

【資 料】

児島湖における水質汚濁メカニズムの解明

- 岡山市北区一宮の水田における汚濁負荷量調査 -

Elucidation of water pollution mechanism in Lake Kojima
- Estimation of Pollution Load from a Paddy field of Ichinomiya,
Kita-ward, Okayama-city -

藤田和男, 中野拓也, 金子英史, 山本 淳 (水質科)

Kazuo Fujita, Takuya Nakano, Hidefumi Kaneko, Jun Yamamoto (Water Section)

要 旨

岡山市北区一宮の水田 (面積0.08ha) から流出する汚濁負荷量を調査した。用水のCODは平均10mg/L, 排水のCODは平均18mg/Lであった。T-Nは用水が平均1.9mg/L, 排水が平均1.5mg/Lであった。T-Pは用水が平均0.56mg/L, 排水が平均0.71mg/Lであった。差引き負荷量はCODが154kg/ha/year, T-Nが10kg/ha/year, T-Pが4.0kg/ha/yearであった。

[キーワード : COD, 窒素, リン, 水田, 汚濁負荷量]

[Key words : COD, Nitrogen, Phosphorus, Paddy field, Pollution load]

1 はじめに

児島湖の水質汚濁については、湖沼水質保全計画等に基づき過去 25 年間にわたり様々な水質保全施策を実施してきたが、いまだに環境基準は達成されていないため、更なる水質改善が課題となっている。

本県では、平成 24 年 3 月に「児島湖に係る第 6 期水質保全計画」を策定し、その中で水質汚濁メカニズムの解明に向けた様々な調査を推進することとしており、その一つとして水田からの汚濁負荷量について推計することとした。

平成 19 年度から 27 年度まで、児島湖流域の西・北七区 (岡山市南区) の水田群 (990ha)¹⁾、都六区 (岡山市南区藤田) の水田群 (300ha)²⁾ 及び 玉野市八浜町波知の水田 (0.10ha)²⁾ で汚濁負荷量の流出状況を調査してきた。より多くの水田からの汚濁負荷量を検討するため、新たに児島湖流域の 岡山市北区一宮の一筆水田 (0.08ha) で調査を行い基礎資料を得たので報告する。

2 調査対象および方法

2.1 調査地点

岡山市北区一宮の水田で作付け期間の 2015 年 6 月 6 日 ~ 9 月 30 日に調査を行った (図 1)。用水は主にため池から隣接する用排水路を通じて供給される。その後用排水路に排出され、笹ヶ瀬川の支流に流出する。用排水路の水位は地元の管理組合により調節され、用排水路の水位が当該水田の給水口 (排水口としても使用) の水口より高くなっ

たとき自然流入により用水が取水され、用排水路の水位が水口より低くなった時に排水される方式で水田の用排水が行われていた。採水は平成 27 年 6 月 12 日から 9 月 21 日まで合計 31 回行い、取水時に水口から流入する水を用水、排水時に水口から流出する水を表面排水 (以下、排水という) として採水した。水位計 (大起理化工業製 DIK-611A-A1) により水深及び水温を連続測定した。用水及び排水採水時の実水位の変動を図 2 に示す。流入水は用水と降水、流出水は排水、地下浸透水及び蒸発散とし、水量に関する各項目の関係^{3) - 5)} は以下で表される。

