

## 土壌物理研究会第39回シンポジウム

## —水田農業の新展開と土壌物理性—

座長：小野信一（農業研究センター）

河野英一（日本大学）

稲作技術の展開方向と土壌物理的諸問題

長野間 宏（農業研究センター）

乾田直播栽培における土壌肥料及び環境保全から見た諸問題

石橋英二（岡山県農業試験場）

トピック：寒地大規模直播のための播種技術

大谷隆二（農業研究センター）

湛水直播栽培の展開方法と土壌・環境問題

金子 均（新潟県農業総合研究所）

トピック：不耕起土壌の水分特性と乾田直播水稲の出芽安定化要因

大野智史（農業研究センター）

Heat and dissolved oxygen (DO) transfer phenomenon in ponded paddy field.

（水田湛水層における熱と溶存酸素の輸送現象）

M.I.M. Mowjood（岩手大学大学院）

石膏によるシロカキ濁水の浄化と水田土壌の分散凝集構造

赤江剛夫（岡山大学環境理工学部）

小野：

まず、質問表にもとづいて進行したい。直播関係、酸素の拡散および濁水流出防止関係に大きく分けられるので、まず、直播関係の質問から始める。

福島農試の渡辺さんから、長野間さんに2つ質問がある。一つは、「乾田直播では従来の移植栽培に比べて、より酸化的な土壌条件下で生育することになる。このことが水稲の生育にどのような影響を与えるか」というもの。二つ目は、「作溝直播で土壌を適当に崩落させようとすると、土質や土壌水分など制限要因が多く、ケースバイケースでの播種機開発が各県でおこなわれている。土質や土壌水分をあまり気にしないで済むような、より汎用的な作溝直播の開発は出来ないか」。三つ目は、「傾斜圃場についてもう少し教えてほしい」というものである。

長野間：

酸化的になることのメリットについて、例えば、有名な印旛沼を浚渫してつくった兼坂さんの水田や千葉県八千代市に泥炭地を基盤整備した圃場の移植水田は、夏には強還元になっている。したがって、関東の泥炭地水田ではうまく基盤整備ができれば、移植よりも乾田直播の方が収量が多いと考えている。

作溝の崩落については難しい問題だ。しかし、石川県がおこなっている、山の上に種を播いて、周辺の水にしておくM型の作溝の場合には、水を脇に入れるので種の入っている溝が比較的浅く、やり易いと思う。農業研究センターの作溝直播の初代のもは、かなり深い溝をつくった後強制的に培上をするという方法なので、崩落してしまうと酸欠で芽が出ないということになる。汎用型は難しいが、M型のようなものならできると思う。もし可能なら、作溝直播はかなり土壌水分が高くてでも出来るので、最初に水を入れて、はじめの土壌水分を揃え、それから作溝直播するという方法が考えられる。

三番目の傾斜圃場では、レーザーレベラーで、レーザーを斜めにとぼして100mで8cmの傾斜をつけている圃場があり、台風の大雨の後に、きれいに水が排水路の方に流れていった。水田に畑作物を作る際に、収量の安定を図るためには排水を良くしたいが、今までは、傾斜をつけたり耕盤を壊すのはタブーであった。最近はやれる道具が出来たので、畑期間は緩い傾斜をつけて、水田に戻すときは平らにする、という試験を今年から開始している。

小野：

次は、石橋さんへ福島農試の渡辺さんから質問である。一つ目は、「不耕起を長期継続することによって収量低下が見られる地域もある中で、岡山において長期継続しても収量が安定している最大の要因は何か」というもの。二つ目は、「不耕起直播が県内で増加しているが、不耕起直播は多くの用水を必要とする。現状では、普及地域の用水問題はどうか対処されているのか」というものである。

石橋：

長期に不耕起をしているところは少なく、収量低下が見られる地域と見られない地域がある。岡山県南部の細粒グライ土の地域では地力の低下も収量の低下も見られず、県の平均だけでなく、地区の平均がそれ以上の収量をあげている。長期不耕起栽培の圃場では、減水深が非常に大きいので下層土の地力が低下していて、生産性は低くなっている状況があった。しかし、それは従来の化成肥料主体の施肥体系で栽培していたためで、被覆肥料主体の施肥体系にしたところ、収量は地区の平均以上になった。したがって、長期不耕起で収量が低下したという認識は持っていない。ここの圃場は、根が表層に偏在

