

ハス田から流出する汚濁負荷削減のための調査研究*

吉 尾 卓 宏^{*1}・山 本 麻美子^{*2}・元 木 努^{*3}
北 村 立 実^{*1}・片 倉 洋 一^{*4}

キーワード ①ハス田 ②霞ヶ浦 ③流出負荷 ④負荷削減

要 旨

平成18年度から21年度にわたり、霞ヶ浦湖岸のハス田からの流出水の実態把握並びに休耕田を利用したハス田からの流出負荷削減方法を検証した。調査の結果、流出水中のCOD、SSは冬期、春期に増加しとくに懸濁態の割合が高くなり、T-N、T-Pは春期から夏期にかけて増加していることがわかった。休耕田を利用した流出水の負荷削減については、堤脚水路への流出直前にハス田を通過させることによる効果が確認された。

1. はじめに

茨城県は全国一のレンコンの産地である。2009年の出荷量は24,800t(全国出荷量の47%)、作付面積は15.8km²であり¹⁾、作付面積の95%が霞ヶ浦に接する市町村で行われ、とくに湖岸周辺に集中している²⁾。ハス田の霞ヶ浦流域に占める割合は0.8%と少ないが³⁾、「水堀」と呼ばれる水圧を利用した方法で堀取りを行うため濁水が生じやすいこと、ハス田の多くが湖岸近傍に位置し、代かきや堀取り等の作業時に発生した濁水が流出水として直接霞ヶ浦に入りやすいこと、などから霞ヶ浦への汚濁負荷の流入が懸念されており、汚濁負荷の削減が求められている。

そこで、本研究では、ハス田からの流出水の実態を把握するために、流出水濃度の年間を通した動向の調査を行うとともに、休耕田を利用したハス田からの流出負荷削減方法を検証した。

2. 調査地の概要

調査は土浦市沖宿町のハス田で実施した(図1)。調査圃場を含むこの流域の土地利用はほぼハス田である。用水は、霞ヶ浦から最上流部の用水路までポンプで加圧して送水し、用水路を通じて最上流のハス田に灌漑した後は、最下流のハス田まで田越灌漑を行っている。排水は、最下流のハス田から堤脚水路、樋門を通じて霞ヶ浦に流出している。この流域の最下流に試験区を設定し、試験区の直上に隣接する、標準的な作付け管理を行っているハス田を対照区とした(図2)。

3. 調査方法

3.1 ハス田からの流出水の実態把握

水質の調査は、対照区からの流出水で行った。調査期間は平成18年4月から平成21年3月まで、採水は1～5回/週実施し、分析項目はSS、COD、

*Surveillance Study for Reduction of Outflow Pollution Load from Lotus Fields

^{*1}Takahiro YOSHIO, Tatsumi KITAMURA (茨城県霞ヶ浦環境科学センター)

^{*2}Mamiko YAMAMOTO (県西農林事務所)

^{*3}Tsutomu MOTOKI (茨城県企業局水質管理センター)

^{*4}Yoichi KATAKURA (鹿島下水道事務所)



図1 調査区を含む流域図

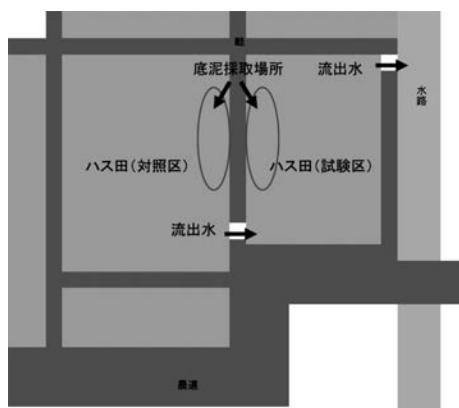


図2 調査圃場

d-COD, T-N, DTN, T-P, DTP および水温, DO であり, 分析方法は JISK0102 に準拠した。

3.2 休耕田を利用したハス田からの流出負荷削減

ハス田(対照区)からの流出水を, 一般的には堤脚水路へ流出するところ, 流出前に試験区であるハス田を通過させた場合の, 流出負荷削減効果について検証した。試験区の面積は385m², 調査開始前2年間耕作放棄されており, 調査実施前に繁茂した植物を撤去し整地を行った。また, 畦畔板を周囲に設置し表流水が流入口以外から入らない