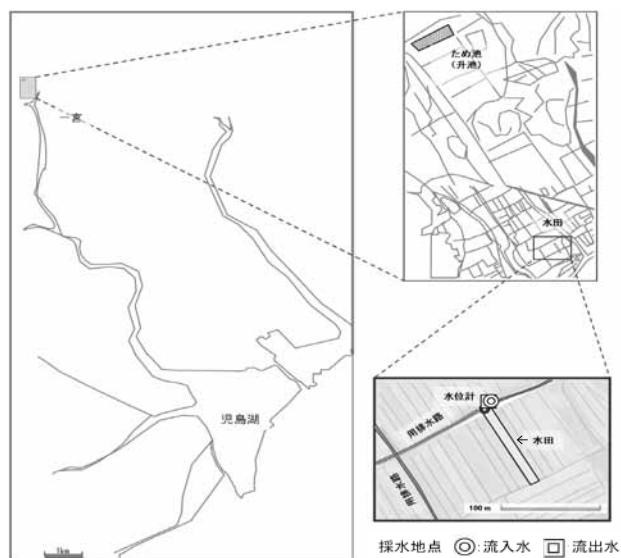


図1 調査地点

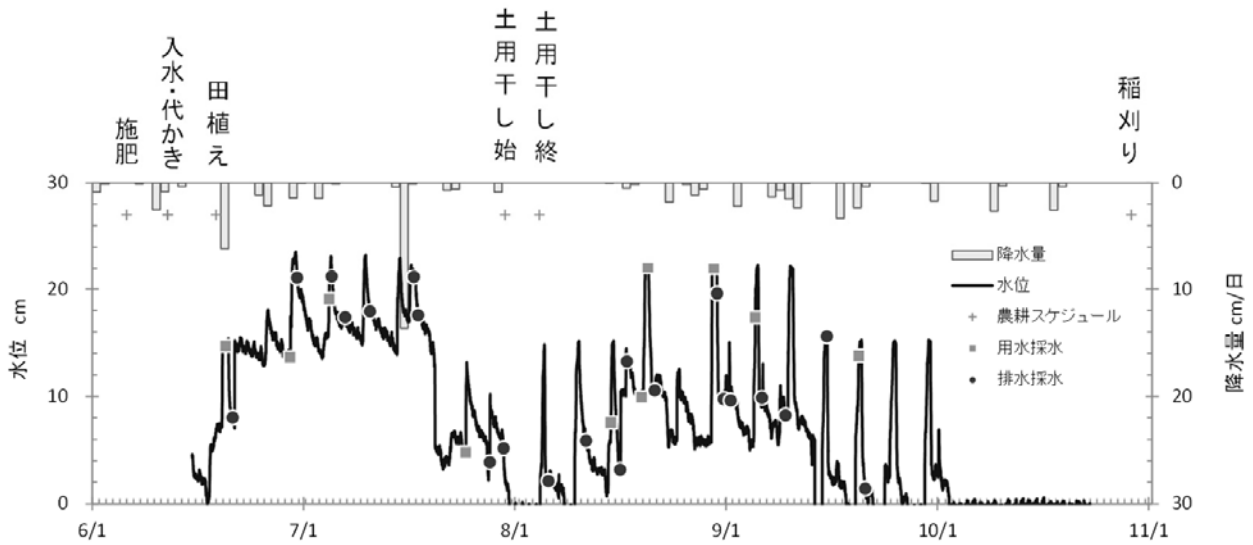


図2 水位、降水量及び農耕スケジュール

流入水量 = 用水量 + 降水量

流出水量 = 排水量 + 地下浸透量 + 蒸発散量

降水量及び水温は当該水田の南東 4.3kmの位置にあるアメダス岡山観測所の測定値 蒸発散量は以下のHamon式^{6),7)}により求めた。

$$Ep = 0.14 \times (Do / 12)^2 \cdot qt$$

$$qt = 5.047 \cdot e^{0.0606 \cdot \text{Temp}}$$

ただし Ep : 蒸発散量 (mm/day), Do : 岡山市北区一宮での可照時間 (h)⁷⁾, Temp : 気温 () である。

流出水量のうち蒸発散量を除く量(排水量 + 地下浸透量)は水位計の減水深から算定した。用水量は流出水量から降水量を減じて算定^{3),8)}した。

2.2 水質測定

水質について、全窒素(以下「T-N」という。)は全窒素計(アナテック・ヤナコ製 TN-308P)による熱分解法⁹⁾, COD, 全リン(以下「T-P」という。)はJIS K0102⁹⁾に準じて測定した。溶存態窒素(以下「D-N」という。)及び

溶存態リン(以下「D-P」という。)はフィルター(アドバンテック東洋 DISMIC-25CS)でろ過したる液を測定した。T-N から D-N を差し引いた値を懸濁態窒素(以下「P-N」という。)とした。懸濁態リン(以下「P-P」という。)についても P-N と同様に T-P と D-P との差から求めた。地下浸透水の濃度は本調査では測定していないが、文献^{3),8)}での計算方法と同じく排水濃度と等しいと仮定した。降水の濃度は平成 24 年度の調査結果²⁾を月毎に平均し用いた。負荷量について、水質と水量を掛けて負荷量を求め、以下の定義^{3),10)}により表記した。

