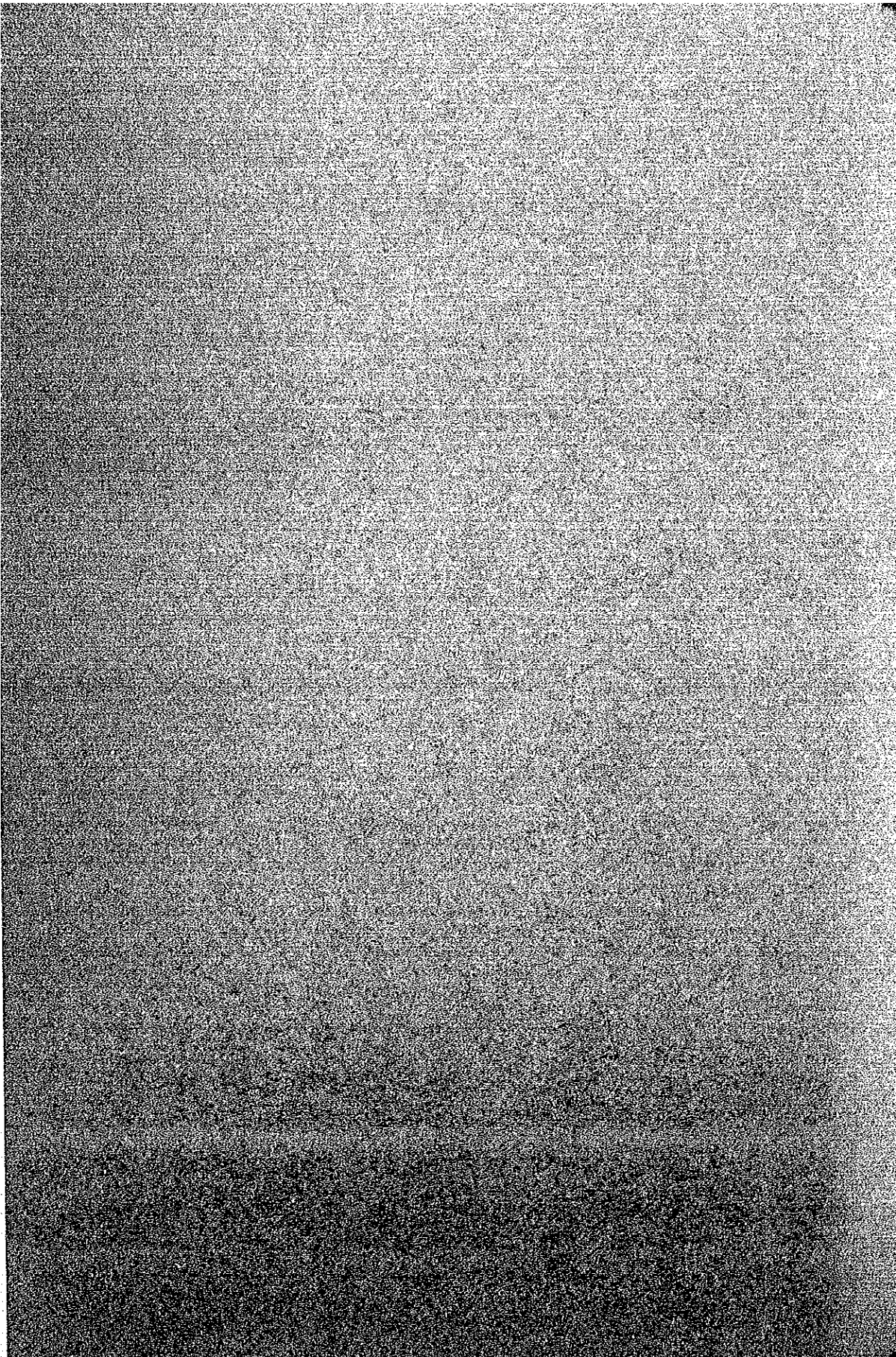


XIII. 水田土壤の地力増進に関する研究

農業技術研究所

土壤化学科長 洪 鍾 雲

農業研究官 許 範 亮



1. 緒 言

農業に従事する人が地力に対して高い関心を注いでいることは昔も今も変りのないことである。ところが人々の認識の内に甚だ長い間定着されたようなこの地力の概念を多くの人々に共感を与えるよう定義をおろしてみようとすれば思つたより大変むずかしい事に気付くであろう。

極く簡単に考えれば地力というのは“農作物を生産する土の能力”と説明することができるがこのような包括的な定義は地力の本質を把握しようとする人達には別に役に立つものとは言えない。

地力問題を論ずる時二つの相異なる視角のあることを知ることが出来る其の一つは地力に対する概念的な視角であつて他の一つは地力の本質に対する視角である。

朝鮮朝の世宗大王時代に撰集された「農事直説」(1442, 鄭招)に次のような句節がある「瘠薄な土には菘豆を播き繁茂するのを待つて耕耘すれば害虫も発生せず作物がよくできる。土地が肥沃しているか否かを判別するには土を一尺程掘つてその土を味わえば分る味が甘いのは上等であり甘くもからくもなければ中等でありからければ下等である」又朝鮮朝の肅宗英祖年間に(1714年)李重煥が著述した扱里志には次のような句節がある“水田で種子一斗を播いて60斗を収獲する水田は上で、40斗を収獲する水田は中で、30斗以下を収獲する水田は瘠薄で生る程の土地でもない”

この二つの典書の記事から地力に対する二つの視角を伺うことができる。農事直説の場合は多分に地力の本質論的な感覚を盛つており扱里説には同量の種子を播いて多くの収量をあげる土地が良い土地であるという概念論的な認識が盛られている。地力に対する二つの視角は最近の文献でも知ることが出来る。

例えば石塚氏は“地力外論”⁽¹⁾で地力問題を慎重に論ずる中に“地力とは農作物の土壌に対する期待に即応する土壌の能力である”との要旨の説明をなしたことがあるが、これは地力の概念を大変包括的にそして簡潔に表現した例と言えよう。

地力の本質論的な接近は東洋よりも西洋で早くそして深く試図されたが水田土壌に関する限り最近に発表された川口と久馬氏等の業績は印象的な例と言えよう。彼等は東南亜諸国の水田土壌の生産性と土壌特性との関係を明らかにする中にいくつかの重要な地力要因を究めようとしたがこれは地力の本質を究明しようとする努力の一環と見るべきである。

地力という言葉は大衆的に使うには比較的便利であるがいかなる時代いかなる社会にも不変に適用できるようにこの用語の定義を下すのは不可能に近いと思うその理由はよい土壌に対する期待はその社会が持つ技術水準により異り又夫々の期待水準を満足させるのに主動的に関与する地力要因これもまた異なるからである。従つて地力増進のための研究も亦時代の変遷によりその方法と目標が変動するのは當然である。

韓国において現代的で科学的な方法で地力増進問題を研究した歴史はさほど長くはない然し短い期間を幾段階に区分して省みる程に地力増進に対する研究経験が蓄積されたと考える。

この度の機会に韓国の水田土壌の特性と地力増進の為の研究の足跡を省みて今後の新しい研究方向の設定に参考にしたいものである。

2. 水田土壌の特性

韓国に施ける水田土壌の諸特性は1964年から1979年までに実施された土

壤調査、並びに土壤肥沃度調査事業を通じて比較的詳細に明らかとなり、これらの文献も報告された⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

土壤調査に対しては主に土壤の形態学的特性を主点にしU.S. Soil Taxonomy に準じて土壤分類を行なった。実用的の目的としては水田土壤を普通水田、砂質田、湿田、未熟田、塩害田、及び特異酸性田の6個の類型に分類した。土壤肥沃度調査事業では土壤別施肥反応及び土壤別改良方法に関する研究と土壤肥沃度に関聯する土壤の主要化学性に対する調査を主に実施した。

前述のいろいろな調査及び研究結果を紹介する前にまずこれら調査結果に対して理解をたすねるために韓国の土壤生成因子特に気候、母材、地形らの特徴について述べることにする。表1は韓国のなんがしよの地域の月平均気温を示した気温を見ると韓国は四季が明らかに典型的温帯気候圏に属することがわかる冬は比較的寒冷であるが夏は気温がかなり高くなる。この様に夏の高温は土壤中の有機物の分解を促進するのに充分であつて韓国では特殊なる事情がない限り土壤中の有機物の含量が高くなる期待をむずかしくする。

表1. 主要地域の月平均気温 (C)

地域 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
江陵	-1.0	0.3	4.7	11.5	16.7	19.7	23.5	24.3	19.7	14.4	8.8	2.4	12.1
Seoul	-4.9	-1.9	3.6	10.5	16.3	20.8	24.5	25.4	20.3	13.4	6.3	-1.2	11.1
大邱	-1.6	0.6	5.7	12.1	17.6	21.6	25.3	25.9	20.5	14.2	7.8	1.4	12.6
釜山	1.8	3.5	7.3	12.5	16.7	19.8	23.7	25.4	21.6	16.6	11.1	5.0	13.8
清州	4.8	5.2	8.0	12.3	16.2	20.4	25.1	25.8	21.7	16.8	12.1	7.6	14.7

資料; Shin (3)

表2は韓国の地域の月平均降雨量を示したもので地域によつて多少差はあるがおよそ年平均の降雨量は1,000 mmを越えるしあめの相当部分は6, 7, 8月に集中している。この様に降雨の様相は生成される土壌について極めて重要な特性を賦与することになる即ち、夏の降雨のしゅうちゅうは降雨量が蒸発する量を超過する結果となり、土壌塩基の溶脱が促進されついに土壌は酸性化現象を招く様になる。

夏期の降雨の集中はまた土壌浸蝕を促進さや河川を汎濫させ谷間の扇状地または河川の沿辺で発達される水田に砂質田の分布増加の原因となる。

要するに気候面から見るとき夏期の高温は土壌中の有機物含量を低下し集中降雨は土壌の酸性化及び砂質田の分布を増加させる点でみると、韓国に施ける水田土壌の肥沃度は天然的に高くなりにくくなることがわかる。

韓国の水田土壌の化学性と物理性を把握するには地質的特性即ち、岩石の分布を見通すことも意義があると思われる。

表2. 主要地域の月平均降雨量 (mm)

地 域	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年降雨量
江陵	36.9	73.4	73.1	70.4	64.1	134.9	212.1	190.7	197.5	87.8	88.0	53.2	1,282.1
Seoul	17.1	21.0	55.6	68.1	86.3	169.3	358.0	224.2	142.3	49.2	36.0	32.0	1,259.2
大邱	15.8	27.1	45.5	64.4	67.4	132.7	200.2	166.5	161.8	44.0	30.1	24.8	979.3
釜山	25.3	44.1	88.5	113.5	139.3	197.3	247.6	165.0	205.1	73.1	43.9	38.5	1,381.4
済州	59.2	75.6	73.1	82.3	88.8	158.1	209.8	226.6	249.5	82.5	69.2	60.2	1,439.9

資料; Shin (3)

図1は韓国地質図であつて全般的に花崗岩系統の岩石の分布が極めて多くなつてゐるのが括目される事実である。周知の如く花崗岩は他の岩石に比べてカルシウム、マグネシウム等、塩基の含量が少なく酸性岩であつて粗粒の岩石でもある。

従つて韓国の様に比較的降雨量が多い条件では花崗岩の風化物を母材とし発達された土壤は酸性化にできやすくまた砂質の含量も比較的高くなる。

韓国に施ける水田土壤の特性を理解するため極めて気になるもう一つの要因は地形である。韓国に於ける地形の中で目立っている特徴は図2に示す様に山が多く平垣地が少く大山脈が東部一方にかたよつて西南海方向には大小の河川が多く発達している事実である。

