

稲作技術の展開方向と土壌物理的諸問題

長野間 宏*

Development Orientation of Rice Growing Technique and Various Subjects about the Soil Physics

Hiroshi NAGANOMA*

* National Agriculture Research Center (Tsukuba, Ibaraki 305)

Abstract

Study subject about soil physical properties, which are necessary for technical development of direct seeding and rice cultivation, are arranged and showed.

Land leveling facilitates stand establishment of rice seeding, weed control, and water management for strengthening of lodging tolerance on wet-seeded and water-seeded rice culture. On dry-seeded rice culture, permanent water is applied earlier than before in order to shorten dry rice field period and to decrease frequency of herbicide supply. Land leveling is necessary for dry-seeded rice culture, too. Recently, land leveling technology was developed. It is composed of crawler type tractor, laser controlled plow and leveler. The study on operation method of land leveling to avoid surplus compaction of soil is necessary in future.

Development of dike management technique to prevent leakage of water is necessary for rice cultivation without puddling, such as dry-seeded rice culture and no-tilled transplanting rice culture. Farm land consolidation affecting water requirement is important to stabilize the dry-seeded rice culture. The study on rice productivity decrease by continuation of no-tilled cultivation is necessary.

The water seeding and wet seeding includes three types of seeding-method, i.e., broadcast seeding, stripe seeding and hill seeding. It is necessary to sow rice seed in constant depth for stable establishment of seeding. And, it is important to control the physical properties of puddled soil and to unify them in the paddy field in order to maintain constant sowing depth. The effect of soil properties and puddling method on the puddled soil physical properties should be studied.

It is important to avoid the soil compaction and necessary to elucidate the role of organic matter in prevention of compaction when the sustainability of crop production by the large-sized mechanization agriculture is considered in future.

Key words: paddy field agriculture, rice cultivation, water seeding of rice, dry seeding rice, puddled soil physical property

1. はじめに

日本の稲作は、米の在庫量の増加による米価の低下と生産調整面積の拡大、担い手の高齢化と減少など、これまで直面したことのない大きな壁に対峙している。自給率の低い麦類、大豆、飼料作物への転作についても、輸

入農産物との価格差、および品質の不揃いやロットが小さいなどの問題があり、需要を拡大するためには解決すべき課題が多く残されている。また、土地の流動化が進まないため、意欲的な経営体による規模拡大も遅れている。さらに、低米価による農家所得の減少は、基盤整備に取り組む意欲を失わせる。このような状況のために、

* 農業研究センター 〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1, 現秋田県農業試験場 〒010-1426 秋田市仁井田字小中島111
キーワード: 水田農業, 水稲作, 湛水直播, 代かき土壌の物理性

規模拡大を進める際に効果を発揮する省力的な直播栽培の普及面積も伸びない。このような閉塞感のある時代を乗り越えるためには、次の時代の稲作技術の展開方向を見定めて、そこで必要な技術的課題の解決を進める必要がある。そこで、今後の稲作を中心にした水田農業の展開に必要な土壌物理に関わる課題について整理をする。

2. 稲作を中心にした水田農業の課題

(1) 技術開発を進める上で前提となる課題

今後の水田農業の活性化には、少ない担いで省力・低コスト生産を行うと同時に環境に配慮した栽培技術を駆使するとともに、米の生産調整面積の増加に対応して実需者のニーズに応える麦、大豆の高品質・安定生産を行う大規模な生産組織を育成する必要がある。また、土地集積の困難な中山間地域などでは、地場産業に結びついた特産物的な作物生産を行う組織の育成も必要である。同時に、農産物の輸入増加に対して国内農業の活性化を図るためには、例えば棚田の保全などの環境保全と結びついた作物生産などのような消費者、実需者と生産者との連携も必要である。また、水田の生産力の維持・持続を前提に、水田の環境保全機能も活かした作物生産に加えて、休閑田の潜在生産力を維持する必要がある。多様な生産組織の活動を支えるには、地形的、社会経済的な条件に応じて、適切な圃場基盤の整備を行う必要がある。平坦地で土地を集積して大規模な生産組織による生産活動が展開できる場所では、圃場の大区画化や用排水施設の整備を行い、農区単位に水稻の直播栽培の導入や輪換畑としての利用を可能にする。また、大区画化が困難だが排水性の良い水田では、野菜を組み入れた田畑輪換が可能な水田に整備するなど、土地条件を活かす整備を進めるとともに、野菜地帯などから流出する窒素を水田の機能を活かして浄化するための水利施設の整備など、水田機能を積極的に活用するための基盤整備も行う。以上のように水田農業の活性化には多面的な対策が実施される必要がある。