正味の排出負荷量 = 排出負荷量 + 浸透負荷量 - 用水負荷量

差引き負荷量 = 排出負荷量 + 浸透負荷量 - 用水負荷量 - 降水負荷量

3 結果および考察

3.1 水量及び水質

当該水田での施肥はL字型肥料(成分: N 20%, P₂O₅ 10%, K₂O 10%)を用い、施肥量は0.08haあたり32kg(N

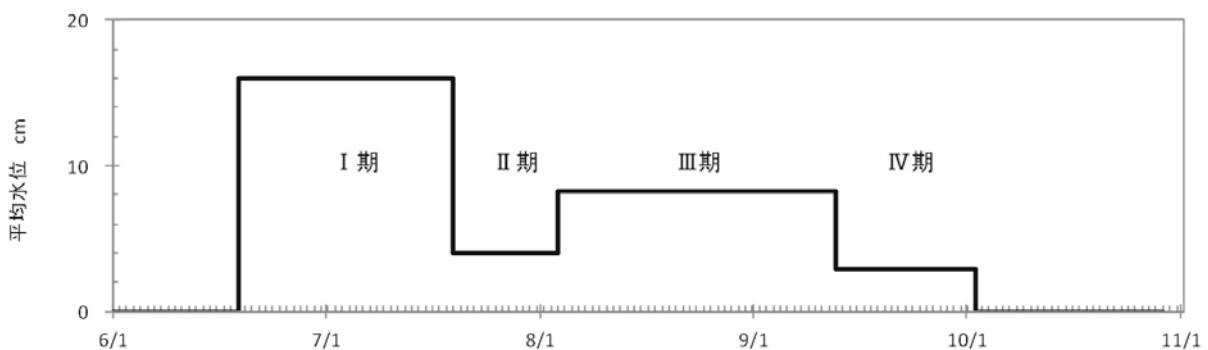


図3 水位

80kg /ha, P₂O₅ 40kg /ha, K₂O 40kg /ha) であり, 入水前の6月6日に1回施肥を行い, 追肥は行っていない。農作業イベントと水位変化の関係は図2に示すとおりである。一般的な水稲栽培のスケジュール(栽培暦)^{6),11),12)}では田植え後に間断かんがいにより水管理が行われ, 夏期に土用干しを1~2週間行い, 間断かんがいを約2ヶ月行い, 落水した後, 収穫する。今回対象とした水田では田植え後から土用干し前の32日間(6月19日~7月20日)は間断かんがいにより水位が高い状態が維持され, この期間の平均水位は16cmであった。土用干し期間の15日間(7月21日~8月4日)は水位が低い状態であり, 平均水位は4cmであった。土用干し後の40日間(8月5日~9月13日)は水位がやや高い状態(平均水位8cm)で維持, 続く20日間(9月14日~10月3日)は水位が低い状態(平均水位3cm)であった。落水(10月3日)から稲刈り(10月30日)までは水の無い状態であった。栽培暦と水位の変化のモデルは図3に示すとおりである。土用干し前の水位の高い時期を 期, 土用干し前後の水位の低い時期を 期, 土用干し後の水位のやや高い時期を 期, 稲刈り前の水位の低い時期を 期としている。また流入水と流出水の月毎の水量変動を図4に示す。

用水及び排水の水質を図5に示す。図中に農耕スケジュールを併記する。CODはほぼ全ての期間で排水が用水より高い値であった。用水のCODは平均10mg/L, 排水のCODは平均18mg/Lであり, 水田を流入水が通過す