夏期に降雨が集中する状況で山が多く（従つて傾斜地も多い）大小の河川が多い場合は粘土の流失も甚だしくなつて河川の汎濫による河川沿辺水田の砂質田化が頻繁に発生する。

この様に考えて見ると韓国の地形は砂質田の分布が多くなる地形であると言えよう。

現在主要な土壤生成因子である気候、母材、地形を総合的に考慮し韓国に於ける土壤の特性を推測すると次の図3の様に考えることができる。土壤の生成因子の特徴を示したもので韓国の土壤は天然的に有機物の含量が低く、砂質土壤と酸性土壤の分布が多いのが特徴になつてゐるがこの様な土壤の特性に対しては実際の調査の結果によつて確認される。

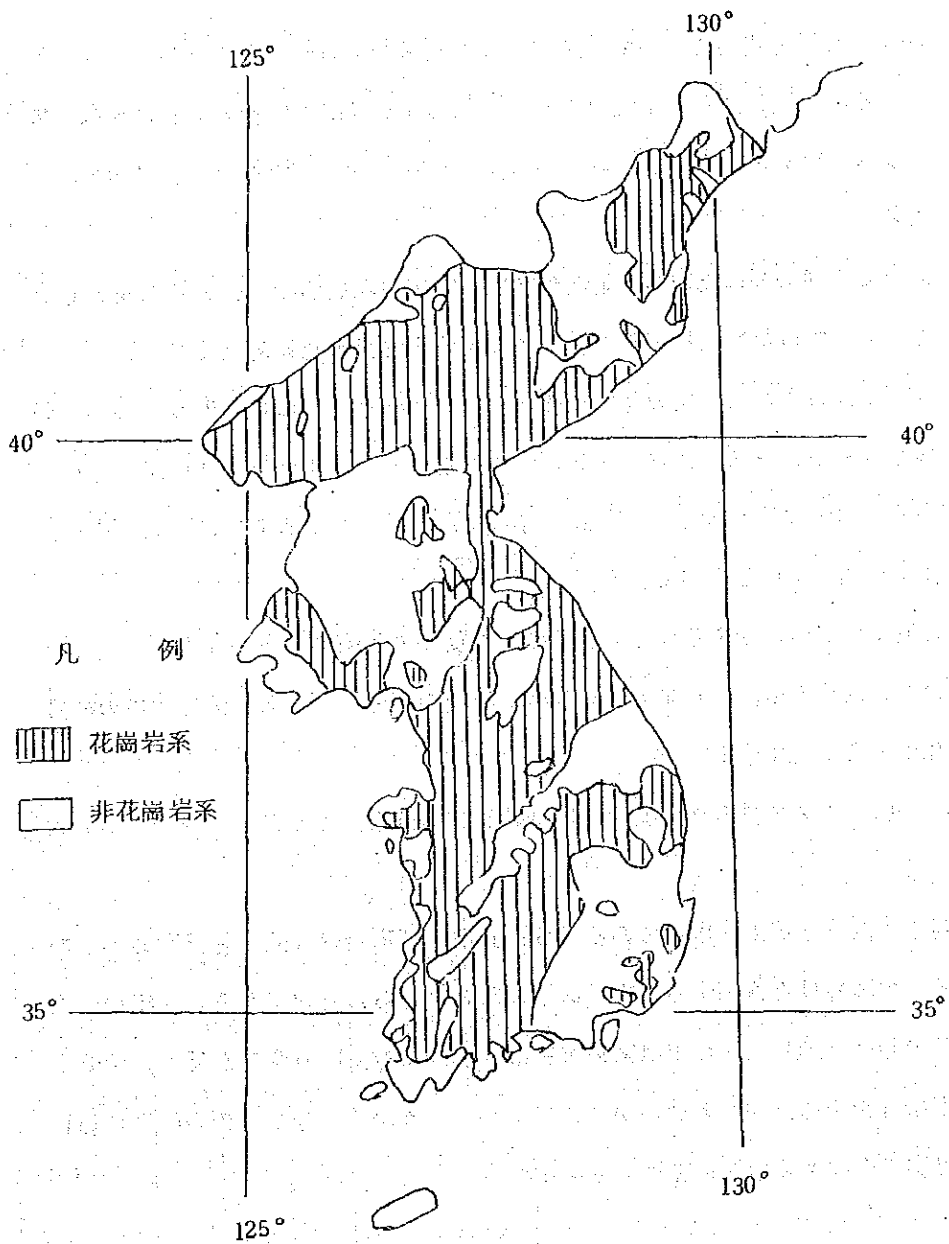


図1. 韓国の地質分布⁽³⁾

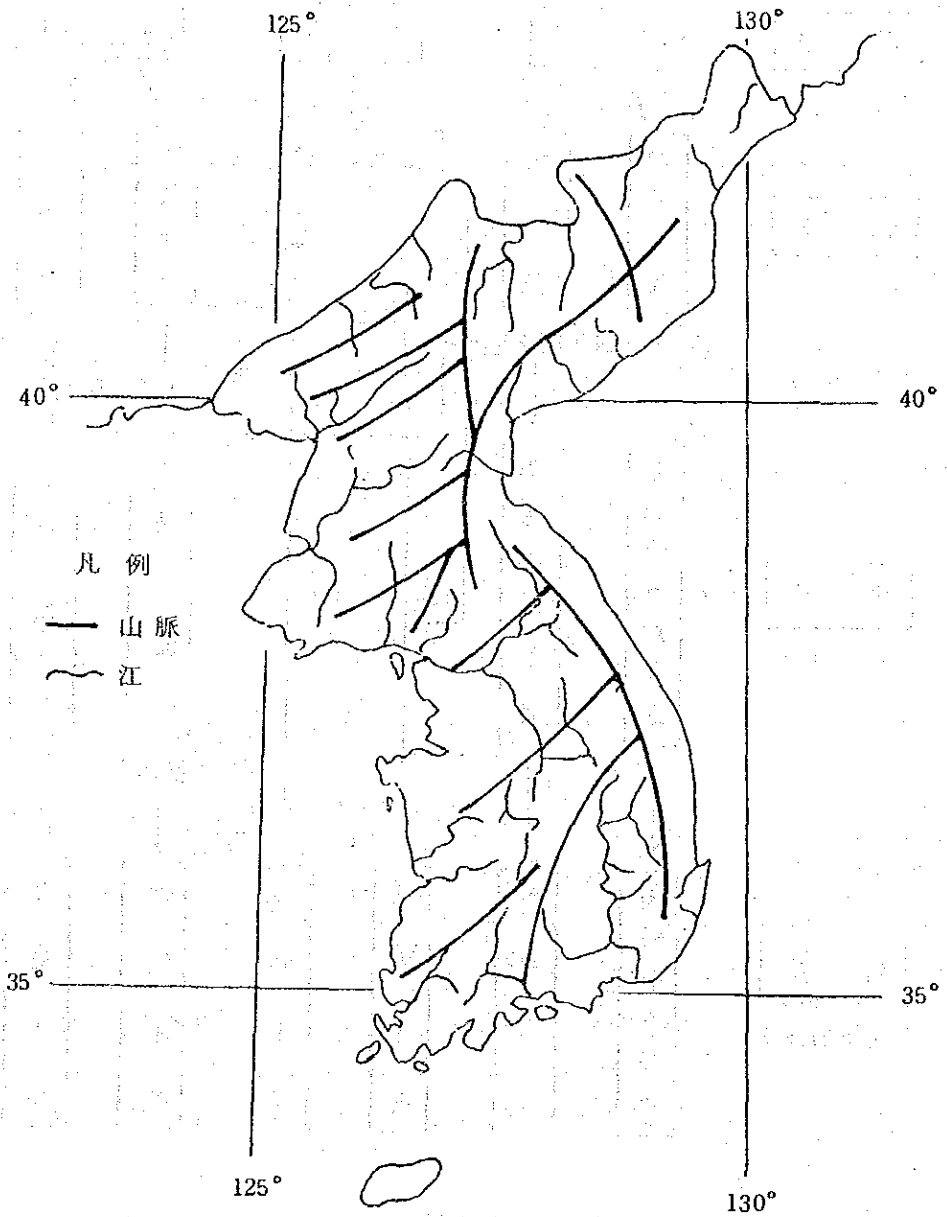


図 2. 韓国⁽³⁾の地形

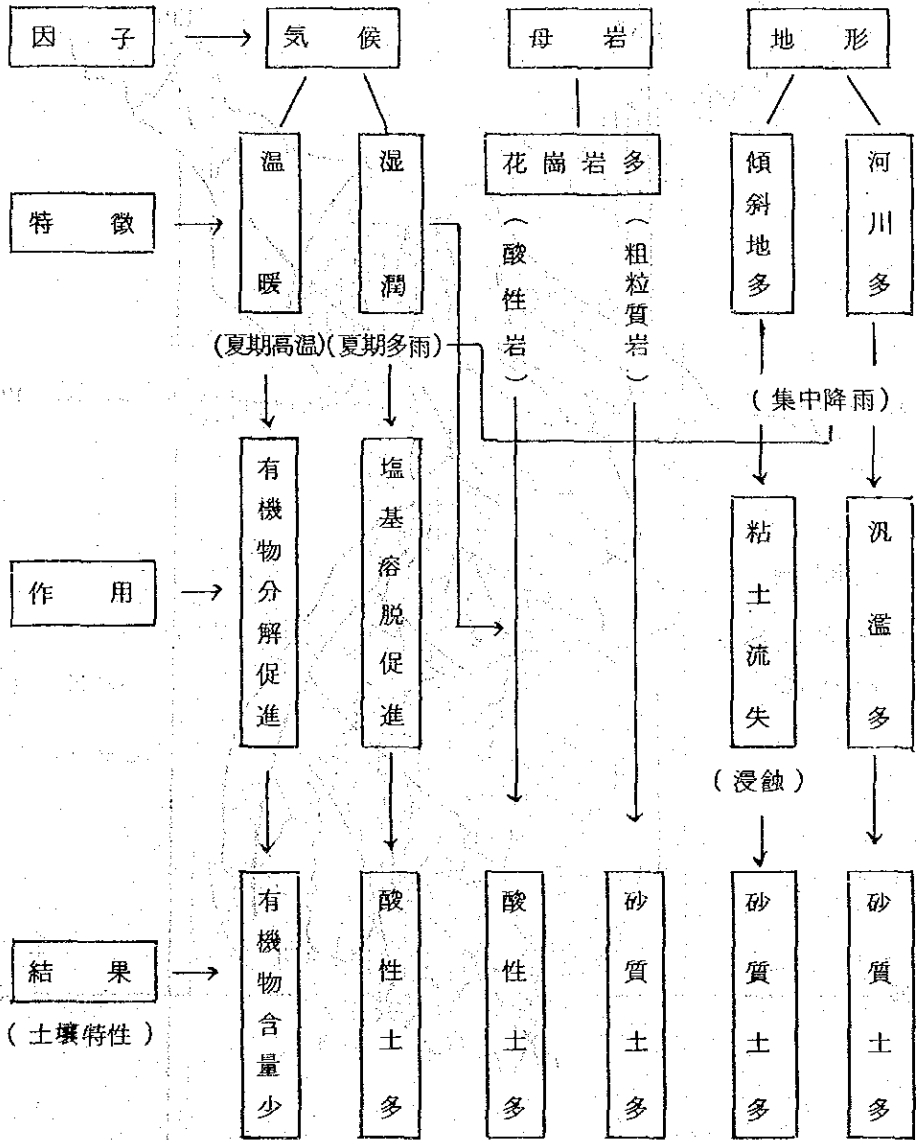


図3. 主要土壌生成因子らの特徴と土壌特性との関係

表3は水田土壌の類型別分布比を示したもので砂質田の分布が全体の水田面積の32%を占めていることに注目される。

ところがここで、言うことは未熟田と湿田を分類する中で土性が砂質である場合が粗當あるから土性の面で分類すると砂質田の面積は全体の水田面積の40%を上回ることになる。

