印旛沼流域水循環健全化調査研究報告 1 :22-23. Oct.2012

水田や畑地が生命や環境を守るはたらき

金子文宣

千葉県農林総合研究センター　〒266－0006　千葉県千葉市緑区大膳野町 808　（h.knk3@pref.chiba.lg.jp）

要　旨

水田は食料生産の場であると同時にその作土は水質浄化機能を有する．これは酸素の少ない水田土壌の還元層によって，硝酸態窒素から窒素ガスが生じる脱窒素作用をもたらすためである．印旛沼流域においては谷津田が，北総台地の畑地等から流下する硝酸態窒素を多く含む地下水を浄化する機能を有する．また，かつて人のくらしの生活排水は水糞（みずごえ）として利用されその肥料成分は，「農」や暮らしの生産資源であった．このような地域の環境を守る合理的な水利用とともに，谷津田などの農耕地の保全は重要である．

キーワード：水田作土，脱窒素作用，水糞，農，水質浄化，谷津田

はじめに

水田や畑地が人々の生命や財産を守るはたらきには，①水資源涵養，②土砂流出防止，③土壌による浄化，④保健休養，⑤酸素供給・大気浄化などがある．これに森林を加えると，⑥土壌崩壊防止，⑦野生鳥獣保護などのはたらきが加わる．これらのはたらきを「農業の多面的機能」と呼んでいる．このように農耕地や森林は，水をまもり，洪水や土砂崩れを防ぎ，人々の気持ちを和ませ，小鳥やカエルをまもり，伝統文化を継承し，社会貢献している．

水田の洪水防止機能の貨幣評価は，現在建設中の治水ダムの建設単価を用いて 3 兆 4,988 億円になると試算（農林水産省）されている．また，水稲を栽培している水田の窒素除去機能は，全国で約 700 億円の経済的評価と推計されている．このような高い水質浄化機能はどのようにして形成されているのだろうか．ここでは，水田の「脱窒作用」について述べることとする．

脱窒素作用のメカニズム

水田は食料生産の場であると同時に，水質浄化機能を持っている．そして，水質汚濁に関係する分析項目の一つである，窒素の水質浄化機能は図１のように表される．水稲栽培に必要なかんがい水を水田の作土に溜めることによって，水質浄化機能がはたらき始める．春先に，水稲栽培を目的として水田の作土にかんがい水を溜め，しばらくして地温が上昇すると，水田の作土に生息している微生物のはたらきが活発になる．その結果，土壌やかんがい水に含まれている酸素を使い尽くしてしまい，水田の作土は極めて酸素不足の状態，つまり，還元状態となる．還元状態になった土層を還元層と言う．さらに，新たなかんがい水が供給されると，かんがい水中の溶存酸素が作土表面に浸み込み，厚さ数 mm の酸素を含んだ赤茶けた土層が形成される．この層を酸化層と言う．

水田の水質浄化機能は，酸化層が上部に，その下部に還元層が存在する組み合わせが成立して，はじめてはたらき始めるのである．上部の酸化層における窒素は硝酸となり，かんがい水の浸み込みにともなって下部の還元層に到達すると，微生物によって硝酸の酸素が奪われ，窒素ガスにまで還元されてしまう．発生した窒素ガスは，水田から大気へと拡散していき，もはや，水質汚濁成分ではなく大気の一成分になってしまう．この一連の過程を「脱窒作用」と呼んでいる．我々が生活している地球上の地表面付近では，酸化反応が一般的であり，還元反応は極めて希にしか発生しない．したがって，水田は土壌に水を溜めるだけで還元反応が容易に起こり「脱窒作用」がはたらく農耕地として重要である．

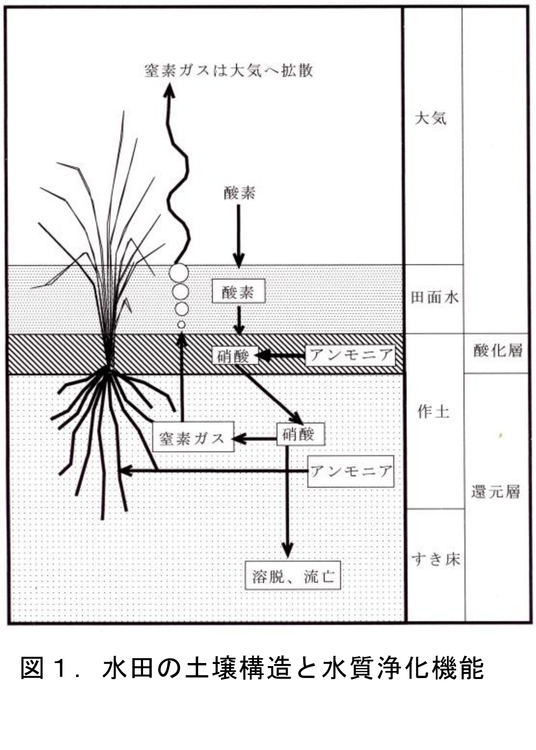


図１．水田の土壌構造と水質浄化機能

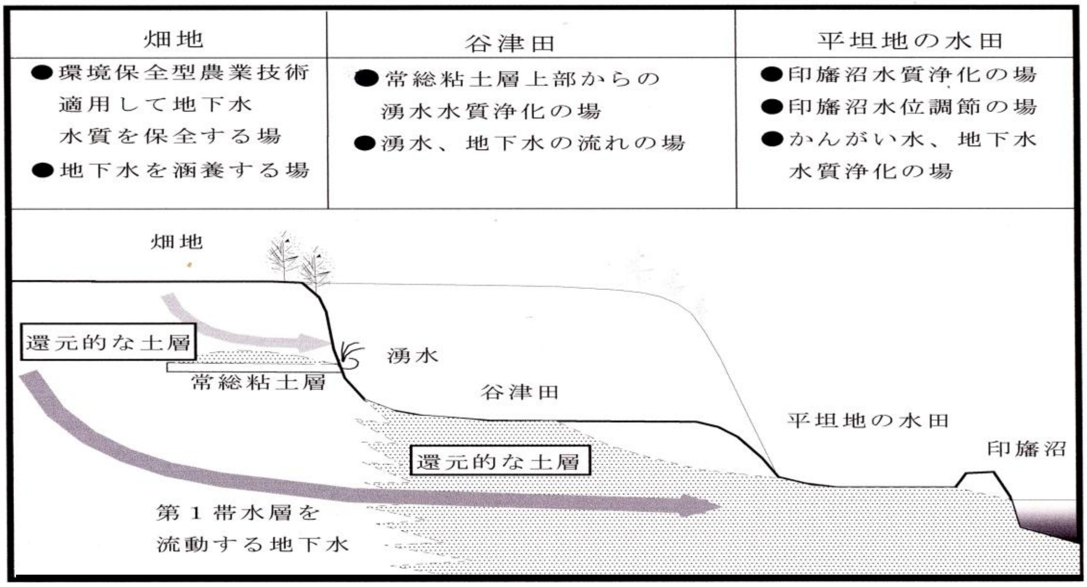


図２．谷津田の水質浄化機能

谷津田がもたらす水質浄化

谷津田は台地と台地の間の低地にある水田のことで，北総台地がある千葉県や茨城県を含む南関東地域における独特な地形に存在している水田である．

全国的には，谷地，谷戸と呼ばれ，地理学の定義によれば，谷底平野を水田とする土地利用形態の名称である．一般に，南関東地域以外の谷底平野では，その上流を辿ると，最後は高い山になってしまう．しかし，南関東地域では，谷津田の源頭を辿ると林地を経て台地上の畑地となり，高い山にはならない．

南関東地域でも，とくに印旛沼流域の谷津田は，畑地から印旛沼周辺の平坦地にある水田との中間にあって，畑地に雨が浸み込んで涵養された湧水や地下水の流れの場であるとともに，畑地と水田を繋ぐ土地利用形態でもあって，台地からの湧水や地下水に含まれる硝酸態窒素を浄化する場になっているのである．つまり，図２に示したように，印旛沼流域の谷津田は，北総台地からの湧水や地下水が流入し，水田の「脱窒作用」のはたらきによって，湧水や地下水に含まれる硝酸態窒素が浄化される場と考えることができる．さらに，畑地で涵養された雨水由来の湧水や地下水を滞りなく，平地の水田に流下させることから，畑地の下流域に配置すべき土地利用形態として重要である．印旛沼流域のみならず，閉鎖性湖沼の流域にある農耕地では，地形的に上位の畑地と下位の谷津田，さらに低地の水田と繋がる土地利用の連鎖状況を一体のものとして保全していくことによって，流域内の農業あるいは農耕地が本来持っている水質浄化機能が 100%はたらき，湖沼水質の保全に寄与できると考えられる．

農がもたらす人と自然のかかわり

最後に農業が本来持っているはたらきについて考えてみたいと思う．農業や農耕地に用いられている「農」の字の語義には，「貝殻の道具で草を刈ること」や「泥をかき回すこと」がある．現代風に解釈するならば，「道具を使って，草，すなわち，水稲の穂である収穫物をありがたくいただくこと」と考えられ，水田に関する文字だと言える．また，「辰」には蛟竜（こうりゅう，みずち）の意味も含まれていることから，「農」は，水に関わりがある文字であると考えられる．一方，英語の“agriculture“の“agri”には“comb form of farming”の意味があることから，「櫛状の道具，すなわち，鋤を使って，土を耕すこと」と解釈されている．したがって，英語の語義には，水田や水の意味は乏しく，道具を使って土を耕耘し，収穫物を得る意味合いが強い言葉と言えるだろう．

さて，江戸時代の農書として有名な，農業全書には，「糞」の項があって水糞（みずごえ）を論じた箇所がある．水糞とは「沐浴の湯，洗濯の濁水をば，皆糞溺と合わせて水ごゑとなすべし．」と記述され，生活排水に含まれている肥料成分を液肥として利用できることを説いたものである．注目すべきは 300 年以上前に，生活排水中に肥料成分が含まれていることを見抜き，利用できるとしている点である．現在のような科学的な考え方が生まれる以前の江戸時代にあって，作物を育てる経験の積み重ねによって，生活排水を肥料として利用できるとした発見には，「農」と人間生活との深いかかわり合いが反映されているように思える．

おわりに

農業は，人間の生活を支えるために，地域の自然環境を利用してきた産業であり，多くの生命とその環境を守るはたらきがある．これからもその基盤となる水田や畑地，谷津田を存続させていくことが重要である．

The Effect of Farming-land on the Conservation of Wildlife and Environment.　Fuminori Kaneko

印旛沼流域水循環健全化調査研究報告 1: 24-26．Oct.2012

印旛沼周辺における台地から水田への地下水流動にともなう硝酸態窒素浄化の実態

金子文宜

千葉県農林総合研究センター　〒266－0006　千葉県千葉市緑区大膳野町 808　（h.knk3@pref.chiba.lg.jp）

要　旨

台地上の畑地から低地の水田地帯の地形変化に対応した観測井の調査網を構築し，地下水の水位及び水質を調べた．その結果，台地から低地，さらに水路へ流下する 8／1,000 の動水勾配の地下水の流動ポテンシャルの変化が表示され，その流動過程で硝酸態窒素が浄化されていることが明らかになった．水源涵養と水質浄化における水田地帯の重要性が指摘された．

キーワード：地下水流動，硝酸態窒素，水質浄化，水田，印旛沼

はじめに

印旛沼は北総台地における低地にあって，台地を開析している河川および谷津田の流水等を水源としている．印旛沼流域内の台地に降った雨は，台地上の畑地に浸透し地下水となって低地に流下するとともに，沼周辺に拡がる水田地帯を流動しつつ，その水質を変化させて沼に流出していると考えられる．すなわち，印旛沼流域に分布する水田土壌は，一般的には還元が発達したグライ土壌であり，硝酸態窒素の水質浄化機能は高いと考えられる．したがって，台地上の畑地において発生した硝酸態窒素を含む地下水は水田地帯を流下しながら，脱窒作用によって浄化されていると考えられる．

こうした地下水流動にともなう地下水水質の変化は，台地上の畑地から低地水田地帯を経て印旛沼へと続く地形連鎖状況に沿った調査網によってはじめて観測，定量できる．

そこで，台地上の畑地から低地水田地帯の一連の地形連鎖系において，既設井戸を利用して観測井の調査網を構築し，地形・地下水の水位および水質を定量化することにより，地下水流動にともなう水質の変化を明らかにした．

調査および解析方法

1．観測井の仕様および採水方法

観測井は，佐倉市萩山新田のみためし冬期湛水調査事業における冬期湛水田から西側の台地頂上部の民家井戸までの東西約 1,150m，南北約 200mの範囲に，民家既設の３本の井戸を含めて 14 本を設置した（図１）．観測井は長さ 1.5m，直径 0.1mの塩化ビニル製のパイプを用い，底部から 0.5mには，地下水が流動するように直径 0.02mの穴を多数開けストレーナーとした．