(2) 技術開発の課題

水田農業および稲作の活性化に必要な技術的課題を整理すると、①水稻、麦類、大豆、飼料作物などの省力・低コスト技術の開発、②精密管理を活用した高品質、安定多収技術の開発、③地域別、経営規模別に完結したシステムとしての整合性を持つ技術体系のプロトタイプ確立、④水質浄化機能、ダム機能、生態系の多様化などの水田機能を有効利用し、環境負荷を最小限に抑えた生産技術の確立、⑤水田機能を活用し、肥沃度も維持する休耕田の管理技術の開発などがあげられる。

3. 稲作に関連する技術開発と土壌物理性に関する課題

(1) 圃場基盤の整備と土壌物理性に関する課題

1) 均平化技術

水稻直播技術の普及拡大の取り組みのなかで、大区画圃場の均平化技術が実用化に近づいた(藤森, 1997)。高低差の大きな圃場の均平化には、これまで乾田状態、または湛水状態で行うブルドーザによる均平方法が実施されてきたが、最近、全国数カ所において、国の直播に関する補助事業を活用してクローラ型トラクタにレーザ装置で制御するプラウとレベラを組み合わせた装置が導入された。この方法では、レーザプラウで耕盤層が均平になるように耕起し、土壌を乾燥させた後に、レーザレベラで作土層を均平にする。アメリカ、イタリアなど先進国で行われている直播では、殆どの圃場でレーザレベラが使用されている(Hill *et al.*, 1992)。

湛水直播技術では、播種深度を0.5~1 cmに安定化させることが出芽・苗立率を高め、水稻の耐倒伏性を高める上で必要である。播種深度一定にするためには、代かき土壌の物理性を均一で適正な範囲にし、播種時の湛水深を一定にする必要がある。圃場内の代かき土壌の硬度を一定にするには、代かき時の土壌と水の比率も重要と考えられる。凸の場所では、湛水後も田面が水面上に露出する期間も長く、代かき時の土壌の分散の過程も、湛水深の深い場所と異なることが想定される。土壌硬度や湛水深が不均一になると、酸素供給剤でコーティングされた水稻種子の土壌中への貫入に対する抵抗が変動し、播種深度が不安定になる。また、出芽・苗立の安定化のために、播種後1週間程度落水状態で管理する技術が確立されつつあるが、このような水管理を迅速に、圃場全体で均一に行うためにも均平な圃場が必要である。圃場内に湛水状態の凹地が残るとカモの被害や出芽率の低下が起り、凸地では湛水後の除草剤の効果低下やスズメの食害などが問題となる。以上のような理由で、高低差±2.5 cm以内に90%以上の地点が含まれ、標準偏差を1.5 cm以下にする必要がある(木村, 1995)。

乾田直播でも、従来は水稻が4~5葉期になるまで乾田状態で経過したが、最近では乾田期間を短くして雑草防除を容易にするために2葉期で湛水を開始することが行われる。このように水稻の草丈が小さい内に湛水を開始すると、田面の高低差が大きい場合は、深水となった場所で分けつが抑制される。このため、±2.5 cm以内に80%が入るような均平精度が要求される。また、泥炭土や低湿重粘土で田畑輪換を行った場合、畑期間に田面の不等沈下が起きることがあるので、水田へ戻す際にも均

平作業が必要である。

今後の課題としては、次の点があげられる。

① クローラ型トラクタにレーザ装置を組合わせた均平作業方法が開発され、生産組織が個別で所有する事例もある。このため、営農の一環として圃場の均平管理を実施することが可能になったが、土壌硬度の変化や過剰な圧密を避ける作業方法の検討が必要である。