表3. 水田土壌の類型別分布比率

類 型	普通田	砂 質 田	未 熟 田	湿 田	塩 害 田
分布比 (%)	32.6	32.3	23.4	9.0	2.7

資料；農業技術研究所 1979, 試験研究報告書

次に水田土壌の主要化学的特性を表4に示した土壌生成の因子の特徴で推測した様に酸性が強く、有機物の含量は比較的強く陽イオンの置換容量も低下している稲作で重要である。有効珪酸の含量は極めて低いことが認められる。

表4. 水田土壌の主要化学的特性(表土)

pH (1:5H ₂ O)	有機物 ^① (%)	有効磷酸 (ppm)	置換性塩基 (m. e./100g)			CEC (m. e./100g)	有効珪酸 (ppm)
			K	Ca	Mg		
5.5	2.6	60	0.23	4.5	1.8	11.3	78

資料；農業技術研究所；1979 試験研究事業報告書

① Turin法, Lancaster法 (Bray No. 1と類似)

② pH 4.0 CH₃COONa 浸出法 (60℃ 90分間)

ここで水田土壌に於ける化学性を農事を中心として吟味する。pHの値は特異酸性の一部水田土壌のpHは4.0程で極めて低い場合が認められるし石灰地帯

と干拓地帯のpHは7.0を上回る場合もあるが土壌の分布面積は相対的に少なくなっている。そこで一般的の傾向を説明するときはこの除外してみると表4に示したpHの値が大体頻度から見る時はpH値の低いものが多いのが当然であると思われる。このpHの値は稲作自体だとするとそれ程甚刻に問題視される程度に低いと思われないがpHの値自体よりpHが低くなることに伴って有効珪酸の含量が低くなつた点⁽⁷⁾とを関聯させて考えると(朴19)このpHの値は望ましくないことと思われる。(図4)

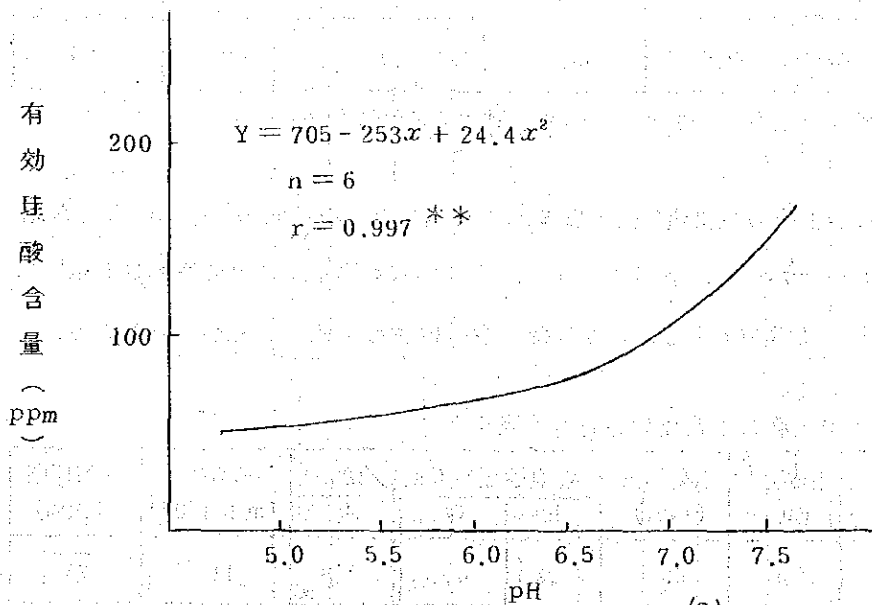


図4. 作土のpHの値と有効珪酸含量⁽⁷⁾

水田土壌に於ける有機物の含量と土壌肥沃度との関係を一般的に論議するのはむずかしいことと思われる。定性的に論ずるとき土壌有機物の重要性を認めない人はごく少ないが特に水稲作に於いてどれ程の有機物含量が望ましい水準であるかの質問、即ち定量的な論議が提起されると定説としてとりあげるもの

はないと思われる。

有機物は土壌構造発達に役に立ち通気と通水性をよくし、土壌の含水能力を高め各種の養分の給源となり有用微生物の活性を高める効果があると思われるのが一般的概念である。水稲栽培の期間中は湛水状態で管理するので水田土壌に於ける土壌構造自体はそれ程含水能力の意味が大きくないと思われる。有機物に対する重要性は水田より畑において相対的に大きいと思われる。

有機物は各種養分の給源であるといわれるがその定量的側面はまだ明らかにされていない。また水田土壌に於ける有機物の過多は場合によっては土壌中の嫌氣的反応物質の過度な集積を来し、根の活力に不良な影響を及ぼしている事実も指摘されており水稲作に於ける土壌有機物の功で過に対する論議は明瞭な結論を下すことは難かしいと思われる。

しかし、近頃高く関心の対象になっている“地力窒素”の問題について考えると、土壌有機物は極めて重要視されるより他はない。“地力窒素”と土壌有機物との関係を種種の側面でさらに検討を要する必要性があることは事実のこである。本質的に“地力窒素”の主な根源は土壌有機物であることに対しては異論の餘地がない。

表4に示した水田土壌に於ける有機物含量の平均値2.6%は川口と久馬⁽²⁾が調査した東南亞諸国の稲作地帯の有機物含量と比べて、下回っていないが、彼らが報告した日本の水田土壌に於ける有機物含量の平均値に比べると著しく低い。

ある地域の土壌有機物含量は地域の気候と営農方式によって決定されるので、ある水準の目標値を設定したとしても容易にその水準に達おるのではないが、韓国の立場は、現在の土壌有機物含量が東南亞諸国と類似していることに満足するのではなく勿論日本の水田土壌の母材のかなりの部分が火山灰であるとい

う特殊な事情もあり得るか？日本の水田土壌の有機物含量に比べて著しく低い点を強調する立場にある。

水田土壌の有効磷酸含量は、施肥水準が高い韓国では土壌肥沃度の骨格を評価する基準になるとは見られない。このことは施肥に伴ってよく変動するからである。磷酸質肥料の施肥が任意に行うことのできない地域に於いて一層重要なことはある時点に於ける有効磷酸の含量そのものではなく、少量施用された磷酸肥料の利用率に至大なる影響を及ぼす磷酸吸着能である点を考える時表4で示す有効磷酸含量に対してくどい説明より水田土壌の磷酸吸着能に対して述べることはるかに意味があると思われる。

韓国の水田土壌の磷酸吸着能は $400\text{mg}/100\text{g}$ 前後であって $600\text{mg}/100\text{g}$ を上回る場合は少なく比較的低い方に属するといえる。(8)

巨視的な傾向で論ずると韓国に於ける水田土壌は現在の磷酸施肥技術が継続する限り土壌肥沃度に於ける制限要因とは言えないと思われる。

しかし、磷酸が問題になる場合が全くないということではない。

一部未熟田、耕地整理の時の表土の切土地では有効磷酸含量が 10ppm 程でこれらの水田では磷酸の増施が重要な土壌改良の手段になる。(9)

置換性塩基は塩基置換容量 (CEC) と同時に検討することであってまず CEC を検討する必要がある。

韓国に於ける水田土壌の CEC は主粘土鉱物が Kaolinite 及び Halloicite である点、⁽¹⁰⁾ 有機物含量が比較的低い点、砂質土壌が多い点などを考えると CEC が高くなることを期待することは難かしいので表4で示した実際の調査値についても $11\text{m}\cdot\text{e}/100\text{g}$ 程で低い。CEC がどれ程度になれば肥沃な土壌であるかの質問にはやはり簡潔に答えにくいものである。

単純に考えると高い CEC は低い CEC に比べて、陽イオン形態の各種養分を保存する能力が大きくまた土壌中における化学変化に対する緩衝能も大きくなりうることもあるために、CEC が小さい方より大きいのが望ましいと思われる。

しかし問題はそう単純に思われない。CEC とは、土壌を構成する粘土鉱物の種類と量それから有機物含量に伴って CEC が決定されるのでもし粘土鉱物の種類が同一であれば CEC は粘土と有機物含量に比例し大きくなるから高い CEC だけを指向すると粘土含量または有機物の含量の高い土壌を指向することになる。

しかし、粘土含量とか有機物含量がある水準以上高いのは望ましくない。これを言い換えるとある土壌に於ける CEC はその CEC を支配する要因によって決定されるから土性とか有機物含量の様な非常に重要な特性を変動せず CEC だけを変動させることは限界があることを見のがしてはならない。

現実的に CEC はどれ程になるのがよいかという質問に対しこれ程であるという研究結果の報告は多くない様であるが、青峰の米の多収穫農家田に対する調査結果で明らかになった事実⁽¹⁾即ち CEC がある程度大きくなると耕土深が比較的浅くても多収穫をあげることが可能であることに反して CEC が比較に低ければ耕土深が相対に深い時に多収穫をあげる事実は CEC と地力との関係を説明するのに重要な参考となる。結論的に韓国水田土壌の平均 CEC 11 m. e./100 g はまだ耕土深が 10 cm 前後である面積が少くないことを考える時安全多収穫をあげる土壌になるには CEC があまり低いものと思われる。置換性の塩基類を評価する時はその絶対量よりも塩基相互の比、そして CEC に対する飽和度を一属関心をもつて見るのが普通である。韓国水田土壌の置換性塩基の相互比自体は今までの研究結果からみると大きな問題点はないものと思われる。しかし、総塩基飽和度は 60 % を下回っているのでこの点が土壌 pH が低くなる原因となつ

てまだ足りないことと思われる。

有効珪酸は最近注目をひくようになつた。

段収が比較的 low であつた過去は稲作と珪酸との関係が認められなかつたが最近多肥並びに多収性品種による多収穫に対する関心が高くなるに従つて水田土壌中の有効珪酸は重要視されるようになつた。

水田土壌に於ける有効珪酸は灌漑水によつて供給されるが土壌においても持続的に供給されると見ても正しくない。

土壌に於ける有効珪酸の供給能力は土壌中の珪酸の溶解速度に比例しその溶解速度は土壌の比表面積に比例する。したがつて比表面積が相対的に小さい砂質土壌では比表面積の大きい埴質土壌に比べて有効珪酸の供給能力が低くなる。

韓国に於ける水田土壌の平均有効珪酸の含量 78 ppm は 相當に低く思われるが日本の水田土壌の 198 ppm⁽²⁾ と比較の対象となつてゐる。韓国の水田土壌の有効珪酸の含量は砂質田の分布が多いのが原因であると思われている。また酸性土壌もこの様な原因の一部であると思われる。

3. 水田土壌に於ける地力増進に関する研究

前述のとおり韓国の水田土壌は物理的基盤面から見ても耕土に対する化学性からも種々な問題点が摘出されている。それにも拘らず最近米の高段収を期待せざるを得ない状況が継続されてきたためその期待を充足する多角的努力が傾注されておりこれに対する努力の一面を地力増進のための種々の研究と農家の多収穫実績からうかがうことが出来る。

韓国に於ける近代的方法による水田土壌の地力増進に関する研究歴は浅いが次の様に特徴のあるいくつかの分野に分けて考えることが出来る。

1) 老朽化田及び秋落田の改良に関する研究

1950年代の後半より1960年代まで老朽化田と秋落田に関する改良の関心は非常に高かった、これに關聯する多くの試験も実施された。しかし老朽化田とか秋落田の概念は土壤学的概念と異なつてかえつて水稻栽培学的概念に近いものに推察される。これを土壤学的面で見ると多分あいまいなことは事実である。當時老朽化田または秋落田と關聯する概念では特殊成分の缺乏土であるという用語が使われたことがあるが、この用語はあいまい性をまぬがれにくい用語であつた。當時の老朽化田または秋落田、特殊成分缺乏田は何が原因であるかを明確に指摘されてはいないかつ三要素肥料の施用に頼つた時は欠陥のある水田であると理解された。

