

水田土壌養分動態と温室効果ガス排出からみた冬期湛水の 意義

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
巻/号	883
掲載ページ	p. 277-282
発行年月	2017年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



資 料

水田土壌養分動態と温室効果ガス排出からみた冬期湛水の意義

新良力也¹・高橋智紀²・伊藤豊彰³・細川幸一⁴・井上健一⁴・南川和則⁵

キーワード 冬期湛水, イトミミズ, 水稲, 水質浄化, メタン

1. はじめに

水田の冬期湛水は、近年、水鳥の生息地を創出するために実施されることで関心を集める(呉地, 2016)とともに、公共用水の水質浄化においても、大きく貢献することが明らかにされてきた(高橋, 2009). 2011年度には、環境保全型農業直接支援対策の要件に採択されて2012年度の実施面積は全国で7,079 haに達した(農林水産省, 2013). さらに、水稲の有機農業栽培において、冬期湛水は、主に雑草抑制効果を期待して実施されることがあり、肥沃度の向上も期待される(岩淵, 2006)ことから、その効果について土壌肥料的な検討も加えられるようになってきた. 一方、湛水期間の延長は、温室効果ガスであるメタン(CH₄)の排出量の増大につながる可能性があり、冬期に湛水することの広まりに対する懸念が浮かび上がっている.

冬期湛水については、生物多様性の向上をはじめとして、米の生産に及ぼす効果のみでないさまざまな分野の知見に基づく考察が不可欠であり、多角的に考えようとする特集が農業および園芸誌2016年新年特大号において組まれている(農業および園芸編集部, 2016). この特集への寄稿者らの内、本学会員により、土壌肥料的考察を深化させようと本シンポジウムの開催を企画した.

本シンポジウムでは、冬期湛水について、水稲作への養

分供給、水質の浄化、そして、CH₄の排出に及ぼす影響を取り上げて研究話題を提供し、土壌養分動態と温室効果ガス排出という視点から冬期湛水を実施する意義について議論を行った.

(新良力也)

2. 冬期湛水が水田のイトミミズの生息と土壌養分動態に及ぼす影響

1) はじめに

冬期湛水は、非作付け期間である冬期に意図的に湛水することであり、古くは「田冬水」として江戸時代の「会津農書」に登場しており(佐瀬, 1982), 海外ではスペイン, アメリカ合衆国, 韓国, 中国などで、日本では宮城県大崎市, 新潟県佐渡市, 兵庫県豊岡市などで行われている. 田冬水の目的は水田肥沃度の向上であり、それ以外の多くは水鳥保全が目的となっている. イトミミズは、水田に生息する主要な土壌動物であり、冬期湛水や有機栽培によって密度が増加することが明らかにされている(Ito et al., 2015). イトミミズは貧毛類(*Oligochaeta*), イトミミズ科(*Tubificidae*)に属する底性生物(直径1mm未満, 長さは最大で10~15cm)であり、水生ミミズの総称として使用されることが多い. イトミミズは水田土壌や湖底の底泥の表層を移動し、巣穴を作り、頭部を土壌中に尾部を田面水中に出して、土壌を摂取し、微生物や有機物を消化吸収してバルトコンベアーのように、表層に土壌を排泄する. このような移動や土壌の摂食・排泄によって土壌を攪拌し、物理性や化学性を改変する(菊地, 2007).

本報告では、冬期湛水水田の土壌養分動態に対して大きな影響を与えると考えられる、イトミミズの生息状況と土壌養分動態(主に土壌窒素とリン酸の可給化)に対する影響について報告した.

2) 冬期湛水水田におけるイトミミズの生息状況

わが国の水田では、イトミミズ(*Tubifex tubifex*), ユリミミズ(*Limnodrilus hoffmeisteri*), ウィリーイトミミズ(*L. willeyi*), モトムライトミミズ(*L. motomurai*), エラミミズ(*Branchiura sowerbyi*)が同定されているが、東北地方の水田ではユリミミズとエラミミズが優占しているようである(伊藤・五十嵐, 1954).