② 大区画水田で湛水直播を行う場合には、圃場内の代かき土壌の流動性を均一にすることが必要である。このような面からの圃場の不均一性の評価と対応策を検討する必要がある。種子の打ち込み速度を電氣的に変えることができるような播種方法では、圃場内の土性の分布情報を用いて速度を変えることも考えられる。

2) 稲作における水管理の自動化

水管理の省力化が遅れたために、稲作の作業時間に占める割合は増加し、平成7年の統計では稲作の延べ作業時間の20%を占める。20ha以上の協業経営体でも労働時間に占める割合は変わらない。水管理の省力化のために、数種類の自動灌漑装置が開発されている(藤森, 1997)。また、湛水直播では、前述したように出芽・苗立を安定化させるために播種直後の1週間程度を落水状態で管理することが行われる(姫田, 1998)。さらに、根の下層への伸長を促進して耐倒伏性を増すために、苗立後の落水処理も行われる(椛木, 1997)。このような場合、迅速に均一に落水、再湛水の処理を行う必要がある。また、水口から灌漑水に肥料を溶かして施肥する流入施肥の技術も一部で実施されている。

3) 適正減水深の維持と畦畔管理

従来からの乾田直播に加えて、不耕起移植栽培、無代かき移植栽培など代かきを行わない水稻の栽培技術の開発が進んでいる。このため、畦畔漏水を防ぐための管理技術の開発が重要である。モルタル資材の吹きつけや(岡崎, 1996)、セメント資材を土壌と混和して固める方法が開発された(藤森, 1997)。田畑輪換を行うと、畑期間に土壌の乾燥が進み、畦畔の崩落も起こりやすいので、耐久性や補修方法の検討が必要である。また、縦浸透量と土性、土層構造との関係の解明は、代かきをしない水稻栽培の適地判定精度の向上に必要であり、灌漑用水量の制約のある地域も多いので普及上の重要な課題である。レーザレベラによる均平作業など、作業方法によって縦浸透を抑える可能性についてもさらに検討する必要がある。縦浸透の制御のためには、圃場が面する小排水路の水位を灌漑期間中に上昇させるゲートの設置も有効である。また、畦畔の雑草防除を軽労化するために、被覆資材の開発も行われたが、景観や生態系の保全などの面からは、小形機械などを用いた除草管理が容易な形

状の畦畔を作ることが必要である。

(2) 水稻の直播栽培技術の展開方向と土壌物理性の課題

直播技術は、播種時に湛水条件(潤土状態を含める)であることを基準にして乾田直播と湛水直播に大別され、8つの様式(表-1)に分類された(日本型直播稲作導入指針編集委員会, 1997)。乾田直播には、不耕起乾田直播と耕起乾田直播がある。乾田状態で播種し、播種直後または出芽前に湛水状態にする直播を従来は折衷直播と呼称した。

1) 耕起乾田直播

平成8年の統計では、直播栽培面積7,300haの62%が乾田直播で、この内77%が耕起乾田直播である。耕起・砕土・播種から湛水までは乾田状態で管理し、湛水後は適正減水深を維持する必要がある。このため、排水性が良い乾田で、湛水後は水持ちが良い圃場条件が要求される。出芽・苗立率を高めるために砕土率を高める必要がある。土壌水分及び砕土率と出芽苗立の関係が研究された。また、播種後に強雨があると、雨滴によって田面の土壌が分散し皮膜(クラスト)を作って出芽を阻害する可能性がある。施肥については、乾田期間にアンモニア態窒素が硝酸に変わって溶脱するため施肥効率が悪いという問題があったが、速効性と緩効性窒素肥料を組み合わせて稲作期間に必要な全量を基肥1回で施用する技術が普及している。また、雑草防除についても、ヒエの4~5葉期まで効果がある除草剤が開発され、防除が容易になってきた。このため、乾田直播技術の安定化には、移植栽培より増える用水の供給の問題を含めて、適正減水深の確保、畦畔漏水の防止など主に圃場基盤に関する問題の解決が重要である。

