

# 八郎湖の水質改善に有効な水田管理技術

秋田県立大学 生物資源科学部

金田 吉弘

## 1. 水田農業の進歩と水環境

1800年代に200kg/10a水準であった我が国の水稲収量は、その後年々増加傾向を示し、現代では550kg/10a水準に達している。一方、10a当たりの労働時間は、1900年代中頃の200時間の水準から現代では20時間台となり大幅に減少している（図1）。

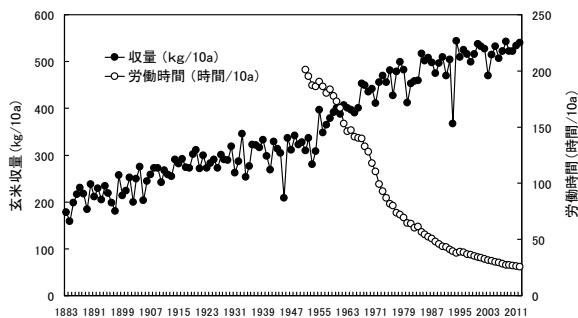


図1 水稲収量と労働時間の推移

稲作における労働時間の減少に見られる作業の効率化は、1950年代前半の動力耕耘機の普及に始まる機械化一貫作業体系や1960年代からの灌漑排水、暗渠排水、農地の集団化などを一体的に実施する圃場整備事業などによるところが大きい。

かつての農業では、人畜の排泄物や水路などに堆積した泥などを肥料として利用することにより生産性を高めていた。また、生産性を維持するために、「田越灌漑」などにより農業用水の排出に伴う農地からの養分流出をできるだけ抑えたことから、農地は水環境を浄化する機能を持っていた。図2に、用途別・水資源別水需要の推移を示した。

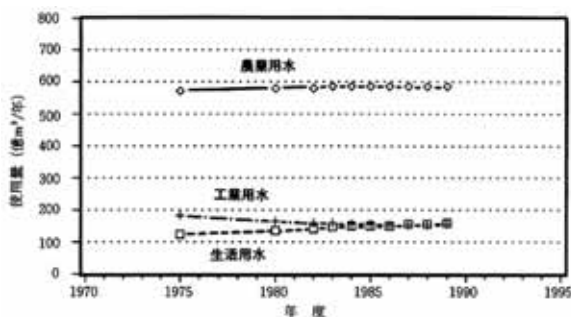


図2 用途別・水資源別水需要の推移（國松，1995）

減反・転作により水田面積が減少した1980年から1989年にかけて、農業用水の使用量はむしろわずかではあるが増加している。國松（1995）は、その理由として、圃場整備が進み排水が改良された水田では農業用水量が増加する傾向があること、圃場の用排水分離によって農業用水の反復利用率が低下すること、用水路の水位を保ち、維持用水を確保するため部分的に水田が減少しても直接水量減には結びつかないことなどをあげている。また、用水の供給が安定化すると個々の水田の水管理が甘くなる傾向にあることも要因のひとつとして指摘している。圃場整備が進み用水の安定供給が可能になり、作業の効率化が実現した現代の水田は、代かき水の一斉放出などにより水系の水質汚濁要因の一つになっている。2007年に全国で11番目の指定湖沼となった八郎湖においても水質悪化要因のひとつに、農地からの面源負荷があげられている。八郎湖は閉鎖性水域であり、全体で894km<sup>2</sup>の流域には20程度の中小河川流域や大規模水田農業が営まれている大潟村が含まれる。そのため、八郎湖に対する農地からの面源負荷低減に効果的な対策を実施することが極めて重要になる。

## 2. 水質改善のための水田管理技術

八郎湖に排出される干拓地由来の懸濁物質は、水田の代かきから移植期にかけて急増する（図3）。

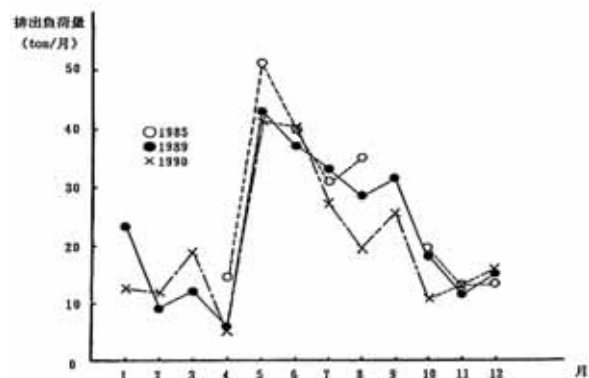


図3 八郎湖干拓地における南、北両排水機場から排出される汚濁負荷量（1985～1990）（佐藤，1995）

このことから、八郎湖では大潟村や周辺地域の水田からの排水による面源負荷を抑制することが重要な課題となる。水田から排出される水質汚濁物質を抑制するためには、様々な水田管理技術を導入する必要がある。ここでは、これまで秋田県立大学や秋田県農業試験場が実施した水田管理技術を中心に水田からの汚濁物質の流出を抑制するために有効な対策を紹介する。

