.19	2.19	1.43	2.07	1.79	2.09	2.24	0.87	1.38

第61表 アルファルファ改良資材試験における刈取毎乾草重 (その2)

	1997					全乾草重	平均
	27/Ene.	31/Mar.	23/Jun.	18/Agt.	6/Oct.		
1. 不 資材無施用区	1.43	1.21	1.24	1.18	1.31	19.2	1.37
2. 耕 炭カル区	2.34	1.57	1.54	1.77	2.41	23.7	1.69
3. 起 ヨーリン区	1.58	0.92	1.15	1.19	1.50	19.4	1.41
4. 播 炭カル・ヨ区	1.55	1.17	1.49	1.89	2.20	23.0	1.64
5. 種 追肥多量区	1.07	1.01	1.17	1.68	1.39	19.6	1.40
6. 総合区	1.47	1.08	1.38	1.80	2.08	21.7	1.55
7. 資材無施用区	1.16	1.09	1.20	1.45	1.52	20.3	1.45
8. 耕 炭カル区	1.32	0.74	1.45	2.60	1.88	21.4	1.53
9. 起 ヨーリン区	1.33	1.16	1.44	1.75	1.79	22.7	1.62
10. 播 炭カル・ヨ区	2.57	2.29	2.05	2.28	2.35	29.2	2.08
11. 種 追肥多量区	1.33	0.94	1.51	1.62	1.32	20.3	1.45
12. 総合区	1.82	1.56	1.32	1.50	2.05	23.5	1.68

(2) 土壌分析結果

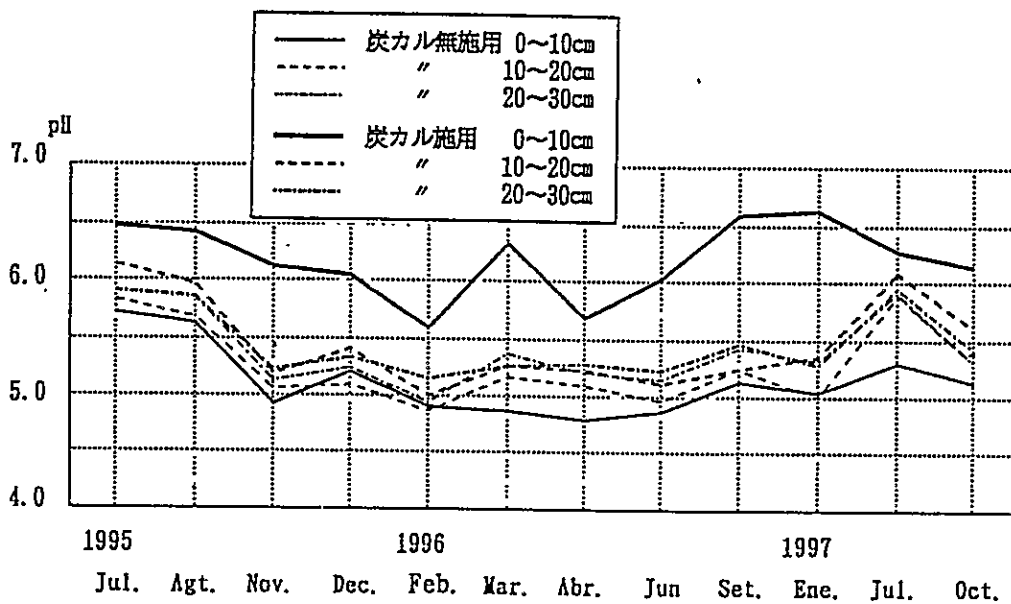
試験開始以来の炭カル施用の有無とpHの関係を同一処理の3区の平均値として第62表、第29図に示した。これによると、炭カル無施用区の第1層のpHは次第に低下し、播種1年以降はpH=5.0前後で推移していた。これにたいし炭カル施用区の第1層では、一時的なpHの低下はあるものの、ほぼpH=6.0以上で推移していた。第2層以下の土層についてみると、炭カル無施用区の第2層の平均はpH=5.27、施用区第2層の平均pH=5.46で、約0.2の差が認められるが、第3層以下では差は極めて小さかった。

第62表 アルファルファ改良資材試験における炭カル施用の有無とpHの関係 その1.