いくつかの無機成分即ち、活性鉄、有効珪酸マンガン及びマグネシウムも場合によつて缺乏すると思われた。特に日本で提唱された硫化水素による被害説即ち、老朽化田及び秋落田は活性鉄が不足し水稻生育の後期に硫化水素による根腐現象または秋落現象が主な原因である説が高く関心をもたせた。多くの試験結果によると客土、堆肥鉄（堆肥に酸化鉄を混合させたもの）の施用区は活性鉄供給のため硫化水素の不活性化の効果を実証を試みたが珪酸物質及び易還元性マンガンの施用効果に対しても共に検討される様になつた。無硫酸根と含硫酸根肥料の効果についても比較検討された。これ等に關聯する多くの試験結果を詳細に紹介することは困難でここではいくつかの典型的な例と全体的傾向に限つてみると老朽化田感は秋落田に対する活性鉄の不足または硫化水素の過剰な集積はこれ等の水田に於ける稲作を失敗に導く原因になるとは言いにくい結論に到達した。

例えば吳と金⁽¹²⁾の試験結果を表5に示すと老朽化田に於ける含硫酸根肥料の

方がかえつて収量が高い傾向であつて活性鉄施用効果も無硫酸肥料施用区と含硫酸根肥料施用との間には変つた差異は特になかつた秋落田に於ける活性鉄の施用効果はその後一層広範囲な地域において検討されたがその効果は不明であり変動巾も大きくないことが確認された。(13)

秋落田の改良に関する全体的試験成績は洪によつて表6の様に整理されたことがある(4) これらの説明によると鉄・マンガン及び山赤土の施用(鉄分の供給を目的に施用される)は期待する程の秋落田改良の効果がなかつた。含鉄物質の施用が秋落田または老朽化田において効果が著しくない試験成績を見ながらこれら水田土壌に於ける硫化水素の有害水準までの集積可能性に関する疑問を抱く様になりた。

表5. 老朽化田に於ける鉄及び無硫酸根肥料効果

(正粗 kg/10 a)

処 理 \ 肥 種	無 硫 酸 根 肥 料	含 硫 酸 根 肥 料
無 処 理	358	369
鉄	351	371

これらの結果は莫然に硫化水素の過大な集積であると推定したうえで含鉄物質の施用効果を検討するかわりに韓国に於ける水田土壌に関して実際に硫化水素の集積可能性を実験を通じ直接調査し、これに対する理論的考察に関心を抱く様になつた。

これに關聯する研究報告は趙、朴、洪らによつて報告された。趙はFeSに関する溶解度を中心として水溶性のH₂Sによる活動度の問題を理論的に検討するかに対する方法を提示した。(14)

朴等の報告によると水田土壤に於ける活性鉄の含量、pH及び H_2S との関係を数種の水田土壤を供試して調査し韓国に於ける水田土壤に関する H_2S の過大な集積可能性は活性鉄の含量が極めて低く、湛水状態でpH 6.0以下に低い場合を除いて別に高くなると指摘し⁽¹⁵⁾分布が比較的大きい秋落田または老朽化田に於ける H_2S の過大な集積が問題視される程度ではないという端緒を提示した。洪もこれらの問題に対して湛水還元土壤の物理化学的特性面より H_2S の集積可能性の検討と実測を通じて韓国に於ける水田土壤に対して H_2S に関する有害水準までの集積可能性は特殊の場合を除いて稀であることを実測を通じて明らかにした。⁽¹⁶⁾

表6. 秋落田に於ける改良剤効果

(正粗 kg/10 a)

対 照	堆 肥 鉄	硫 酸	山 赤 土
475	487	479	482

* 97 個試験平均

これらの研究結果一時秋落田土壤の問題点を論じる時 H_2S の問題が必ず取り上げられて論ずる様になり、この対策として含鉄物質の施用を當然のことと思ふ雰囲気であつたが、最近、老朽化田感は秋落田の用語はさ程使用しなく、 H_2S の問題も取りよけて論じない様になつた。

2) 珪酸質肥料の効果に関する研究

有効珪酸の含量が相対的に低い韓国の水田土壤に関する珪酸質肥料の効果を期待するのは當然のこと老朽化田と秋落田の問題点が H_2S の集積であると同聯する時含鉄物質の効果の究明は一層関心を集中されたので珪酸質肥

料に対する関心をそれ程深いものではなかった。

しかし、いろいろな種類の水田土壌の改良試験では珪酸質肥料の効果について検討され良質の珪酸質肥料は、多くの場合水稻増収に効果的であることは明らかであつて、この問題に対する体系的な研究が必要となつた。広範な調査地域で土壌中の有効珪酸含量は珪酸質肥料の効果を検査したがこの結果から土壌の有効珪酸の含量を土台に珪酸質肥料と推薦方法が發展された。(17)

水田土壌の化学的特性を論ずる時指摘の通り韓国に於ける水田土壌中の有効珪酸の含量は極めて低くなつてゐるため、珪酸質肥料の効果として広範の地域で観察されるのは當然のことで最近韓国の水稻作において珪酸質肥料が重要視されることも當然なことと思われる。

朴の調査によると韓国の水田土壌中の有効珪酸の含量が不足なものと判断される場合が全水田の90%を上廻ることであると言われ(17)珪酸質肥料の施用量は10 a 當り200 kgであると報告されているがこれ程の量を全体の 水田面積に施用するとすれば年間約24万 tonの珪酸質肥料が供給されることになる。しかし、現実的にどの様にこれ程多い物量を供給することは難しいので稲わら推肥施用で農業の副産物中の珪酸を出来得る限り農土に還元させ、有効珪酸の天然供給能が比較的大きい客土材料を利用し、深耕による土壌珪酸の利用率を増大させないから、不足量を珪酸肥料で補充する立場を選んでいるのが現在の実情である。

3) 客土の効果に関する研究

前に述べたが初期では老朽化水田または秋落田に対する活性鉄供給手段の一つとして客土を考えたこれらの土壌において、鉄分の供給は強い意味がないと認識されてから客土に対する他の検討が試図される様になつた。客土と

は広義に考えるとある農土に土壤性質を変動させる目的である地点から土を運搬して投入する意味であるが、最近実際に極めて広範に考慮しているのは砂質土に、粘土含量が高い土壌を入れることである。この際大切なことは従来とちがって活性鉄含量でなく粘土含量であって良質の客土材料土壌（主に山の赤土）には粘土だけでなく有効珪酸の含量が相当高い反面有機物と有効磷酸の含量は非常に低いことに注目されている（表7）

表7. 山の赤土の分析例

pH	有機物 (%)	有効磷酸 (ppm)	有効珪酸 (ppm)	粘土 (%)
5.4	0.36	4	229	38.8

資料；嚴明浩，任正男 1979，農技研 試験研究報告書 P. 235

砂質田に於ける客土の効果を活性鉄の供給面でさがさなく客土をし耕土の有機物含量と有効珪酸の含量に変動する点に着眼し客土と窒素肥料施肥量との関係を目的とする試験が実施され極めて刮目すべき情報を得ることになった。

これら情報の端緒は砂質田で客土量対窒素施肥量に関する試験結果で得られ本試験の客土量がある範囲内で増加するに伴って、窒素施肥量が多くなりこれに基づいて稲作収量も高くなる傾向が発見された。(18)

本試験成績に基づいて水田土壌中の有機物と有効珪酸の含量との比がある水田では最高収量をあげるのに必要な窒素施肥量を算出する時重要な考慮事項になることが明らかとなった。これと関連して実際いくつかのモデルを提案し検討された。(19) (20) (21)

この様な研究過程を通して、客土に対する認識は進むようになった。

老朽化田また秋落田の改良に関心をもっていた客土の意義は主に活性鉄の供給であったが現在の客土は主に砂質土壌の土性改良に主眼点をおき客土の耕土の化学性変動を考慮してこれに相応する後続的措置が適當に取扱かわれる時所期の成果となることが土壌改良の技術であると認識される。

3) 有機物効果に関する研究

水稲作に於ける有機物の効果とはその様相が極めて複雑であつて、制限された紙面で全国に於ける水稲作に関して有機物効果の研究の全貌を論じることとは無理である。

従つて韓国の最近の水田土壌の地力増進に関する研究の趨移を近くで観察する研究者の立場から水稲作に於ける有機物の問題に関する見解を略することにする。

湛水土壤中に於ける有機物の分解の様相から見る時、水田土壌に施用される有機物は効果面から両面性をもつことになる。その効果の両面性とは有利な効果と不利な効果を意味する。有機物には作物生育に必要ないろいろな養分が一樣に、なつているためたとえ時間の問題があるが有機物施用は、土壌に各種の養分を供給した結果となり、また有機物は有用土壌微生物の活性を高め土壌の天然肥沃度の増進に役立つものである。そればかりでなく、また具体的に種類と量が明らかになつていないが、有機物は土壌中で分解しながら水稲の耐災害性の増強に有利な作用をする物質を生成させ、特に窒素供給の持続性を増加させる効果もあるとされている。これが有機物の有利な側面であるに反して湛水土壤中の有機物が嫌氣的に分解する時数種の有害な有機酸が集積する可能性があり、透水性の不良な場合には易分解性有機物は土壌の還元を著しくさせ2価鉄の様な還元生成物の過大な集積を誘発することもありこの点が有機物効

果の不利な側面である。

この様に湛水土壤中に於ける両面的特性をもつ水稻作に関する有機物施用効果は試験条件によって区々に示されることである。

従って有機物の施用効果の如何可否を基準としこれらの施用否可を論ずればい限りない論議のくりかえしにすぎないことになる。

それで有機物施用に関する問題は短期的に當年または二、三年の内施用効果をも基準に論じないで一層原則的で巨視的視野で取扱うことが望ましいものと思われる。

有機物現実的に稲作に於いては稲わらをどの様に処理されるかとの問題は土壌または気象条件によって異なることと思われるが植物養分の給源では土壌は決して不可耗的資源でないこと即ち集約的で高収量をあげる農法が継続される時、土壌の養分の供給能力は、限りなく持続することを期待することがない事実困難である稲わらでは相当量の作物に必要となる元素、即ち、わら700kg(10aに生産される量である)では約56kgの珪酸、14kgの加里、35kgの窒素、1.7kgの磷酸、……が含有されている。事実、それから肥料の製造及び輸送に必要なEnergyの値は継続上昇される事実これらを総合的に考慮しながら原則論的立場で取扱わなければならない。

これからの我々の関心はある条件でわらの施用は有害であるよりもわらをどのような条件で施用し、また惜処後どうするべきかによって稲わら施用からくる有害な影響を少なくさせ地力増進の効果をほめ挙げられることになるかにあっめられなければならない。

4) 水田土壌類型別改良に関する研究

水田土壌の類型的分類は農耕地に対する精密土壌調査の進展と共に試図

された。

ここでは過去の秋落田とか老朽化田または特殊成分缺乏土の概念を排除して水田土壌の形態的特性を主に考慮し土性の壤質乃至埴壤質土で水田土壌化がよくできた水田を普通田土性が砂質乃至砂壤質で水田土壌化がよくできた場合は砂質田，土性が重粘質で水田土壌化が不十分な水田を未熟田，土性とは無関係で地下水位が高く年中湛水状態である田を湿田，とし干拓地において塩害を受ける水田は干拓水田であるが塩害度によって差がある。特異酸性土でできた水田を特異酸性水田に分類した。

この分類で各類型の水田土壌が持っている具体的特徴を分類の基準にするため土壌類型別に対する改良の対策の樹立が容易になった。

表 8 は農業技術研究所が提示している水田土壌類型別改良方法である。

表 8. 水田土壌類型別に対する改良方法

改良剤(方法) 水田類型	珪酸①	石灰②	客土③	有機物④	深耕⑤	排水⑥
普通田	○			○	○	
砂質田	○		○	○	○**	
未熟田		○		○	○	
湿田	○		○*			○
塩害田		石膏		○		○***
特異酸性田	○					○