2) 不耕起乾田直播

粘質な土壌で耕起乾田直播を行うには、砕土率を高めるために、播種までに数回の耕耘が行われる。耕起したあとに降雨があると土壌が多量の水を含むので播種作業が大幅に遅れる。雨の多い年は、播種作業が遅れて、移植栽培に切替える場合がある。主に、この問題を避けるために岡山県を中心に不耕起乾田直播が普及してきた(岡武・長野間, 1995)。この普及の背景には、自脱コンバイン収穫跡の稲わらが散布された圃場でも精度良く播種できる不耕起播種機が開発されたことがある。また、冬期間に代かきや耕起・整地・鎮圧を行い、予め均平な田面に稲わらのない圃場を準備して、4月に播種をする直播技術も開発された(長野間, 1998)。不耕起乾田直播では、不耕起栽培の継続が土壌構造、肥沃度に与える影響を明らかにして、継続による生産性の変化と継続を阻害する要因を明らかにする必要があるが、田面に散布さ

表-1 水稻の直播方式の分類

	播種方式	酸素供給剤使用	耕起	代かき	播種様式	覆土	播種深さ	湛水時期	落水管理の効果	播種方法の特徴	土壌物理性との関係
湛 水 直 播	①不耕起播種	有	無	無	条播 点播	無	1~2 cm	播種前	少	潤土状態の水田に溝を切って播種。	無代かきなので、漏水が問題。溝幅と溝の崩落の関係が重要。
	②耕起代かき 作溝播種	有	有	有	条播	無	溝の 表面	播種前	有	落水して硬めの圃場に 乗用管理機などで作溝 して表面播種。	溝の自然崩落で覆土を行 う。土壌の種類、溝の 形状と崩落の関係が重 要。
	③耕起代かき 土中播種	有	有	有	条播 点播	有	1cm 程度	播種前	有	代かき後の圃場に土中 に条播, または代かき と同時に粉衣種子を打 ち込み点播する。	代かき土壌の物理性が、 特に代かき同時播種で 重要。
	④耕起代かき 表面播種	有 無	有	有	散播 条播	無	0.5 cm	播種前	有	表層に播種し、潤土状 態の管理を行う。散播 は能率的。	表層播種のため、倒伏 しやすくなる。水管理 で根を深く伸ばす。
	⑤耕起無代かき 表面播種	無	有	無	散播 条播	無	0.5 cm	播種前	有	耕起した圃場に浅い溝 を付けた後に湛水し、 無粉衣種子を散播する。	無代かきなので、漏水 が問題。浅い溝の崩落 で覆土する。
乾 出 直 播	⑥不耕起播種	無	無	無	条播 点播	有	2~3 cm	2~3 葉期 以後	無	耕起を省略した圃場に 作溝または部分耕して 播種する。冬期に代か きまたは耕起・整地す る方法もある。	不耕起継続による土壌 の変化。漏水が問題と なるので、適地判定が 重要。
	⑦耕起播種	無 有	有	無	条播 散播	有	2~3 cm	(0)2~ 3葉期 以後	無	耕起・砕土した圃場に 条播, または表面散播 後攪拌覆土。出芽前 に早期湛水する方式で は種子粉衣する。	砕土率を高めるために 耕起回数が多くなる。 クラストの発生と漏水 が問題となる。乾燥時 の土壌水分の制御が必 要。
	⑧耕起作溝播 種	有	有	無	条播	無	表面	播種 直後	無	耕起と同時に作溝機で 畝を立て、溝の表面に 条播する。播種直後に 湛水。	溝の崩落により出芽・ 苗立と耐倒伏性が左右 される。漏水が問題と なる。

れた稲わらによる病害虫の生態の変化など、土壌以外の要因が生産性に関わる可能性もある。営農現場では、耕起栽培と不耕起栽培を数年おきに交互に実施することでも経営全体の省力化になるので、不耕起栽培の継続だけにこだわる必要はない。不耕起栽培の利点は、降雨の多い年も好適な条件を選んで短期間に予定面積の播種作業を終了することができる点であるが、投入エネルギーや環境保全などの面を含めて総合的に評価される必要がある。