試験区	層位	1995年		1996年						
		7月	8月	11月	12月	2月	3月	4月	7月	9月
炭カル 無施用 平均	1.	5.72	5.64	4.91	5.20	4.90	4.87	4.78	4.87	5.13
	2.	5.84	5.69	5.05	5.09	4.87	5.16	5.08	4.96	5.24
	3.	5.90	5.86	5.12	5.23	4.94	5.36	5.20	5.14	5.43
	4.	6.00	6.19	5.11	5.11	5.12	5.44	5.24	5.27	5.60
炭カル 施用 平均	1.	6.47	6.41	6.12	6.04	5.99	6.32	5.69	6.03	6.58
	2.	6.13	5.96	5.19	5.41	4.99	5.25	5.21	5.10	5.23
	3.	5.92	5.85	5.22	5.33	5.14	5.25	5.28	5.21	5.46
	4.	6.09	6.07	5.16	5.35	5.27	5.43	5.78	5.30	5.56

第63表 アルファルファ改良資材試験におけるpH その2.

試験区	層位	1997年			
		1月	7月	10月	平均
炭カル 無施用 平均	1.	5.04	5.30	5.12	5.12
	2.	5.00	5.90	5.32	5.27
	3.	5.32	5.92	5.32	5.40
	4.	5.31	5.84	5.24	5.46
炭カル 施用 平均	1.	6.62	6.26	6.14	6.22
	2.	5.35	6.08	5.62	5.46
	3.	5.28	5.95	5.43	5.44
	4.	5.37	5.81	5.28	5.54



第25図 アルファルファ改良資材試験における土壌pHの推移

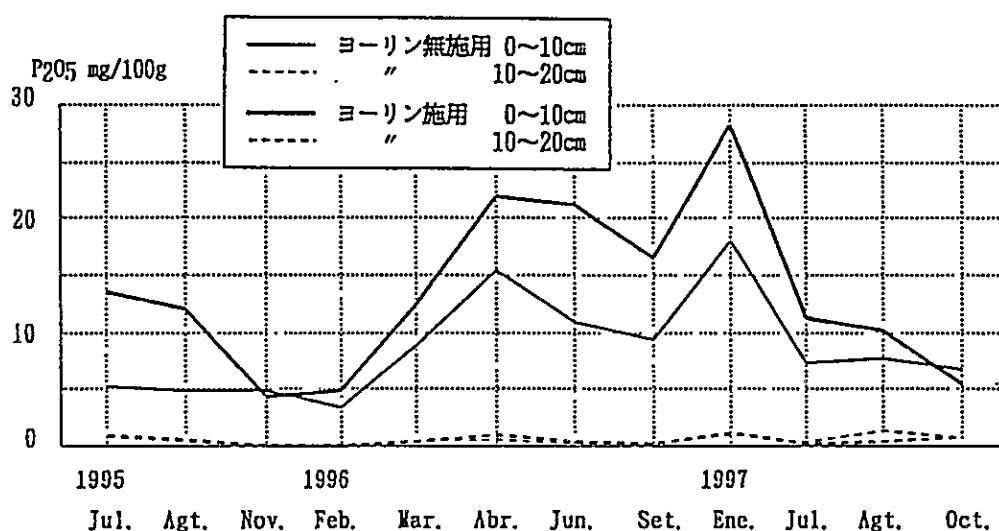
ヨーリン施用の有無と可給態リン酸含量の推移を第64表、第30図で見るとヨーリン無施用区の可給態リン酸は第1層では3.4~17.9mg、平均8.5mgで推移しているのに対し、ヨーリン施用区では4.3~22.0mg、平均13.4mgで推移していた。1995年11月ならびに1997年10月の調査において両区の可給態リン酸含量に差がみられないのは、刈り取り後追肥を行わなかったためと考えられる。第2層は両区とも平均0.5mgで推移しており、ヨーリン施用による可給態リン酸の増加はみられなかった。