るときのCODの変化は平均8mg/Lの増加であった。特に 期で排水のCODは平均29mg/Lと高く, 同時期の用水の平均12mg/Lの2.4倍の値であった。

T-Nはほぼ全ての期間で排水が用水より低い値であった。またT-Nの大部分(用水では87%, 排水では88%)がD-Nであり, D-Nもまたほぼ全ての期間で排水が用水より低い値であった。用水のT-Nは平均1.9mg/L, 排水のT-Nは平均1.5mg/Lであり, 水田を流入水が通過するときのT-Nは平均0.4mg/Lの減少であった。懸濁態及び溶存態でみると, 水田を流入水が通過するときのP-Nの変化は平均0.1mg/Lの増加, D-Nの変化は平均0.5mg/Lの減少であった。

T-PはCODと同様にほぼ全ての期間で排水が用水より高い値であった。P-Pは用水では42%, 排水では31%で, P-Nの割合(用水では13%, 排水では12%)と比較して大きかった。用水のT-Pは平均0.56mg/L, 排水のT-Pは平均0.71mg/Lであり, 水田を流入水が通過するときのT-Pは平均0.15mg/Lの増加であった。懸濁態及び溶存態でみると, 水田を流入水が通過するときのP-Pの変化は平均0.01mg/Lの減少, D-Pの変化は平均0.17mg/Lの増加であった。特に 期で用水のT-Pは平均0.58mg/Lであったのに対し排水のT-Pは平均0.98mg/Lと高い値であった。