* 砂質湿田に限る

** 深土の土性が不良でないものに限る

*** 地下排水または表面換水

① 珪 酸；有効珪酸 130 ppm 以上は無施用，78 ppm の場合 200 kg/10 a 施用 (施用量 (kg/10 a) = (130 - 有効珪酸) × 3.80)

② 石 灰；pH 6.5 に矯正する必要石灰量

③ 客 土；粘土含量 15 % になる量耕土深 18 cm

④ 有機物；生糞 (稲わら) または，堆肥

⑤ 深 耕；18 cm 以上

⑥ 排 水；日減水深 10 mm

表8に提示された水田土壌類型別改良方法は高水準の多収穫の目標ではないことをまず明らかにして、これら方法の意味を吟味する。

目で見えて感じられるおよそ全部の類型の水田で、珪酸は有効な改良剤となっている事実であるが重粘質である未熟田と塩害田を除いたすべての水田で有効珪酸は全般的に不足なりよく反映されている。石灰は水田土壌のPHが大部分の水田で低い点を考慮すると広範にその施用が推薦されるが大部分の水田ではアルカリ性度が高い珪酸質肥料を施用するため石灰施用を推薦しなくて有効珪酸は多くPHが低い未熟田と低いPHそのものが重要な問題になる特異酸性田だけに推薦される。客土は砂質田の土性改良を主眼点にし推薦され重粘田を砂質土で客土することは考慮されていない。有機物の場合もやはり大部分の水田に施用が推薦され湿田特に冷水湧出では未熟堆肥または稲わらの推薦はされない。

深耕はすべての実施が実際に極めて困難の場合または塩濃度が深耕で高くなったり酸性が強くなる心配がある場合は推薦しない。

排水は原則的に望ましい水準の減水深をなっていないすべての水田に対して推薦するのであるがここでは土壌中還元反応による有害物質の集積が特に問題になる湿田は土壌の中に天然的で有害物質の濃度が高い塩害田または特異酸性田に対してまず推薦している。

5) 水田土壌に於ける総合的改良に関する研究

農業技術の発展過程を見る時感じされるのは各分野で研究された技術が初期段階は単独に評価され活用されるが、ある水準以上になると各技術要因らの間に交互作用に対する関心が高くなり結局分野間の協力によつて総合的技術に発展される。これはあらゆる分野に於いて視察される当然な帰趨で

ある。

植物栄養学で古来から知された“最少養分律”は土壤改良と一層すすんで作物の安全増収技術の確立でも通じる概念であると思う。

土壤の化学性を改良するとしても粗悪な物理性の改良ができない状態では化学性改良の効果は最大に発顕されず土壤改良がよくできたとしても多収性品種の能力と適当な施肥が結果されないと土壤改良の効果は充分発顕されない。この現象は“最低技術律”(Law of minimum technology)と表現してもよからう。

韓国に於ける土壤改良に関する研究の発展過程によつてもこの現象即ち、単要因の改良技術から総合改良技術での変遷がみえる。

初期の土壤改良に関する試験で大部分の場合有効になると思われる。数種の改良剤について単独或いは複合的に処理しながら主に化学性の改良に主眼をおいた。

表9は1959～1968年に実際された土壤改良試験成績の例であるが各処理の効果は大体5%前後であつて段収増加量も15～18kgに過なかつた。

性質上これと類個人した試験が1976年度に実施されたが表10で示した様に珪酸、消石灰、堆肥及び生わらの単独効果を比較しこの試験でも珪酸を除き他の改良剤の効果はあまり大きくないことが明らかになった。(表10)

1977年では全国の多数の場で物理性改良効果及び物理性と化学性を同時に改良する効果を比較する試験が実施されたことがあるが物理性と化学性を同時に改良する方がもつとも効果的であると確認された(表11)。

また1979年では土壤の特性を考慮して物理性と化学性とを総合改良して窒素肥料を全層施肥(基肥に限る)する効果を明かにする試験を実施し興味

表9：水田土壤改良効果（1959～1968）

（収量：白米kg/10a）

改良方法	試験数	対照区	改良区
深耕，N増施	73	344	362（105）
石 灰	102	337	356（106）
客 土	119	312	330（106）
MnSO ₄	163	323	335（104）
稲 わ ら	45	290	309（107）

（ ）は対照区に対する指数

資料は農技研主要研究業績と研究方向 P. 118

表10：水稻に対する数種改良剤効果

（収量：白米kg/10a）

対 照	珪 酸	消石灰	堆 肥	生 葉
483	514	493	497	493
-	(107)	(102)	(103)	(102)

（ ）は対照区に対する収量指数

資料：農技研 1979. 試験研究報告書 P. 478

表11：水田土壤に対する化学性及び物理・化学性改良効果

（白米kg/10a）

対 照 区	化学性改良	物理・化学性改良
459	476(104)	496(108)

* 品種：密陽23号及び密陽21号

資料：農技研. 1979. 試験研究報告書. P. 491

ある結果を得た。表 12 はその中で水原で実施された試験成績の一部である。

表 12 : 水稻に対する土壌の総合的改良及び全層施肥の効果 (1979 , 農技研)

(白米 kg / 10a)

処理 N (kg/10a)	無改良 表面施肥	無改良 全層施肥	総合改良 ^Δ 全層施肥
10	405 (100)	421 (104)	464 (115)
15	443 (100)	455 (103)	501 (113)
20	488 (100)	507 (104)	551 (105)

○ 品種 : 密陽 23 号及び水原 264 号

○ 総合改良^Δ : 物理性と化学性を総合的に改良この成績では窒素全層施肥と土壌総合改良の間に交互効果または単独効果を別別に検討しにくいが従来までの土壌改良効果の巾を考えながらこの成績を吟味するといままで知られたいろいろな技術を総合的に活用されその効果の巾を増大する事実を実感することができる。この事実を裏付ける試験成績の一例を農技研で実施された永年試験からもさがすことができる。

表 13 は試験成績で堆肥及び珪酸の単独効果と複合効果とを比較できる様に抜萃したものであつて、堆肥または珪酸の単独施用よりこれらを複合的に施用した効果が著しく高かつた。

表 13：水稲に対する堆肥と珪酸の単独及び複合的効果（1980 農技研）

処 理	無 改 良	堆 肥	珪 酸	堆肥+珪酸
収 量 ¹⁾ (kg/10a)	410	428	458	482

¹⁾ 収 量：白米

品 種：密陽 23 号

資 料：農技研 1980 試験研究事業報告書 p. 299

1980 年以後はこれらの成績を土台とし農土培養の効果に関する実証試験を実施している土壌改良要因または、それぞれの効果を検討するよりも土壌の物理・化学性を総合改良した効を農家の圃場で実証しながら総合改良時の問題点を補完する方向に研究が進められている一方土壌改良多収性品種の選択栽培法の改善合理的施肥豫察による病害虫防除技術を総合的に実施され科学営農実証試験で農家圃場で遂行された。本試験では比較的肥沃度の低い砂質田を選び物理性と化学性に対する改良と品種の選択、栽培、施肥及び病虫害防除を合理的に行い米の段収 550（一般品種）～650 kg/10a（統一系品種）を目標としているこの成績の一部を紹介すると表 14 に示す通りである。

表 14：科学営農効果実証試験結果

年 度	品 種	試 験 圃	対 比 農 家	備 考
80	曙 光 ¹⁾	540	408	冷 害 年
81	曙 光 ¹⁾	598	538	平 年
	真 珠 ²⁾	574	488	

1/曙光：統一系

2/真珠：一般系新品種

- 試験前土壌：砂質土有機物2% CEC 6.3 ml/100g, 有効珪酸
90ppm
- 土壌改良：客土・堆肥・珪酸質肥料施用及び深耕
- 栽培法：早植(5/23), 密植(90株/坪)
- 施肥量：N 20(曙光), 16kg/10a(真珠), 基肥(70%)
全層施肥, P・Kは土壌分析によつて調節

資料：農技研1980試験研究報告書 p.207 及び1981試験事業評価資料

本試験でいくつかの重要な情報を得るしとができた。即ち土壌に対する総合的改良と合理的品種の選択を始め知られている総合的諸技術を投入すると平年では相当瘠せた土壌に於けても米600kg程度収穫されこの様な科学営農に対する相対的効果(農家対比)は平年より災害年に一層変動巾が大きいことがわかつた。

結局最近の試験を通じて土壌改良及び総合的改良方法で試験を行ない一歩進んで総合的土壌改良は作物に対する安全増収を総合技術の一要因だと見ながら安全増収を発展させる諸技術を導入する状態で新しい土壌改良技術を検討発展させることが強調されている。

4. 今後の研究の方

韓国に於ける農産物の増産、特に国民の主食である米の増産に対する重要性はいくら強調してもよいと思われる。

農産物の増産は耕地面積の拡大と単位面積当りの生産性増大この二つの方

法だけが可能である。

耕地面積の拡大とは莫大な資金と時間が所要され拡大された耕地は新しく手並みを要求されたが最近の趨勢をみる時農村の人力は急速に他産業に吸収されるから、これからの耕地面積の拡大は制限を受ける可能性がある。したがって将来に於ける農産物の増産は単位面積当りの生産性向上の手段に頼ることとなる。

農産物に対する単位面積当りの生産性向上は二つの道すなわち、多収性品種の開発普及と栽培技術の革新の道を通じて成立されると思う。

しかしいくら優秀な品種であつてもまたいくら革新的な栽培技術であつても肥沃な土壌基盤がなければ能力・効果は発顕できないのが事実である。

この様なことを考える時地力増進、特に主食である米の生産の基盤である水田土壌に対する地力増進の要請は今後継続して高まりこの至大なる要請に応ずるためさらにこの分野に対する高次元の研究が継続される必要がある。

今後の地力増進に対する研究は次の様な方向を考慮することであろう。

1) 段収の段階的跳躍のため地力条件の解明と技術確立

今後人口の増加は必然的なことでありこれに従つて食糧需要も超幾何級数的に増加されることは明らかである。この様な状況に対処するには米の段収は現地の 450 kg 線から 550 kg, 650 kg, 750 kg と段階的に増加しなければならない。この様な状況に対して段収をこの様に高くする時の地力条件が解明されこの条件を充足させる実用的技術の確立が必要である。

2) 多収穫技術の長期投与を通ずる持続的多収穫が地力に及ぼす影響解明

現代的多収穫技術即ち、多収性品種の導入、密植、早植局限される成分の肥料施用などは土壌側から見るとすべて土壌成分の収奪を促進する行為

であると解析できる。

土壌は決して不可耗的資源でないという事実を心に銘心して現代的多収穫技術が長期的視野で地方に及ぼす影響を究明し、地力の収奪と回復間の均衡を失はない方法を探索すべきである。

3) 天然資源の活用技術の開発

現地の農法は多分化石エネルギー源の枯渇は時間の問題であるが農業は悠久に継続される産業である。

従つて自然からあたえられる地力増進要因などを最大限に活用されるみち探索すべきである。

土壌に可用なる副産物の還元が合理的にできる様にするみちが研究され生物的窒素固定能力を最大に活用するみちが探索されなければならない。

4) 地力の保全に対する関心

人間の活動の範囲と強度が豫測を不許される程早い速度で増加するため農土は物理的に化学的に甚だしく攪乱され汚染を受ける。

従つて今後地力増進技術の開発と普及に劣はなく確保された地力を維持保全する仕事に対する努力が強調されている。

土壌の汚染に対する無関心もおろそかであるがこれに対する過敏もまたおろそかな事である。土壌の深奥な自浄能力を合理的に利用するがこれを過大評価してはならないと思う現在断片的に行われているこの方面の研究は一層体系化となり強調されることであると思われる。