地下水は，地下水位を観測した後，一旦パイプ内部を排水した後に湧出してきた水を採取し，硝酸態窒素及びアンモニア態窒素の水質分析に供した．

2．地下水の流動解析方法

台地から印旛沼への地下水流動は，流体力学に則った運動方程式，状態方程式および連続の式を組み合わせて導き出される．ここでは，本調査における地形測

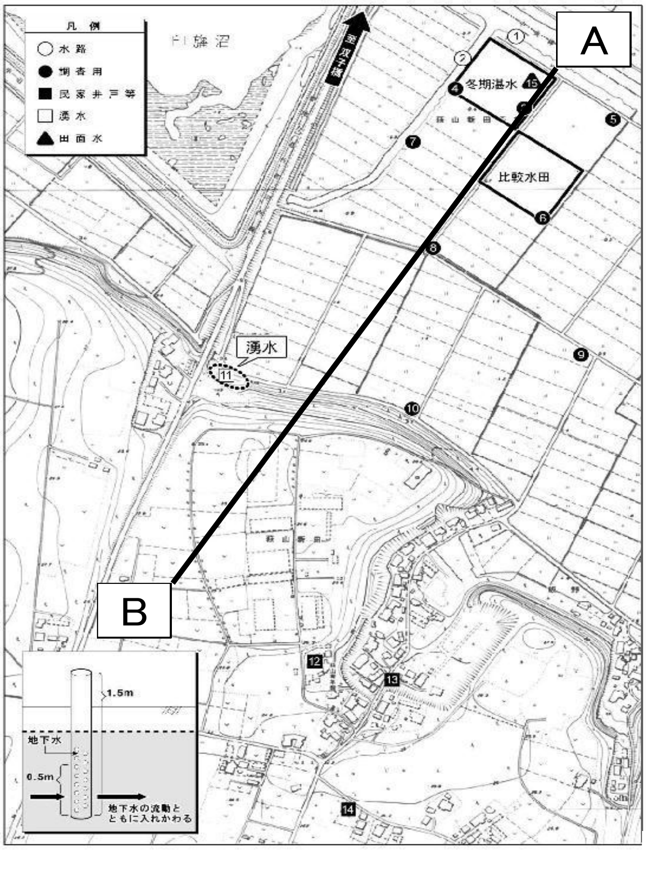


図１．観測井設置状況図.

量および調査参加市民による地下水位観測結果を用いて，図１のA―B線の地形連鎖に沿った地下水の二次元流動ポテンシャルを計算した．すなわち，以下のラプラスの方程式を

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}=0$$

A―B線の地形に適用して差分法でポテンシャル値を求めた．ここで，対象とした地下水流動域の深さは標高-3mまでとし不透水層，すなわち第２種の境界条件を与えた．また水田土壌に存在するすき床および中央排水路対岸も第２種の境界条件とした．地下水は台地上部および西側からA―B線の計算対象範囲に流入すると仮定して，第１種の境界条件とした．第１種の境界条件では1.00，中央排水路には0.02が流出すると仮定した．

結　果

調査結果を表１に示した．また，地下水流動解析結果を図２に示した．

水田地帯の地盤高は1.20mから1.86mであり，みためし調査水田から西へ700mまでの間に存在する水田地帯の標高差は0.66mであった．さらに西側にはロームが堆積した地盤高23.7mから24.3mの台地となっていた．

表１．水路から水田，台地上への水質の変化

井戸番号	地盤高 Y.P(m)	硝酸態窒素 (mg/L)	ｱﾝﾓﾆｱ態窒素 (mg/L)
3	1.56	0.0	0.0
4	1.23	0.0	0.0
5	1.20	0.0	0.0
6	1.33	1.0	0.0
7	1.23	0.0	0.0
8	1.86	0.0	0.0
10	3.82	8.0	0.0

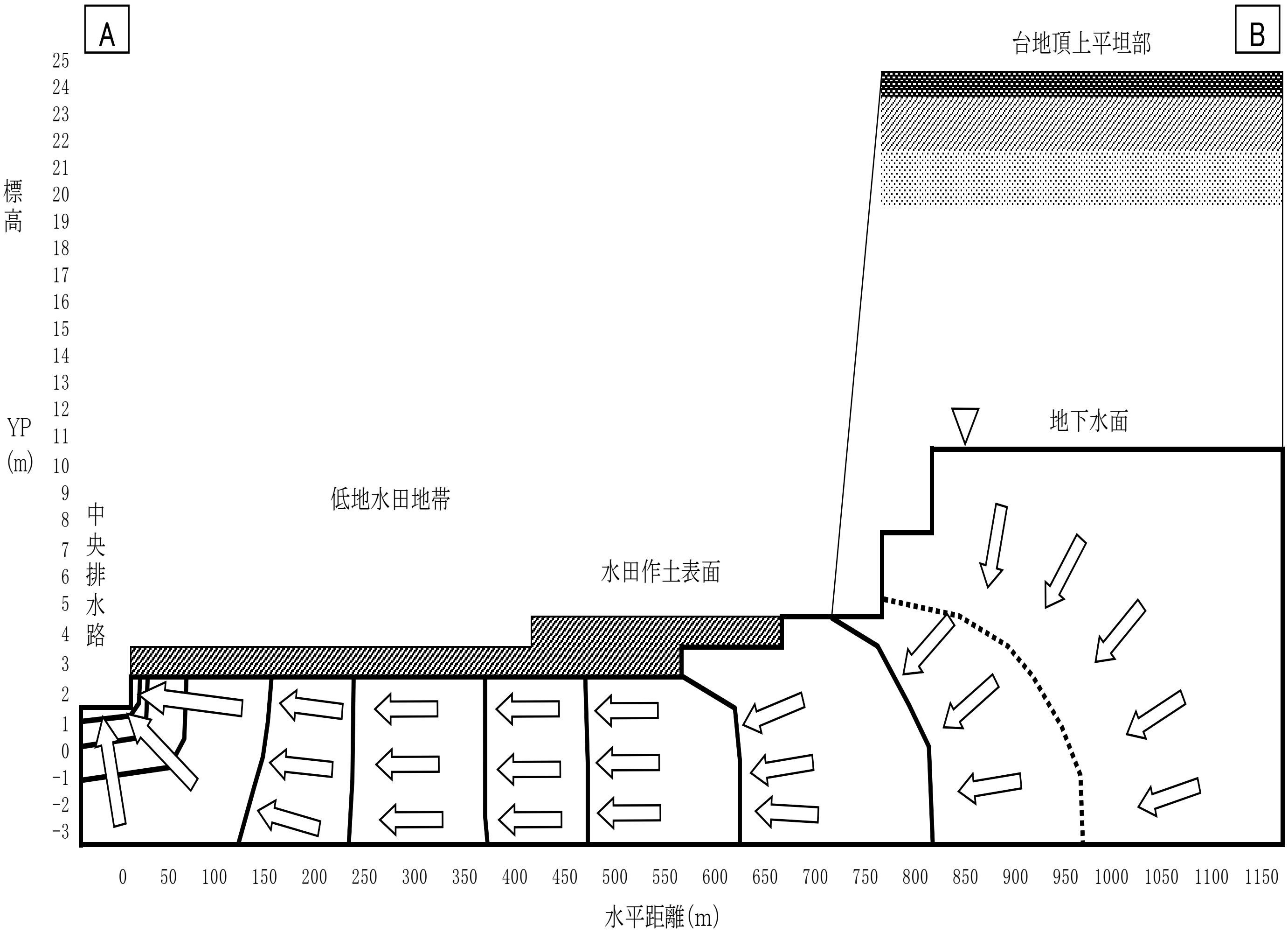


図２．印旛沼流域における台地から水田への地下水流動ポテンシャル図
注）１マスの水平距離：標高の比は50:1として作図した．

以上から，地下水流動の解析対象としたA―B線の地形状況は，印旛沼周辺の台地とその低地に拡がる水田地帯の典型的なものと判断された．

地下水のアンモニア態窒素は，各井戸で低濃度であった．硝酸態窒素濃度は台地上の井戸で高く，10mg/Lを超えていた．一方，井戸番号３から８までの水田地帯における井戸には硝酸態窒素が10mg/Lを超える地下水は全く認められなかった．

地下水流動ポテンシャル計算結果を図２に示した．計算対象とした地下水流動域内の等ポテンシャル線を図示した．さらに，地下水の流線は，等ポテンシャル線に直交することから，想定される地下水流線を矢印として示した．

地下水流線の結果から，A―B線の地下水流動は，台地上部および西側から台地と水田地帯の境界へ向けて流れ，水田地帯では印旛沼に向かって横方向に流れていると想定された．

以上の地下水水質の変化と地下水流動を併せて考察すると以下のようになろう．すなわち，台地で発生した硝酸態窒素は，地下水流動にともなって水田地帯に流動し，水田の脱窒作用によって浄化され濃度が低下していると考えられる．調査対象地域における地下水の流動は，台地上のB地点から中央排水路のA地点までの水平距離は1,150ｍであり，台地と水田地帯の地下水位差は約９ｍであることから，動水勾配は約8／1,000で流動していると考えられる．地下水盆における一般的な動水勾配，または水頭勾配は1/1,000から1/100の範囲にあることから，A―B線における動水勾配は，この範囲にあると判断される．

今後は，地下水流動の実態をさらに詳しく解析するために，地下水面形，台地や水田地帯の帯水層の透水係数を明らかにする必要があろう．

まとめ

水田の冬期湛水における水質浄化機能を明らかにするために，調査水田周辺の台地から印旛沼中央排水路へ流動する地下水の流動ポテンシャルおよび地下水の水質変化を調査した．その結果，台地から中央排水路間の地下水は約8/1,000の動水勾配で中央排水路に向かって流動していること，また，水田地帯を流動している間に，硝酸態窒素は浄化されていることが明らかとなった．

以上から，印旛沼周辺の水田地帯は沼の水源を涵養していると同時に硝酸態窒素の浄化の場として湖沼水質を保全する上で重要な土地利用形態であると評価できる．

参考文献

金子文宜．1997．千葉県の農耕地における水質浄化機能．印旛沼-自然と文化４：11-15.

金子文宜．1998．水田の濁水なくして環境保全，試験研究成果発表会資料（水田作部門）．pp20-26．千葉県農林総合研究センター．

金子文宜．1999．大区画水田における排水特性および環境保全型水稲栽培の環境影響評価．千葉県農業試験場研究報告 40：43-49.

金子文宜．2000．農耕地における窒素動態と水質浄化機能からみた環境保全型農業技術の開発．農業技術 55（８）：365-639.

金子文宜．2001．環境保全型水稲栽培水田における環境負荷軽減効果．用水と排水 43（４）：54-59.

金子文宜．2003．：農耕地の水質浄化機能と印旛沼の水質保全．圃場と土壌 35（８）：42-47.

水収支研究グループ（編）．1993．地下水資源・環境論：その理論と実践．350pp．共立出版．

The Actual Condition of Nitrate Nitrogen Purification Caused by Groundwater Flowing from the Upland Field to Lowland Rice-paddy.　Fuminori Kaneko

流域水田地域の硝酸態窒素浄化機能と冬期湛水

小倉久子[1]・前田敦志[2]・上原　浩[2]・冬期湛水みためし水質調査隊[3]

[1]元千葉県環境研究センター　〒261-0012　千葉市美浜区磯辺 1-21-7　(VYL11027@nifty.com)

[2]パシフィックコンサルタンツ株式会社　国土保全事業本部河川部水環境室　〒163-6018　東京都新宿区西新宿 6-8-1 住友不動産新宿オークタワー22F　(hiroshi.uehara@tk.pacific.co.jp)

[3]冬期湛水みためし水質調査隊
- 耕さない田んぼの会（宮部恵子，小高純子，平井幸男，ほか）
- 八千代オイコス（加藤賢三，桑波田和子，荒尾繁志）
- 千葉県環境研究センター（飯村晃、小倉久子、小島博義）

＜事務局：千葉県県土整備部河川環境課，パシフィックコンサルタンツ（株）＞

要　旨

千葉県印旛沼流域の水田地帯において，水田による硝酸態窒素浄化能の調査を行った．水田地域に設置した 12 本の観測井，水田に隣接する台地の民家井戸，田面水などを 5 年間にわたり調査し，地下水が水田地域の下の還元的なゾーンを通過するときに，水に含まれる硝酸態窒素が浄化（脱窒）されることが確認された．印旛沼に地下水として流入する水がすべて水田下の還元的ゾーンを通過すると仮定し，年間 286 トンの窒素が浄化されていると算定された．この量は印旛沼流域で排出される窒素負荷量の 24%に当たる．また，印旛沼流域の水田がすべて冬期湛水を行うと年間 324 トンの硝酸態窒素が浄化され，この量は年間窒素排出負荷量の 27%に相当するものと推算された．