3.2 負荷量

月毎の用水, 流出水及び差引き負荷量を図6に示す。また調査期間を ~ 期に分けた時の負荷量の変遷を図7に

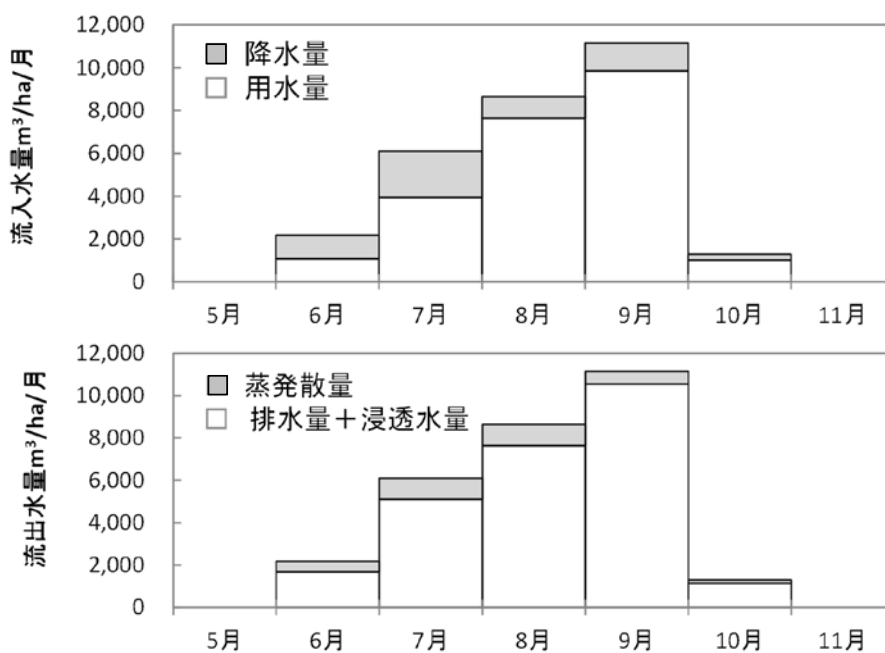


図4 月毎の水量(流入, 流出)変動

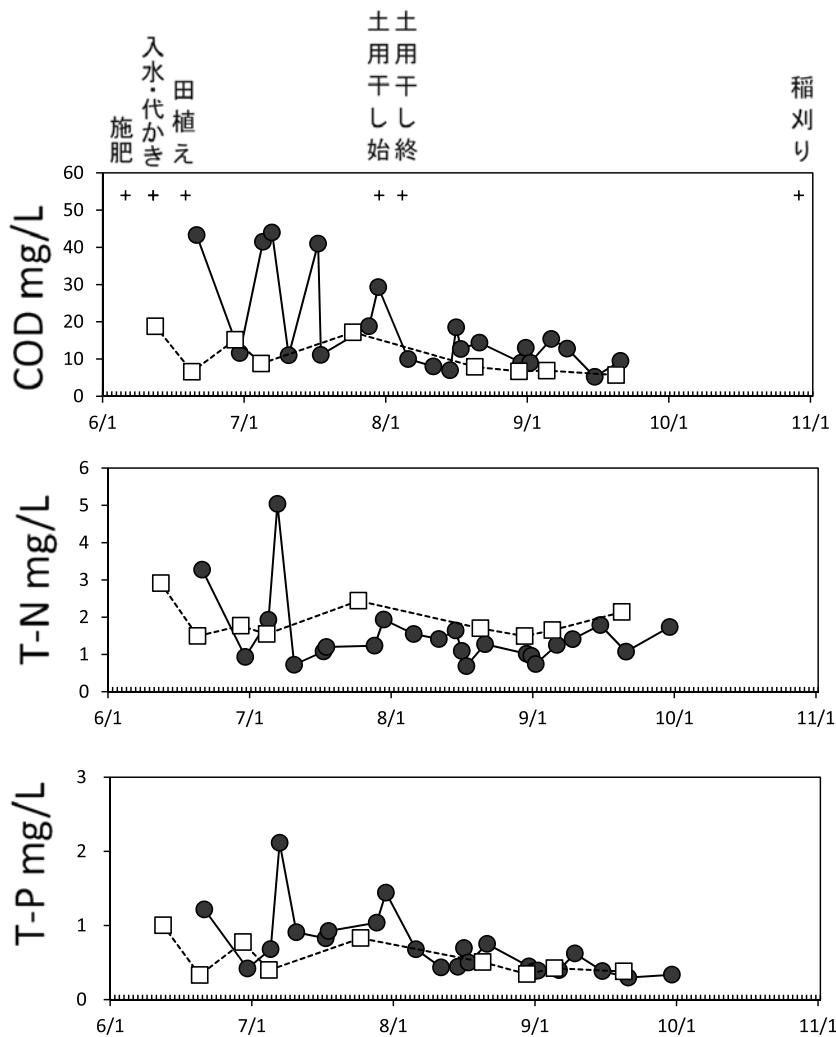


図5 水質の経時変化

—●— 排水 --□-- 用水

示す。用水のCOD負荷量は213kg /ha/year，流出水のCOD負荷量は378kg /ha/yearであり，降水の負荷10kg /ha/yearも考慮した差引き負荷量は155kg /ha/yearであった。水田を流入水が通過するときにCOD負荷量が平均69%増加したと考えられた。水位の変遷パターンと比較すると 期（入水から土用干しまでの間断かんがい期）で差引き負荷量が最も大きかった。

用水のT-N負荷量は46kg /ha/year，流出水のT-N負荷量は39kg /ha/yearであった。降水の負荷3kg /ha/yearも考慮した差引き負荷量は-10kg /ha/yearで負の値であり，水田を流入水が通過するときにT-N負荷量が平均21%減少したと考えられた。T-N負荷量がマイナスの値になる事例は文献等^{4),5),8)}でもみられる。T-N負荷量の収支をP-NとD-Nの成分毎に分けてみると，用水のD-N負荷量の割合は87%，流出水のD-N負荷量の割合は88%で両者の比率はほぼ等しく，全期間において用水及び流出水の窒素の8

割から9割は溶存態と考えられた。用水のD-N負荷量は40kg /ha/year，流出水のD-N負荷量は34kg /ha/yearであり，降水の負荷（3kg /ha/yearとする）も考慮した差引き負荷量は-9.1kg /ha/yearであった。水田を流入水が通過するときにD-N負荷量が平均21%減少したと考えられた。また用水のP-N負荷量は5.8kg /ha/year，流出水のP-N負荷量は4.8kg /ha/year，差引き負荷量は-1.0kg /ha/yearであり，水田を流入水が通過するときにP-N負荷量が平均17%減少したと考えられた。T-Nの差引き-10kg /ha/yearの大部分（91%）がD-Nの減少によるものであった。亀和田ら¹³⁾は9種類の水田および畑土壌で稲ポット栽培試験を行い脱窒速度が20～60kg /ha/yearと推計しているが，本調査水田においても脱窒による可能性が考えられる。