### 1) 浅水代かき栽培

代かきは、田面水中に土粒子を分散させ、移植前の強制落水による水質汚濁を増大させる。特に、田面水深が深い状態で代かきを行うと、土粒子の分散が促進され、その後土粒子が沈降するまでに時間を要する場合が多い。浅水代かきは、写真1のように田面の70～80%が露出している状態で代かきを行い、代かき後に落水せずに移植する方法である。



写真1 浅水代かき作業の様子

代かき前の灌水は、水尻からの漏水がないことを確認した後、移植の3～7日前から行い60～70%の田面が見える程度まで行う。代かきは、70～80%の田面が見える程度の湛水状態で実施する。代かき作業に使用する代かきハローの作業速度は、ゆっくりと歩く速度で行うことが重要で、代かき後の土壌が軟らかすぎると浮き苗の発生が増える。また、代かき回数は1回とし、代かき後はごく浅い湛水状態を継続し、できるだけ早く移植することが望ましい。移植は、従来の方法と同様に行う。田面の土壌が軟らかすぎて、泥水が浮き上がった状態なら、田植機のフロートの押さえ強度を弱めて行う。代かき後、天気が良く土壌表面が乾くことが予想される場合は、翌日に落水しなくても良い程度に、ごく浅く灌水する。なお、

欠株率が5%以内では、収量には影響しない。また、移植後に浮苗の発生が多くなることが予想される場合は、圃場の状態をみながらごく少量の湛水量にとどめて数日管理の後、十分灌水する。

### 2) 代かき後の落水までの湛水管理

現在の水稻栽培では、代かき後に湛水した田面水を強制落水して移植することが慣行となっている。そのため、落水する田面水にSS（土粒子などの懸濁物質）を多く含む場合には水質汚濁の要因となる。原田（2006）は、大潟村内の70筆以上の農家水田を調査した結果から、水稻移植前の強制落水は3～12時間かけて行なわれ、落水終了までの強風や落水直前の湛水深によってSS濃度が大きく変化することを明らかにした。図4は、代かき後落水までの田面水質の変化を示している。

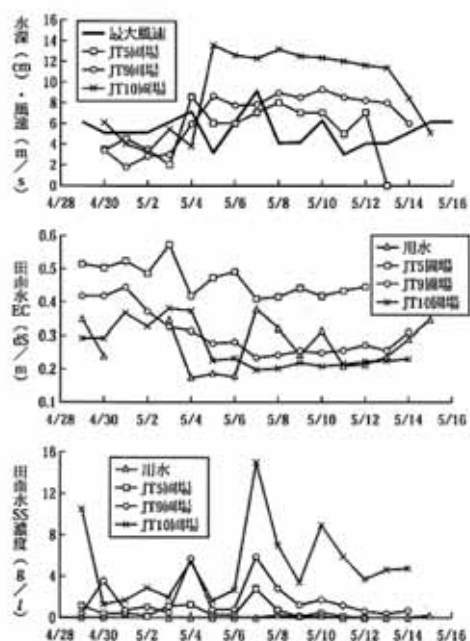


図4 農家圃場における移植落水前田面水の湛水深、電気伝導率（EC）、懸濁物質（SS）濃度の測定事例（原田，2006）

風速 6 m/s以上の強風を観測した5月7日は、田面水の懸濁物質（SS）濃度が急激に上昇している。これは、強風により田面水が波立ち、土粒子の巻き上げが起こったためとしている。強風による波成ちは特に1ha規模の大区画水田において、発生しやすい現象である。また、代かき直後からSS濃度が高く推移する場合（JT10圃場）や、低く推移する場合（JT5圃場）があり、SS濃度が高く推移したJT10圃場は直径2mm以下の細かく砕土