大規模経営では圃場条件によって耕起、不耕起を使い分けたり、不耕起栽培の継続による支障が現れた場合に耕起栽培を組み合わせることが考えられる。今後の課題としては、不耕起栽培によって生じる問題点の解明と適地判定基準の作成が必要である。土壌の種類及び用いる機械の接地圧などと土壌のコンパクションの関係を明らかにして、不耕起栽培の継続による生産性の低下の要因

と改善技術を明らかにする必要がある。また、小型の農具及び農業機械で不耕起栽培を継続した圃場では、根が作った根穴が、孔隙を増やし、透水性の向上に寄与している現象が推定される(長期不耕起栽培圃場研究グループ, 1994)。この土壌構造が、根の伸長に対する制約を少なくし、養分の移動にも寄与していると考えられるので、根穴構造における養分移動について明らかにする必要がある。また、未攪乱土壌では、窒素の無機化が攪乱した土壌より遅れ、かつその量が少なくなることが明らかにされたが(野々山・長野間, 1997)、土壌構造と窒素無機化量の関係の検討も必要であろう。土壌構造と根の伸長とも関係させて水稻の土壌窒素吸収パターンを考察する必要があると考えられる。

3) 播種直後に湛水する乾田直播技術

ロータリ耕起と同時に算盤玉の形をした円盤を強制回転して溝を作り、溝の表面に酸素供給剤で被覆した種子

を播種し、直ちに湛水する直播技術（古川ら、1995）には、10 cm 程度の深さの深い溝を作って播種して生育途中で強制的に培土を行って耐倒伏性を高める方法と、浅い溝に播種して土壌の崩落によって覆土をする方法がある。いずれの方法でも溝の崩落が苗立に大きく影響する。湛水の初期に溝の崩落が大きいと、覆土が厚くなりすぎて出芽・苗立が不安定になる。この方式における溝の崩落には、耕起・成畦する際の土壌水分と土性が影響すると想定されるが、溝の形状と合せて整理する必要がある。耕起と同時に作溝して表面播種する方法の利点は、円盤を強制回転させる機構によって土壌水分が多い条件でも整った形の溝を作ることができ、比較的天候に左右されずに播種ができる点である。表面播種であるため、溝の崩落の過程を制御できれば、出芽・苗立の安定した播種技術になり、培土によってコシヒカリなどの倒伏しやすい品種の直播も可能になると期待されている。

4) 湛水直播技術と代かき土壌

湛水直播には、①不耕起の圃場に湛水して溝を切りながら播種する不耕起湛水直播、②代かき後の圃場に浅い溝を切って溝の表面に条播し、湛水後の溝の崩落により覆土を行う作溝表面条播方式、③溝を切って播種をして強制的に覆土を行うか、速度をつけて種子を土中に打ち込む土中播種方式（下坪・富樫、1996）、④代かき後の土壌表層に条播または散播する方式、⑤無代かき水田に湛水して表層に散播または浅い溝を付けた圃場に散播する方式の5つの方式がある。この内、打ち込み方式は点播であるので、移植水稻と似た株状になるため耐倒伏性の向上が期待されている。また、代かき後の潤土状態の圃場に表面播種する方法では、酸素供給剤を使用しなくても適切な苗立数を確保できる。各地の土壌、気象条件に対応するために出芽・苗立の安定化と耐倒伏性強化の工夫が異なり、現在は多数の播種方法があるが、播種の機械的な手段については圃場の区画や経営規模に応じて能率の大きな方法から小さな方法まで選ぶことができる。

湛水直播には、散播、条播、点播があり、いずれも一定の播種深度に播種することが、出芽、苗立の安定化に重要である。播種深度を一定に維持するには、代かき土壌の物理性を目標の範囲にすることと、圃場内で一定に揃えることが必要である。これまで、代かき土壌の物理性は、115 g の円錐状の重りを高さ1 m から自然落下させ円錐先端から土壌表面までの深さで示すさげ振り貫入深、ゴルフボールを1 m の高さから自然落下させるゴルフボール法などにより測定された（沢村、1997）。代かき土壌の物理性の変動には、土性、粘土鉱物、代かき時の土壌水分、代かき方法、代かき後の経過時間などが影響