用水のT-P負荷量は12kg /ha/year，流出水のT-P負荷量は16kg /ha/yearであり，これに降水の負荷0.2kg /ha/yearも考慮した差引き負荷量は4.0kg /ha/yearであった。

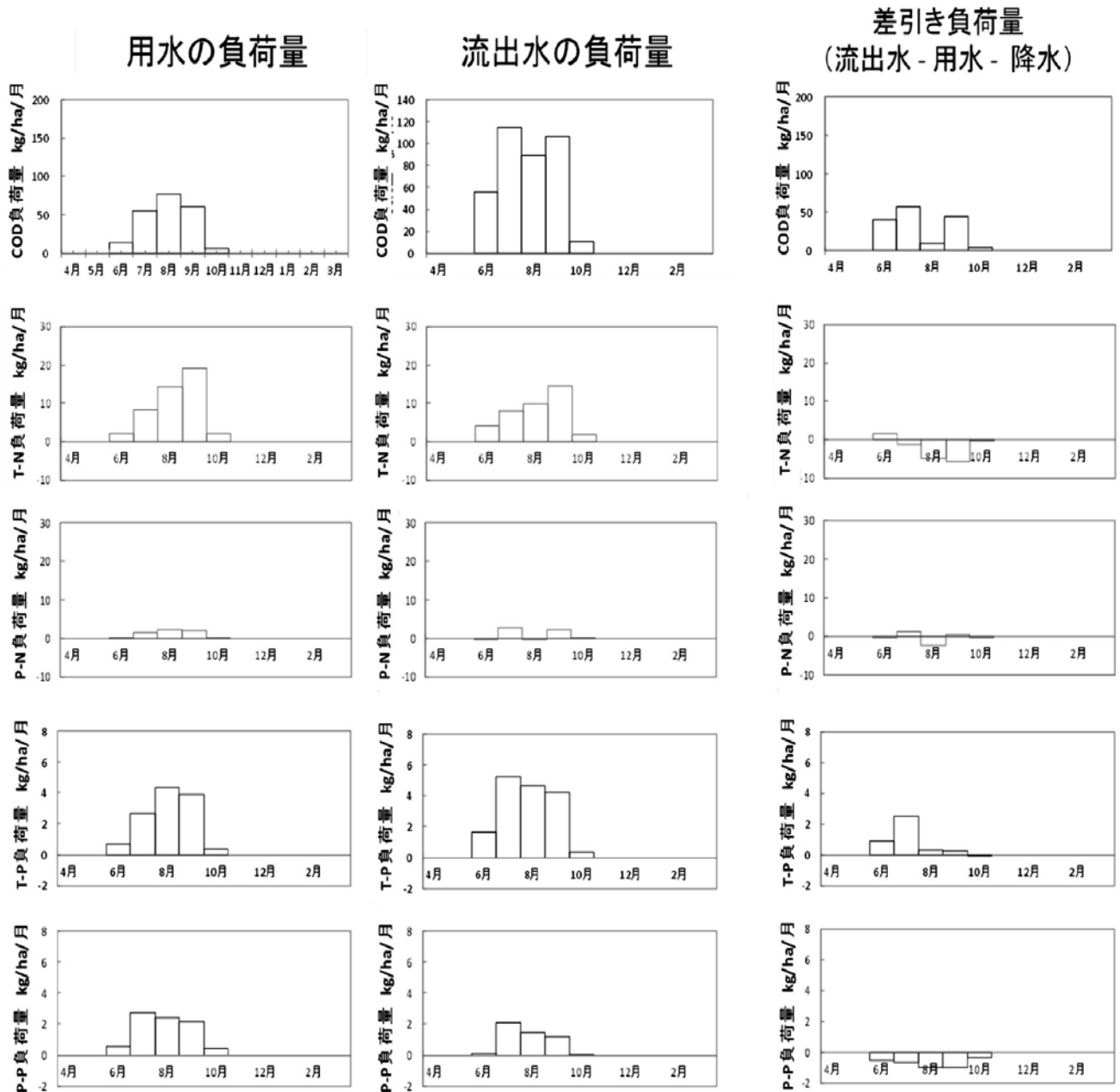


図6 負荷量 (月毎)