された土塊が他の圃場に比べて著しく多く、耕起時に細かく砕土すると田面水のSS濃度が高くなることを示している。一方、JT5圃場では、田面水の電気伝導率（EC）が高く推移したために、懸濁された土粒子が凝集、沈降しやすくなり、SS濃度が低くなったと推察している。このことを踏まえて、原田（2006）は、図5のように落水直前の湛水深と排水中のSS濃度および湛水深による強風の影響をまとめた。

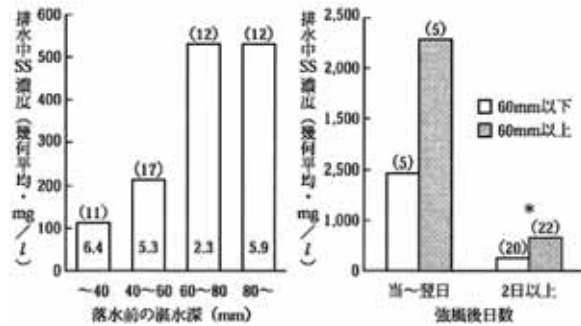


図5 落水直前の湛水深と移植前排水中のSS濃度の関係 (原田, 2006)

落水直前の湛水深が深くなるとSS濃度は増加する傾向を示す。この理由としては、土壌コロイドを含む溶液中では電解質濃度が上昇するため、コロイドが凝集し土粒子は沈降しやすくなるが、湛水深が深い状態では電解質が希釈されることからコロイドの凝集力が弱まり、土粒子は沈降せずSS濃度は上昇しやすくなることをあげている。また、湛水深が深いと強風によるSS濃度の増加程度が大きいことがわかる。図6には、落水前の湛水深と排水のEC、排水中のSS濃度の関係を示した。

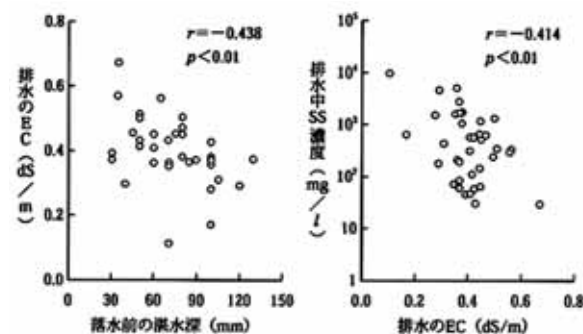


図6 移植前排水のECと水質汚濁物質濃度の関係 (原田, 2006)

落水前の湛水深をおおよそ60mm以下に管理することができれば排水のECが高まり、排水中のSS濃度が低下する傾向が認められる。このことか

ら、原田（2006）は、湛水深を現在の平均値程度である60mm以下に管理することを提案している。60mm以下の湛水深では、強風により生ずる波の影響が弱くなるとともに田面水中の電解質濃度が上昇することにより土粒子が沈降しやすくなる。これにより、落水量は3割削減され水質汚濁物質排出量は約4～5割程度削減できる。代かき後、落水までの湛水管理は農家が行いやすい技術であり、普及面積が拡大することによって水田からの水質汚濁物質の削減に大きな効果が期待できる。

### 3) 無代かき移植栽培

我が国の稲作において、代かきは「均平」、「田植え」、「活着」、「肥料混和」、「水もち」、「除草」などのために、古くから不可欠な作業とされてきた。しかし、近年の機械化移植栽培では田植機の移植精度が向上したことから「田植え」や「活着」に対する代かきの意義は薄れている。特に、東北の日本海側に広く分布する重粘土水田では、代かきにより作土直下に不透水性の土層が発達し、稲作期間の透水性が低下しやすい。また、近年は機械収穫後の稲わらを春にすき込む事例が多くなり、排水不良水田では、稲わらの分解に伴い土壌は強還元になりやすく根腐れを生じやすい。無代かき栽培は、移植前の代かきを省略する栽培法である。これまでの報告により、土壌は粒状構造が維持され酸化還元電位の低下程度が小さくなることが明らかにされている（熊野ら, 1985）。また、無代かき水田では、生育後半まで水稻根活性が高く維持されること（本林ら, 2004；三原, 2009）、生育後半の葉身窒素濃度が高く維持され個葉の光合成速度が大きいことが報告されている（本林ら, 2004）。さらに、無代かき水田における水稻は、生育後半まで水稻根の活性が高く維持され窒素や水分吸収が促進されることから、登熟期の高温条件下でも代かき水田に比べて乳白米などの白未熟米の発生が少なく品質向上に有効であることが明らかにされている（金田ら, 2012）。水環境の面では、代かきを省略することから、移植前の強制落水が発生せず、八郎湖の水質改善に期待できる水田管理技術である。