する。藤尾（1976）の報告によると、代かき後に沈降した土壌は、蜂の巣状、網目状になっており、粗充填の状態にある。結合力は弱く、攪拌すると構造的に拘束された水が自由化して軟化する。しかし、粗充填の構造が破壊されると、密状態に再配列されて、泥が沈降硬化すると考察し、一旦代かき後に沈降した土壌を再攪拌すると沈降硬化が促進されることを明らかにした。沈降後の土壌の水を切り、再び攪拌すると土壌の沈降高さは減少する。粘稠度と硬度は、攪拌泥より再攪拌泥が、沈降泥より再攪拌後に沈降させた泥で大きくなる。このような代かき土壌の性質を考えると、代かきして土壌が沈降した後に落水し、浅水で再度代かきを行うなどの方法で、代かき土壌の物理性を大きく変えることができると考えられる。代かきと同時に播種をする打ち込み点播では、1回目の代かき後から代かき同時播種までの経過時間が播種精度に影響するといわれる。沈降が進んだ充分に進んだ段階で再度代かきを行うと固くなりすぎる土壌があるのかもしれない。

今後の課題では、代かき土壌の流動性、土壌硬度の変動要因と制御方法を明らかにすることが必要である。土性、耕起前の土壌水分、有機物、代かき程度などとの関連で整理する必要がある。このために、現場でも測定できる精度の良い測定方法の検討が必要である。例えば、液性限界の測定方法であるフォールコーンを応用した現地測定法の開発も有効ではないだろうか。また、水管理に伴う泥土の流出や肥料成分の流出について注意する必要があるので、代かき後の土壌の沈降を人為的に促進することができれば有効な技術になりうると考えられる。

(3) 移植栽培の省力化と土壌物理性の課題

移植栽培の省力化の1つには耕起及び代かきの省略がある。この両方を省略した不耕起移植栽培は、わらが田面に散布された圃場で精度良く移植する田植機が市販されたために技術導入の効果が明瞭な地域に普及している。移植部分に溝を作る方法には、ディスクで切る方法と、特殊な爪で部分耕する方法がある。不耕起移植栽培における大きな課題は、適正減水深の確保を中心にした適地判定である。施肥に関しては、育苗期間は溶出しないシグモイド型の緩効性肥料を育苗箱へ予め施肥し、移植時に本田へ肥料を持込むことによって側条施肥と同等の効果が得られるので、土壌窒素の無機化と根域の発達が遅れる不耕起条件でも初期～中期の生育を確保できる技術が確立した（金田ら、1994）。不耕起栽培の継続による物理性の変化については、不耕起乾田直播と同様の課題がある。

次に、代かきのみを省略した無代かき移植栽培技術も、適正減水深が得られる場所が適地である。浅く簡易

な代かきを行いながら、同時に移植する方法も開発された。無代かき移植における移植精度には、灌水前の土壌の碎土率と移植時の土壌の崩落、分散が関係するが、後者には移植前に灌水状態で放置する日数と土壌の吸水、膨軟化の程度が関係する。以上のような代かきを行わない移植技術では、移植前の落水操作による泥土の流出が殆どない点の特徴である。

次に育苗過程を省力化する技術開発がある。育苗期間が7日間程度と短い乳苗移植では、苗の草丈が小さいので田面の均平が重要である。また、土壌を用いず灌水や養分管理が自動化できる水耕により12~10日程度育苗して作られる苗(田坂, 1997)は、不織布に播種された根がマット状になったもので土が付いていない。このため、重りになるものがなく、代かき土壌の状態によっては、土壌に固定されずに浮き苗になる危険性がある。代かき後の流動性が小さな中粗粒質土壌または、流動性が大きい土壌で問題となると考えられる。このため、浮き苗を避け、植え付け姿勢を適正に保つための代かき土壌の物理性の許容範囲は、慣行の床土の付いた苗よりは幅が狭いと考えられる。灌水直播と同様に、省力的に安定して代かき土壌の物理性を調整することが、この移植技術の安定化に必要である。