第64表 アルファルファ改良資材試験におけるヨーリン施用と可給態リン酸の関係 (P<sub>205</sub> mg/100g)

試験区	層位	1995年		1996年						
		7月	8月	11月	12月	2月	3月	4月	7月	9月
ヨーリン 無施用	1.	5.25	4.92	4.87	3.39	8.78	15.37	10.97	9.35	17.91
	2.	0.69	0.29	0.06	0.07	0.38	0.51	0.24	0.17	0.85
	3.	0.23	0.09	0.01	0	0	0	0	0	0
	4.	0.20	0.07	0	0	0	0	0	0	0
ヨーリン 施用	1.	13.48	11.95	4.28	4.92	12.35	21.99	21.16	16.46	8.35
	2.	0.86	0.61	0.08	0.09	0.35	0.86	0.35	0.23	1.08
	3.	0.27	0.08	0	0	0	0	0	0	0
	4.	0.22	0.17	0	0	0	0	0	0	0

第65表 アルファルファ改良資材試験における可給態磷酸 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg/100g)

試験区	1997年				
	層位	1月	7月	10月	平均
ヨーリン	1.	7.23	7.71	6.71	8.54
無施用	2.	0.31	1.25	0.74	0.46
平均	3.	0	0.12	0.16	0.05
	4.	0.01	0.04	0.09	0.03
ヨーリン	1.	11.28	10.02	5.40	13.49
施用	2.	0.23	0.34	0.80	0.49
平均	3.	0	0.19	0.14	0.06
	4.	0	0.02	0.44	0.07



第30図 アルファルファ改良資材試験における可給態磷酸の推移

### 3) 考察

輪作体系にアルファルファを導入しようとする場合の土壌面からの問題点として、炭カルによる酸度矯正とヨーリン施用の効果について検討したが、両者ともにその施用効果が認められた。また施用方法では、必ずしも鋤込み施用を必要としないことが明らかとなった。これはパラグアイ農業総合試験場圃場の場合、下層は酸性化しにくいいため表土のみの酸度矯正でよいこと、磷酸は植物体内を容易に移行するから表土に十分に存在すれば、下層に鋤込まなくてもよいためと考えられる。

アルファルファのような永年牧草の根はつねに下層に伸張し養分を吸収する。パラグアイ農業総合試験場圃場の粘土層は数メートルにも達するから、下層の物理的条件さえ良ければ根域の拡大は容易ではないかと考えられる。前述の輪作体系試験において草地3年区の土壌改善効果が大きかったのはこのような理由によるものと思われる。

## 第4章 総合考察

本試験成績書は著者の一人三浦が平成6年4月から平成10年3月までの期間、土壤保全専門家としてパラグアイ農業総合試験場において実施した調査、試験結果を取り纏めたものである。

着任に際し要請機関であるパラグアイ国農牧省から提出された要望書に記載されていた指導内容は次のようであった。

- 1) 機械化農業生産体系における侵蝕防止技術の抽出調査
- 2) 土壤保全に関する農業生産システムの開発及び普及協力
- 3) パラグアイ国普及員、組合、生産者グループを対象とした土壤保全講習会の企画指導
- 4) MAG-GTZ 土壤保全プロジェクトとの協力促進

これらの項目のうち1)については、聴取調査と現地実態調査を行うこととし、2)と4)については土壤調査や栽培試験によって検討することとした。また3)についてはパラグアイ農業総合試験場の普及部門に協力する形で実施することとした。このような方針の下に具体的な設計を作成し試験を行った。

最初に実施したパラグアイ農業総合試験場圃場土壤分類調査、イグアス地区土壤保全定点調査は、試験開始にあたってイグアス地区の土壤の実態を知る目的で実施したものである。