大潟村における水田圃場の基本は1区画が1.25haであり、図7に示すように灌漑水は約1kmの小用水路から両側（片側15ha）30ha（1筆1.25ha

の圃場24筆で構成)に供給される。また、1本の小排水路に対して両側の30ha水田群から排水する仕組みとなっている。

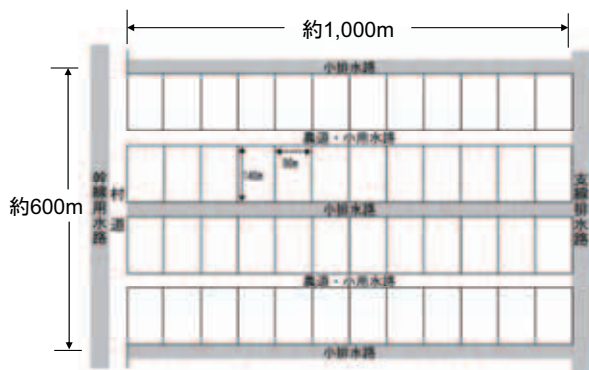


図7 大湯村の標準圃場図 (HP「大湯村百科事典(農業)」より)

代かき後の強制落水による30ha水田群からの濁水は、この1kmの小排水路に入り、支線排水路、幹線排水路を経由して八郎湖に流入し、水質悪化の大きな原因となる。そこで、金田・谷口ら(2006)は、大湯村の農家の協力を得て、30haの水田群を1ブロックとしてブロックごとに慣行の代かき栽培と無代かき栽培を導入し、各ブロックからの汚濁負荷量を調査し、汚濁負荷に及ぼす代かきの影響を明らかにした。排水路の水採取は、図8のように各ブロックの排水路の末端で行った。

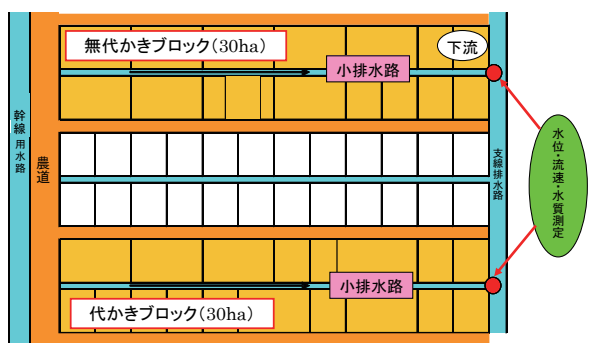


図8 農法が異なる水田群からの汚濁負荷量測定のためのブロック実験概要図

写真2に、小排水路の様子を示した。



写真2 小排水路の様子

調査項目は、流速および水深の他、懸濁物質(SS)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)濃度であり、流速、水深、各濃度の値から汚濁負荷量を算出した。また、落水直前の田面水のSS濃度と田面水深を測定し、各圃場からのSS流出量を算出した。調査は2006年～2007年に行った。田植期は用水流入日(4月24日)から移植最終日(5月26日)まで、それ以降は灌漑期(5月27日～8月28日)とし、流速および水深、水質調査のための試料採取は毎日実施した。

図9、10、11に、2006年における田植期および灌漑期における排水路中のSS濃度および全窒素濃度、全リン濃度の推移を示した。

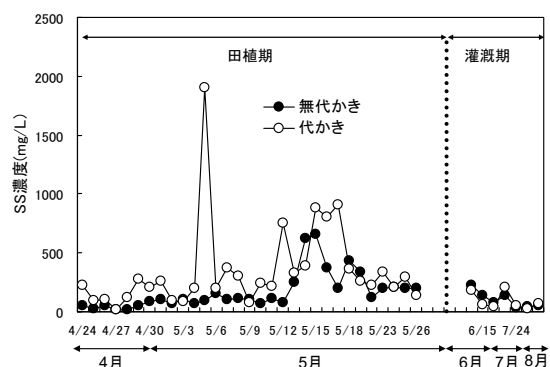


図9 排水路中のSS濃度の推移(金田ら, 2006年)