表1 試験区条件

	調査期間	作付け	備考
調査①	H18.4～ H19.1	なし	マコモが自生
調査②	H19.4～ H21.1	ハス(無施肥)	作付け量 250kg/10a
調査③	H21.4～ H22.1	ハス(無施肥)	作付け量 500kg/10a

ようにした。対照区からの流出水が試験区に流入し, 試験区を通過後堤脚水路へ流出する。採水は試験区への流入水と流出水で1～5回/週実施, 分析項目はSS, COD, T-N, T-Pであり, 分析方法は JISK0102 に準拠した。

試験区の状態から調査期間を表1のように3つに分けた。

調査①ではとくに作付けを行わず, 自生していたマコモが生育している状態であった。調査②, ③はハスを作付けし, とくに調査③ではより高い負荷削減効果を期待して, 作付け密度を調査②の2倍とした。調査期間中, 施肥は行わなかった。

3.3 ハス田底泥中の窒素・リンの動向

ハス田からの流出負荷の動向を詳細に検証するため, 対照区, 試験区の底泥調査を平成21年5月から平成22年2月までの期間に2カ月に1回行った。泥は表層より10cm 刻みの3層(上層, 中層, 下層)を採取し, 3,000rpm で20分間遠心分離機にかけたあと, 土壌は底質調査方法(環境省, 2001)によりN, Pを, 土壌間隙水は JISK0102 に準拠し, DTN, DTP の分析を行った。

3.4 掘取り時流出濁水の負荷削減効果

平成21年度は対照区, 試験区それぞれの掘取り時の流入水, 流出水を調査することで, 掘取り時の負荷削減効果を検証した。分析項目はSS, COD, T-N, T-Pであり, 分析方法は JISK0102 に準拠した。

(1) 試験区通過による負荷削減効果

対照区掘取り時に発生した濁水を, 試験区に通した時の負荷削減効果について検証した。調査は対照区で掘取り作業が開始されてから試験区の水の流出が止まるまで行った。調査期間は平成22年2月21日から3月1日であり, その間, 実際に掘取りが行われたのは5日間である。

(2) 無施肥による負荷削減効果

試験区は4年間無施肥であったため, 底泥中の

窒素やリンが減少していると思われる、掘取りなど底泥が流出する時の負荷削減が期待できる。そこで、試験区と対照区の掘取り時の流出水質を比較しその効果を検証した。試験区の掘取り期間は平成22年2月4日から5日の2日間、対照区は上記のとおりである。

4. 結 果

4.1 ハス田からの流出水の実態把握

ハス田からの流出水中の4年間の平均濃度は図3、水温とDOは図4のとおりである。CODと

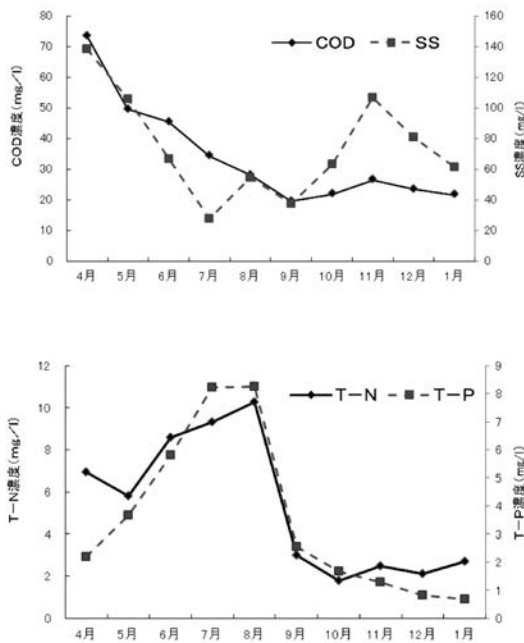


図3 調査期間中4年間の対照区からの流出水平均濃度の推移

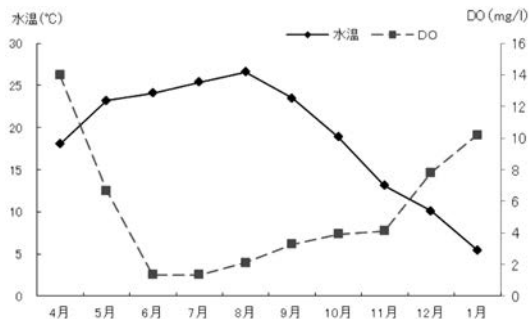


図4 調査期間中4年間の対照区からの流出水平均水温とDOの推移

SS, T-NとT-Pがそれぞれほぼ同様の傾向を示しており、CODとSSは、4月がもっとも濃度が高く夏季に向けて濃度が減少し、冬季にまた濃度が上昇した。とくにSSで冬季の濃度上昇が顕著にみられた。一方、T-NとT-Pでは4月から8月にかけて濃度が上昇し、9月以降濃度が急激に減少した。また、DOは4月から6月にかけて急激な低下が見られた。