している圃場で、根が表層の無機化した窒素と被覆肥料から溶出してきた窒素を捕まえて、初期成育と収量を確保できたと考えている。

不耕起直播の用水量については、不耕起直播が普及しているのは岡山県南部のグライ土地帯が主体である。そこでは、地下水位が高く漏水問題は一切ない。しかし、漏水が問題になる地域では、水の問題が原因で直播が減少してきている。減水深が50 mm以上もあるような中粗粒灰色低地土で29年間継続しているところでは、減水深は高いが、用水が豊富などである。したがって、水管理は簡単にできるということが続いている。なお、農家は不耕起に対して哲学を持っているというわけではなく、ブドウの栽培が経営の中心で、省力化を目的におこなわれてきているようだ。

小野：

続いて、農工研の奥山さんから、長野間さんへ質問がある。「土の粘性や硬さを調べるために、簡易な方法がいろいろ提案されているが、データに共通性を持たせるためには、統一する必要がある。例えば、ベーンでも、大きさによって違いがあるのではないか」というものである。

長野間：

湛水直播で代掻き土壌の物理性を測ることは非常に重要で、以前はさげ振り深だったのが今はゴルフボールになっている。さらに表層の微妙なところ、湛水直播では5 mm前後の深さを北海道農業試験場がおこなった方法で測っている事例があるが、まだ少ない。北から南まで共通の方法で測るのが理想だ。そこで、農業工学研究所で安く、良い方法を考案して、全国に普及してもらえればと思う。

小野：

北海道立中央農試の竹内さんから、長野間さんと石橋さんへ「不耕起によるリン酸の下層移動と可給化により、根の伸長促進、イネのリン酸吸収量増大および初期成育促進などは考えられるか」という質問である。

長野間：

石橋さんのいったブドウを作っている農家は、いろいろな資材を入れているので下層にリン酸が多量にある。しかし、西大寺の横山さんと香川の永井さんの圃場では、耕起していないのに下層にリン酸がある理由は、長年のあいだに根穴構造が発達したことだと思う。たとえばパラグアイのダイズ不耕起栽培のように、クラックができて上から土が崩落して養分が動いていくという現象ではないので、面白いと思う。長期不耕起している圃場の春先の土壌表面には硝酸態窒素がかなりあるので、初期生育を促進する効果は、リン酸だけでなく硝酸態窒

素もあると思う。

石橋：

細粒グライ土では表層0~1 cmに30 mgのリン酸があり、下層では1~6 cm, 6~11 cmで30~40 mg程度のリン酸がある。表層にリン酸が多い細粒灰色低地土では、表層で150~200 mg以上、1~6 cmや6~11 cmでも、約50~100 mgある。いずれも表層にのみ施肥している。表層に集積するのは当たり前だが、下層に非常に多く流れている。不耕起を始めて5年目の圃場でリン酸を無施用区、標準施肥区、3倍区、6倍区を設けて1年間イネを栽培し、土壌のリン酸を調べたところ、リン酸施用量が多いところ、例えば6倍区では、明らかに5~10 cm深まで、3倍区では1~5 cmまでリン酸が下降していた。標準施肥量では、1~5 cmまでであった。このように、多施用区では、多く浸透していた。これは、根穴構造を通して下降したと考えられる。また、土壌表層のリン酸吸収係数を測ると、明らかにワラなどを施用したところではリン酸吸収係数が低下している。これは、リン酸がキレート化するなど固定されにくい状態になって、浸透するのだろう。昭和40年代の試験結果とあわせてみると、リン酸は、当初は作土の下層土で減少するということがいわれているし、今、岡山農試でおこなっている試験でも若干減り気味のところが多い。しかし、13年目ぐらいにリン酸を測ると下層にもかなりの量があるという結果が出ている。長期不耕起でも、当初は減るが、年数が経って根穴構造が発達し、かつ表層の有機物層が発達することによりリン酸が固定されにくくなり、下降しやすい状況ができてくると考えられる。

小野：

リン酸が下降することは分かった。根の伸長促進、イネのリン酸吸収量増大や初期成育促進などはどうか。

石橋：

根の伸長については調べていないが、収量の結果はある。リン酸が非常に多い圃場で無リン酸処理をしても、3年間の平均では収量に差はなく、途中のリン酸吸収量も差が無いという結果が得られている。リン酸レベルが低いところでは違った結果になると思うが、今はそれ以外のデータは持っていない。

小野：

今は、リン酸肥料が多施用され、リン酸に富んでおり、リン酸の影響が直接イネの生育に現れるということは考えられない。次に、筑波大の塩沢さんから石橋さんへ「減水深について、用水量の計算に蒸発散量はいっているのか。下層1~2 mに難透水層があるのか」という質問である。