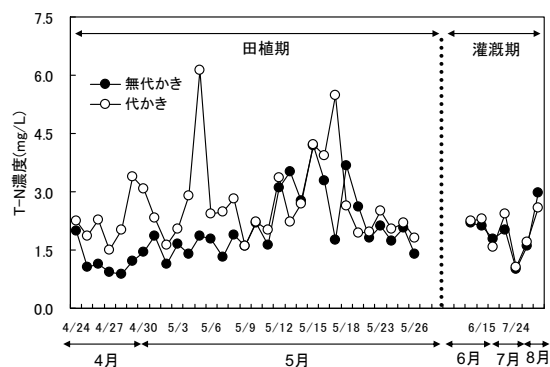


図10 排水路中の全窒素濃度の推移(金田ら, 2006年)

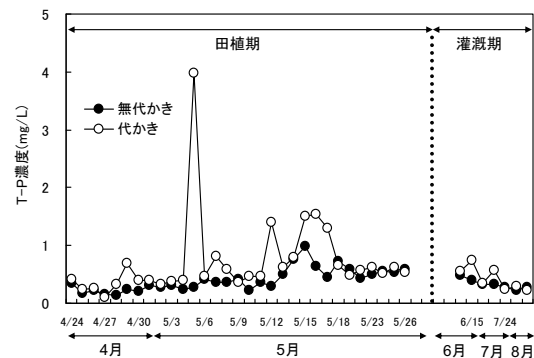


図11 排水路中のSS濃度の推移(金田ら, 2006年)

田植期における無代かきブロック排水路のSS濃度は、代かきブロックに比べて低く推移し、特に強制落水が集中した代かきブロックでの5月5日の値は急増した。一方、灌漑期のSS濃度は両ブロック間で大きな違いは認められなかった。また、無代かきブロックの全窒素、全リン濃度は田植期を通じて代かきブロックに比べて低く推移し、代かきブロックではSS濃度の急増に伴い全窒素、全リンとも増加した。同様の傾向は、2007年にも認められた。このことから、無代かき栽培は田植期における水田からの懸濁物質の削減に有効であることが認められた。また、図12、13には、それぞれ排水路水のSS濃度と全窒素濃度および全リン濃度の関係を示した。

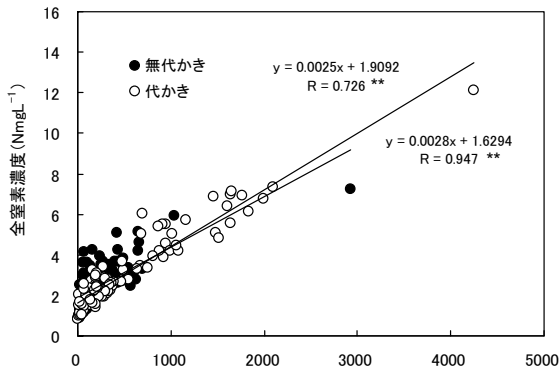


図12 排水路中のSS濃度と全窒素濃度の関係 (金田ら, 2006年)

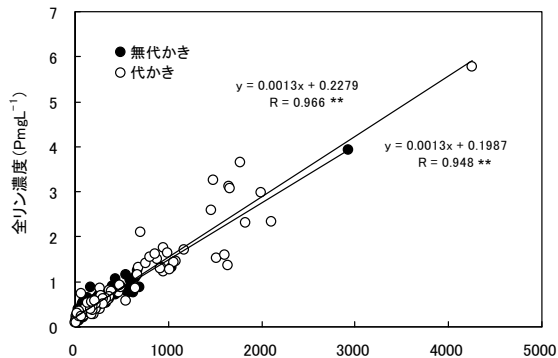


図13 排水路中のSS濃度と全リン濃度の関係 (金田ら, 2006年)

全窒素、全リン各濃度ともSS濃度と正の相関が認められたことから、窒素およびリンは土壌粒子に吸着して排水路に流出される形態が多いと推察した。図14、15、16に、2006～2007年の田植期（4月24日～5月26日）におけるSS、全窒素、全リンの積算排出量を示した。排出量は、各ブロック排水路の積算水量とSSおよび全窒素、全リン濃度から算出した。

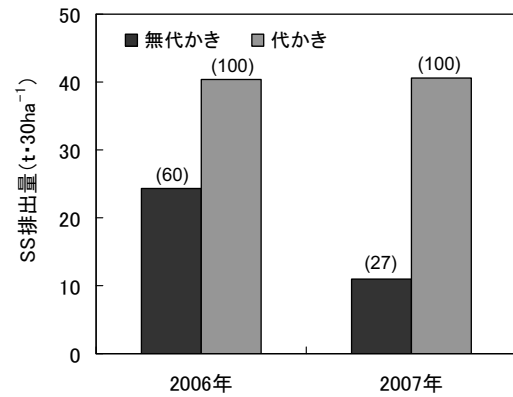


図14 田植期における水田群別のSS排出量 (金田ら, 2007)