キーワード：硝酸態窒素(NO_3-N)，水田，脱窒，冬期湛水，印旛沼

はじめに

千葉県北部に位置する印旛沼（図 1）は千葉県民 140 万人の水道水源であるほか，工業用水，農業用水としても利用されており，さらに内水面漁場としても重要な湖沼である．印旛沼は関東ローム層からなる北総台地を涵養域としている．すなわち，水源地が人里離れた山岳地帯ではなく，里山、農地、市街地など人間活動が活発に営まれている丘陵地であるという特殊な構造を持っている沼である．

印旛沼は上記の地形的背景の他，水深が非常に浅いこと（平均水深 1.7m)，流域が首都圏のベッドタウンとして開発が進んだこと等により 1980 年代に流入汚濁負荷が増加し，水質悪化が進んだ．印旛沼の COD はその半分程度が内部生産（植物プランクトン）由来と考えられており（小林ら，1990)，COD 濃度を低下させるためには流入する COD 負荷とともに栄養塩類負荷の削減が必要であることがわかっている．

図 2 には印旛沼流入河川である鹿島川，桑納川，及び師戸川（図 1 参照）の 2006 年度から 2008 年度の硝酸態窒素及び BOD の水質季節変化を示した．どの河川においても，毎年，水田の灌漑期に当たる 5 月～8 月には硝酸態窒素濃度が低下し，9 月～翌年 4 月には上昇するというパターンが認められる．同時に調査した硝酸態窒素以外の項目については，例えば同図に示した BOD のように河川ごと，年度ごとに変動の様子が異なるため，月～8 月に見られる硝酸態窒素濃度の特異的な低下が水田の湛水状況と関連していることがうかがわれる．

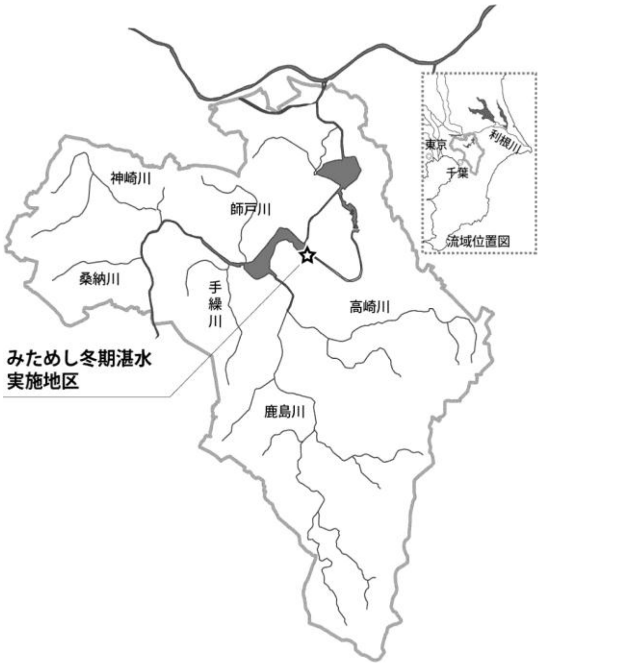


図 1．印旛沼流域と調査地区

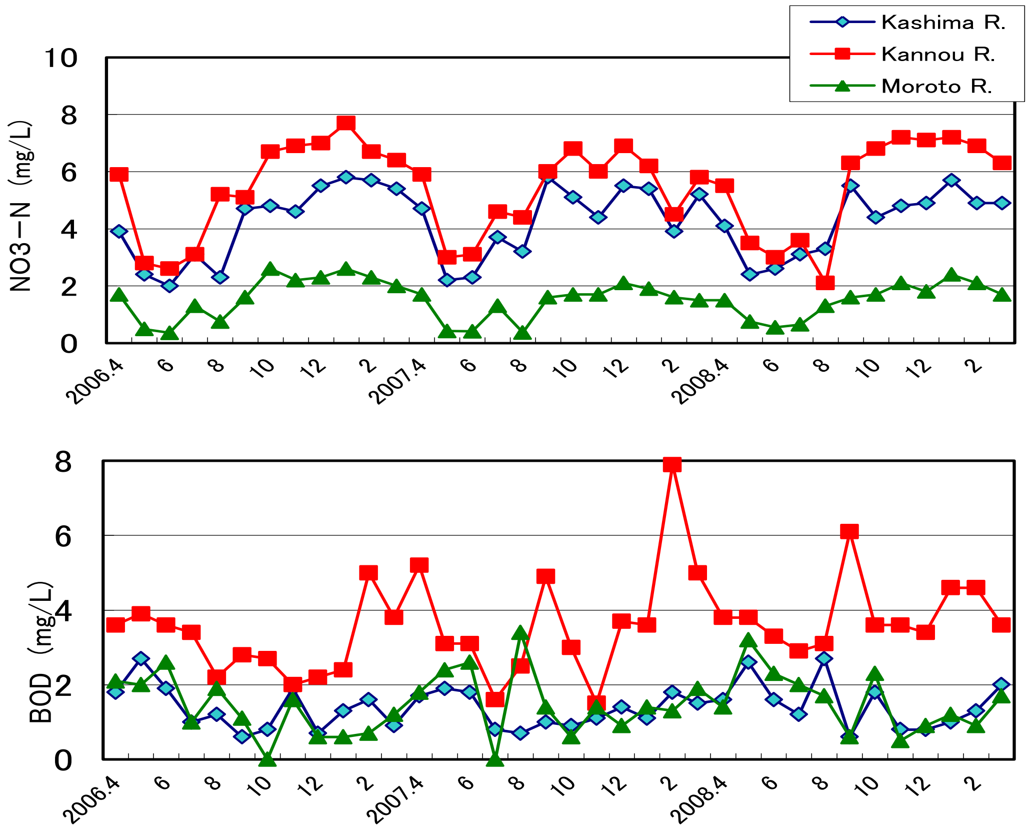


図２．印旛沼流入河川の硝酸態窒素濃度（上）及び BOD（下）の季節変化

これまでに，水田には水質浄化作用があるといわれているが（例えば田淵，2005），印旛沼流域においても，水田の存在が沼に流入する硝酸態窒素の負荷を軽減しているのではないかと考えられる．そこで，市民とともに水質調査隊を組み，実際に耕作している水田において 5 年間にわたり調査を行い，水田の持つ硝酸態窒素（NO_3-N）浄化機能について定量的な掌握を試みた．

また，非灌漑期にも田面に水を張る冬期湛水を行った場合，この硝酸態窒素浄化機能にどのように影響するかについても調査を行い，比較検討した．

調査方法

１．調査期間

調査期間は 2005 年度から 2009 年度の 5 年間で，表 1 に示したとおり初年度は冬期湛水試験田においても慣行法にて耕作を行い，2 年目以降に冬期湛水を実施した．水質調査は 2 年目以降に 1～2 ヶ月に 1 回，計 24 回実施した．稲作カレンダーと水質調査日を表 2 に示す．

２．調査対象水田と調査地点

調査は印旛沼流域内（佐倉市）の圃場整備水田（試験田：90a，冬期湛水法にて耕作，慣行水田：90a，慣行法にて耕作）において，水田所有者が稲作を行う中で実施した．

調査対象とした地域は 1960 年代に印旛沼を干拓して造成した水田地帯で，灌漑期には印旛沼（中央排水路）の水が灌漑用パイプラインで配水されている．冬期湛水については，試験田脇の低地排水路①の水を，目視の水位管理により水中ポンプで揚水した．

水質調査は図 3 に示す 18 地点で行った．調査地点の内訳は次のとおりである．

①，②：水路
③～⑩，⑯，⑰：水田脇に設置した観測井
⑮：田面水
⑪：台地崖下の湧水
⑱：崖下の観測井
⑫～⑭：民家井戸（台地上）

観測井は 図 3 中に示すように，底面から 0.5m の部分にストレナーを開けた塩ビ管を地表面から約 1.2m の深さに差し込んだもので，調査時には，水位測定後に、たまっていた水を汲み出し，新しく滲み出してきた地下水を採取して分析に供した．

３．調査分析項目と方法

(1) 現地調査項目：観測井水位，水温

観測井水位は市民の作成した水位計を用いて測定し，観測井の位置(標高)から地下水位（A.P.）を算定した．

(2) 水質調査項目：

・pH，電気伝導率(EC)，溶存酸素（DO），酸化還元電位（ORP）*

これらは計器により現場で測定した．溶存酸素と酸化還元電位については，調査期間の前半のみ測定

表１．実験の年次計画

		A 田	B 田	備考
1 年目 (2005 年)	かんがい期	慣行米作	慣行米作	調査は夏期から実施 試験調査期間、冬期湛水は 2006/1/20 開始。（①）
	非かんがい期	冬期湛水	—	
2 年目 (2006 年)	かんがい期	米作	慣行米作	冬期湛水は 2006/11/1 開始(②)
	非かんがい期	冬期湛水	—	
3 年目 (2007 年)	かんがい期	米作	慣行米作	冬期湛水は 2007/10 初旬開始(③)
	非かんがい期	冬期湛水	—	
4 年目 (2008 年)	かんがい期	米作	慣行米作	
	非かんがい期	冬期湛水	—	
5 年目 (2009 年)	かんがい期	米作	慣行米作	データ解析・報告書作成
	非かんがい期	—	—	

表２．稲作スケジュールと水質調査日

2005年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
冬期湛水田						（中干し）						12：畦塗り
慣行田				耕起 代掻き		（中干し）	出穂		刈取り 耕起			12：耕起
地耐力調査日 土壌調査日											11/11	
水質調査日												

2006年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
冬期湛水田	20：水張り				03：代掻き 06：田植え	手取り除草 29：除草剤(グラスジンM) （中干し）	25：出穂		15：刈取り	14：米糠散布 30,31：畦補修	1：水張り	
慣行田				4,24：耕起 30　：代掻き	04：田植え 12：除草剤(イノーバDX)	（中干し）	25：出穂		15：刈取り 24：耕起			
地耐力調査日 土壌調査日									9/29			
水質調査日			3/2	4/5	5/31			8/7	9/29		11/6	

2007年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
冬期湛水田					11：代掻き 16：田植え	（中干し）		05：出穂	17,18：刈取り	18：藁処理 19：米糠散布，畦塗り 29：水張り		
慣行田			5：耕起		10：代掻き 26：田植え 27：除草剤	（中干し）		05：出穂	15,16：刈取り	24：耕起		
地耐力調査日 土壌調査日									9/28			
水質調査日		2/20			5/2		7/2	8/6	9/28		11/13	12/14

2008年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
冬期湛水田					11：代掻き 18：田植え	（中干し）	バサグラン (中期用除草剤)		15：刈取り	31：水張り		
慣行田				23：耕起	12：代掻き 17：田植え 17：除草剤	（中干し）			16：刈取り			
地耐力調査日 土壌調査日										10/1		
水質調査日			3/4	4/10	5/27		7/23			10/1		12/15

2009年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
冬期湛水田	20,21：畦畔修理 29：畦補修	12：畦シート，水張り			07：外周耕起 13：田植え	（中干し）	3：バサグラン (中期用除草剤)		14,15：刈取り	切り藁のみ		
慣行田			26：耕起	13：耕起	06：代掻き 10：田植え，肥料，除草剤	（中干し）			13：刈取り			
地耐力調査日 土壌調査日										10/19		
水質調査日		2/19			5/28			8/7		10/19		