冬期湛水は圃場の湿潤期間を増加させ、有機栽培は農

Rikiya NIRA, Tomoki TAKAHASHI, Toyooki ITO, Kouichi HOSOKAWA, Kenichi INOUE and Kazunori MINAMIKAWA: Significance of winter flooding in paddy field, its effect on soil nutrient dynamics and greenhouse gases emission

¹農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター (305-8666 つくば市観音台2-1-18)

²農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター (014-0102 大仙市四ツ屋字下古道3)

³東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター (989-6711 大崎市鳴子温泉字蓬田232-3)

⁴福井県農業試験場 (918-8215 福井市寮町辺線52-21)

⁵農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター (305-8604 つくば市観音台3-1-3)

Corresponding Author: 新良力也

2017年1月23日受付・2017年2月9日受理

日本土壌肥科学雑誌 第88巻 第3号 p. 277~282 (2017)

葉の負の影響を排除し、エサとなる有機物(米ぬかや有機質肥料など)を施用することになるために、イトミミズが生息しやすい(増加しやすい)と推測される。鎌倉市の冬期湛水・有機水田(Yachi *et al.*, 2012)では平均密度2,822個体 m^{-2} という結果が得られているが、耕作者が同一の慣行管理の水田と比較した例(宮城県大崎市, Ito *et al.*, 2015)では、2カ所において冬期湛水・有機水田のイトミミズの個体密度は1.6万~4.9万個体 m^{-2} で、慣行水田に比べて有意に高く、平均密度は約5~6倍に達した。水生生物であるイトミミズの密度が土壌の水分含量と正の相関関係を示すこと(Simpson *et al.*, 1993)から、冬期湛水は圃場の湿潤期間を増加させることによってイトミミズが増加しやすい環境を創出していると考えられる。なお、イトミミズは農業に対して抵抗性が比較的に強く、有機栽培で密度が増加するのは有機物施用の効果がより大きいと考えられる(伊藤・原, 2015)。

3) イトミミズが土壌養分動態に及ぼす影響

有機栽培水田作土をピーカーに詰めて、エラミミズを添加し(生存個体数3,200個体 m^{-2})、土壌養分動態に対するイトミミズ類の影響を調査した。土壌の2価鉄生成量、アンモニウム態窒素生成量、可給態リン酸(ブレイ2)増加量がイトミミズによって増加した(伊藤・原, 2015)。2価鉄の増加は土壌有機物の分解に伴う還元の前進行を表わすことから、エラミミズによって土壌有機物の分解と還元の進行が促進され、それに伴ってアンモニウム態窒素と可給態リン酸(鉄の還元・溶解に伴ってリン酸が遊離)が増加したと考えられた。さらに、アンモニウム態窒素と溶存無機態リン酸の表面水への放出量がイトミミズによって増加した(伊藤・原, 2015)。これは、土壌中のアンモニウム態窒素と可給態リン酸が増加したこと、エラミミズの土壌排出と移動によって土壌-水の境界面が攪乱されて増加したことと表層酸化層が破壊されたことによって土壌中の水溶性成分が拡散しやすくなったことが原因と考えられた。さらに、イトミミズ(2万個体 m^{-2} の添加)によって有機栽培下で玄米収量と窒素吸収量が増加することを明らかにし、イトミミズが有機物分解を促進し、窒素無機化量を増加させることを実際の水田圃場で実証した(櫻田ら, 2014)。

以上より、冬期湛水はイトミミズの活動を通じて、土壌還元や窒素・リン酸の養分動態に変化をもたらす。

(伊藤豊彰)

3. 冬期湛水がもたらす有機栽培水稲への窒素養分供給の増大

1) はじめに

水田の田畑輪換利用が本格的に開始されてから40年近く経過し、各地で土壌肥沃度の低下が懸念されるようになり、肥沃度の修復対策が必要となっている。一方で「有機農業の推進に関する法律」が平成18年12月に制定され、私たちは、有機農業の要素技術が土壌の肥沃度に及ぼす効

果を明らかにしようと研究を実施し、要素技術として冬期湛水を取り上げている。

有機農業では、水田生物の活性化を促し抑草効果を引き出すために冬期あるいは早期湛水が奨められているが、冬期湛水などの湛水期間の延長は、生物の活性化を促すとともに、作出される嫌気的条件により田畑輪換水田の有機物分解消費を抑制して、肥沃度の修復につながると期待している。