水田を流入水が通過するときに T-P 負荷量が平均 33% 増加したと考えられた。T-P 負荷量の収支を P-P と D-P の成分毎に分けてみると、用水の P-P 負荷量の割合は 69%、流出水の P-P 負荷量の割合は 30% で、水田を流入水が通過するときに P-P 負荷量が減少し、D-P 負荷量が増加すると考えられた。用水の P-P 負荷量は 8.3kg /ha/year、流出水の P-P 負荷量は 4.9kg /ha/year であり、差引き負荷量は -3.4kg /ha/year で、水田を流入水が通過するときに P-P 負荷量が平均 41% 減少すると考えられた。また用水の D-P 負荷量は 3.7kg /ha/year、流出水の D-P 負荷量は 11kg /ha/year であり、降水の負荷 (0.2kg /ha/year とする) も

考慮した差引き負荷量は 7.4kg /ha/year で、水田を流入水が通過するときに D-P 負荷量が増加すると考えられた。これらのことから水田のリン収支は、用水中の P-P (8.3kg /ha/year) の 4 割 (41%) に相当する量が水田に蓄積される一方で、水田から 7.4kg /ha/year の D-P が流出すると考えられ、懸濁物の沈降と、泥や肥料からの溶存態成分の溶出によるものと思われた。今回の調査は水田の作付け期間に限定した負荷量であり、より精度の高い負荷量の調査を行うには年間を通じての調査や継続したデータの集積が必要であり、また地下浸透水の測定や評価が今後の課題と考えられる。