參 考 文 獻

1. 石塚喜明, 1978. 地力外論(1) 農業技術, 33(3): 197 - 102
2. Kawaguchi, K. and Kyuma, K. 1977 Paddy soils in Tropical Asia, Monographs of the Center for Southeast Asian studies Kigoto university. The University Press of Hawaii Honolulu.
3. Shin, Yong Hua, 1974 The Description and Classification of Korean Soils. ASPAC Tech. Bull. No 10. p1 - 55.
4. Hong, Chong Woon, 1974. The Fertility Status of Korean Soils.. ASPAC Tech. Bull; No 10. p56 - 96
5. Shin, Yong Hwa, 1977. Pice Soils of Korea in Soils and Rice. International Rice Research Institute. Los Banos. philippins pp 179-191
6. 慎鏞等, 洪鍾雲, 1980. 地力—그意義와 課題—1980 農學科學 심포 지움 (米穀增産의 意義와 課題) 韓國農學科學協會 p. 25 - 35
7. 朴天諸: 1975. 作物別 石灰質肥料의 效果. 石灰土壤作物 (石灰심포 지움) 韓國土壤肥料學會. p. 29 - 35
8. 朴天諸, 韓基碩, 林季吉, 李載明, 1969, 우리나라 表層土의 磷酸, 吸狀力에 關한 研究. 韓土肥誌. 2 (1) 1 ~ 14.
9. 朴建鎬, 1978. 벼에 對한 新開畚地 磷酸, 適量試驗. 全國 試驗研究 報告書. p. 365 - 369.
10. Choi, D. U. 1975. A Study on the clay minerals of soils in Korea. 農事試驗研會報告. 17 (토양비료): 1 ~ 44
11. 石川昌男, 1979. 農家の土壤學. 農産漁村文化協會. 東系 p. 313
12. 吳旺根, 金石鎮, 1959. 秋落畚改良 試驗. 農事試驗研究報告書 下卷

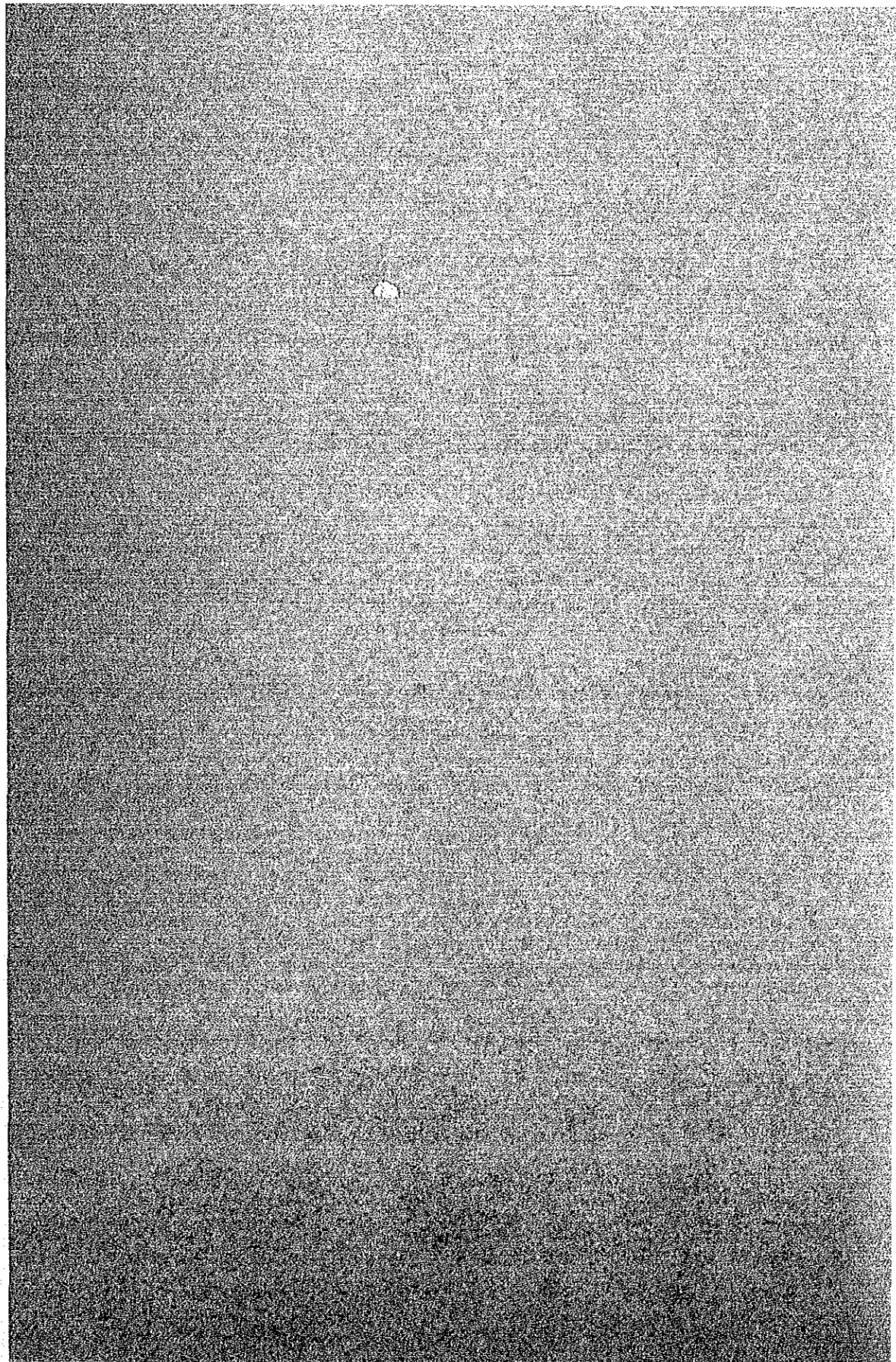
- p. 113 - 127.
13. 朴英善, 外 1963, 秋落畚改良試驗, 植物環境研究所 試驗研究事業報告書, p. 250 - 285.
 14. 趙載武 1961 老朽化畚에 關한 研究(1) 韓農化誌 2:9
 15. 朴來正 外 1967, 우리나라數種土壤에 있어서의 遊觀黃化水素 發生條件에 關한 土壤化學性 研究 農試研報 10輯 3卷 9-22.
 16. Hong, Chong Woon, 1975, Physico, Chemical Relationship between Some Selected Sron and Sulfur Species in Flooded Rice Soils and Possible Ociurrence of H₂S Joxicity. Ph. D thesis Michigan State Unwersity. East Lorrving.
 17. 朴天緒, 1970, 한국 논토양 갈이흙의 유효규산 함량과 규산질비의 효과와의 관계, 유효규산 함량 분포 및 시용량에 관한 연구, 농사시험 연구보고 13 (식물환경편): 1 ~ 22.
 18. 許範亮, 朴天緒, 金泳變, 1968, 砂礫質土 改良試驗, (1)砂礫質土에서 客土의 施用量對 窒素施肥量 試驗, 植物環境研究所 試驗研究報告書 3-1, 3-26.
 19. 朴天緒, 1975, 韓國農業에 있어서 微量元素 問題, 光復 30周年 記念綜合學術會議 論文集 學術院, p. 709 - 723.
 20. Park Chon Suh, 1974. A new approach for the estination of N and K requirements of rice plants grown in Korean soils through soil test results. Proceedings Planning and organization meeting fertilizer I.N.P.U.T.S. Project. Oct 21 -25, 1974. Hononulu, Hawaii. p 141 - 145.

21. Park Chun Suh, 1979. Fertility management of flooded rice soil ;
A proposal to minimize the biological production potential -
performance gap of high yielding varieties. J. Kor. Soc. Soil Sci.
Fert 12:153 - 167.
22. Park, Chon Suh, 1977. Determination of nitrogen dosage for paddy
from interrelated organic matter and silica soil test values Proceed
-ing of the International Seminar on Soil Environment and
Fertility Management in Intensive Agriculture, Tokyo, Japan p.
230 - 239.

XIV . 水田土壤肥料

九州農業試験場

土壤肥料第1研究室長 古賀汎



1. はじめに

土壌肥料の専門家 10 人(延べ 11 人)のうち、水田の土壌肥料の研究には 8 人(延べ 9 人)が従事した。研究内容は水田の管理及び物理性改善, 抵抗生産地土壌の改良, 地力増進, 作物の栄養生理と広汎にちれわたっている。いずれも短期間の研究であったが, その後韓国側の共同研究において総合的に研究され, 水稲収量の安定多収のための農土培養や施肥改善に関する試験研究に発展している。

この報告では最近における日本の土壌肥料の研究から, 水田土壌の物理性改善に関する研究の進展について報告し, 韓国において今後重要となる水稲生産の安定多収と水田農業の機械化さらに水田の高度利用のための土壌基盤整備の参考に供したい。

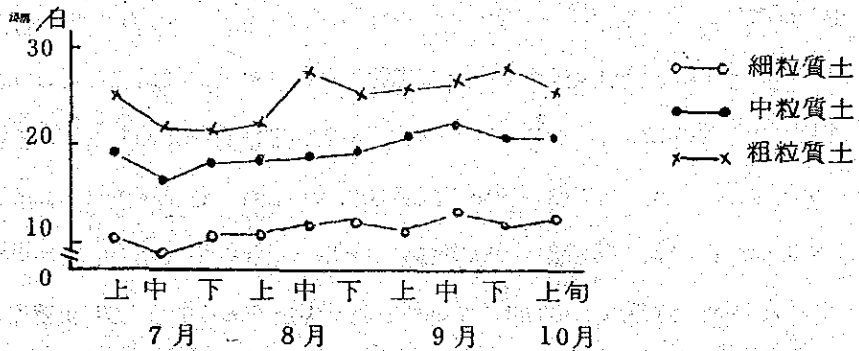
2. 水稲の安定多収のための土壌物理性改善

水稲の安定多収のための地力増進に関する研究は日韓両國に共通した課題であるが, 韓國の水田土壌は日本に比べて肥沃度の低い砂質土壌が多く, とくに地力の維持増進が重要である。地力維持のためには有機物の施用が不可欠で, 日本においては 1970 年代に入って地力低下が危惧され始め, 1977 年から 1981 年にわたって「農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定」研究が行われた。この研究では土壌の種類と地域による有機物分解の相違解明のため「ガラス繊維紙法」が北海道から九州までの各地域で試験された。また, 各種有機物の分解特徴に基づく群別が行われ, 各地域において有機物施用基準策定のための研究が実施された。これらの研究成果は 1982 年にまとめられる予定である。また, 「土壌保全対策事業」において 1975 年に開始された地力実態調査の有機物連用試験結果も近くまとめられる。

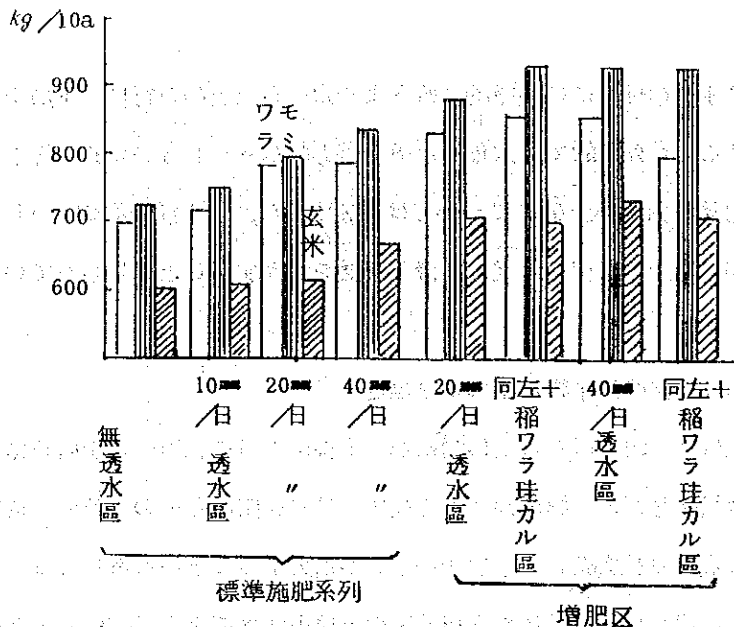
水稻の安定多収のため、有機物施用を行うほど根圏土壌と良好に維持する土壌物理性の改善が重要になる。これにな根圏土壌の膨軟化と下層土の透水性改善が根幹となり、膨軟化については機械作業と関連して今後の評価にまつべきことも多い。