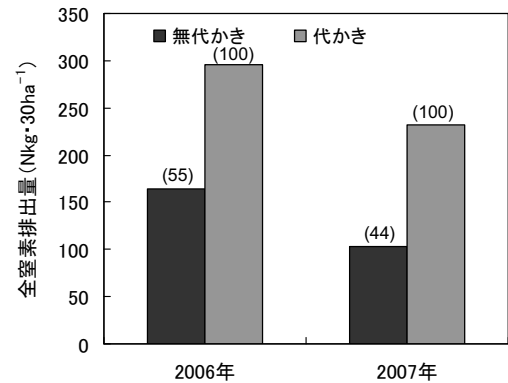


図15 田植期における水田群別の全窒素排出量 (金田ら, 2007)

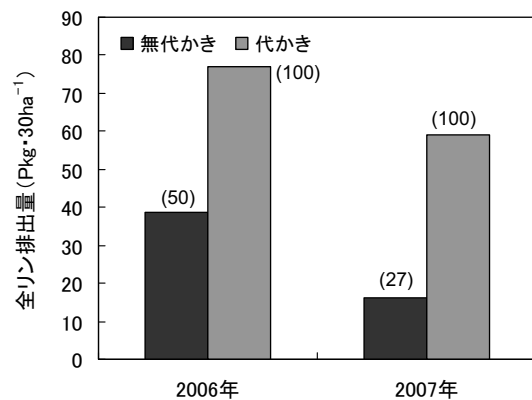


図16 田植期における水田群別の全リン排出量 (金田ら, 2007)

田植期における無代かきブロックからのSS排出量は、代かきブロックに比べて40～73%減少した。同様に無代かきブロックの全窒素、全リンは代かきブロックに比較してそれぞれ、45～56%、50～73%減少した。以上のことから、大潟村の農地の基本単位である30haブロックへの無代かき栽培の導入は田植期における面源負荷の削減に有効であることが明らかになった。

写真3は、移植前の代かきおよび無代かき圃場の状況である。無代かき圃場面は、代かき圃場に比べて土壌粒子の分散が少なく土塊が多く存在している。



代かき圃場



無代かき圃場

写真3 移植前の代かき及び無代かき圃場

現在、大潟村農家が実践している無代かき栽培は、使用する機械の違いにより以下のように3タイプに分けることができる。

①タイプ1：圃場の均平を確保し、ロータリと代かきハローを使用する（写真4）。



写真4 ロータリによる砕土作業

ロータリで深さ12cm程度を耕起した後、代か

きハローで深さ7cm程度を砕土し、灌水後移植する。ロータリ耕起後の土壌は、降雨を受けると乾きにくい特徴があるので、砕土率を上げるためには、作業時の天候と土壌の乾燥程度に注意する。砕土率（直径2cm以下の土塊重量割合）は60%以上を目指す。バーチカルハローは、砕土率向上、植え付け深の確保、雑草対策に有効である。

②タイプ2：圃場の均平を確保し、チゼルプラウ、ロータリまたは代かきハローを使用する（写真5）。



写真5 チゼルプラウ（スタブルカルチ）による耕起作業

深さ15～20cmをチゼルプラウで耕起し、土壌を乾燥させた後、ロータリもしくは代かきハローで深さ7cm程度を砕土し、灌水後移植する。耕起した土壌の乾きやすさは、プラウ>チゼルプラウ>ロータリの順となる。砕土率（直径2cm以下の土塊重量割合）は60%以上を目指す。

③タイプ3：クローラートラクタ、水田プラウ、バーチカルハローを使用する（写真6）。



写真6 水田プラウによる耕起とバーチカルハローによる砕土作業

水田プラウにより深さ15~20cm程度を反転し、土壌を乾燥させた後、バーチカルハローにより深さ3~5cm程度を砕土し、レーザーレベラーで均平にし、再びバーチカルハローにより深さ10cm程度を砕土した後、灌水し移植する。早春のプラウ耕は土壌を乾燥させて、土塊の崩壊を促進し、土壌基盤を固め、乾土効果を引き出しやすい。バーチカルハローは降雨後でも速やかに作業が可能になることから、砕土性が向上し移植精度が上がる等のメリットがある。以上3タイプの施肥については、透水性の増大が肥効に影響するため、育苗箱全量施肥が有効であるが、全層施肥する場合は砕土工程内で行う。