石橋：

蒸散量は入っていない。自記減水深計を用いてその勾配から減水量を計算したので、雨や入水・落水がない時期の減水深を算出した。下層に不透水層があるかどうかは、1~2mまで掘っていないのでわからない。

**長野間：**

岡山県西大寺周辺の不耕起直播地帯では、冬の地下水面は深さ50~60cm前後である。その層の飽和透水係数は $10^{-5}$ ~ $10^{-6}$ cm/sec程度で、灌漑期間には水位は上がる。香川県では、減水深は15mm程度で、深さ50~60cmに母材の層があり、飽和透水係数が低いので、漏水しにくい条件で不耕起直播を続けてこられた。意識的にそういう条件を作るということを考えれば、排水路の水位をあまり下げないような管理をして、灌漑期間中は水位を上げることができれば、透水係数が $10^{-5}$ cm/secよりも上であっても減水深はうまく制御できると思う。

**塩沢：**

蒸発散のみで縦浸透なしという条件であれば、代掻きで透水を抑制しなくても、横浸透さえ抑えれば、または排水路水位を高くしておけば、まったく水量の問題はないと思う。

**石橋：**

再計算してみる。

**河野：**

金子さんの話題で「駆動による作溝ローラーというのが出てきたが、そうでないものよりもローラー溝への土のつまりが著しく少ないということか。その理由として、駆動することで、粘質土の付着がある程度避けられると理解してよいのか。それならば、メカニズムを教えてほしい」という質問がある。

**金子：**

前半はそのとおりである。単純に転がっていると雪だるま式に土が付着するが、駆動することにより土を擦り落としながら均平化していく。メカニズムはよく分からないが、形状によって違うのは、土壌水分との関連もあるが、溝の山が鋭い形状の場合は土が付着しやすく、幅の狭いローラーの溝の中にちょうど土を抱き込むようになって土とローラーの摩擦が増えるためであろう。

**河野：**

直播に関して、フロアの方から質問・意見あれば出して欲しい。

**佐藤（愛媛大）：**

作溝のつぶれる話があったが、私が昔おこなった研究でpF3前後の土壌水分のときにスレーキングが一番大きいという結果が得られた。不耕起栽培がおこなわれるのには、いろいろな理由があり、省力化や環境問題、すなわちメタンの発生や窒素の無機化が少ないなどがある

と思う。一方で、不耕起直播がおこなわれた場合、土地利用の低下などが考えられるが、土地利用の問題をどのように考えるのか。例えば、冬作をどう取り入れているのかなどについて伺いたい。

**長野間：**

オオムギ後の乾田直播の試験をおこなっている。オオムギは、コムギよりは乾田直播が可能で、関東でも可能である。関東平野でも群馬、埼玉などムギの作付け率の高いところのムギ地帯には必ず乾田直播がある。すべてがイネームギ二毛作になっているのではなく、二毛作をおこないながら、単作のイネもある。実際に両方おこないながら規模拡大している農家もある。また、乾田直播と野菜作もある。愛知県では、ムギの立毛中にイネを播くことをしている。このように、土地利用率は下がるばかりではなく、間作を使ってうまく土地利用率を高める工夫も同時に考えられる。

**大野：**

不耕起を長期間しているとリン酸が下に移動するという話があった。根穴が多くなってリン酸が移動するの、根の伸長が深くなってリン酸が運ばれているのか。根穴に根が集まるというのはわかっているが、根の数が多くなるのか、伸長速度が大きいため多く見えるのか、まだわからない。そのあたりはどうか。

**長野間：**

資材を多く投入しているところは、下方へ多く移動している。ケイ酸では、一度死んだ根が給源になることもあるが、リン酸は根穴で移動していると考えている。

**石橋：**

そういうことが起こっており、それ加えて、表層の有機物の効果が相乗的に働いていると思う。

**河野：**

金子さん、新潟では不耕起はおこなわれていないのか。

**金子：**

ごく一部の地域で、岡山農試で開発された機械を用いて実験的に1,2年おこなったところがある。1ヶ所は実際に見たが、その周辺で最も乾いた圃場を選んで、そこそくおこなっていた。もう1ヶ所は実際には見えないけれども、大規模農家が5ヘクタールおこなう予定だったが、数十アールで作業を断念した。やはり、乾いているとはいえ、西南暖地と新潟とでは乾き方が違うので難しい。

**長野間：**

山形で不耕起栽培をしているグループがあり、そこそくうまくいっているようだ。八郎潟でも、播種後入水というやり方で、今年はずりまくったそうだ。したがって、重粘土だから絶対に無理ということはない。