（凡例）：水はりの状態　　：落水の状態

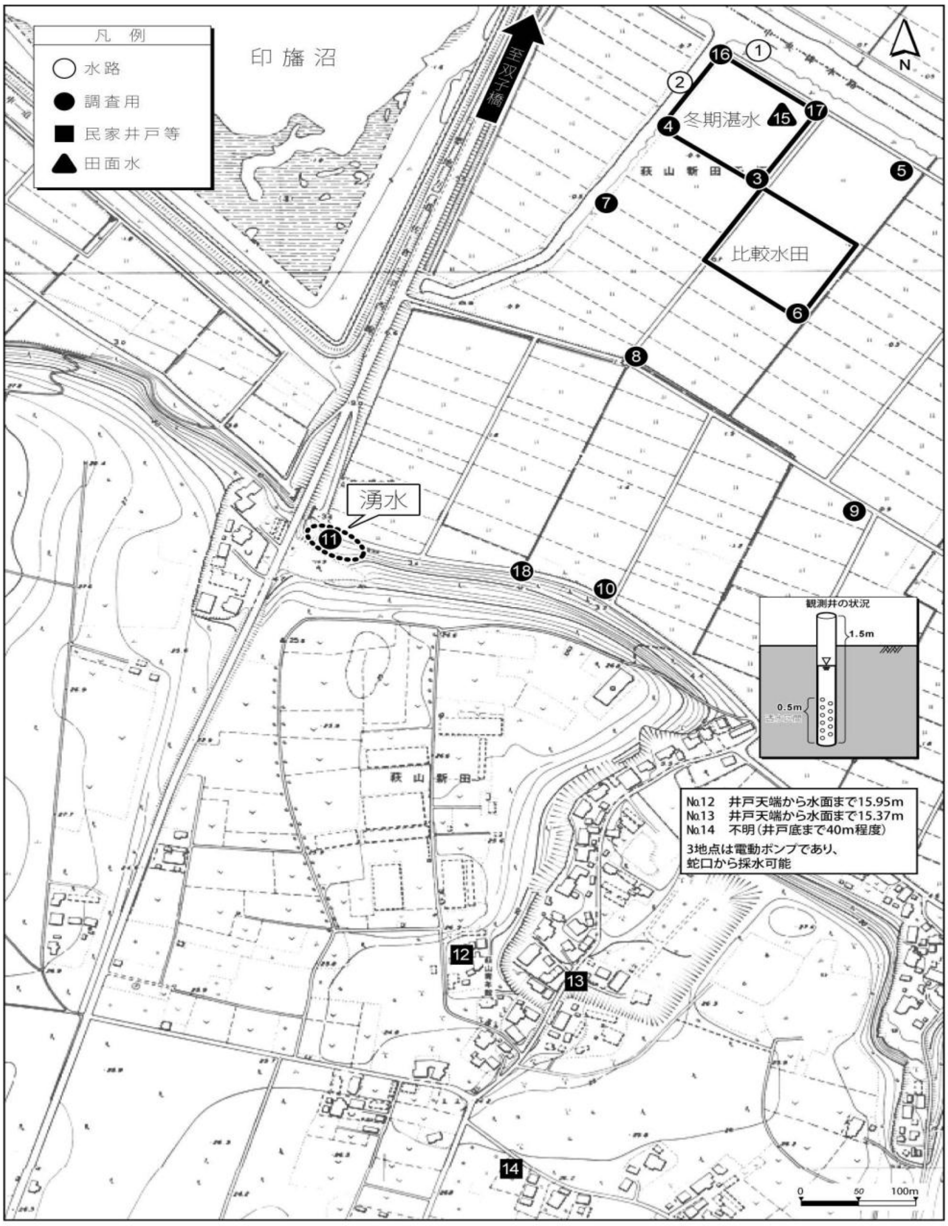


図３．調査地点と観測井の構造

を行った。

・硝酸態窒素（NO_3-N），亜硝酸態窒素（NO_2-N），アンモニア態窒素（NH_4-N）

前二者はイオンクロマトグラフ法，後者はインドフェノール青吸光光度法にて定量した．

なお，これらの無機態窒素については，調査期間の前半はパックテストを用いて現場において簡易分析も実施した．これは，市民調査員が調査現場において水田の窒素浄化能について実感することに役立った．

結　果

１．調査対象地域全体における硝酸態窒素の変化

調査地域全域の硝酸態窒素濃度について，図４（上）に地点別，形態別の濃度（左側目盛）を表し，日降雨量（右側目盛）も重ねて示した。

硝酸態窒素が最も高濃度であったのは ⑱崖下地下水で，変動幅が非常に大きく，ほとんど 20mg/L を超えていた（⑱は 2007 年 10 月から測定を開始した）．次に高かったのが台地上の民家井戸で，年間を通して 5～10mg/L を示していた．一方，水田エリアの観測井では硝酸態窒素濃度は低く，最大でも 2mg/L 程度であった．特に灌漑期は冬期湛水田，慣行水田ともに水を張っているため，硝酸態窒素はどちらもほぼ不検出であった。

なお，降雨と硝酸態窒素濃度との関連はあまり明らかな傾向はみられなかったが，⑱崖下地下水は降雨後に濃度が減少しているように見受けられた．この地下水は，高濃度であることと濃度変動が激しい（降雨後に濃度が低下する）ことから，非常に浅い地下水であり，汚染源や降雨の影響を受けやすいと考えられる．

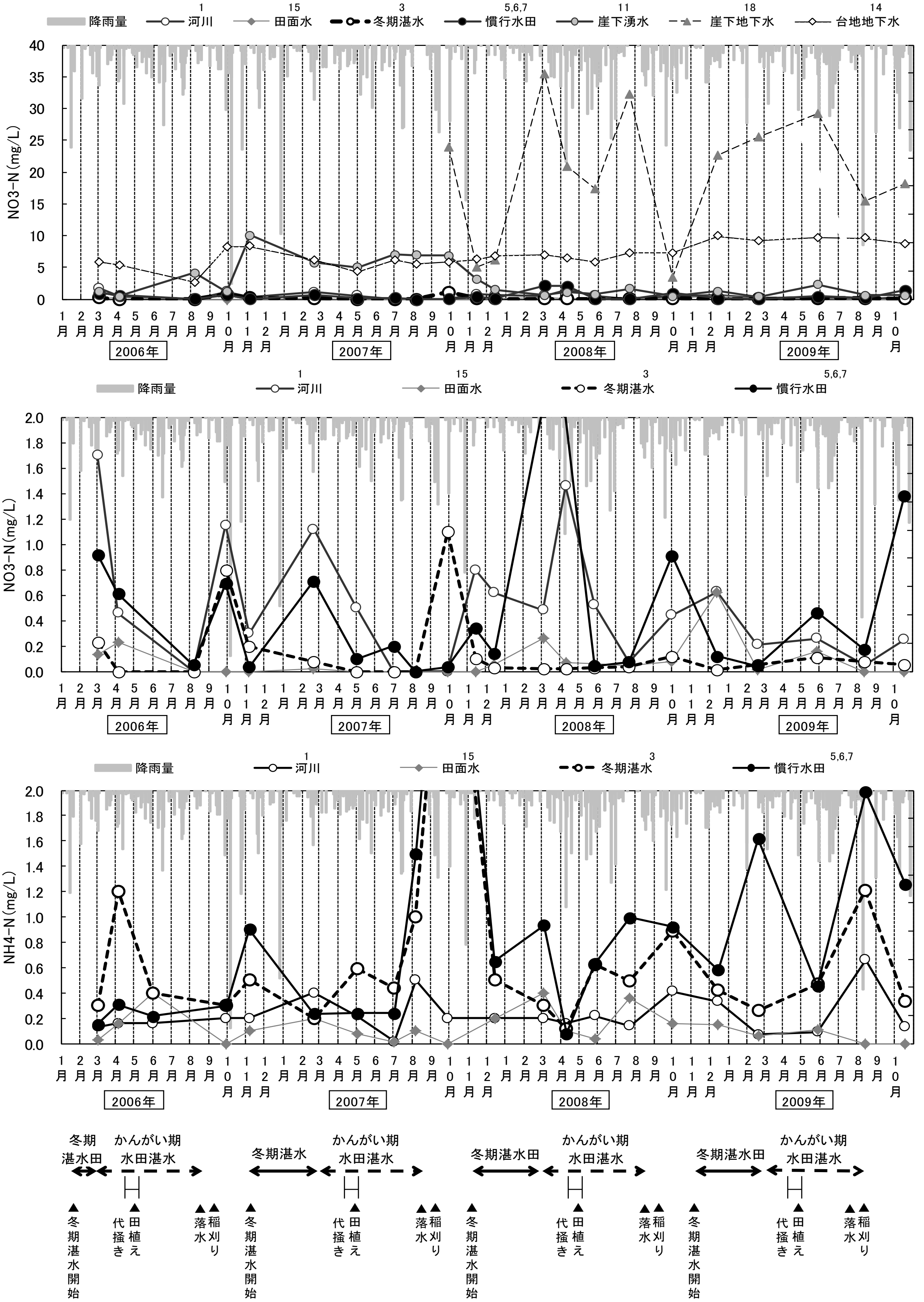


図４．地点別・期別地下水硝酸態窒素及びアンモニア態窒素濃度の変化
（上）調査地域全体の硝酸態窒素濃度　（中）水田（地下水）の硝酸態窒素濃度
（下）水田（地下水）のアンモニア態窒素濃度

２．水田エリアの硝酸態窒素の変化

水田エリアの状況を詳しくみるために，2006 年～2007 年の硝酸態窒素濃度についてスケールを変えて図 4（中）に示した．また，冬期湛水田と慣行田ごとに硝酸態窒素濃度の月別平均値を計算し，図 5（上）に表した．

前節で述べたように灌漑期（5 月～8 月）には慣行水田も硝酸態窒素濃度は 0.2mg/L 未満であったが，冬期湛水期間中は，慣行水田は 1～2mg/L に上昇しているのに対し，冬期湛水田では引き続き 0.1mg/L 未満であった．なお，冬期湛水田においても，水を落す稲刈り時期（8 月下旬～9 月）には硝酸態窒素濃度が慣行水田と同様に 1mg/L 程度に上昇しており，湛水の有無が観測井の硝酸態窒素濃度に比較的速やかに影響していることがわかる．

田面水の硝酸態窒素濃度は，冬期湛水直後に揚水元の河川水と同じ濃度であった他は，概ね不検出であった．田面水は pH が高く DO が過飽和であったことから，底面界面における脱窒反応のほか，糸状藻類（アオミドロの仲間）や植物プランクトンの光合成による吸収も考えられる．また，灌漑期における用水は印旛沼から機場を経て供給されており，硝酸態窒素がすでに沼内において植物プランクトンに消費されて低濃度になっていることも，田面水の硝酸態窒素濃度が低い理由の一つと考えられる．

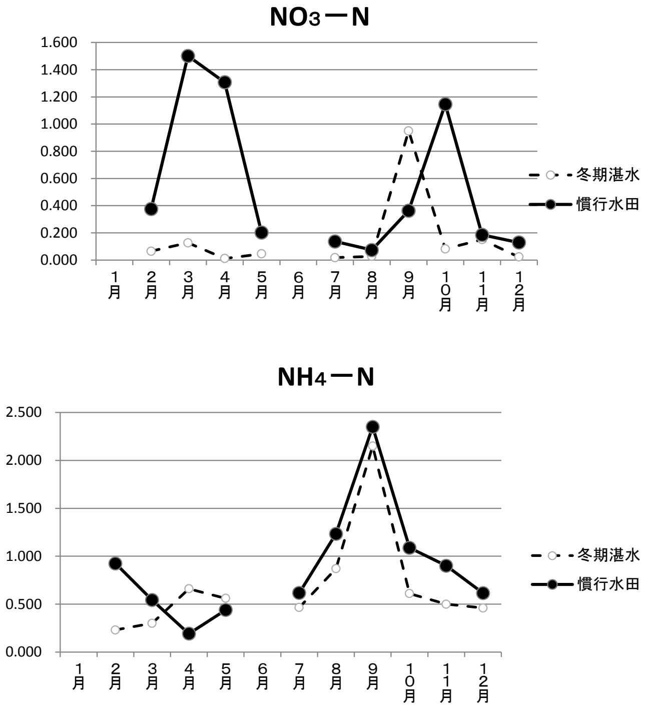


図５．硝酸態窒素濃度（NO_3-N）とアンモニア態窒素濃度（NH_4-N）の月別平均の変化

３．水田エリアのアンモニア態窒素の変化

一方，アンモニア態窒素は硝酸性窒素とは逆に還元的環境で存在しやすいため，冬期湛水田で高くなることが懸念されたが，水田エリアの観測井におけるアンモニア態窒素濃度は，図 4（下）および図 5（下）に示すように冬期湛水田と慣行水田はほぼ同程度であった．

４．調査地点の地下水位

2007 年の調査時ごとの観測井水位から地下水位を計算して図 6 に示した．崖下の湧水（No.11）は年間を通じて一定の水位が保たれているが，水田エリアの観測井は，微地形の標高差や排水路からの距離，調査日前の降雨状況等によって，地点ごと，調査日ごとに水位にわずかに違いがみられた．ただし，大局的には崖下から印旛沼に向かって（図 6 の右から左へ）地下水位が低下しており，地下水の流れが台地から沼に向かっていることが確認できた．

５．観測井の酸化還元状態の度合いと硝酸態窒素濃度

調査期間の前半では，採水後直ちに酸化還元電位（ORP）および溶存酸素量（DO）を測定した．これらの調査期間中の全データを地点ごとに平均し，ORP（読み取り値）の平均値と DO 平均値の関係を図 7 のようにプロットした．図から，ばらつきが大きいものの，酸化還元電位が低いほど DO は少なくなる傾向がみられ，図 8 のように，酸化還元電位（読み取り値）平均値が 100mV 未満の水からは，硝酸態窒素（全調査期間中の平均値）はほとんど検出されなかった．

これらの結果から，地下水が還元的な状態ほど脱窒が進みやすいことが推察された．

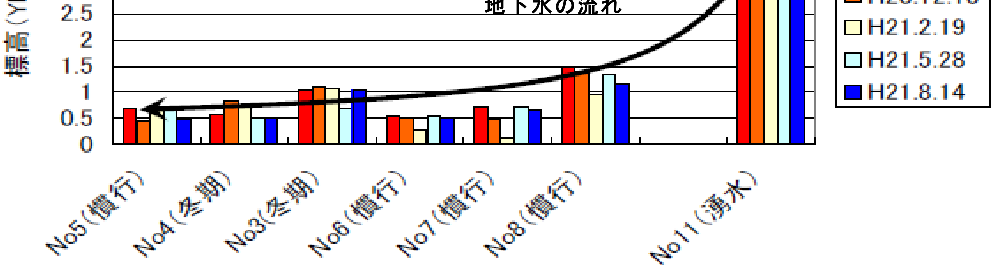


図６．各調査地点の地下水位と地下水の流れ（2008 年～2009 年）

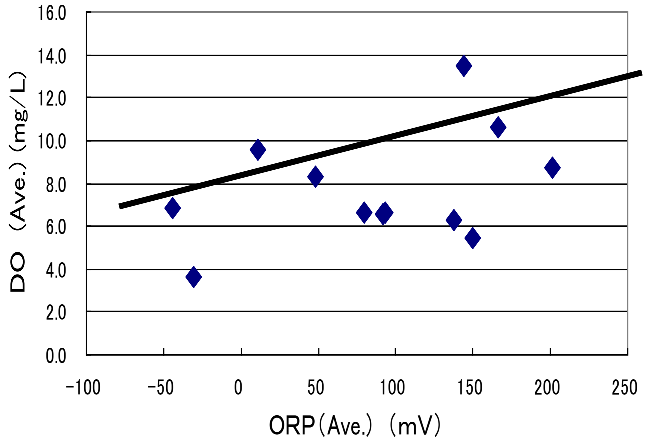


図７．酸化還元電位(ORP)と DO の関係
（それぞれ地点ごとの平均値）.