ここでは、中央農業研究センター水田圃場(つくばみらい市)において、冬期湛水により水稲の生育量が変化したこと、要因として窒素養分の動態について解析した結果から肥沃度修復効果について考察する。

2) 研究圃場の栽培管理概況

調査圃は灰色低地土を詰めて造成した8枠(1枠面積100 m^2)からなる。2008年に全枠に大豆を作付けた後の秋処理から有機農業に切り替え、2009年から、水稲コシヒカリ-水稲コシヒカリ-大豆納豆小粒の田畑輪換体系で栽培を実施してきている。水稲作付前に冬期湛水を実施し、大豆作付前の冬には湛水を実施せずに緑肥ヘアリーベッチを作付けた。

水稲の栽培管理は稲葉光國氏の著書「無農薬・有機のイネづくり」(稲葉, 2007)の内容を参考に、投入資材はコメヌカ・麦子実・オカラ・大豆子実・グアノ・菜種油粕などとした。各枠の管理処理を異ならせ、秋コメヌカ冬湛水枠、冬湛水枠、秋コメヌカ枠、基準枠(秋コメヌカを散布せず冬湛水を実施しない枠)と名付けて比較することとした。除草剤、殺菌・殺虫剤は散布せず、手取り除草を実施した。

3) 有機栽培水稲の生育に及ぼす冬期湛水の効果

玄米収量は、2009年には330-490 $g m^{-2}$ 、2010年には160-450 $g m^{-2}$ 、2012年には450-530 $g m^{-2}$ 、2013年には400-581 $g m^{-2}$ 、となった。冬期湛水を実施した枠の収量は、2009年を除いて、実施しなかった枠より高く、秋のコメヌカ散布を組み合わせると低くなった。2012年と2013年収穫期の稈長を見ると、基準枠<秋コメヌカ枠<冬湛水枠<秋コメヌカ冬湛水枠の順に大きく、冬期湛水による増大効果が見られた。

4) 窒素養分供給に及ぼす冬期湛水の効果

作土土壌溶液中のアンモニウム態窒素濃度は、2012年と2013年の結果を見ると、4月下旬には、全ての処理枠で0.3 $mg kg^{-1}$ 未満であったが、その後、徐々に高まり、水稲移植時の6月中旬から7月上旬に最高となり、また、冬期湛水を実施した枠で冬期湛水を実施しない枠より高くなり、その後低下して中干前にはほとんど検出できないほど薄くなった。移植時に見られる土壌溶液中のアンモニウム態窒素濃度の枠間の大小関係は、水稲の収穫期稈長の枠間の大小関係に対応しており、冬期湛水は、水稲生育に反映するほど土壌からの窒素供給を変化させるものと評価できた。

冬期湛水による土壌溶液中のアンモニウム態窒素濃度の高

まりは、4月時点の濃度が低いので、冬期間にアンモニア態窒素が流入集積しているわけではなく、5月から6月の地温上昇で分解無機化する窒素量が多くなるために生じたと考えられる。無機化が進みやすくなる要因については、冬期湛水で易分解性有機物が集積した可能性、あるいは、イトミミズのように分解に寄与する生物の活性が高まった可能性(伊藤・原, 2015)が考えられる。前者の要因については、4月採取した作土の可給態窒素量が冬期湛水実施枠で大きいという支持データを得ている。要因解明はこれからであるが、田畑輪換水田の肥沃度としてみれば、易分解性有機物が集積する傾向をもって、冬期湛水に修復効果があると評価している。

5) おわりに

本栽培試験の結果から、冬期湛水には、有機栽培水稲収量に影響を与えるほどに土壌からの窒素養分供給を増大させる効果があり、その導入が肥沃度の修復につながると評価している。しかし、慣行的に広く理想とされる水稲生育パターンを実現できていないので、窒素養分供給増大あるいは肥沃度修復効果を活用するには、資材の投入方法の検討などで養分供給を制御する課題がある。

(新良力也)

4. 冬期湛水水田の土壌とイネの生育

冬期湛水によってイネの生育量が増大することが篤農技術として知られているが、筆者らも2009年秋から2012年にかけて冬期湛水を数カ所で実施し(井上, 2016)、その中でイネの生育量が安定的に増大する事例があったため紹介する。なお、生育が増大した圃場の湛水期間は移植などの一時的な落水を除き、10~11月から翌年6月中下旬の中干しままでであった。