#### 4) 排水路の底泥巻き上げ防止による水質改善効果

図17には、前述の30ha水田群において、各圃場における田面水のSS濃度と田面水深から求めた圃場からのSS排出量の積算量と各ブロックにおいて排水路を経由して流出するSS排出量を示した。

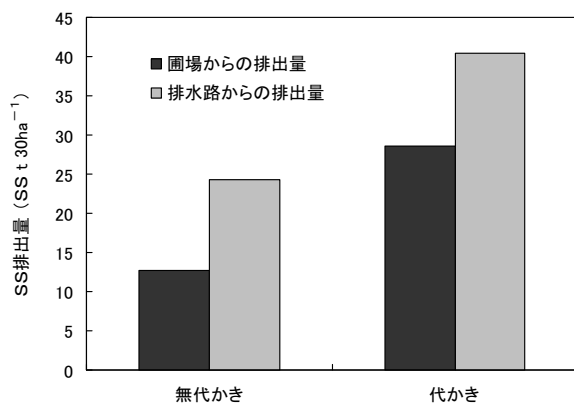


図17 圃場と排水路からのSS排出量の違い (金田ら, 2006年)

圃場から流出するSS量は、無代かきブロック12.7t、代かきブロック28.6tであり、いずれも排水路調査から求めた量に比べて少なかった。排水路を含む水田群と圃場から流出するSS量の差は、無代かきブロック、代かきブロック各11.6t、11.8tであり、この量は排水路内に沈澱しているSS由来と考えられた。以上のことから、水田群からの汚濁負荷は無代かき栽培により減少するが、一方で排水路に沈澱した懸濁物質からの負荷の影響も大きいことが明らかになった。

大潟村における水田の排水口は、図18のように

排水路底泥から約70cm高い位置にある圃場が多く、写真7のように、水田からの排水の勢いにより底泥が巻き上げられ、排水路のSS量が増加する。

水田からの流出水により底泥から巻き上げられたSSは、排水路を経由して八郎湖に流入するものと考えられる。大潟村の農家相馬喜久男氏は、写真8のように流出水の着水地点に廃タイヤを利用した流水受けを設置することにより底泥の巻き上げを緩和する対策を考案している。

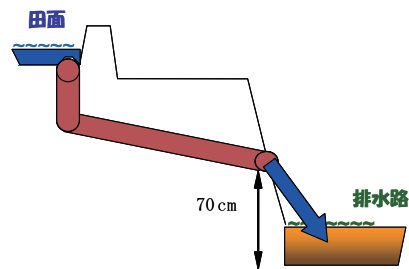


図18 圃場と排水路の位置



写真7 水田からの流水により巻き上がる底泥



表

裏

写真8 大潟村農家相馬喜久男氏考案の流水受け

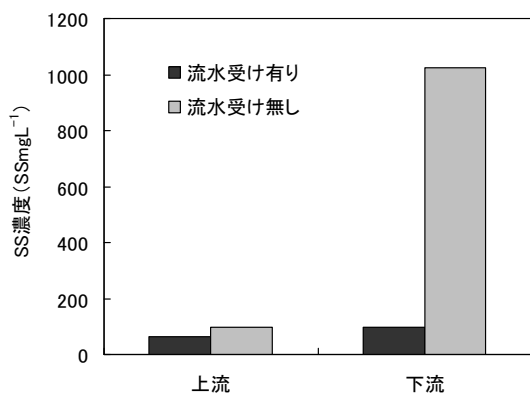


図19 圃場からの流水受の有無が排水路のSS濃度に及ぼす影響（金田ら，2007年）

そこで、圃場からの排水に対する流水受けの有無が排水路のSS濃度に及ぼす影響を調査した。図19に示すように、流水受けを設置した場合、流水受の上下においてSS濃度は大きく変化しないのに対して、流水受けが無い場合には、代かき水が直接当たることにより排水着地点から下方のSS濃度は大きく増加した。



写真9 圃場からの流水を受ける様子

このことから、排水路に代かき水の流水受けを設置することにより底泥の巻き上げを抑えることができれば排水路からのSS発生量は大幅に減少することが予想される。実際には、写真9のように流水着地点にコンテナを設置することにより、底泥に対する直接的な流水打撃を緩和することが可能になる。圃場と高低差が大きい排水路に、流水受けコンテナを設置することにより写真10のように底泥の巻き上げが多かった従来の管理に比べて排水路からのSS流出量は大きく減少することが期待される。