パラグアイ農業総合試験場圃場土壤分類調査では、これまで均一な重粘土壤、いわゆるテラロシアとされてきたものが、HCからLiCに変化してきていることが明らかとなった。またLiC区に隣接してSCL区が存在しており、土性は連続的に変化していることが知られた。しかしこのような土性の違いは表層30cmまでで、その下はいずれも粘土含量60%以上のHCであった。

一般に層別別に土壤分布をみた場合、表層部に比重の小さい細粒質土壤が、下層部に粗粒質土壤が存在するのが普通である。したがってパラグアイ農業総合試験場の土壤分布がこのように逆になっている理由は、表層の粘土部分が水蝕、あるいは風蝕によって失われたためではないかと考えられた。

イグアス地区の土壤分布については山下<sup>2)</sup>は表層20cmまでの土色と土性から土壤分類を行い、①赤褐色細粒質土壤、②赤褐色中粒質土壤、③褐色土壤、④灰黄土壤、⑤黒色土壤の5土壤に分類した。そしてその分布状況として、平坦部に①赤褐色細粒質土壤が、その下部に②赤褐色中粒質以下の土壤が分布しているとしていると述べている。イグアスから約200km南部のイタブア地区の土壤分布については白石、小原ら<sup>7)</sup>の報告があるが、調査結果は山下のそれとほぼ類似しており、山下の赤褐色細粒質土壤を中性テラロシア土壤、赤褐色中粒質土壤を酸性テラロシア土壤とした。そしてイタブア地区の土壤分布がこうようになった理由として、中性テラロシア土壤の表層部が侵蝕によって失われたものが酸性テラロシア土壤であり、その結果、粗粒質土壤ほど低地に分布するとした。吉田ら<sup>5)</sup>はブラジル国サンパウロ市付近の畑地と未耕地の土壤を比較した結果、耕地化によって未耕地の第1層、第2層に相当する部分の粘土が流亡することを認めている。

パラグアイ農業総合試験場圃場においても、降雨後、常に地表部に砂の露出がみられる。これは粘土分が流亡し砂が残ったものであって、これが繰り返される時は当然、土性も変化することになる。この現象は開畑、耕地化に伴う避けることのできない現象であり、不耕起栽培あるいは長期輪作体系の導入などによって土壤流亡の被害をいかに軽減するかが地力維持のうえで重要であることを示すものと思われた。

パラグアイでの農業耕作による土壌変化はこれまで一般論としては述べられていても、具体的な数字として示された例は少ない。パラグアイ農業総合試験場圃場の土壌分布も、何時の時点で現在のようになったかは不明であるが、これが土壌流亡によるものであるとすれば、土壌を定期的に調査することによってこれを裏づけることが可能となる。小川ら6)は1990年イグアス地区において土壌断面調査を行うととに不耕起栽培圃場と耕起栽培圃場の土壌理化学性を比較し、殆どの圃場で下層ほど粘土含量が高いこと、不耕起栽培によって表層の腐植や可給態リン酸含量の増加することを認めている。そこでこの調査結果を参考に1995年イグアス地区内に調査定点を設定して土壌調査を実施し、その変化をみた。その結果、粗粒質圃場では表層10cmの土層の流亡がみられたほか、細粒質圃場では土壌硬度の増大と置換性カルシウムの溶脱、表層部での置換性カリウムの蓄積などが認められた。

イグアス地域水質調査は、土壌流亡があればこれが蒸発残渣として測定されるであろうという想定で行っている調査であるが、これまでの調査では土壌流亡と考えられるような数値は認められなかった。イグアス地区の水の全般的な特徴は、電気伝導度値が著しく低いにもかかわらずCOD値が高いことであった。これは富栄養化の原因が自然環境からの有機物の流入であって、圃場からの肥料成分や生活排水など、人為的なものではないことを意味している。しかし一部の河川では大腸菌群数が増加していることは、人口の集中により土壌の浄化能をこえたし尿が排出されていることを示しており、今後は水質保全が重要な課題と考えられる。