CODとT-N, T-Pを溶存態と懸濁態の割合の推移で見ると、どの項目もSSと連動し、4月に懸濁態割合が高く、夏にかけて減少し、冬季にまた割合が高くなった(図5)。また、溶存態窒素について成分を細かく見てみると、4月は溶存性の有機態窒素が大部分であるが、5月以降アンモニア態窒素が上昇し8月に最大となり、9月以

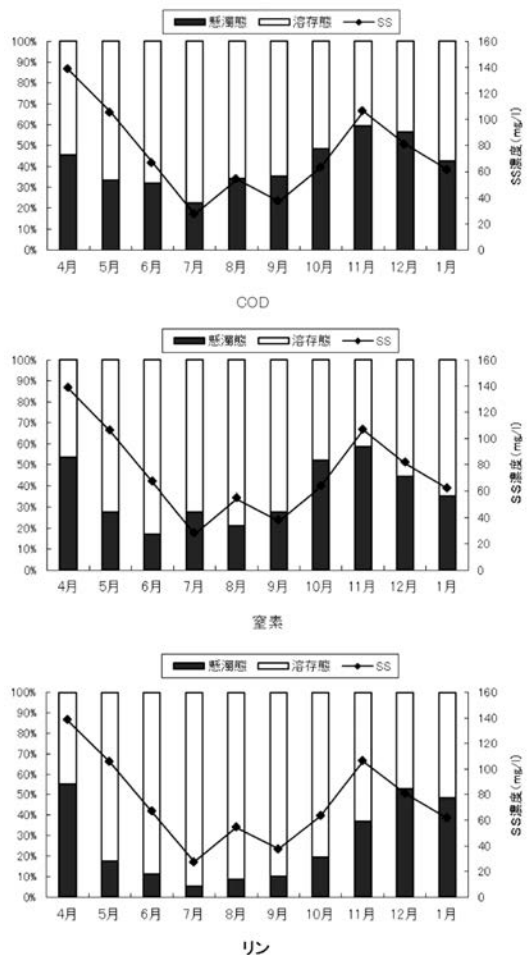


図5 流出水中の溶存態と懸濁態の割合の推移

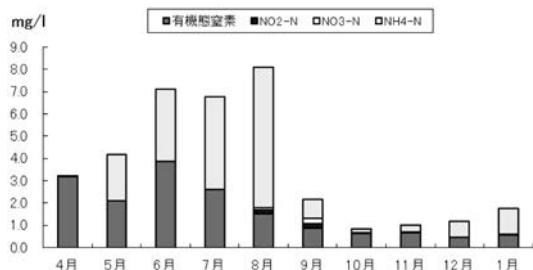


図6 各態窒素の割合の推移

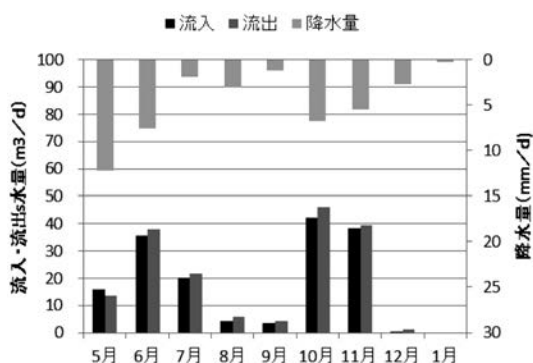


図7 流入・流出水量および降水量の平均量の推移

降減少した。また、9月には硝酸・亜硝酸態窒素の上昇が見られた(図6)。

4年間の調査期間のうち21年度は流入・流出水量についても詳細な調査を行った。結果は図7のとおりで、流入・流出水量は降水量に影響されていた。また、調査期間中の試験区への流入量と流出量は流入が約3,800m³、流出が約4,100m³となりほぼ同量であった。なお、試験区の現地調査日数218日に対して、流出量が確認できた日数は70日と、約1/3の日数であった。また、流入水量が確認できた日数は36日で、流出量が確認できた日数の約半分之一となり、平均的な滞留時間は約2日間と推定される。