写真10 対照（直下の泥が巻き上げられた）

### 3. 「できることから始める」水田管理技術の組み立て

全国的に見ると、閉鎖性水域である湖沼では水質改善が進まず、富栄養化が進行している。また、原因を特定しやすい生活排水や事業場排水からの点源負荷量は減少傾向にあるものの、市街地系や農地系、自然系等からの面源負荷量の削減は進まず、面源負荷の全体に占める割合は増加傾向にあるとされている。指定湖沼である八郎湖のように水質汚濁が進む閉鎖水系では、点源からの汚濁負荷の削減のみならず水田などの面源負荷の削減が大きな課題である。図20には水田管理技術の難易度と水質改善効果を示した。

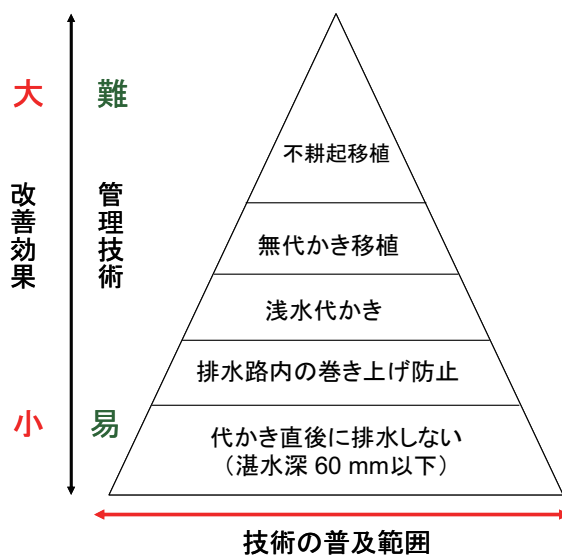


図20 水田からの汚濁物質排出抑制を目指す技術の難易度と改善効果



面源負荷を削減するための水田管理技術は単独の技術ではなく、いくつかの技術の組み合わせにより効果を発揮する。本報告では、4タイプの技術を取り上げたが、技術によってその難易度は異なる。水質負荷を抑制する水田管理技術の導入面積を拡大するためには、生産現場で農家が取り組みやすいものから導入を進めることが重要である。

また、農家が新たに取り組む場合には、技術の内容を簡易に解説したマニュアルなどが有効である。秋田県立大学と秋田県農業試験場は共同研究の成果をまとめた「水環境改善のための農法マニュアル」を作成している。その中では、①落水管理法、②浅水代かき法、③無代かき移植栽培、④排水路の底泥巻き上げ防止による水質改善効果について解説しており、今後マニュアルを活用した技術の普及が期待される。

#### 引用文献

原田久富美 (2006) 不耕起、無代かき、移植前湛水深の抑制による代かき濁水の排出削減, 農業技術大系 (農文協), 140, 8-12.  
金田吉弘 (2007) 水質改善技術確立のための圃場ブロック実験, (谷口吉光「環境創造型農業を現

現するための社会システムの研究開発 研究実施終了報告書」), 9-37.

金田吉弘, 小野寺拓也, 坂下将, 高階史章, 佐藤孝, 伊藤慶輝, 保田謙太郎 (2012) 重粘土水田における無代かき栽培が高温条件下における水稻根活性, 穂温および乳白米発生に及ぼす影響, 土肥誌, 83, 681-686.

熊野誠一, 関寛三, 金忠男 (1985) 水稻の機械移植栽培における代掻きに関する研究, 東北農試研報, 72, 1-53.

國松孝男 (1995) 水資源と水環境, 農業と環境 (富民協会), 73-147.

秋田県立大学, 秋田県農林水産技術センター農業試験場 (2009) 水環境改善のための農法マニュアル

三原千加子 (2009) 無代かき栽培した水稻の生育・収量と出液速度, 日作紀, 78, 471-475.

本林隆, 成岡由規子, 和田誉, 平沢正 (2004) 不耕起・無代掻き水田で栽培された水稻の乾物生産特性—耕起・代掻き水田で栽培された水稻との比較—, 日作紀, 73, 147-156.

佐藤敦 (1995) 新農法導入による水質環境保全の試み—秋田県八郎潟干拓地の場合—, 新農法への挑戦 (博友社), 317-330.