永年牧草を導入した長期輪作体系試験は、現在の不耕起による大豆小麦体系を持続的畑作栽培技術として発展させることを目的として1994年から6年計画で実施しているものである。現在前半の3年を経過したところであるが、アルファルファ栽培により下層の土壌物理性が改善されることが知られた。南米における粗大有機物施用の効果として宮坂1)はブラジルにおける緑肥栽培の地力増進、土壌侵蝕防止、雑草抑制などをあげ、緑肥作物としてはムクナとルーピンが適していると述べているが、アルファルファ栽培もこれと同様な効果があるものと思われる。

パラグアイ農業総合試験場における緑肥を導入した輪作体系試験についてみると、尾崎2)は牧草3年区、大豆小麦区、トウモロコシ・小麦区の3体系について、無肥料区、ヨーリン区、施肥区を設けて試験を行った。その結果大豆跡小麦の収量はトウモロコシ跡に比較して優り、また3体系とも施肥区の収量が他区に優るなどの結果を得た。パラグアイ全般の大豆小麦栽培については青山9)の報告があるが、この中で青山は不耕起栽培が土壌保全の面で優れた栽培法であると述べたうえで、パラグアイ農業が現在のような発展をとげたのは日系農家が不耕起栽培の導入によって大型機械による大豆小麦体系を確立したことに起因すると述べている。

緑肥栽培が土壌に与える影響については藤田ら8)はパラグアイ農業総合試験場の耕起栽培圃場と不耕起栽培圃場から土壌を採取してイタリアンライグラスを栽培し、その栽培跡地の大豆生育について検討した。その結果大豆収量は不耕起栽培土壌区が優り、施肥ではリン酸施用の効果が大きいことを認めた。早坂10)は不耕起栽培の利点について検討し、不耕起栽培が下層の亀裂構造を増加させ大豆の増収をもたらしていることを明らかにしている。また山中ら11)は耕作年数と土壌肥沃度の関係について検討し、耕作年数とともに土壌の酸性化が進行すること、古い畑では大豆の総乾物重が低下することなどを明らかにした。



以上の結果を総合すると、大豆・小麦体系に永年牧草を導入することによって下層の土壤物理性が改善され、大豆小麦体系の継続に伴う地力の低下を防止する可能性のあることが知られたが、これは将来の持続的畑作栽培技術の確立をはかるうえで有用な知見と考えられ、今後は牧草の種類や個々の導入作物の栽培法の検討などを積極的に行う必要がある。

土壤構造試験は不耕起栽培の効果は下層の亀裂を増加させるためであるとする点をさらに明らかにする目的で行ったものである。その結果下層の土壤亀裂は作物の生育量を増大させ増収にむすびつくこと、亀裂の量は10%程度が適当で、亀裂の量が多すぎるときは生育遅延で減収することなどが知られた。これは一般の深耕試験においてもみとめられる現象であるが、有効土層の深いイグアス土壌でも根域の拡大が重要であることを示しているものと思われた。11)

長期輪作体系に導入したヒマワリ、アルファルファの施肥法については、適正技術開発研究として試験を行った。このうちパラグアイ農業総合試験場圃場で実施したヒマワリの施肥方法に関する試験では、窒素とリンの施用適量について3年間にわたり同一設計で検討した。その結果、平均収量では窒素リン増施区がもっとも優ったが、無肥料区との収量差は小さかった。この試験ではヒマワリの生育収量のほかに土壤中の肥料成分の動きについても検討したが、無肥料区においても生育初期から無機態窒素、可給態リンとともに比較的高い濃度で推移しており、これが施肥効果の現れにくい原因と考えられた。さらにヒマワリ収量の年次間差がきわめて大きかったことからヒマワリの生育そのものを安定させることが重要な課題と考えられた。