4.2 休耕田を利用したハス田からの流出負荷削減

試験区からの流出負荷削減効果は、削減率として、流入水濃度と流出水濃度から以下の式(1)により算出した。

$$P = ((C_{in} - C_{out}) / C_{in}) \times 100 \quad (1)$$

P: 削減率 (%)

C_{in}: 流入水濃度 (mgL⁻¹)

C_{out}: 流出水濃度 (mgL⁻¹)

表2 各調査期間中の削減率

	COD	SS	T-N	T-P
調査①	7.3%	37.6%	11.6%	1.8%
調査②	8.8%	31.9%	15.9%	16.8%
調査③	29.9%	67.3%	19.9%	16.4%

※調査②は2カ年の平均

表3 年度ごとのレンコン収量および窒素、リンの持出し量

	レンコン収量 kg/m²	窒素量 g/m²	リン量 g/m²
H19年度	2.0	3.0	1.0
H20年度	1.8	5.3	0.9
H21年度	2.2	6.6	1.1

各調査期間中の削減率は表2のとおりである。

無作付け時に比べてハス作付け時ではリンの削減率が向上した。また作付け密度を2倍にすることによりCOD, SS, T-Nの削減率がさらに向上した。

一方、調査期間中のハスの収量および収穫に伴う窒素・リンの持出し量は表3のとおりである。収量に関しては平成20年度農林水産統計によると県平均値は1.7kg/m²であり、比較しても遜色はなかった。

4.3 ハス田底泥中の窒素・リン濃度の動向

土壌間隙水中のDTNの動向(図8)は、深さ別に大きな差はなく、対照区では5月から9月にかけて濃度が上昇し、以後減少していった。試験区では9月に濃度が高くなったが、それ以外は対照区と比較して低濃度で推移した(図8)。DTP(図9)は0~10cmでは対照区において、5月から9月にかけて上昇し、以後減少したが、10~20cm, 20~30cmでは7月から11月にかけて上昇し、以後減少した。試験区では全体的に対照区より低濃度で推移した(図9)。

土壌中のT-Nの動向(図10)は、対照区では大きな変動はなく、9月と2月(堀取り後)に若干減少した。試験区は0~10cmでは8mg/g-dryで推移して、3月(堀取り後)に減少した。10~20cm, 20~30cmでは減少傾向で推移した(図10)。T-Pでは調査区の方が濃度が低い傾向であった(図11)。