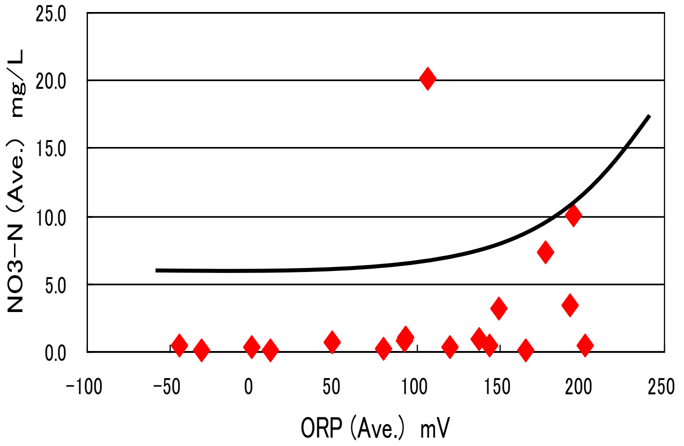


図８．酸化還元電位(ORP)と NO3-N 濃度の関係
（それぞれ地点ごとの平均値）.

考　察

１．水田による硝酸態窒素浄化のメカニズム

以上に述べたように，台地上の民家井戸及び崖下の地下水の硝酸態窒素は 10mg/L 弱から 30mg/L 超と非常に高濃度であったが，水田エリアの観測井では 10 分の１程度，さらに灌漑期の水田エリアではほとんど硝酸態窒素は検出されなかった．また，水田エリアでは，湛水の有無が比較的速く硝酸態窒素濃度に反映していた．すなわち，水田脇の観測井では落水後１ヶ月足らずで硝酸態窒素が検出されるようになり，逆に湛水すると用水（印旛沼の水）の硝酸態窒素濃度レベルからすみやかに低下し，１ヶ月後にはほぼ 0.1 mg/L 未満になった．

これらの硝酸態窒素の濃度変化は，図９のようにマクロとミクロの２つの流動に分けて考えることができる．マクロの流動とは，地下水が台地から水田エリアの地下を経て最終的に印旛沼に向かって移動する流れをいう．水田エリアの地下は非灌漑期においても畑地等と較べて還元的な環境であると考えられ，その結果，マクロの流動によって生じる硝酸態窒素の浄化（脱窒）は通年で期待できる．

ミクロの流動とは，水田の中で田面水が地下浸透する鉛直方向の流れである。湛水期間（灌漑期及び冬期湛水田）は，田面水（硝酸態窒素濃度≒0mg/L）の地下浸透による希釈作用のために地下水の硝酸態窒素濃度はさらに低下し，ほぼ不検出になる．これをミクロの浄化という．また，慣行田の非灌漑期及び冬期湛水田の稲刈り期には田面浸透水の希釈がないため，観測井の硝酸態窒素濃度は 1～2mg/L 程度が維持される．

この２つのメカニズムにより，印旛沼の周囲にある水田地帯は，地下水や灌漑用水中の硝酸態窒素を浄化（脱窒）してから沼に送り込む浄化施設としての役割を果たしているといえる．また，この脱窒反応は水田の地下が還元的になっていることが必要なため，灌漑期のみに湛水する慣行水田よりも湛水期間の長い冬期湛水田のほうが，硝酸態窒素の低減には効果が大きい．

２．印旛沼流域における硝酸態窒素濃度浄化能の概算

調査期間中の全データについて，期間別，場所別に硝酸態窒素濃度の平均値を計算し，表３に掲げた．これらの値を用いて，以下のように水田による硝酸態窒素の浄化能力の概算を行った．

各時期において，台地地下水の硝酸態窒素濃度 7.06 mg/L との差が水田（の地下）によって浄化された濃度と考えることができる．すなわち，非灌漑期（1 月～4 月）の慣行田では，マクロの浄化により硝酸態窒素が 7.06 mg/L から 1.29 mg/L に減少する．この差の 5.77mg/L がマクロの浄化量である．また，灌漑期（5 月～8 月）には，これにミクロの浄化が加わって 0.16 mg/L まで減少することから，ミクロの浄化を 1.29－0.16=1.13 mg/L と算定できる．また，冬期湛水の効果としては同様に，1.29－0.05=1.24 mg/L と算定できる．

３．印旛沼流域の水田による硝酸態窒素浄化の可能性

以上に述べたように，印旛沼流域における水田による硝酸態窒素浄化機能のうちで，特にマクロの浄化について定量的に評価することができた．

本調査エリアでは浄化量の中でマクロの浄化のポテンシャルの占める割合が非常に大きかったことが特記される．なかでも慣行水田エリアにおいて，非灌漑期でも脱窒反応が起こっていて，台地部で高濃度であった硝酸態窒素濃度は水田エリアの地下では大きく減少していた．これは，本調査エリアが印旛沼の干拓によって造成された水田であり，乾田ではあるものの地下水位が元々高いことによると考えられる．冬期湛水による浄化効果が相対的に小さかったことも，同じ理由である．

したがって，印旛沼流域においては現状でもすでに硝酸態窒素濃度の減少に大きく寄与しており，冬期湛水を行うことによって上乗せできる効果は比較的少ないといえる．

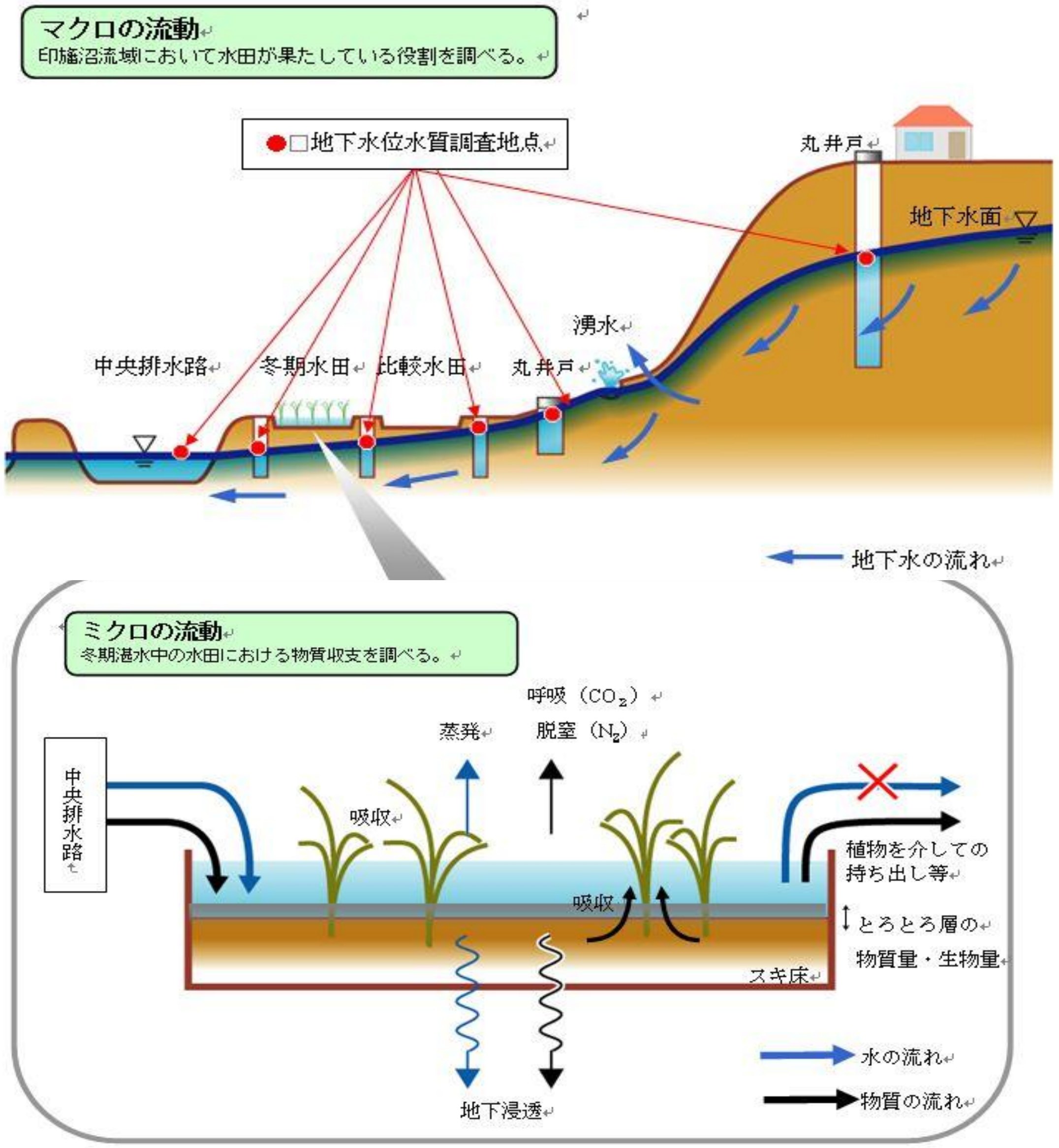


図９．水田によるマクロとミクロの窒素浄化模式図

表３　期間別，場所別の硝酸態窒素濃度平均値

□	田面水	湛水田	慣行田	台地井戸
かんがい期（5月～8月）	0.03	0.02	0.16	7.06
稲刈り期（9月）	---	0.92	0.39	
冬期湛水前期（10月～12月）	0.14	0.08	0.76	
冬期湛水後期（1月～4月）	0.08	0.05	1.29	

（単位　mg/L）

本調査では，ミクロの浄化機能については定量的な評価はできなかった．前述の通り，水田の中の植物プランクトンや藻類による硝酸態窒素の吸収量の算定，底面界面における脱窒量の算定の切り分けができなかったことによる．要素別の浄化量を算定できなかったことに加えて，ミクロの浄化量全体としても，マクロの浄化量と比較して少ないものであった。これは，ミクロの浄化力が小さいということではなく，水田の流入水中の硝酸態窒素が流入時点ですでに低濃度であったことに起因する．もし，硝酸態窒素の浄化装置として水田を用いる場合には，高濃度の硝酸態窒素を含む流入水を取り入れてやれば，今回のミクロの浄化量を大きく上回る浄化能力が期待できる．

まとめ

印旛沼周辺の水田地帯において，地下水中に含まれる硝酸態窒素が水田下の還元的環境域を通過すること（マクロの流動）によって脱窒反応が起こり，硝酸態窒素濃度が約 10 分の 1 に低下することが明らかになった．また，田面水の地下浸透（ミクロの流動）によって，灌漑期の水田エリアではさらに硝酸性窒素濃度が減少し，この効果は湛水期間の長さに対応するため，冬期湛水が効果的であると考えられた．

謝 辞

この調査は印旛沼流域水循環健全化会議緊急行動計画（2004）の事業の一環として，印旛沼の水環境改善のために「みためし（見試し）行動」として，市民・行政・専門家が「水質調査隊」を組織し，さまざまな方が協働で実施したものです．調査水田耕作者の三門増雄氏，印旛沼土地改良区の高橋修総務課長はじめ皆様方，調査全般にわたりご指導くださった千葉県農林総合研究センター長金子文宜氏に厚くお礼申し上げます．

参考文献

印旛沼流域水循環健全化会議．2004．印旛沼流域水循環健全化 緊急行動計画．49pp．千葉県．

印旛沼流域水循環健全化会議．2010．印旛沼流域水循環健全化計画．9pp．千葉県．

気象庁．気象統計情報（千葉県佐倉）．http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html

小林節子・宇野健一・吉澤正．1990．印旛沼、手賀沼の COD、窒素、リンの水質特性－内部生産 COD と窒素、リンの COD への変換率についてー．公害と対策 26(14)．1417-1426.