1) 冬期湛水水田の土壌

冬期湛水水田では作土中のアンモニア態窒素量が慣行水田より多く推移した(細川・小木, 2012)。これは無機化したアンモニア態窒素量が湛水によって硝化、流亡せずに保持されたこと、イトミミズ類の活動などによって表層に手触りが滑らかな層が形成されたことなどが要因として考えられた。この層は粒径が小さく有機物に富み、窒素の無機化量が下層や慣行水田よりも多かった(細川ら, 2012)。

また、ライシメーターでの調査では、冬期湛水期間中の地下浸透水中への窒素溶脱量は湛水によって減少した。その一方で、塩基類の溶脱量は僅かに増加した。また、冬期湛水を3年間継続した水田では作土中の交換性塩基は慣行水田より少なかった。そのため、湛水の長期化による塩基類の下層への移行が示唆された(細川ら, 2013)。

冬期湛水水田を歩くと作土が深く感じられる。そのため、機械作業に支障をきたすことが懸念されたが、実際には全く問題はなかった。冬期湛水を3年間実施後に土壌硬度を測定したところ、作土はやや軟らかかったものの下層に変化はなかった。

2) イネの生育

冬期湛水水田では移植後の活着や初期生育が低温年やや不良となった。水稲根は活着期から赤褐色が濃く、土壌還元の影響と考えられた。しかし、移植1カ月後の6月中下旬頃からは生育が旺盛となり、慣行水田より草丈は伸長、茎数は増加、葉色は濃くなった。そこで、施肥窒素量を減らした栽培も行ったが、収量は慣行水田と同等かそれ以上となり減肥効果が確認された。生育量の増大が顕著な場合は、最高分けつ期を過ぎても葉色が濃く推移し、コシヒカリでは倒伏が懸念されるほどであった。また、籾数が過剰となり登熟歩合の低下によって減収する年次もあった。

生育量が増大する要因として、作土が深く膨軟となりイネの根圏が拡大したこと、土壌表層からの窒素供給量が増加したこと、有機物の分解過程が変化したことなどが推測されたが、依然として不明な点が多く残る。また、冬期湛水でイネの生育が変化しないことも福井県内や他県の報告で見聞しており、生育増大効果を発揮するのは有機物が多い土壌や粘質土壌、有効土層が深い圃場のように思われる。

3) まとめ

生育中期から生育が旺盛になるのは、30~40年前の一般的なコシヒカリのイネ姿だと聞く。畑作物が繰り返して作付けされ、元肥一括肥料の側条施肥が普及した昨今において、このような傾向は見られなくなった。生産調整の開始以降、重粘質排水不良田の改良を推進しており、冬期湛水はこれと逆行する。湛水状態を保つことは水利の面で困難なところも多いが、秋冬の降水量が多い山陰以北の日本海側では田面に水溜りができる程度にすることは比較的容易である。土壌水分を高めることの意義が明らかになれば、水田土壌管理の新たな方向性が示されるように思う。

(細川幸一・井上健一)

5. 冬期湛水による公共用水からの硝酸性窒素の除去

冬期湛水のメリットの一つとして、水田の多面的機能である水質浄化機能を長期間活用できることが挙げられる。公共用水中の硝酸性窒素に対して水質基準が設定されたことを契機に、水田の窒素除去機能が注目され、湛水期間の延長が検討されてきた。このような研究から、冬期湛水は単純に湛水期間の延長に応じて窒素除去量が増加するだけのものではないことが明らかになっている(高橋, 2016)。

窒素除去量の推定式はすでに確立されている(田淵ら, 2001; Takahashi and Nira, 2011)。無味乾燥に見えるが、水質浄化技術に定量的な見通しを与える強力なツールである。水田への流入水の硝酸性窒素濃度を x_i 、表面流出水での濃度を x_0 、水田面積を A (m^2)、降下浸透水量を P (md^{-1})、用水の流入速度を Q ($m^3 d^{-1}$) とすると以下の関係がなりたつ。

$$\frac{x_0}{x_i} = \exp \left\{ \frac{\alpha}{P} \ln \left(1 - \frac{AP}{Q} \right) \right\}$$