粗粒質土壌畑のヒマワリにたいする炭カル、ヨーリンの施用効果試験は、前年に行った定点調査の結果をもとに、アマンバイ地区において現地試験として行われた。その結果炭カル、ヨーリンともにその施用効果の大きいことが知られたが、同時にアマンバイ圃場の20cmから下層の強酸性化が明らかとなった。この現象はこれまでのところイグアス地区の圃場では認められていないが、白石ら6)のイタイプ地区調査では酸性テラロシア地帯で認められている。また吉田ら4)はサンパウロ付近の未耕地において20cmから下の土層がpH=5.0以下の強酸性を示す場合のあることを述べている。そして強酸性を示すイタイプ土壌、サンパウロ土壌に共通してみられることは、下層の塩基飽和度が極めて低いことで、これが強酸性化の原因と考えられた。

これらの土壌の塩基保持力が弱い理由はその粘土鉱物組成にあるのではないと思われる。三宅1)はブラジル・セラード地帯に分布する粘土質の暗赤色ラトソル土壌の特徴として、珪礫比が2以下で、塩基置換容量が極めて小さいことをあげている。すなわち代表断面の性質として、粘土含量は表土73%、1mの下層83%と極めて高いにも拘らず、全置換性塩基含量はそれぞれ12.8me/100g、7.9me/100g、塩基飽和度は44.5%、20.3%と低いとしている。これらの結果は著者らがアマンバイ地区定点調査において得た土壌分析結果と類似点が極めて多い。アマンバイ地区はブラジル国マットグロッソスル州に隣接している。ブラジルではマットグロッソスル州はセラード地域の西縁にあたりとされており、これよりすると、アマンバイ土壌もセラード土壌の一部とみて差支えないのではないと思われる。

アマンバイ地区のヒマワリ栽培は、数年前までは夏作、あるいは冬作として広くおこなわれていたが、最近では殆ど栽培されていない。これはヒマワリの生育が気象条件に左右されやすく不安定なほかにアマンバイ土壌の低地力も関与しているものと思われ、今後この点についての検討が必要と考えられた。

アルファルファにたいする炭カル、ヨーリンなどの改良資材試験はパラグアイ農業総合試験場圃場で行ったものであるが、試験結果はヒマワリにたいする試験において得られたものと類似していた。イグアス土壌はアマンバイ土壌に比較してバームキュライト含量が多く、下層まで塩基飽和度が高いなど、肥沃である。しかしアルファルファは他作物に比較して酸性やリン酸不足に弱く、その栽培にあたっては炭カル、ヨーリンの施用効果の大きいことが知られた。さらにその施用量についてはその土壌のもつ塩基置換容量や、現在の可給態リン酸量などを考慮して決定すべきであると考えられた。

これまで生育障害の原因究明などを目的として行った農家圃場の土壌分析結果によると、酸性よりもアルカリ性を呈する土壌や、可給態リン酸が50mg/100g を越す土壌がみられた。これは肥料や資材の過剰投入による濃度障害ともいえるべきものであり、今後粘土の流亡や有機物の分解で塩基置換容量がさらに減少するようなことがあれば、その危険はますます増大するものと思われる。また本試験ではアルファルファの3年継続栽培は、後半の病害発生などで問題のあることが知られた。このため4年目からはアルファルファをコロニアルに変えて試験を行っているが、今後、コロニアルにたいする施肥法についても検討する必要がある。

以上これまでの試験結果をもとに長期輪作体系の導入によるイグアス土壌の地力維持向上の可能性とその方策について述べた。しかしこれを持続的農業技術として一般に応用するには、輪作体系試験土壌についてのさらに詳細な検討と、導入作物の生産性の安定・向上をはかることが必要である。これまで輪作体系の地力維持向上効果の大きいことは知られていても、その普及が進まなかったのは、これらの点に問題があったためと思われる。輪作体系試験は総合的な組立て試験であるので、多方面からの検討が必要である。本試験成績には不十分な点が多々あるが、今後の参考になれば幸いである。