田渕俊雄．2005．湖の水質保全を考える：霞ヶ浦からの発信．200pp．技報堂出版．

Denitrification Capacity of Rice-paddy and Winter Flooding. Hisako Ogura, Atsushi Maeda, Hiroshi Uehara and the *MITAMESI* Citizen Research Team.

冬期湛水が土壌に及ぼす影響

小倉久子[1]・金子文宜[2]・前田敦志[3]・上原　浩[3]・冬期湛水みためし水質調査隊[4]

[1]元千葉県環境研究センター　〒261-0012 千葉市美浜区磯辺 1-21-7　（VYL11027@nifty.com）
[2]千葉県農林総合研究センター　〒266－0006　千葉県千葉市緑区大膳野町 808　（h.knk3@pref.chiba.lg.jp）
[3]パシフィックコンサルタンツ株式会社 国土保全事業本部河川部水環境室　〒163-6018 東京都新宿区西新宿 6-8-1
住友不動産新宿オークタワー　（hiroshi.uehara@tk.pacific.co.jp）
[4]冬期湛水みためし水質調査隊　・耕さない田んぼの会（宮部恵子，小高純子，平井幸男，ほか）
・八千代オイコス（加藤賢三，桑波田和子，荒尾繁志）
・千葉県環境研究センター（飯村晃，小倉久子，小島博義）
<事務局：千葉県県土整備部河川環境課，パシフィックコンサルタンツ（株）>

要　旨

印旛沼周辺の水田地帯において４ヶ年にわたり冬期湛水法により稲作を行った．冬期湛水稲作を行うことによる水田土壌への影響を把握するために，毎年稲刈り後に土壌調査を行い，慣行区と冬期湛水区を比較したところ，冬期湛水することによる土壌の地耐力（すき床）への影響は確認されなかった．また，もともと地下水位が高い場所であること等の理由により，土壌中の還元層の違いも確認されなかった．

キーワード：冬期湛水，硝酸態窒素(NO_3-N)，水田，土壌，脱窒，印旛沼，流域水循環健全化，みためし

はじめに

農地の土壌が有する機能として，作物を生産する機能の他，炭素貯留機能，物質循環機能，生物多様性の保全機能と，水や大気の浄化機能がある．特に，かんがい期に水を張る水田の土壌では，土壌中に還元的な状態となる層ができ（グライ層），そこでは地下水の脱窒が起き，窒素浄化がなされている（高井，1974）．沼や河川の周辺に水田が広がる印旛沼では，そのようなかんがい期の水田での脱窒により，河川水，沼水の窒素濃度が減少し，水田が河川や沼の水質変化に大きく影響していると考えられている．一方で，非かんがい期（冬期）には河川や沼の窒素濃度が上昇し，栄養塩類の供給増加により植物プランクトンの増殖等の汚濁にもつながっているため，冬期の窒素改善は印旛沼の水質改善にとって重要な課題の一つとなっている．

そこで，印旛沼流域の水田において５年間にわたって実施された冬期湛水法と慣行法による稲作実証試験（「流域水田地域の硝酸態窒素浄化機能と冬期湛水」（小倉ほか，2012）と同時に，水田土壌の調査も実施した．すなわち，冬期湛水田の土壌に関して，水田土壌が還元状態となり脱窒が促進される土壌層（とろとろ層）の変化や，耕作機械の使用に影響がある土壌の地耐力の変化（劣化）の可能性についての調査を行い，慣行法水田土壌と比較した．

調査の概要

１．調査期間

調査期間は，水質調査と同様に，表１に示したとおり，2005 年度から 2009 年度の５年間である．初年度は両区画ともに慣行法にて稲作を行い，2005 年度の冬から冬期湛水を開始した．土質調査は，１回/年，水質調査実施時と同様に稲刈り後・冬期湛水前の９月または 10 月に実施した（初年度は 11 月）．

２．調査対象水田と調査地点

調査は，印旛沼流域内（佐倉市萩山新田）の圃場整備水田の慣行区と冬期湛水区（各 100m×90m）において，水田所有者が実際に耕作を行う中で実施した．

調査対象とした圃場整備水田およびその周辺地域は，かつては印旛沼であり，1960 年代の干拓事業により造成された水田地帯である．その造成には印旛沼の底泥土が使用されている．かんがい期には，中央排水路からポンプアップ（萩山機場）された水がパイプラインにより調査対象水田他，周辺水田に配水されている．

土壌調査地点を図１に示す．土壌調査は，冬期湛水区と慣行区の水田それぞれ５カ所で実施した．

表１．みためし冬期湛水　調査実施年次表

2005年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
冬期湛水田						（中干し）						12：畦塗り
慣行田				耕起 代掻き		（中干し）	出穂		刈取り 耕起			12：耕起
地耐力調査日 土壌調査日											11/11	
水質調査日												
2006年	**1月**	**2月**	**3月**	**4月**	**5月**	**6月**	**7月**	**8月**	**9月**	**10月**	**11月**	**12月**
冬期湛水田	20：水張り				03：代掻き 06：田植え	手取り除草 29：除草剤(グラスジンM) （中干し）	25：出穂		15：刈取り	14：米糠散布 30,31：畦補修	1：水張り	
慣行田				4,24：耕起 30　：代掻き	04：田植え 12：除草剤(イノーバDX)	（中干し）	25：出穂		15：刈取り 24：耕起			
地耐力調査日 土壌調査日									9/29			
水質調査日			3/2	4/5	5/31			8/7	9/29		11/6	
2007年	**1月**	**2月**	**3月**	**4月**	**5月**	**6月**	**7月**	**8月**	**9月**	**10月**	**11月**	**12月**
冬期湛水田					11：代掻き 16：田植え	（中干し）		05：出穂	17,18：刈取り	18：藁処理 19：米糠散布，畦塗り 29：水張り		
慣行田			5：耕起		10：代掻き 26：田植え 27：除草剤	（中干し）		05：出穂	15,16：刈取り	24：耕起		
地耐力調査日 土壌調査日									9/28			
水質調査日		2/20			5/2		7/2	8/6	9/28		11/13	12/14
2008年	**1月**	**2月**	**3月**	**4月**	**5月**	**6月**	**7月**	**8月**	**9月**	**10月**	**11月**	**12月**
冬期湛水田					11：代掻き 18：田植え	（中干し）	バサグラン (中期用除草剤)		15：刈取り	31：水張り		
慣行田				23：耕起	12：代掻き 17：田植え 17：除草剤	（中干し）			16：刈取り			
地耐力調査日 土壌調査日										10/1		
水質調査日			3/4	4/10	5/27		7/23			10/1		12/15
2009年	**1月**	**2月**	**3月**	**4月**	**5月**	**6月**	**7月**	**8月**	**9月**	**10月**	**11月**	**12月**
冬期湛水田	20,21：畦畔修理 29：畦補修	12：畦シート，水張り			07：外周耕起 13：田植え	（中干し）	3：バサグラン (中期用除草剤)		14,15：刈取り	切り藁のみ		
慣行田			26：耕起	13：耕起	06：代掻き 10：田植え，肥料，除草剤	（中干し）			13：刈取り			
地耐力調査日 土壌調査日										10/19		
水質調査日		2/19			5/28			8/7		10/19		

（濃い網掛け）：水はりの状態　（薄い網掛け）：落水の状態

３．調査項目と調査方法

次の調査は，水質調査と同様に，いずれも「冬期湛水みためし水質調査隊」により実施された．

(1) 地耐力調査

冬期湛水による水田土壌の地耐力の変化を把握するため，硬度計を用いて地耐力の計測を行った．図１に示す冬期湛水区，慣行区の各５地点において硬度計により水田土壌のおおよそ 50～60cm の深さまでの地耐力の鉛直分布を計測した．地耐力調査の様子は図２のようである．

(2) 土壌の還元性調査

水田土壌中の還元的な土壌（グライ層）の状態が，田面水および水田エリアの地下水の水質浄化（脱窒）に影響を及ぼすことから，冬期湛水による水田土壌の還元状況を把握するため，検土杖を用いて採取した土壌サンプルについてジピリジル溶液を用いて赤色反応調査を行った（図３）．ジピリジル（α，α’-dipyridyl $C_{10}H_8N_2$）は，土壌中の２価鉄（還元的な状態で存在する）と反応して赤紫色に呈色するため，現場で土壌の還元度合いを調べるときに広く用いられている（例えば，高村ら，1976）．

また，採取地点は図１に示す５地点である．

結　果

１．地耐力

硬度計で計測した地耐力の鉛直分布を図４に示す．この結果は，両水田各５カ所で行った地耐力調査結果を各年で平均したグラフであり，土壌表面0cmからおよそスキ床がある20cmまでの深さのデータを示している．地表面より10cmまでは冬期湛区，慣行区ともに地耐力は0.1～0.2MPaの範囲で,差は小さい．また，両水田ともに10～15cmの間で地耐力が大きくなっており，このあたりの層がスキ床と考えられる．

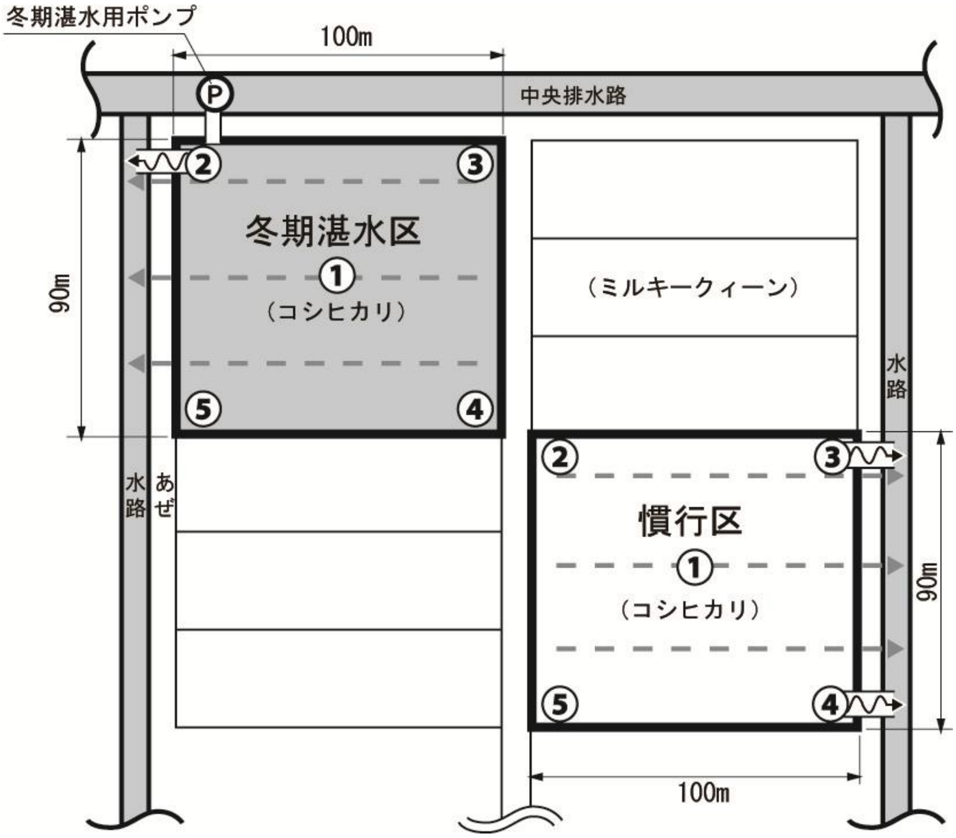


図１．土壌調査地点位置.

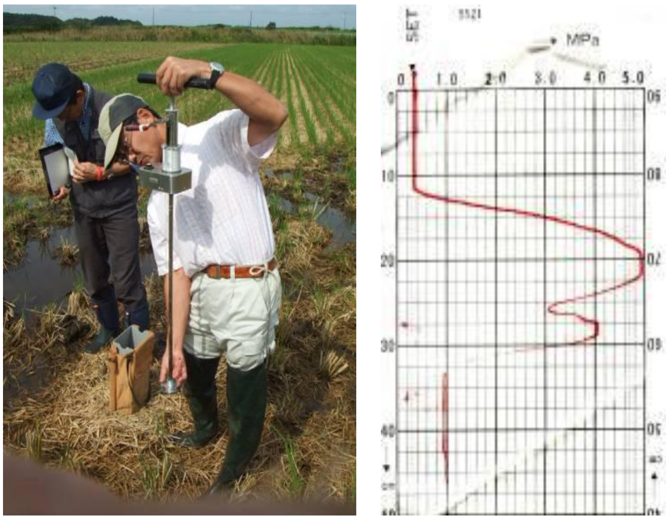


図２．地耐力調査の状況.