土壌ち密度の指標として仮比重および土壌硬度を用いるとき、水稻の生育に対する機能としては直接根系伸長と関連して有効土層を制限し養分吸収に影響をちえる場合(ち密層、砂礫層、盤層、基岩などの存在)、またこれらが土壌の孔隙性と関連して透水性を制限し、ひいては根圏の還元に影響し、間接的に根系の発達、養分吸収に影響する場合が考えられる。作土が有機物施用によつて膨軟であれば施肥依存率が小さく、水管理によつて酸化条件に維持され易い。これに対してち密であるほど施肥努力を要し、透水は不良で通気孔隙も少なくなる。

多収穫水田は有機物の施用によつて作土の構造が砂層状構造やパン状構造といわれるような孔隙にとよ構造になっており、中干や間断灌溉の場合に作土への通気による酸素供給が容易になっている。したがつて有機物の施用はこの面からも水稻高生産の条件になっている。



第1図 灰色低地土水田の減水深の変化
(九州農政局調査資料による：巖基泰，1978)



第2図 透水速度と水稻の収量 (佐賀農試, 1971~1973)

九州における筑後・佐賀平野の代表的な水田の減水深の変化は第1図に示すとおりで、一般の乾田の減水深も一日当り8~25mmと日本における10~35mmに比べてやつ小さい。水稻の一日当りの蒸散量は5mm程度で、夏期には7~8mmに達することから、細粒質土では水の作土から下層への降下浸透量は5~2mmときわめて小さいことになる。このように降下浸透が小さいことは作土の異常な還元ひいては根腐れの原因となるが、降下浸透を15~25mmにすることで水稻収量は第2図の例の様に増収する。この場合有機物ならびに珪酸石灰を併用する場合に透水効果が上昇する。

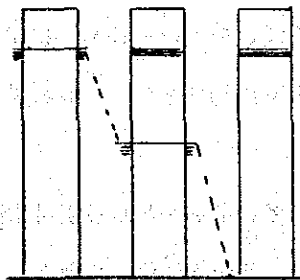
韓國の水田土壌は砂質土壌が多いにもかかわらず排水不良な土壌が多い。砂質土壌でも透水性が不良になるのは、代かき後作土が硬くなり過ぎて田植ができにくくなる界火島干拓地土壌の「いつき現象」のように、土壌粒子が密に充填し易いためである。土壌粒子組成を変えるための最小限の客土と有機物施用の効果が期待される。

水田への透水性の付与には積極的に暗きよ排水や心土破碎を行い、下層土の構造発達をはかることが効果的で、水稻の直播栽培も代かきをしないために降下浸透を増大する。暗渠排水や心土破碎については後述するが、中干前の溝切り機による作土への切溝が下層土の亀裂を促進し、降下浸透を増大することも知られている。

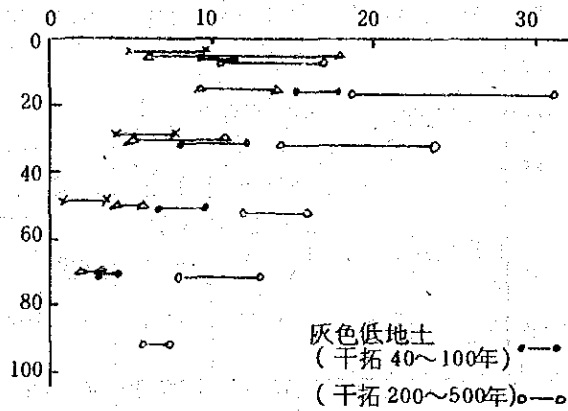
2. 水田における機械化作業と土壌の物理性

水田土壌は第3図に示すように湿田から半湿田さらに乾田へと土層分化が行われ、とくに機械化必須の土壌条件である乾田ではすき床層とその下部の集積層に酸化沈積物による斑紋が生成し、下層土の硬さが増大することが特徴になる。この様子は第4図の有明海沿岸の干拓地水田土壌の土層の硬さの変化に判然と示されている。すなわち、土壌の硬さは深さ10～20cmのすき床層で大きく、干陸したばかりの強グライ土(湿田)では軟弱であったものが、グライ土(半湿田)ではやつ硬くなっている。

地下水型 中間型 表面水型
(湿田) (半湿田) (乾田)



第3図 水田土壌の断面形態と地下水位との関係(松井健)



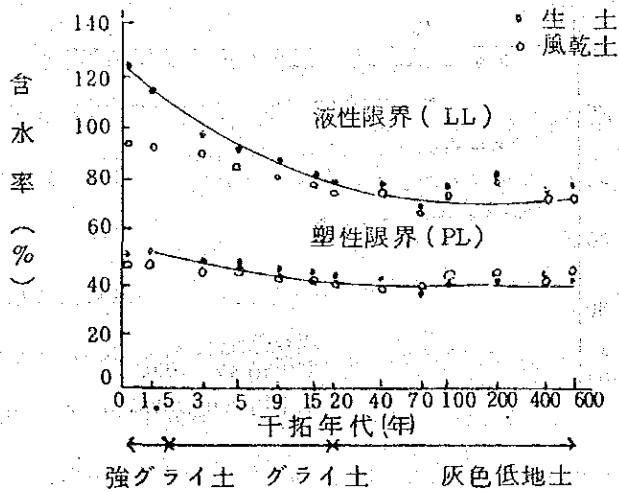
第4図 主要な水田土壌の土層の硬さ(有明海沿岸、平野水田の干拓年代による変化)

このように土壌支持力の大きい下層土の存在は機械作業に有利である。この場合機械の平均接地圧と走行可能限界の土壌硬度は第1表のように示される。ここでの土壌硬度はSR II型土壌抵抗器によつてゐるが、一般には貫入抵抗値 5 kg/cm^2 以上でトラクター作業は容易とされている。

機械の作業性はまた土壌の剪抵抗性とコンシステンシーに支配されている。作土のコンシステンシーの土壌類型による変化は前述した有明海沿岸干拓地を例に第5図に示されている。液性限界は土が塑性状態から流動性を示す液性状態に移る境界

表1. 機械の平均接地圧おるび走行可能限界土壌硬度

機 械 種 別	平 均 接 地 圧	コ ー ン 貫 入 抵 抗
車輪トラクタ	0.6 ~ 1.5 (kg/cm^2)	3.5 ~ 4.4 (kg/cm^2)
自脱コンバイン	0.2	1.8
展帯トラクタ	0.2 ~ 0.6	1.8 ~ 3.5



第5図 作土のコンシステンシーの土壤類型—干拓年代による変化

の含水量で、塑性限界は土が塑性状態から半固体状に移る限界の含水量である。この両者の差は塑性指数と呼ばれ、これが小さいほど機械作業が容易である。有明海沿岸干拓地土壤は日本でも代表的な重粘土であるが、湿润土の塑性指数は新しい干拓地土壤（強グライ土）で60以上で、干拓3～20年のグライ土で50から40へと低下する。そして灰色低地土（乾田）では30～40とほぼ一定のコンシステンシーを示すようになる。

水田土壤の乾燥に伴う変化は本質的には土壤の親水的性質から疎水的性質への変化とみることきる。そして乾燥に伴う液性限界の低下はpF 4以上の乾燥履歴によつて著しいことが明らかにされ、このような乾燥は水中沈澱容積を著しく小さくする。さらに水田土壤の乾燥による畑作適性の指標として塑性限界と圃場含水量 (pF 1.8) との比が1に近づくことが報告されている。一方機械による碎土作業の容易さは土壤の圧碎抵抗の大小によつて表わされる。

第2表 重粘水田土壌の物理性の改良に対する有機物の連用効果

(連用 12年目)

試験区	腐植 (%)	最大容水量 (%)	液性限界LL ※	塑性限界PL ※	塑性指数PI ※	収縮率 ※	切断抵抗
1. 無施用	2.81	60.1	59.2	31.6	27.7	21.4	13.0
2. 稲わら 100kg/a	4.36	68.9	62.8	36.4	26.4	22.2	10.4
3. 堆肥 200 kg/a	5.02	75.4	76.3	42.7	33.6	28.3	10.3
4. イタリアン冬作付	4.39	76.4	68.5	36.4	32.1	24.4	10.6

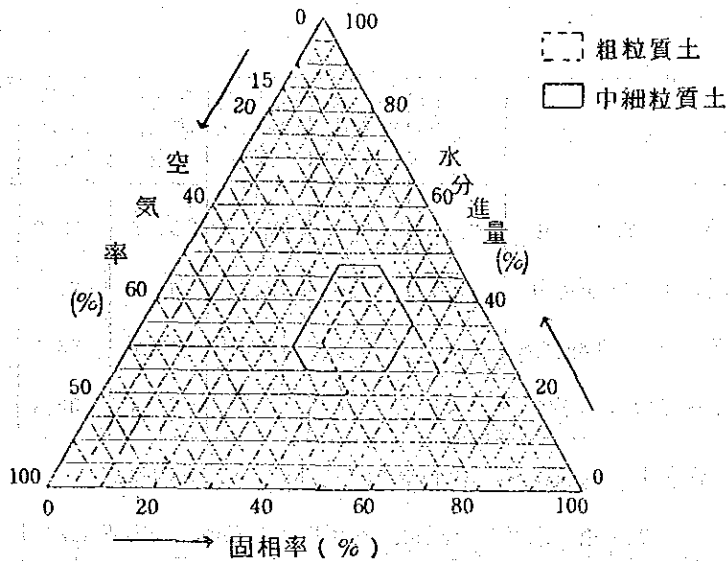
註) 1. 試験圃場: 灰色低地土 (LiC), 九州農試

2. ※ 未風乾土試料, 切断抵抗: 風乾土ねり返し試料

水田への有機物施用は第2表のように液性、塑性両限界をともに増大する。これらの限界を大きくすることはそれだけ多水分状態で耕うん碎土を行うことができることで、降雨後の機械導入が早く容易になる。また有機物の施用は土壌の圧碎抵抗を小さくし、機械による土壌の破砕を容易にする。したがって重粘土地帯の機械化営農による労働生産性の向上のためには、有機物施用はきわめて重要な土壌改善技術である。

3. 水田の高度利用と土壌物理性

水田の二毛作のように水田に麦、ナタネ、豆類あるいは飼料作物などを導入するためには畑地としての適性すなわち強度の排水機能が要求される。



第6図 畑作物根の伸長に対する土壌三相の適正範囲

畑作物の生育に対して、根圏の拡大は養分吸収域を拡張するばかりでなく、水分供給量の増大のためきわめて重要なことである。根の伸長の容易な土壌三相の範囲を第6図に示した。土壌は固体、液体、気体の3成分からなり、これを三相というが、一般に細粒質土では固相容積が30～50%、水分率が50～70%、空気率が15～40%の範囲で根の伸長は良好である。排水性の悪い水田土壌は作土の空気率が根の伸長と正常な生育の制限因子となる場合が多い。

根の伸長に対して水田とくに乾田のすき床層や心土層の硬さが障害となることは前述したが、も密な下層土はまた透水性とともに水の下層からの供給を不十分にする。したがって畑作物導入水田では湿害を受け易い反面、根は浅く、地下水位は高いにもかかわらず水の根圏への供給は制限されて干害を受け易い。このような面からも下層土の硬盤層の破砕による土壌物理性の改良のため暗渠施工や心土破砕が必要になっている。