$P=0$ の場合は以下の式となる。

$$\frac{x_0}{x_i} = \exp\left(-\frac{\alpha A}{Q}\right)$$

ここで α (dm^{-1}) は除去係数であり、唯一のパラメータとなっている。以下では、この推定式を軸に冬期湛水の特徴を紹介したい。

1) 低温期の窒素除去量は相対的に小さい

窒素除去は微生物による脱窒反応が主体であるため、水温に対する依存性が高く、低温期には除去量は低下してしまう。このため一般的に冬期湛水は夏期湛水に比べて窒素除去の効果は小さい。先の推定式での除去係数 α は水温 T ($^{\circ}\text{C}$) との間に以下の関係がある。

$$\alpha = 0.000864T - 0.00535$$

実際には除去係数の温度に対する傾きは複数の報告でほぼ一致しているが、切片には幅がある (Takahashi and Nira, 2011)。したがって 0°C 付近での除去係数の値はばらつきが大きく、低温期の除去係数を決定することは課題として残されている。

2) 冬期湛水の効果を高めるさまざまな工夫

窒素除去能に温度依存性があることは否定できないが、さまざまな工夫で非作付期間の窒素除去量を高めることは可能である。第一は降下浸透の経路の活用である。表面流去での窒素除去量にははっきりした温度依存性があるのに対し、下層土へと浸透する降下浸透水中では年間を通じて硝酸性窒素濃度がゼロ付近まで低下する (Takahashi and Nira, 2011)。降下浸透は比較的遅い水移動であり、この間に充分な脱窒反応が生じるためである。したがって低温期の窒素除去には降下浸透水量を高めることが望ましい。筆者が試験を行った静岡県牧之原台地の地形連鎖系に位置する水田では冬期に地下水位が減少し、これに伴ない降下浸透速度が上昇するという現象も観測されている。降下浸透水の硝酸性窒素濃度はゼロと仮定できるので先に示した推定式からこの影響を見積もることができる。

第二は大量の灌漑水の引き込みである。非作付期間には作付期間のような精緻な水管理が不要なために大量の灌漑を行うことが可能となる。これは推定式中の Q の増加に相当する。このとき流去水の濃度低下は小さいが、単位面積あたりの除去量は増大する。高橋ら (2012) がモニタリングを行った静岡県のフィールドでは湛水期間を104日から215日に延長したことにより灌漑水量は6倍、窒素除去量は3倍以上に増加した。

第三に考えられることは除去係数 α を増加させることである。前述のように 0°C 付近での除去係数の値は報告によって差があるが、この一因として有機物の影響が考えられる。秋に稲わらをすき込んだ場合、低温期の窒素除去量にはすき込みの影響は見られないが水温の上昇とともにすき込み区の除去量は高まり、冬～初春での窒素除去量は2倍程度に増加する (Takahashi *et al.*, 2010)。これは易分解性有機物の施用が微生物活性を高めたためだと考えられる。

3) 窒素除去 vs 温室効果ガス

冬期湛水は還元的な管理期間の延長であるため、温室効果ガスの排出量を高めてしまう懸念がある。しかし田面水の硝酸性窒素濃度が高い場合には硝酸イオンの影響を考える必要がある。 42mgNL^{-1} という高い硝酸濃度の水を用いたカラム試験では、二酸化炭素換算した温室効果ガス排出量は $92.5\text{g CO}_2\text{ m}^{-2}$ から $56.6\text{g CO}_2\text{ m}^{-2}$ に低下した (糟谷, 2008)。これは硝酸塩が潤沢に供給される環境では常に硝酸の還元を対にした酸化還元反応が生じるために CH_4 が生成するほど低い酸化還元電位に達しにくいためだと考えられている。この報告は冬期湛水を対象としたものではないが、窒素除去と CH_4 生成の関係は単純なトレードオフではないことを物語っている。

(高橋智紀)