4.4 堀取り時流出濁水の負荷削減効果

(1) 試験区通過による負荷削減効果

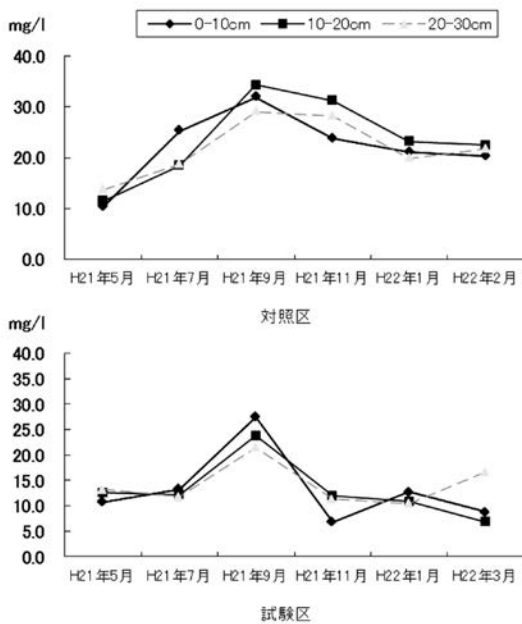


図8 土壌間隙水中のDTNの動向

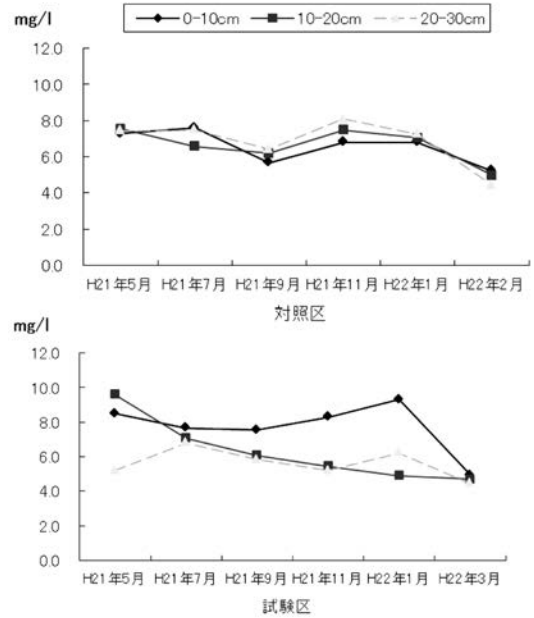


図10 土壌中のT-Nの動向

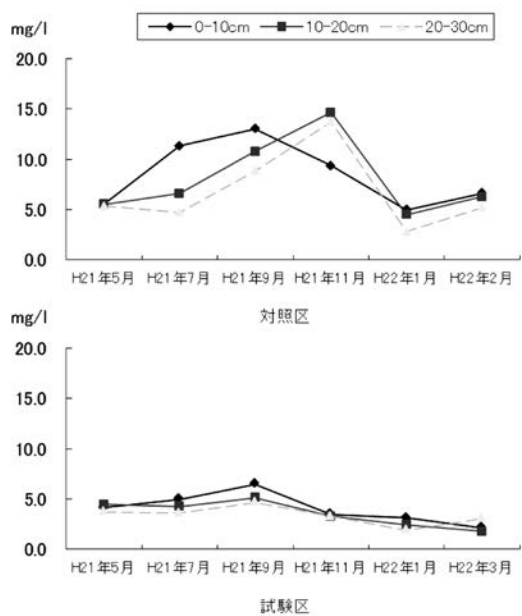


図9 土壌間隙水中のDTPの動向

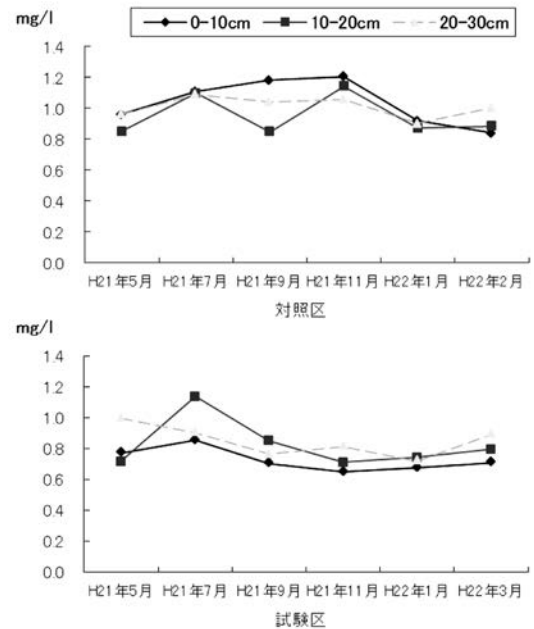


図11 土壌中のT-Pの動向

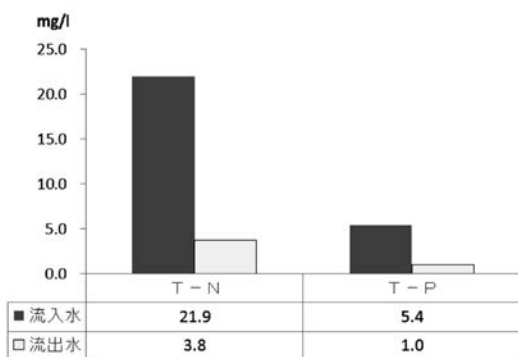
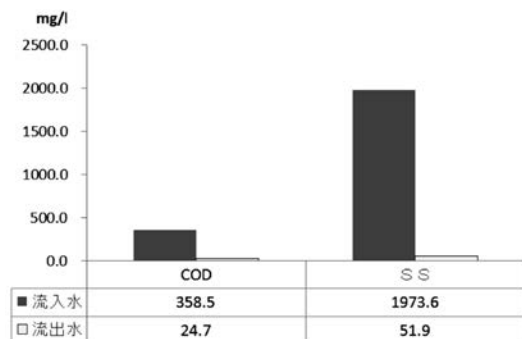