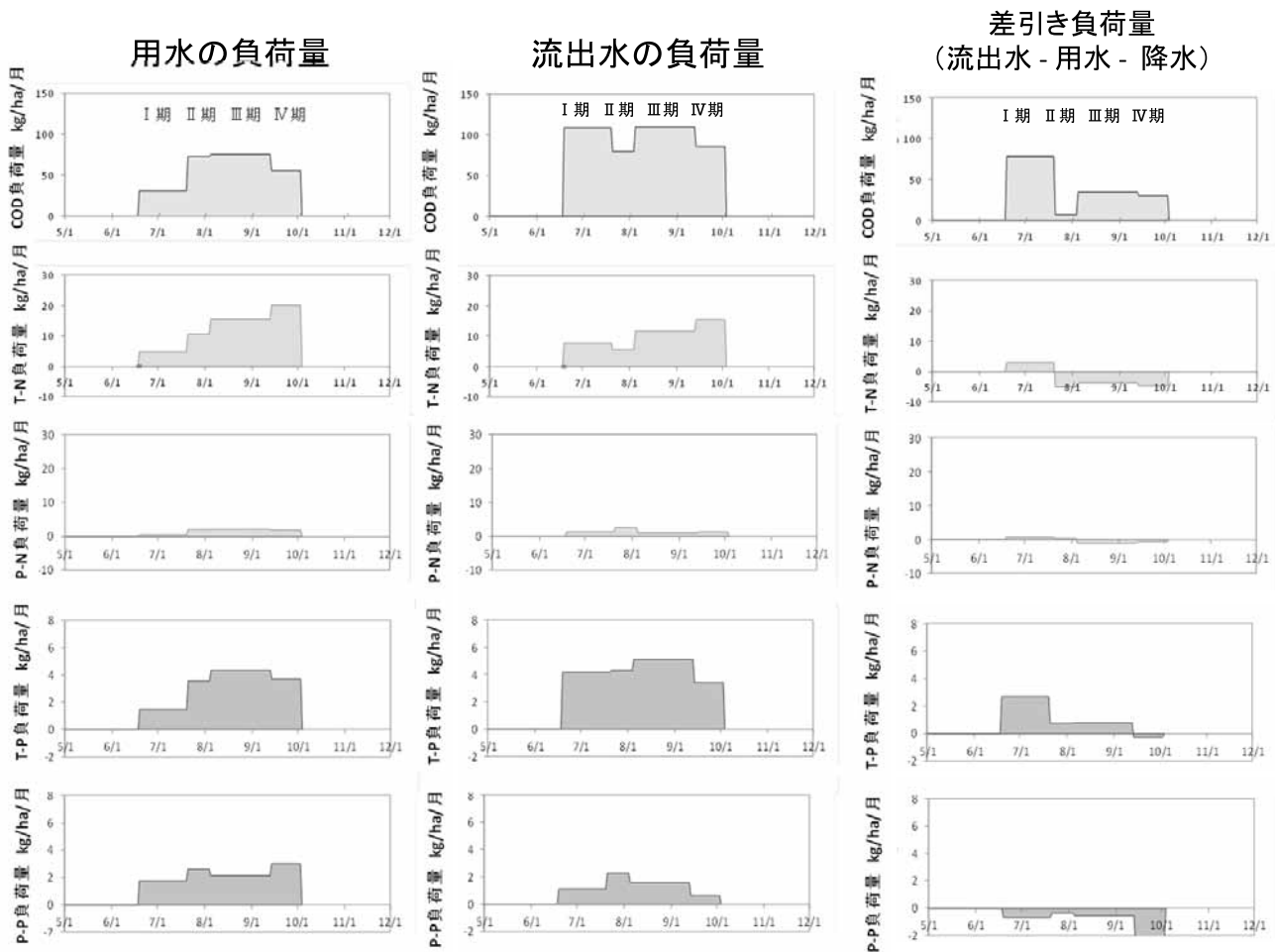


図7 負荷量

4期（I期：田植え～土用干し前の間断かんがい，II期：土用干し前後，III期：土用干し後の間断灌漑，IV期：稲刈り前）に分けて表示。

4 まとめ

岡山市北区一宮の一筆の水田から流出する汚濁負荷量の調査を行った。

水質は、CODは用水が平均10mg/L、排水が平均18mg/Lで平均7.6mg/Lの増加であった。T-Nは、用水が平均1.9mg/L、排水が平均1.5mg/Lで平均0.4mg/Lの減少であった。T-Pは、用水が平均0.56mg/L、排水が平均0.71mg/Lで平均0.15mg/Lの増加であった。

差引き負荷量はCODが154kg/ha/year、T-Nが-10kg/ha/year、T-Pが4.0kg/ha/yearであった。

文 献

- 1) 藤田和男, 難波あゆみ, 河野裕明, 山本淳: 七区における汚濁負荷量調査, 岡山県環境保健センター年報, 37, 41-50, 2013
- 2) 藤田和男, 中野拓也, 金子英史, 山本淳: 児島湖における汚濁メカニズムの解明 - 都六区の水田群及び八浜町波知の水田における汚濁負荷量調査 -, 岡山県環境

保健センター年報, 39, 75-80, 2015

- 3) 大久保卓也, 佐藤祐一, 東善広: 灌漑期における降雨時を含めた水田群からの排出汚濁負荷量, 水環境学会誌, 37(6), 229-237, 2014
- 4) 中国四国農政局農村計画部資源課: 湖沼流域水環境保全手法確立調査(笹ヶ瀬川流域・児島湖直接流域地区)平成18年度調査結果報告書, 2007
- 5) 中国四国農政局農村計画部資源課: 湖沼流域水環境保全手法確立調査(笹ヶ瀬川流域地区・児島湖直接流域地区)平成19年度調査計画と実施状況, 2008
- 6) 岡山県: 平成27年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書, 2016
- 7) 土木学会: 水理公式集例題集, 37-38, 丸善, 東京, 1976
- 8) 大久保卓也, 佐藤祐一, 東善広: 栄養塩濃度の高い用水を反復利用する水田群での窒素・リンの動態, 水環境学会誌, 37(5), 177-187, 2014
- 9) 島弘志編: 工場排水試験法 JIS-K0102: 2013, 日本規

格協会，東京，2010

- 10) 武田育郎：よくわかる水環境と水質，161，オーム社，東京，2010
- 11) 国松孝男，村岡浩爾編：河川汚濁のモデル解析，64，技報堂出版，東京，1989
- 12) JA 全農岡山県本部：JA 岡山米栽培ごよみ，2011
- 13) 亀和田國彦：各種土壌の水田条件下での脱窒能力，栃木県農試研報，63，27-34，2008