6. 国内外の測定事例から見た CH_4 排出

水田は主要な人為的 CH_4 排出源の一つである。湛水に伴い還元化した土壌において、絶対嫌気性の微生物によって CH_4 が生成される。一方、生成された CH_4 の一部は、酸化的な部位において好気性の微生物によって二酸化炭素に酸化される。この一連の過程は冬期湛水中にも起きている。ここでは、国内外の測定事例を基に、 CH_4 排出に対する冬期湛水と付随する農業管理の影響について検討した。

1) 冬期湛水中の CH_4 動態

冬期湛水中の大気中への CH_4 の排出経路は、水面を通じた拡散と気泡の放出である。ただし、稲わらが水面から露出している場合、ガスの通り道として気泡放出を促進する可能性がある (Fitzgerald *et al.*, 2000)。また、一時的な落水が起きると、湛水土壌中に貯まっていた CH_4 が大気中へ一気に排出される。

国内における冬期は、低温のために微生物活動は鈍いものの、 CH_4 の生成や酸化は継続的に起きている。しかし、湛水状態を維持している限りは、 CH_4 の排出量としては作付期に比べて非常に小さい測定事例が多い (南川, 2016)。例えば滋賀県においては、作付期の単位時間あたりの CH_4 排出速度は $37.1\text{mg CH}_4\text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ に達したのに対し、冬期湛水中は最大で $0.121\text{mg CH}_4\text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ に過ぎなかった (蓮川ら, 2013)。

一方、国外においては、アメリカや中国での測定によると、湛水された休閑期も比較的高温のために、 CH_4 排出量が作付期と同等に大きくなると報告されている (Cai *et al.*, 2003; Fitzgerald *et al.*, 2000)。

2) 付随する農業管理の影響

冬期湛水に付随する管理として CH_4 排出に強く関わるのは、稲わら処理、耕起、春の落水の3つである。

まず稲わら処理については、秋のすき込み、秋の持ち出し (野焼き)、秋の表面散布 (春のすき込み) が考えられる。この中では、基質供給量の最も大きい秋すき込みが、冬期の CH_4 生成量も最大とする。表面散布については、

冬期湛水中にも稲わらの分解は進むものの、残渣が春にすき込まれることで次の作付期の CH₄ 排出量を増加させる可能性がある(塩野ら, 2014)。

次に耕起については、CH₄ 排出に関わる要因として、回数、時期、耕起深が挙げられる。冬期湛水を行う際には、通常、秋に耕起(代かき)を行うか、不耕起のまま春を迎えるかの2通りがある。ただし、湛水状態が維持されるならば、上述の通り、冬期の CH₄ 排出に対する耕起の影響は小さいと予想される。しかし、次の作付期の CH₄ 排出量を減らす観点からは、圃場の水分状態に合わせて耕起強度を調節し、稲わら分解を促進することが望ましい(松本ら, 2002)。

最後に春の落水については、落水自体を行うのか、また行うならいつなのかによって、次の作付期の CH₄ 排出量が大きく異なってくる。落水を行わなかったり、行うとしても期間が短いと、土壌の還元状態が維持されるため、次の作付期の CH₄ 排出量が大きくなる。反対に、落水期間を長くとることで、次の作付期の CH₄ 排出量を慣行管理(冬期落水)と同等にすることが可能である(蓮川ら, 2013)。排水によって土壌中に貯まっていた CH₄ は排出されてしまうが、作付期の排出量に比べるとはるかに小さい。

3) CH₄ 排出削減の観点から

過去の測定事例を精査する限り、国内における冬期湛水中に CH₄ 排出が起きたとしても、作付期の排出量に比べると僅かであるとともに、付随する農業管理の選択次第で次の作付期への「持ち越し影響」を最小限にすることができる。

しかし、有機栽培の一環としての冬期湛水の実施は、有機肥料の施用による CH₄ 排出増加(作付期の測定例として Qin *et al.*, 2010) を助長する可能性がある。また、国外事例に見られたように、将来の気温上昇に伴い冬期湛水中の CH₄ 排出も増加することが予想される。したがって、今後の冬期湛水の普及程度に応じて、CH₄ 排出源としての冬期湛水水田に注視していく必要があるであろう。

(南川和則)