4. 水田の高度利用のための排水対策

水田の排水に関する目標値を示すと第3表のとおりである。すなわち水稲栽培のための湛水期に比べ、畑作物導入のためには非常に大きな排水速度が必要であり、現在では6時間の雨量は6時間で排水する機能を求めるようになってきている。また、表層20cmの土壌強度を目標値に示し、機械作業に対する配慮をしていることにも注目されたい。

第3表 水田の排水に関する目標値

時 期 別 項 目	タ ン 水 期		非 タ ン 水 期		参 考 (転 換 畑)
	移 種 栽 培 中 干 し 期 まで	湿 潤 期 (表 日 本 刈 り 取 り 期 まで 裏 日 本 秋 冬 期)	乾 期 表 日 本 秋 ~ 春 期 裏 日 本 春 期		
減 水 深	10 ~ 20mm/day	25 ~ 50mm/day			
タン水(降雨)消失速度		50mm/2日	60mm/1日		50~100mm/1日
降水浸透速度	5~15mm/day	25~50mm/day	50~60mm/day		50~100mm/sec <
土 壤 透 水 係 数	10^{-5} cm/sec	5×10^{-5} cm/sec	10^{-4} cm/sec		10^{-4} cm/sec <
降 雨 量 } 20cm土壌水分		pF 0.7	pF 1.2		
2日目の地下水水位		30 cm	40 cm		40 cm
降 雨 後 } 20cm土壌水分		pF 1.5	pF 1.7		
7日目の地下水水位		50 cm	60 cm		60 cm
表層20cmの土壌強度		SR-II 小型コ ン 3~3.5 kg /cm ²	5 kg/cm ²		

(農 林 水 産 技 術 會 議 事 務 局 : 研 究 成 果 56: 1972 年)

第4表 排水の手段・区分・結

層位	深さ (cm)	施工・管理	区分
耕土層	0 ~ 15	耕起・畦立て排水溝	營農排水 接合部
耕盤層	15 ~ 25	切断・深耕・心土耕 心破・弾丸暗きよ・もみから	
下層	25 ~ 60	暗きよ 排水路・承水路・本暗きよ	

(農業土木試験場：1981)

第5表 排水対策のための土壌診断基準

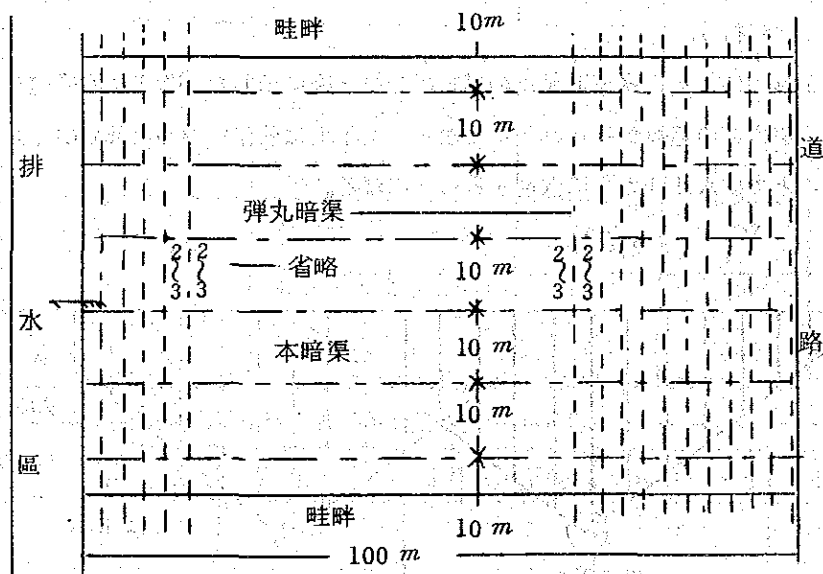
断項目	階層	排水対策	
		本暗きよ	補助暗きよ(弾丸)
地下水位 (cm) (降雨7日後)	36 >		○ ○ ○ △
	60 >	細粒質 中粗粒・礫質	△ ○ ○ △
クライ層位 (cm)	30 >		○ ○ ○ △
	30 ~ 60		△ △ △ △
	60 <	細粒質 中粗粒・礫質	△ ○ ○ △
降雨後停滞水 排水までの時間 (hr)	24		○ ○ ○ △
	24		△ △ △ △
	0		× × × ×
作土の土壌水分 (pF) (降雨後2~3日)	1 >		○ ○ ○ ○
	1 ~ 1.5		△ △ △ △
	1.5 <		× × × ×

注：○必要，△必要な場合がある，×必要でない
(九州地域抜速會議排水問題分科會 1980)

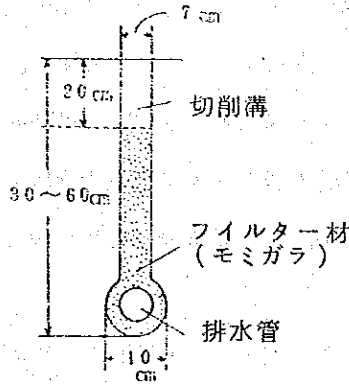
排水的手段には第4表のように營農的排水と土木的排水がある。そして土木的排水法は營農的排水と結合して効果をさらに大きくする。排水路、承水路で十分の排水が行える。砂質土の場合は畦立て排水溝などの營農排水対策で十分である。

現在、日本では排水性の悪い水田とくに重粘土水田では乾田でも組合せ暗渠の施工が一般に行われるようになった。第5表は九州地域で作成した排水対策のための土壌診断基準である。

本暗渠と弾丸暗渠との組合せ暗渠の平面図を第7図に示した。本暗渠は10～20m間隔に施工するが、現在では機械の一行程作業で、第8図のような排水管の布設と米穀の埋入が一貫して行える機械が開発されている。排水管の布設の深さは60～80cmで勾配は $1/500 \sim 1/1,000$ とする。弾丸暗渠は本暗渠に直角に2～3m間隔で籾穀部に排水されるように深さ25～30cmで通し、これも20～30馬力のトラクターの付属機械「パイブドレーナー」で実施する場合が多くなっている。



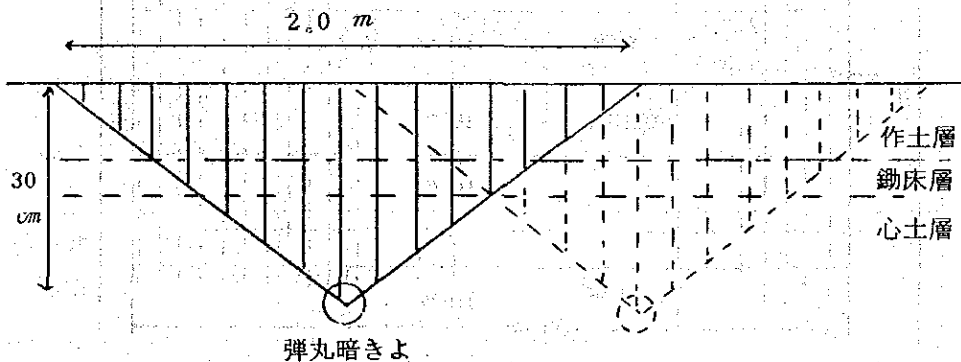
第7図 暗渠排水平面図(1/1,000)



第8図 本暗渠の 施工断面図

心土破碎は弾丸暗渠によつては土壤構造が発達しない、排膨潤型の粘土鉱物からなるような土壤の場合に、衰直浸透を助長する水みちをつくる目的で実施する。九州地域においては透水係数が 10^{-6} cm/sec 以下の難透水性のち密層が 10 cm 以上ある場合を診断基準としている。心土破碎機も開発されており、通常深さ $20 \sim 40 \text{ cm}$ 、間隔 $2 \sim 3 \text{ m}$ に行う。

弾丸暗渠施工による土壤構造発達の模式図を第9図に示した。このように逆三角形の形で土壤構造の発達が見られることから、次年度は前年に通した部分の中間に施工することで排水性はさらに保進することになる。



第9図 水田の浅層弾丸暗渠による土壤構造の発達

北九州の筑後・佐賀平野では排水不良で、裏作麦の作付のための機械化作業が困難なため、麦作が不可能な場合が多かったが、この4～5年間に組合せ暗渠が急速に普及し、主要平野部では裏作率は90%臺にも達し、10a当り300～400kgの安定収量が得られるようになってきている。第6表に暗渠施工による小麦の収量増加の一例を示した。この試験を実施した1977年は多雨年で小麦の収量は10a当り170kgと低かったが、このような悪条件でも暗渠の効果はきわめて大きい。また、本暗渠施工による水稻作期間の透水性改善の一例を第7表に示した。水稻作における透水性は暗渠施工で著しく改善されることが示されている。

第6表 暗渠施工水田の麦収量(1977年, 佐賀農試)

圃場	調査位置	麦稈長 (cm)	精麦種 (kg/100a)	収量比 (%)
対照區(無暗きよ區)	中央	49.6	66	100
暗きよ 100m 間隔施工	暗きよ直上	62.0	191	289
	暗きよ部より2.5m	55.9	133	202
	暗きよ部より5m	57.1	105	159
暗きよ 5m 間隔施工	暗きよ直上	77.0	257	389
	暗きよ部より2.5m	70.4	258	391
	柵から暗きよ直上	76.0	290	493

第7表 暗渠施工水田の時期別降下浸透量(mm/日)

試験區	7月下旬	8月中・下旬	9月中・下旬	10月上旬
有機物無施用	3.2	20.2	31.4	11.8
稻ワラ連用	2.7	22.6	34.1	14.7

(九州農試水田)

5. 水田の土壌物理性改善研究上の問題点

韓国の水稲作は「緑色革命」を達成し、日本における単位収量以上の高水準に達している。今後さらに生産性を向上するためには緑色革命の継続と機械化農業への転換が急務とされ、また水田の高度利用が課題となる。これらの場合にはいずれも水田の透水、排水性の改善と易耕性の向上が必要となり、土壌物理性に関する研究の進展が望まれる。研究上の問題点をあげれば次のとおりである。

(1) 本報告では述べなかつたが、気象災害と関連して、豪雨による水稲作の被害は湿田、半湿田地帯で多い。冠水被害の回避には地下水位を下げるなどの排水が重要であるが、用排水系の整備、圃場整備など一貫した土壌基盤整備が重要である。

(2) 水稲の高収水準維持のための下層土改良を含め、土壌基盤整備に当つては土壌の特徴に基づいた施策が必要で、韓国では土壌調査事業の世界的成果があるのでこれを基礎に土壌肥料を中心とする営農分野と農業土木分野の連携協力研究が肝要である。

(3) 水稲の多収のための適正作土深は根の伸長阻害性と根圏土壌の養分吸収域の両面から研究すべきで、養分吸収能は陽イオン交換容量あるいは表面積などと関係していることを配慮する。

(4) 地力維持増強のための有機物施用については施用時の適正透水速度と水管理法について、有機物の種類、量別に明らかにすべきである。また、有機物施用による土壌物理性の変化を機械化作業適性と作物の生育適性の両面から評価する必要がある。

(5) 農作業の機械化、省力化とともに日本では土層の圧密硬化、透水性の不良化また、作土の浅層化、地力低下などが指摘されており、機械化方策の確立の場合に

参考にされたい。

(6) 組合せ暗渠、心土破碎、混層耕、弾丸暗渠などの下層土改良法の土壌類型別適用性と維持年限の明確化、また、下層土改良と養分の溶脱との関連の究明が必要である。

(7) 土壌の物理性研究は土壌基盤の整備と農業の機械化推進に伴う新しい研究分野であり、研究体制と研究設備の充実が必要である。