(4) 水田高度利用と土壌の物理性

水田の高度利用を考える上では、麦類、大豆、飼料作物、野菜と水稲とのローテーションが、畑作物の連作障害を避ける上でも、土壌肥沃度の維持、水田の機能を維持する上でも有効である。代かきを行わない水稲の栽培方法を採用すると、碎土性、排水性がまざるので、この跡に畑作物を栽培することが有効である。さらに節水栽培により水稲を利用して土壌を乾燥させることも方策として考えられる。このように、前作となる水稲の栽培を高度利用に適した方法に選択することも、畑作物の省力・安定多収栽培に必要である。

また、排水対策の効果を向上させるために、新たな方法の検討も必要である。アメリカの輪換水田では、0.1~0.2%の傾斜化を付けて畦間灌漑を行っている(Hill *et al.*, 1992)。圃場内の凹地を少なくすることによって圃場内の降雨後の残水を少なくすることができるので、排水促進につながると考えられる。また、暗渠を用いた地下灌漑、傾斜化圃場での畦間灌漑による大豆の増収技術を確立する必要がある。大豆に対する灌漑については、各地で試験がされたが、普及には至っていない。必ずしも毎年顕著な効果が現れる技術ではないと考えられるので、省力的で低コストな方法を開発する必要がある。

(5) 水田の環境保全機能と土壌の物理性

水田の環境保全機能には、灌漑水中の窒素の脱窒など

の浄化機能がある。この水田における脱窒機能を増強するような有機物の管理を検討する必要がある。前作の稲わらをすき込まない不耕起栽培では、作土層の還元が進まないで土壌中にすき込んだ場合よりメタンの発生が少ない可能性がある。また、田面にわらを散布することによっても、土壌中にすき込んだ場合と同等の浄化能が維持できる(尾崎・近藤, 1995)。また、乾田直播、不耕起移植栽培などの代かきをしない作業方法は、水田からの泥土の流出を少なくすることができるので、排水路の管理や養分の流出を少なくする上で有効である。また、水田の下層土は還元的な土層である場合が多く、転換畑で野菜を栽培した場合は浸透水中の窒素の脱窒機能を活かすことができるので、浸透水中の窒素の脱窒量を高める土壌構造や有機物の施用方法を工夫する必要がある。

(6) 土壌のコンパクションと土壌有機物の管理

大型機械化農業を考えた場合、土壌のコンパクションを避けることが持続的な生産性の維持に重要である。この点については、有機物との関係を解明する必要がある。田面に散布されたわらなどの有機物が、トラクタ走行時の車輪踏圧によるコンパクションを緩和する可能性もある。Karlen *et al.* (1994)は、不耕起継続土壌について作物残渣の管理によって影響される土壌の質及び播種床の質に関する要因と指標を示した。水の浸入能に関する評価、水の移動、保持に関する評価、土壌構造の安定性に関する評価、植物生育の持続性に関する評価の4つの要因について、それぞれの得点が0~1の値で示され、さらに、各要因別の重み付け係数を掛けて、0~1の総合点が示される。

$$Q = q_{we} \times (wt_1) + q_{wt} \times (wt_2) + q_{rd} \times (wt_3) + q_{spg} \times (wt_4)$$

q_{we} : 水の浸入 (water entry) 能

q_{wt} : 水の移動 (water transfer) と保持

q_{rd} : 質の悪化 (resist degradation) に対する耐性

q_{spg} : 作物生育の持続 (sustain plant growth)

wt : 各要因の重み付け係数 ($Wt_1=0.2, Wt_2=0.2, Wt_3=0.2, Wt_4=0.4$)

4つの要因の得点も、それぞれ複数の指標の得点もとに計算される。例えば、水の浸入能(q_{we})については、団粒の安定性、表層の土壌の孔隙率、土壌動物の数の3つの指標から評価される。各指標は0~1の値で評価され、それぞれに0.6, 0.2, 0.2の重み付け係数を掛けて、浸入能の総合得点が計算される。耕起方法の違い及び各耕起方法の継続が土壌に及ぼす影響の評価には、このような総合的な評価方法を工夫する必要があると考える。