河野：

次の話題に移る。Mowjood さんへ、東京農大の中村さんから質問で、DO 濃度が昼間、植物プランクトンによって過飽和になることは知られているが、夜間低濃度になるのはなぜかということである。動物プランクトンによるのか、あるいは土壌中へ入ってしまうのか。

Mowjood：

昼は植物の光合成によって酸素が水の中に入ってくる。出るのは、植物の呼吸による。入る量が出る量より多いので過飽和になる。夜は、植物から酸素は出ない。過飽和から飽和状態の 8 mg 程度まで下がる分は空気中に出るが、飽和より低い濃度に下がるのは面白い結果である。理由は二つ考えられ、一つは、微生物の呼吸、二つ目は土壌による消費である。しかし、夜は、飽和よりも低濃度のとき、酸素は大気から入ってくることもあるが、その量よりも消費量が多いため 2 mg まで下がったと考えられる。その時の Eh の変化や二つのうちどちらが多いかなど、さらに検討したい。

河野：

次に赤江さんに伺いたい。石膏が一番効果のあった理由は何か。

赤江：

試験した資材の中では、石膏の溶解度が一番高かった。1 m mol 以上の濃度になると凝集沈降が起こり、SO<sub>4</sub> でなければならぬ理由はない。たとえば、溶解度の高い塩化カルシウムでも良いが、今まで使われてきた資材の中から選んで試験をおこなったため、塩化カルシウムは使っていない。

河野：

イオウについては、酸性硫酸塩土壌の問題が東南アジアなどであるが、ここでは問題ないか。

赤江：

100 kg 以下なら、収量および生育とも対照区とおなじで、150 kg 以上入れると、10% 程度玄米収量が落ちたという報告がある。ここでの施用量は 30 kg 程度で、問題ないと思う。イオウは、日本の土壌では欠乏することはあまりなく、むしろ硫化水素を発生させないため抑える方が重要である。

坂西（農環研）：

累積効果はあるのか。1 年目に 30 kg で、2 年目を以降も同じ量が必要なのか。

赤江：

二つの観点があり、発生した濁水を応急的に落とすのか、土壌を改良して濁水を発生しないようにするのか、によって量が違う。県農試のデータでは、乾いた土壌に石膏を混ぜて濁水を抑えるには、100 kg 程度必要だとい

う結果が得られている。私の試験は発生した濁水を沈降させるためのもので、それには 30 kg 程度でよい。長期的な効果をねらうと 100 kg は必要と思う。

粕淵（山形大）：

湛水直播で、山形の庄内で、Mowjood さんのような実験を続けているが、播種直後に除草剤を散布しているが、これは一般的なのか。

金子：

一般的である。最近は一発処理剤といって、発芽後 1 週間から 10 日後くらいに 1 回散布する方法がある。ただ、山形の場合は、代掻きをしないため除草剤の効果が若干劣るので、播種直後の除草剤散布を安全の意味を含めておこなっている。

粕淵：

土壌表面から DO が出てくるが、除草剤で皆殺しにしてしまうと酸素が出てこないの、良くないと思うが、どうか。

金子：

現場では、鳥の次に、草が大きな問題のため、どうしても除草剤が優先する。除草剤も播種直後に散布するのは効力が弱いので、完全に枯らせるわけではない。

井上（四国農試）：

大区画水田を作るときに、切り盛りをつくるが、作土厚に違いが出て栽培方法や収量に影響はないか。さらに、泥炭地帯では沈下が起こらないか。

長野間：

新利根町の泥炭土壌では、不耕起乾田直播で排水路側が沈下した。八郎潟でも不耕起移植で、排水路側が沈下した。したがって、連続して不耕起栽培はできない。八郎潟では、不耕起を 4~5 年おこなったら一度耕起している。われわれの試験では、山土を客土している関係で排水路側のほうが沈下するが、生育は良い。しかし、場所によって施肥量を変えないと全体の収量は上がらないという問題がある。いずれにしろ、泥炭地で不耕起乾田直播を継続するのは、排水路側の沈下のために不可能であるといえる。われわれのやり方は、冬の間に整地をし、春に不耕起で播種するように変えている。3 年に一度は耕起することが必要になる。切り盛りによる生育のムラはあるが、今の乗用管理機では施肥量の場所による加減が難しく、アメリカのプレジジョン・ファーミングに対応するような作業機械が必要である。傾斜圃場においても、農道側と排水路側で作土深に差ができるので、追肥の加減などのプレジジョン・ファーミングを実施しなければならないと思う。

河野：

これで総合討論を終わる。