図３．土壌調査の状況.

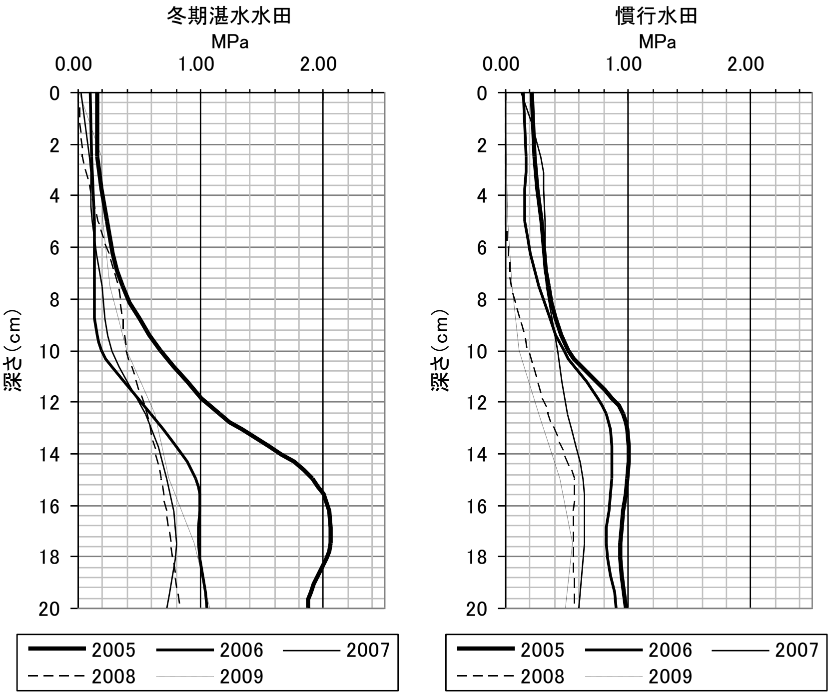


図４．地耐力鉛直分布の比較（各年５地点の平均）.

また，冬期湛水区，慣行区ともに，スキ床の深さは年によって概ね一定であり，経年的にも冬期湛水田の地耐力低下は認められなかった．

調査期間５年間の地耐力調査について，土壌表面の軟弱の層より下で地耐力が変化する，深さ 15cm での地耐力をまとめると表２のようであった．全平均の値で見ると，調査期間初期では慣行水田の地耐力が冬期湛水田に比べてやや高い傾向が見られた．また，冬期湛水田の地耐力は，初年度を除いて４ヶ年を通して横ばいか，やや増加していた．

なお，2005 年度の調査日は他の４回の調査日よりも約１ヶ月遅く，それだけ土壌が固くなっている可能性が考えられる．また，2008 年度については調査前日に降雨があり，両水田ともに湛水している状態であった．

２．土壌の還元性

調査期間の５ヶ年間において，検土杖を用いて土壌を採取し，目視での土壌状況の判定，およびジピリジル溶液添加による赤色反応の調査により得られた，土壌の状況及び還元状態の結果を図５，図６に示す．調査地点の場所が違うために深さ方向のグライ層等の厚さは異なっているが，冬期湛水区，慣行区の全調査地点で，，冬期湛水区と慣行区の全調査地点で，上層は茶色の土層，下層は黒色の土層の構造となっていた．これは，上層ほど大気から酸素が入りやすいため酸化状態になっており，下層ほど酸素が供給されにくいため還元状態になっているためである．また，各調査地点で層構造が変化する等の傾向も見られなかった．

冬期湛水区と慣行区を比較すると，還元状態である黒色の土層の厚さには明確な違いは見られなかった．また，経年的に冬期湛水を継続することで，還元状態の土層が増加する等の変化傾向も見られなかった．

表２．５年間地耐力調査結果（深度 15 ㎝）.

深度15cmの地耐力　　単位：Mpa

	冬期-1	冬期-2	冬期-3	冬期-4	冬期-5	5地点平均
2005年	1.0	2.0	0.9	[illegible]	1.3	1.30
2006年	1.5	0.6	1.2	0.5	1.0	0.96
2007年	0.3	1.0	0.7	0.7	0.9	0.72
2008年	0.4	1.2	0.5	0.5	0.8	0.68
2009年	0.3	0.5	1.2	0.6	1.1	0.75

※2005/11/11（冬期湛水前）　2006年～2009年も全て稲刈り後

深度15cmの地耐力　　単位：Mpa

	慣行-1	慣行-2	慣行-3	慣行-4	慣行-5	5地点平均
2005年	0.5	1.3	1.3	1.1	0.8	1.00
2006年	1.1	1.0	1.2	1.0	0.1	0.87
2007年	0.4	0.6	0.8	0.7	0.7	0.63
2008年	0.4	0.5	0.6	0.8	0.6	0.57
2009年	0.5	0.4	0.4	0.3	0.7	0.44

※2008年は、調査日前に降雨があり、田面に水が溜まっていた。

考　察

1．冬期湛水による土壌地耐力への影響

冬期湛水による影響あるいは効果は，単年の実施だけでは見えづらいことから複数年調査を実施することで，土壌等への影響を把握することを試みた．調査はその前日・当日の天候に影響を受けるが，冬期湛水を継続して実施することで，冬期湛水の効果が蓄積されていくことから，冬期湛水田と慣行水田との違いが見えやすくなると考えられた．

冬期湛水を継続することで土壌が柔らかくなると汎用の田植機等,耕作機械への影響が懸念される．特殊な耕作機械が必要になり，農家への追加負担が発生してしまう．

土壌の地耐力については，調査地点が多少ずれることで必ずしも毎年同じ土壌での調査とはならないが，図４より，水田内５カ所を平均した地耐力の結果から判断すると，両水田に大きな違いは見られないとともに，冬期湛水によって土壌の地耐力が低下する等の変化は見られなかった．

また，汎用の田植機で田植えを行うためには，苗を差し込める程度に土壌の表面が軟弱である必要がある．このため，通常は田植え前に土壌表層を撹拌する代かきが行われる．今回，冬期湛水田においても慣行水田と同様に浅い代かきを行っており，田植え時の欠株を防いでいる（図７）．

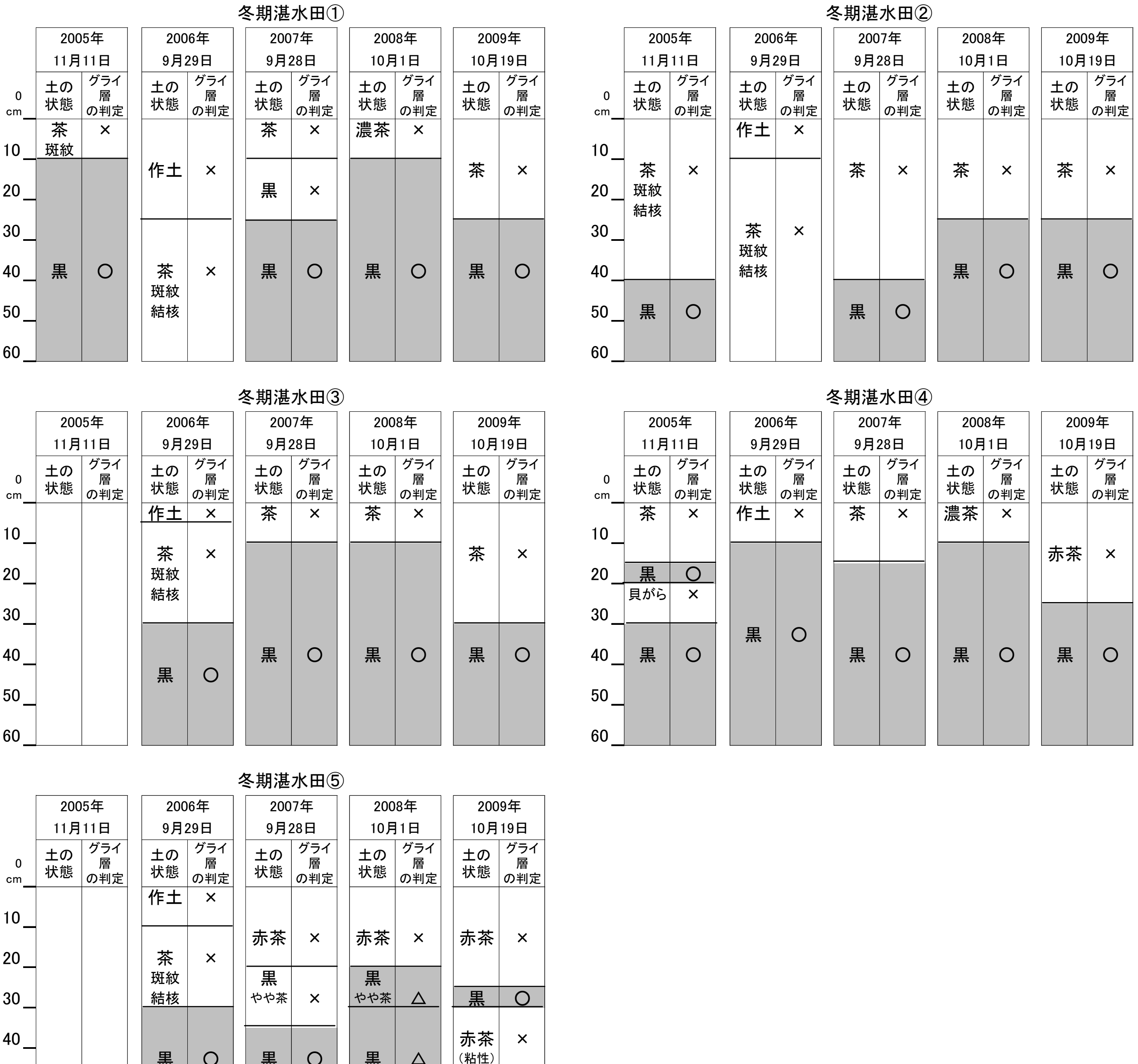


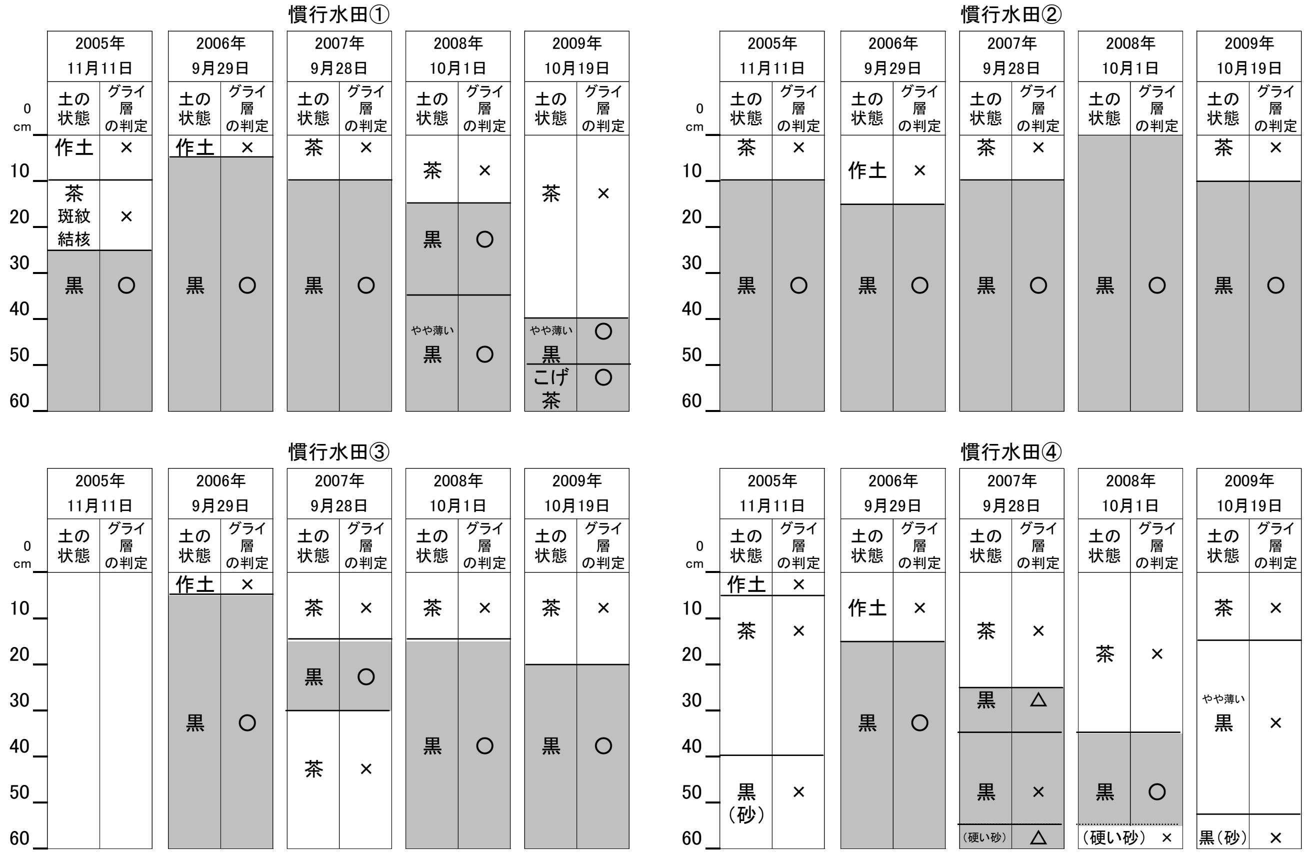
図５．冬期湛水区の土壌断面の状況．

図４より，調査最終年度（2009 年）の地耐力調査結果を見ると，冬期湛水田，慣行水田ともに，土壌表層0～10cm の範囲では地耐力はほぼ 0MPa という軟弱土壌が存在している．また，冬期湛水田，慣行水田ともに，表層から下がった 10～20cm の範囲で地耐力の増加が見られ，スキ床の存在が推測される．田植えに必要な土壌の鉛直構造には，冬期湛水区，慣行区ともに違いは見られず，冬期湛水による田植えへの影響はほとんどないと考えられる．