Soane (1990)の総説によると、コンパクションに関

与する有機物としては、生きている根や微生物、死んだ有機物として、分解の進んでいない有機物、部分的に分解の進んだ有機物、土壌腐植が上げられる。圧縮後に加重を取り除いた時の有機物の容積重に対する圧縮を受けた時の容積重の比で表す緩和率 (Relaxation ratio) について、有機物の質の影響を調べると未分解有機物の緩和率が顕著に大きい。有機物含量とコンパクションの受けかたを評価する方法として、pF 1.9 の土壌が空気が満たされた孔隙が 10% までに減少するために必要な圧力で評価する方法が紹介されている。このような、有機物施用との関係を整理して、望ましい有機物管理の指標を作成する必要がある。

4. おわりに

直播に代表される水稲作の省力、低コスト技術の開発と水田を総合的に利用する技術開発を行う上で、土壌の物理性に関わる問題の解決は重要である。水稲の直播については、変化に富んだ気象条件と様々な土壌条件に対応するために、多様な工夫が実施されている。それぞれの工夫にとって成功の鍵をにぎる部分に土壌物理性の問題が存在するように思う。作業の能率を落とさず、余りコストを掛けずに、土壌の物理性を管理し、制御することが必要である。このためには、見逃していた現象の解析等から新しい見方が生まれることが期待される。

引用文献

- 長期不耕起栽培圃場研究グループ (1994) : 長期不耕起直播田の土壌及び水稲栽培の実態調査, 農業技術, 49 : 251~256.
- Hill J.E. *et al.* (1992) : Rice production in California, p 1~22, Cooperative Extension University of California.
- 藤森新作 (1997) : 基盤整備技術, 日本型直播稲作導入指針, p 93~115, 農業研究センター.
- 藤尾福蔵 (1976) : 水田泥の攪拌沈降硬化について, 土壌の物理性, 31 : 9~13.
- 古川嗣彦, 堀内久太郎, 松村修 (1995) : 直播稲作への挑戦, 第 2 巻, p 95~114, 農林水産技術協会.
- 姫田正美 (1998) : 水稲直播栽培の新展開, 日本の農業, 205 : 30~31.
- 椛木信幸 (1997) : 栽培管理技術, 日本型直播稲作導入指針, p 116~130, 農業研究センター.
- 金田吉弘ら (1994) : 肥効調節型肥料を用いた育苗箱全量基肥による水稲不耕起移植栽培, 土肥誌, 65 : 385~391.
- Karlen, D.L. *et al.* (1994) : Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. Soil Tillage Res., 31 : 149~167.
- 木村勝一 (1995) : レーザー利用による大区画水田圃場の均平技術, 直播稲作への挑戦 第 2 巻, p 142~151, 農林水産技術協会.
- 長野間宏 (1998) : 汎用型不耕起播種機による高能率乾田直播, 機械と農業, 2 : 12~15.
- 日本型直播稲作導入指針編集委員会編 (1997) : 日本型直播稲作導入指針, p 4~5, 農業研究センター.
- 野々山芳夫, 長野間宏 (1997) : 施肥・土壌管理, 日本型直播稲作導入指針, p 131~139, 農業研究センター.
- 岡武三郎, 長野間宏 (1995) : 不耕起乾田直播, 直播稲作への挑戦 第 2 巻, p 21~39, 農林水産技術協会.
- 岡崎紘一郎 (1996) : 水田畦畔管理省力化のための土壌モルタル被覆, 総合農業の新技術, p 234~238, 農業研究センター.
- 尾崎保夫, 近藤正 (1995) : 自然浄化機能を活用した農山村地域の水質改善, 用水と排水, 37 : 32~38.
- 沢村篤 (1997) : 代かき土壌硬度, 土壌環境分析法, p 38~40, 博友社.
- 下坪訓次, 富樫辰志 (1996) : 水稲直播用打ち込み式代かき同時土中点播機, 総合農業の新技術, p 239~245, 農業研究センター.
- Soane, B.D. (1990) : The role of organic matter in soil compactibility. Review of some practical aspects. Soil Tillage Res., 16 : 179~201.
- 田坂幸平 (1997) : 水稲ロングマット水耕苗の育苗・移植作業技術, 総合農業の新技術, p 181~186, 農業研究センター.

受稿年月日: 1998年7月13日
受理年月日: 1998年7月30日