7. む す び

有機農業と結び付けて語られることの多い冬期湛水による肥沃度の向上について、水稻への養分供給量が増加することを確認し、一つにはイトミミズの増加から、その作用によりアンモニウム態窒素、可給態リン酸の供給増大につながるメカニズムが提案された。養分供給量の増大については、水稻収量を増加させる、あるいは、減肥が可能なほどであるとの試験事例が集まってきているが、イネの生育中期からの生育を旺盛にしたり、登熟歩合を低下させることが多く、養分供給パターンが変化することへの栽培対応技術が必要なようである。また、塩基類の下層への移行、低温気象条件では、移植後の活着がやや不良になるなどの問題が指摘された。冬期湛水は、田畑輪換による畑作物の

作付けが推奨されて排水改良が進む流れに逆行する技術であるが、乾田化で地力低下問題が顕在化している状況下で新たな方向性を示すものかもしれない。

公共用水中の硝酸性窒素の除去という環境問題対策において、冬期湛水は、水田の持つ水質浄化機能の活用期間を延長する意義を持つ。水田の湛水期間の延長には、同じ環境問題として、CH₄ 排出が増加するとの懸念がついて回るのであるが、浄化すべき灌漑水の硝酸濃度が高ければ、土壌の還元状態の発達を抑制して CH₄ 生成につながらないメカニズムがあることが指摘された。水質浄化という地域的な環境保全技術と地球規模での温室効果ガス排出抑制とのトレードオフをどのように評価し、実践的な技術として組み立てていくか、という問いかけがあった。

冬期湛水による CH₄ 排出の増加について、わが国では、冬期には低温のために大きくなることはなく、水稻作付け期に冬期湛水が引き起こす土壌還元状態の発達の影響に注意すべきようである。冬期の湛水を春に落水することで、非冬期湛水期間の排出量を抑制できる可能性が指摘された。ただし、温暖化による温度上昇、有機農業との組み合わせでは有機物施用量の増加、これらによる排出の助長は懸念すべきである。

シンポジウムの目的とする冬期湛水の意義の解明については、個々の場面での長所と短所が明らかにできたが、総合的な検討を加える必要が残された。例えば、水稻生育量の増大による炭素固定と CH₄ 排出増加量の差し引きについては検討する余地があるし、水質が浄化される効能と温室効果ガス排出量の増加をいかに比較するかなど難しい問題である。多くの知見を統合すべきチャレンジングな研究課題であろう。

(新良力也・高橋智紀)

付 記：本稿は、2016年9月の日本土壌肥料学会佐賀大会シンポジウムの趣旨および講演・討議内容を要約したものである。

文 献

- Cai, Z., Tsuruta, H., Gao, M., Xu, H., and Wei, C. 2003. Options for mitigating methane emission from a permanently flooded rice field. *Glob. Change Biol.*, **9**, 37–45.
- Fitzgerald, G.J., Scow, K.M., and Hill, J.E. 2000. Fallow season straw and water management effects on methane emissions in California rice. *Global Biogeochem. Cycles*, **14**, 767–776.
- 蓮川博之・高橋智紀・鳥塚 智・須藤重人・仁科一哉 2013. 水稻非灌漑期の異なる土壌管理法が年間の温室効果ガス発生量に及ぼす影響. *土肥誌*, **84**, 462–472.
- 細川幸一・小木芳恵 2012. 冬期湛水による土壌の変化と水稻の窒素吸収量. *土肥講要*, **58**, 283.
- 細川幸一・小木芳恵・井上健一 2013. 冬期湛水3年間実施後の土壌化学性. *土肥講要*, **59**, 99.
- 細川幸一・佐々木秀隆・小木芳恵 2012. 冬期湛水によるコシヒカリの窒素肥料減肥栽培の一例と減肥の要因解析. *土肥誌*, **83**, 700–702.
- 稲葉光國 2007. 発酵肥料のつくり方. あなたにもできる無農薬・