図12 流入水と流出水の平均濃度

表4 掘取り時の調査田通過時の削減率

COD	SS	T-N	T-P
93.1%	97.4%	82.9%	81.0%

対照区で掘取りを行ったときの、試験区への流入水と流出水の平均濃度は図12のとおりであり、試験区を通過させることにより急激に減少した。その削減率は表4のとおりで、COD、SSで90%以上、T-N、T-Pも80%以上を示した。また、窒素、リンの溶存態と懸濁態の平均濃度から割合を比較すると流入水は大部分が懸濁態であり、流出水は大部分が溶存態であった(図13)。

(2) 無施肥による負荷削減効果

対照区と試験区の掘取り時流出水の平均濃度は図14のとおりであり、試験区掘取り時の方が濃度が低くなった。

5. 考 察

5.1 ハス田からの流出水の実態把握

ハス田における年間の作業スケジュールはおおむね表5のとおりである。4月から5月にかけて

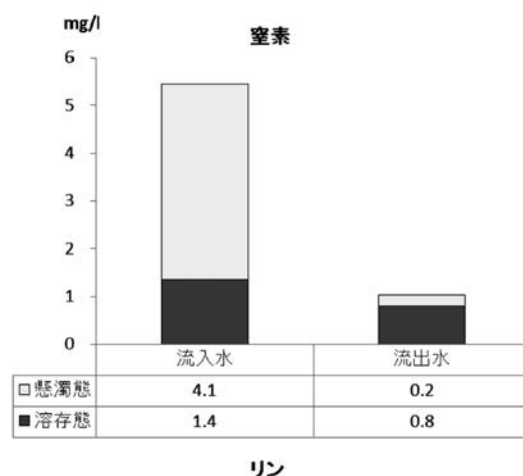
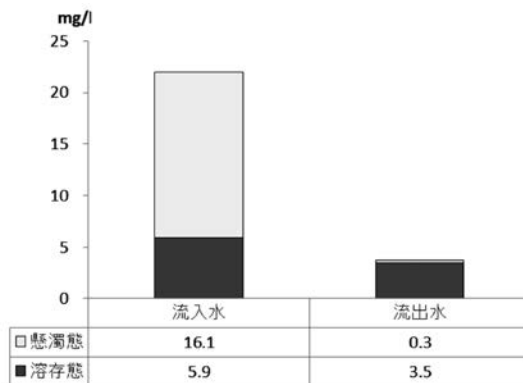


図13 流入水と流出水の窒素・リンの溶存態、懸濁態割合

て元肥施肥と代かきおよび植付けが行われ、6月から8月の間に2回から3回に分けて追肥が行われる。そして10月から2月までが掘取り期間であるが、ピークは12月前後となる。

この作業スケジュールとハス田からの流出水濃度の推移を比較してみると、CODとSSは濃度の高い時期が代かき、掘取り時期と一致している。懸濁態の割合もこの時期に高くなっていることからこれらの作業の影響が大きいと思われる。

一方、T-N、T-Pは4月から濃度が上昇し7月、8月にもっとも濃度が高くなり、その大部分が溶存態であった。そして、収穫時期の濃度上昇は見られなかった。夏季の濃度上昇については、この時期行われる追肥や、夏期には水温の上昇、DOの低下もみられることから、底泥からの溶出

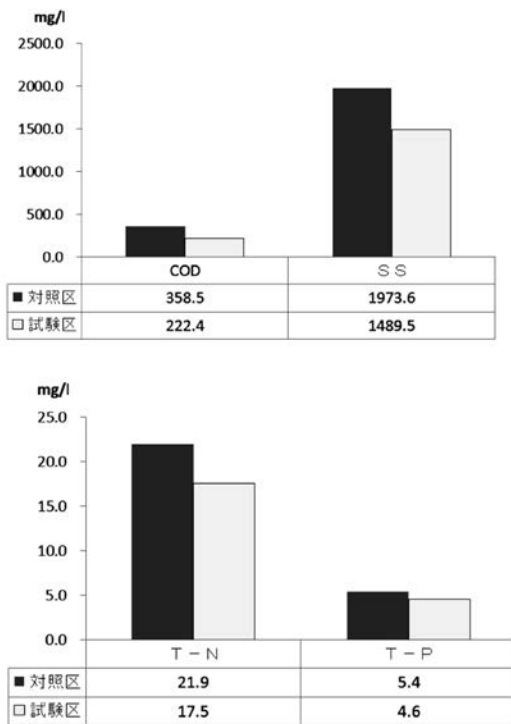


図14 掘取り時の流入、流出平均濃度

表5 ハス田の年間作業スケジュール

4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
← 代かき・元肥・植え付け						← 掘取り					
		← 追肥									