２．冬期湛水による土壌の還元性への影響

冬期湛水することによって，水田により長期間水をはることで土壌の還元状態を保ち，地下水中の脱窒を促進することが期待されるところである．本調査の結果からは，冬期湛水区と慣行区での還元状態の土壌層の厚さ等に明確な違いは確認できなかった．

これは，本調査においては，稲の刈り取り時は落水し乾燥状態になることや，畦に割れ目ができ水が漏れる時期があるなど，冬期湛水区であったとしても常に水が張っている状況にはなかったこと，また，調査地周辺は地下水位が高く，慣行水田で乾燥状態であっても土壌の深部では完全な乾燥状態ではなく，ある程度の湿潤状態にあったためであると考えられる．



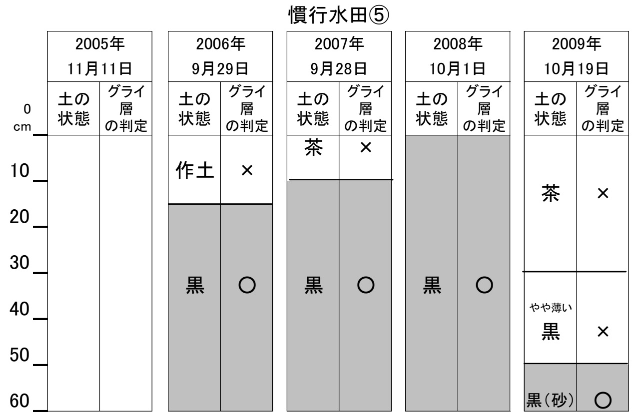


図６．慣行区の土壌断面の状況.

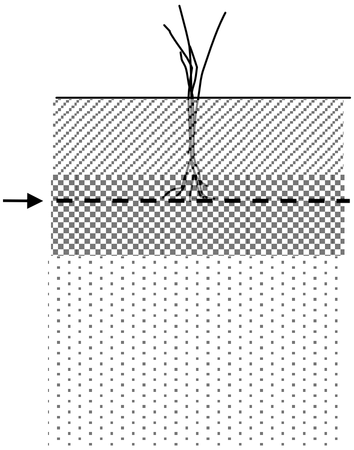


図７．水田の土壌構造イメージ.

謝　辞

この調査は印旛沼流域水循環健全化会議緊急行動計画（2004）の事業の一環で，印旛沼の水環境改善のために「みためし（見試し）行動」として，市民・行政・専門家が「水質調査隊」を組織し，さまざまな方が協働で実施したものです. 調査水田耕作者の三門増雄氏，印旛沼土地改良区の高橋修総務課長はじめ皆様方に厚くお礼申し上げます.

参考文献

小倉久子・金子文宜・前田敦志・上原浩・冬期湛水みためし水質調査隊(2012) 印旛沼流域水循環健全化調査研究報告 1：36-42.

高井康雄. 1974. 水田土壌. 川口桂三郎ほか. 改訂新版 土壌学. pp178-187. 朝倉書店.

高村義親・田淵俊雄・鈴木誠治・張替泰・上野忠男・久保田治夫. 1976. 水田の物質収支に関する研究（第1 報）霞ヶ浦流域の水田における窒素およびリンの動向と収支について. 日本土壌肥料学会誌 47：298-405.

The Effect of Winter-floodinging on Rice-paddy Soil.
Hisako Ogura, Fuminori Kaneko, Atsushi Maeda and the *MITAMESI* Citizen Research Team.

市民による水田の水環境調査

小高純子

耕さない田んぼの会　〒285-0864　佐倉市稲荷台 3-7-12　(jk-odaka@catv296.ne.jp)

耕さない田んぼの会は 2004 年から不耕起移植栽培・冬期湛水という農法で素人が米作りに挑戦し，今年で 9 作目となりました.

その間に多くの協力者や活動を共にした仲間が大勢おりますが,「冬期湛水・有機農法の水田による流域の水質改善と生態系保全に関する試験研究プロジェクト」は私たちの活動を千葉県，印旛沼周辺で取り組む仲間を増やしたいという目的とともに取り組んだ大切な作業でありました.

では，なぜ素人が米作りに挑戦したかという最初のスタートに戻らせていただきます. きっかけは水田の農薬空中散布に対する大きな問題意識からでした，小学校の周辺をヘリコプターが農薬を散布していく様をみて,多くの母親が危険に思っておりました.しかし，当時は行政も生産者も耳を貸してくれません. また、それと並行して飲み水として利用される印旛沼の水質汚染も重要な課題と捉え，合成洗剤をやめてせっけんを使おうという活動もともに進めておりましたが、現実はなかなか良い方向には進みませんでした.

そうした時に出会ったのが不耕起移植栽培・冬期湛水という農法です. ここで停滞した事態を打破するには消費者エゴだと一蹴される前に自分たちもやってみようということになりました.

さっそく，それまでも有機農法を実践していた三門増雄さんにお願いして半反の田んぼを無理やりお借りしました.

会の代表の宮部恵子や仲間がこの農法の提唱者である旧佐原市の岩澤信夫さんの「自然耕塾」で勉強しながらの同時進行で米作りに挑戦しました. 生き物調査の方法などを勉強するために県内でこの農法を実践している生産者を訪ねたり，学習会に参加したりと大変だったけれども楽しい時間でした.

振り返ると，あの怒涛のようなエネルギーには自らたまげるばかりでしたが，活動はそれだけではありませんでした.

三門さんにはまたもやしつこく不耕起移植栽培・冬期湛水をやってみないかと誘いながら，一方で，印旛沼流域水環境健全化会議の委員である中央博物館の中村俊彦先生，そして県の河川や水質保全を担当する職員の方々には県でも何か協力してほしいと頼みました.

水田の水質浄化能力についてはすでに実証されていますが，冬にも水を張っていればその恩恵を受けて印旛沼浄化にも繋がるのではないかというのが私たちの切なる願いでした. ここでやっと市民参加の水田環境調査となったのです.

専門的なことは千葉県環境研究センターの小倉久子さんやパシフィックコンサルタントのスタッフのかたにおんぶにだっこでしたし，共に調査活動をした八千代オイコスの皆さんは水質検査の経験のある方々なのでとても力強い仲間でした.

当会からは毎回３～４人が調査に参加していましたが，印旛沼の畔は暑いか寒いかの気候で，ちょうどよい調査日和は数えるばかりでした.

耕さない田んぼの会の冬期湛水の準備のためのポンプの手当や，県での萩山新田の実験が実現するまでのポンプの世話などあらゆる問題解決にあたって，印旛沼土地改良区の高橋修さんには本当にお世話になりました. また，田んぼで採集した水の検査には毎回，土地改良区の事務所を使わせていただきました. 冬期湛水を広めたい耕さない田んぼの会としては，いっしょに調査をしてきた皆様には感謝に堪えません.

このように多くの人々がかかわって実現した調査ですが，結果をどのように活用できるのかが大変気にかかるところです.

この間，田んぼの会では作付面積を増やし，苗も自前で調達できるようになりました. 今後は野菜作りを楽しむ人々が増えているように，休耕田を利用して米作りを気軽にできるように支援できる会でありたいと思います. また，三門さんには今後とも冬期湛水を続けていただきたいと思います.

しかし，一方で活動目的であった農業環境はいろんな面で悪化しており，印旛沼の水質浄化は進んでおりません. いつのまにか，水は家庭では浄水器が当たり前，外ではペットボトルに入っているものを買って飲むもの，これが普通になってしまいました.

2011 年は放射能汚染でこれまでの問題がそれどころではないという雰囲気でぶっ飛んでしまいました. 多くの方々のご努力とご協力で実現したこの試験研究が，ただの楽しかった思い出にだけはならないように祈っております.

The Fieldwork of Citizen Team on Water Conditions of Rice-paddies.　Junko Odaka.

冬水田んぼ水質調査に市民団体として参加して

桑波田和子

NPO 法人八千代オイコス　〒262-0006　千葉市花見川区横戸台 21-13　(kuwahatak@hotmail.com)

冬水田んぼの水質調査を始めたのはだいぶ前のことで，細かい記憶は消えてしまいましたが，特に思い浮かぶ場面を記します．

9 年前冬水田んぼの水質浄化について調査団募集が千葉県河川環境課から市民団体へありました．当時，環境パートナーシップちばは「印旛沼をきれいにする活動」を流域で展開しており，八千代オイコスは八千代市内を流れる花輪川で，河川の清掃や草刈り，子ども達と川の学校を展開していました．花輪川での湧水の調査からは，硝酸態窒素の値が高い箇所が多くあります．また，里山シンポジウムの水循環分科会で冬水田んぼは脱窒素の効果があることを知りました．専門家と一緒に調査できることは，学びたい私たちには魅力であり，協働での取り組にも期待し加藤賢三さん，荒尾繁志さんの 3 人で八千代オイコスとして応募しました．

5 年間の調査でまず頭に浮かぶのは，時期外れの冷たい雨の日の調査です．全身がずぶ濡れになり，体が芯から冷えた感触は今でも覚えています．一方炎天下の田んぼは，木陰もなく汗をかきながら黙々と水を汲みました．時には水汲みのバケツが落ちてしまい，たまたま車にあったハンガーを工夫してひっぱりあげました．それを機に水汲みの器具を荒尾さんが工夫して作ってくださり活用しました．調査は田んぼ側と山側を 2 グループで交代して行いました（図１～２）．

図１．事前講習会（土壌調査方法の指導）.

図２．水田脇の観測井にて地下水採取.

図３．採取した地下水をみんなで簡易分析.

春には田んぼのあぜ道を調査地点に向かってひたすら歩いているとタンポポに似たジシバリの黄色い花やトウキョウダルマガエルなどに目が止まり，心が豊かになり，冬の時期は冬水田んぼの近くには薬莢の殻が落ちていて，カモがきていると想像できました．調査では生き物ばかりでなく，山側の民家のおばあさんとの交流もありました．井戸を調査するときにお家の方へ「こんにちは」と呼びかけると返事が返ってきて，旅行のお土産を頂き，昔の井戸の様子や地域の暮らし等お聞きして参考になりました．

金子文宜さんからは，田んぼの土壌調査について学び，田んぼの底力を知りました．水汲み後の水質調査は，高橋修さんのご厚意で土地改良区の一室をお借りして，COD，硝酸態窒素，ORP などパックテストや機器を活用しました（図３）．機器の使い方，数値の読み方等小倉久子さんからたくさん学びました．

正直 5 年間良く続いた！と思いますが，調査を継続できたのは，専門家と一緒に学べたことも大きな魅力ですが，冬水田んぼの調査結果への期待，調査メンバーや周りの方たちとのつながりも大きいでした．

時々,調査した田んぼの近くを通る時，車窓から覗き込むようにして三門増雄さんの冬水田んぼや周りを見てしまいます．環境保全団体の一員としてこの調査に参加できたことは私自身の大きな実りです．今後はこの経験を活動の中にさらに活かしていくのが市民団体の役割かと思います．

小倉さん，金子さん，高橋さん，耕さない田んぼの会の方々，環境研究センターの方，河川環境課，パシフィックコンサルタンツの方々，そして私たちのメンバーに感謝です．

またいつかご一緒に活動したいですね！

An Impression of the Fieldwork as a Member of the *MITAMESI* Citizen Team.　Kazuko Kuwahata.