- 有機のイネづくり, p. 182-183. 農山漁村文化協会, 東京.
- 井上健一 2016. 冬期湛水イネの生育収量と品質. 農業および園芸, **91**, 160-166.
- 伊藤春男・五十嵐良造 1954. 宮城県地方における苗代のイトミミズ類のすみわけ. 日本生態学会誌, **4**, 126-128.
- 伊藤豊彰・原 浩太 2015. イトミミズ類の生態と水稲生産との関わり. 農業および園芸, **90**, 464-472.
- Ito, T., Hara, K., Kon, T., and Ohtaka, A. 2015. Effect of winter-flooding and organic farming on density of aquatic oligochaetes in ricefields: Case study in Miyagi Prefecture, Northeastern Japan. *J. Integ. Field Sci.*, **12**, 31-37.
- 岩淵成紀 2006. ラムサール条約湿地「蕪栗沼・周辺水田」のふゆみずたんぼ. 鷺谷いづみ編 地域と環境が蘇る水田再生, p. 70-103. 家の光協会, 東京.
- 糟谷真宏 2008. 造成後黄色土水田におけるかんがい水の硝酸イオン濃度の違いが亜酸化窒素とメタン放出に及ぼす影響. 愛知農総誌研報, **40**, 179-183.
- 菊地永祐 2007. 土と基礎の生態学 5. 水域における堆積物中の物質循環と底生動物. 土と基礎 (地盤工学会), **55**, 34-40.
- 呉地正行 2016. ふゆみずたんぼが鳥類の保全に及ぼす効果. 農業および園芸, **91**, 87-97.
- 松本次郎・南山泰宏・赤堀 伸・高橋克征 2002. 有機物施用水田におけるメタンの発生抑制対策. 土肥誌, **73**, 315-318.
- 南川和則 2016. 冬期湛水水田からのメタン排出について. 農業および園芸, **91**, 173-178.
- 農業および園芸編集部 2016. 水田の冬期湛水を多角的に考える. 農業および園芸, **91**, 1.
- 農林水産省 2013. 平成24年度環境保全型農業直接支援対策の実施状況. <http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/kanky/pdf/130628-01.pdf>
- Qin, Y., Liu, S., Guo, Y., Liu, Q., and Zou, J. 2010. Methane and nitrous oxide emissions from organic and conventional rice cropping systems in Southeast China. *Biol. Fertil. Soils*, **46**, 825-834.
- 櫻田史彦・宇野 享・齋藤雅典・田島亮介・伊藤豊彰 2014. 有機栽培圃場における水稲と雑草の生育に対するイトミミズ類の効果. 土肥講要集, **60**, 91.
- 佐瀬与次右エ門 1982. 会津農書. 日本農書全集 第19巻 会津農書附録, p. 54-55. 農文協, 東京.
- 塩野宏之・齋藤 寛・今野陽一・熊谷勝巳・中嶋美幸・永田修 2014. 雪寒冷地水田における秋耕深の違いが稲わらの分解と翌年のメタン発生に及ぼす影響. 土肥講要集, **60**, 168.
- Simpson, I.C., Roger, P.A., Oficial, R., and Grant, I.F. 1993. Density and composition of aquatic oligochaete populations in different farmers' ricefields. *Biol. Fertil. Soils*, **16**, 34-40.
- 田淵俊雄・篠田鎮嗣・黒田久雄 2001. 休耕田を活用した長期窒素除去試験. 土壌の物理性, **87**, 27-36.
- 高橋智紀 2009. 棚田の持つ水質浄化能力. 静岡県農林技術研究所編 静岡の棚田研究その恵みと営み, p. 34-44. 静岡新聞社.
- 高橋智紀 2016. 地形連鎖系を活用した集水域の水質浄化と冬期湛水. 農業および園芸, **91**, 149-154.
- Takahashi, T., Inagaki, H., Fukushima, T., Oishi, T., and Matsuo, K. 2010. Increasing nitrate removal at low temperatures by incorporating organic matter into paddy fields. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **56**, 163-167.
- 高橋智紀・稲垣栄洋・福島 務・大石智広・松野和夫 2012. 水田における冬期かけ流し灌漑による水系の硝酸性窒素除去技術. 土肥誌, **83**, 301-304.
- Takahashi, T., and Nira, R. 2011. Application of nitrate removal by paddy fields: An overview. In N. Savaglio and R. Puopolo (ed.). Denitrification: Process, regulation and ecological significance, p. 265-278. NOVA Science Publisher, New York.
- Yachi, S., Ohtaka, S., and Kaneko, N. 2012. Community structure and seasonal changes in aquatic oligochaetes in an organic paddy field in Japan. *Edaphologia*, **90**, 13-24.