代掻き



堀取

が影響している可能性が考えられる。

5.2 休耕田を利用したハス田からの流出負荷削減

何も作付けを行わない状態の休耕田ではSSの削減効果が認められたが、これは沈殿によるものと思われる。次にハスを作付けした結果は、作付けなしの時に比べてCOD, SS, T-Nは効果に大

きな差はなかったが、リンの除去率が向上した。ハスとはくに地下茎でリンを多く吸収するという報告⁴⁾⁵⁾があり、その効果が現われたものと思われる。ハスの作付け密度を2倍に増やした場合は、COD, SSは除去効果が向上したが、T-N, T-Pは大きな差は見られなかった。CODとSSの除去率の増加は、作付け密度が増えることによって、水の流れが妨げられ、見かけの滞留時間が増加した結果、さらに沈殿したと考えられる。それに対してリンはハスによる吸収が大きいと考えられるが、作付け密度を増やしても、削減効果が向上しなかった理由は、同じ面積内では生体量の増加には限界があったためと思われる。レンコンの収穫量を比較すると、通常の作付けを行った調査②では、平均1.9kg/m²に対して調査③では2.2kg/m²であり、収量の増加はあったが2倍にまではならなかった。

5.3 ハス田底泥中の窒素・リン濃度の動向

土壌間隙水中のDTN, DTPの傾向を見ると、対照区では、流出水と同様の傾向が見られた。夏期の濃度上昇の原因も、ハス田からの流出水と同様、追肥や底泥からの溶出が考えられる。

一方、試験区では、比較的低濃度で推移したが、9月にとくにDTNの濃度上昇がみられた。調査田は追肥を行っておらず、また、9月は約1カ月間、流入・流出水がなく、降雨もない状態で直上水が滞留しており、見かけ上、外部からの負荷の流入・流出はなかった。このことから、土壌間隙水のDTN濃度の上昇は、底泥からの溶出が起こったと考えられる。

土壌中のT-N, T-P濃度については土壌に含まれる濃度が元々高いため流入水の影響は小さく、効果を明確にはできなかった。

5.4 掘取り時流出濁水の負荷削減効果

対照区の掘取り水の負荷削減効果は80%以上と高い効果があった。これは掘取り時の流出水が主に懸濁態であり、ハス田における沈殿効果による浄化効果が現われたと考えられる。また、施肥を行わないことにより掘取り時の流出水濃度が低下したと考えられる。

6. ま と め

今回は、ハス田からの流出水の実態を把握する

ための流出水濃度の動向調査と、休耕田を利用したハス田からの流出負荷削減方法を検証した。

ハス田からの流出水はCOD、SSは春期と冬期に濃度が高くなり、とくに懸濁態の割合が高くなった。これは代かき、堀取りなどの農作業が影響している。T-NとT-Pは春から夏にかけて濃度が上昇した。これは、追肥による影響が大きいと思われるが、一部は底泥からの溶出の可能性が示唆された。

ハス田流出水の負荷削減については、堤脚水路への流出直前にハス田を通過させることによって負荷削減効果が確認された。とくに堀取り時の濁水中の負荷削減効果が高かった。また、無施肥による効果は、底泥からの溶出量の削減、堀取り時の負荷削減効果が期待できた。

これまでハス田からの負荷削減対策として節水や減肥と行った方法が報告⁶⁾されているが、田越

し灌漑のように区画が整理されていない流域では水量や施肥を区画ごとにコントロールすることは難しく、そのような流域では水路に隣接したハス田を負荷削減に利用する今回の方法は有効であると思われる。

— 参考文献 —

- 1) 農林水産省統計情報，作況調査(野菜)平成21年度産秋冬野菜等の作付け面積，出荷量
- 2) 農林水産省統計情報，作況調査(野菜)平成18年市町村別データ
- 3) 茨城県；第5期の霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画策定関係資料集 第二部5-1
- 4) 小松鋭太郎ら；食用ハスの生育経過と養分吸収，茨城園試研報第9号1981
- 5) 木内浩一；手賀沼におけるハスの分布と土壌中の植物利用可能リン，千葉県環境研究センター年報(H14)，1997
- 6) 折本ら；被服肥料および節水管理によるレンコン田からの窒素負荷低減技術、平成14年度 関東東海北陸農業研究成果情報，2002