

児島湖における水質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—

藤田和男, 中野拓也, 金子英史, 山本 淳

【調査研究】

児島湖における水質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—

Elucidation of water pollution mechanism in Lake Kojima

—Estimation of Pollution Load from Paddy fields of Miyakorokku and a Paddy field of Hachi, Hachihama—

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

水田群(都六区:岡山市南区藤田)及び一筆の水田(玉野市八浜町波知)から流出する汚濁負荷量を調査した。負荷量は夏期に高く冬期に低い傾向があった。都六区の水田群の負荷量はCODが220 kg/ha/年, T-Nが14 kg/ha/年, T-Pが14 kg/ha/年であった。他の水田群の調査事例と比較してCOD及びT-P負荷量が大きく, 主な要因は流出水量が大きいことと考えられた。またT-N負荷量が比較的小さく, その主な要因は流出水と流入水の濃度差が小さいことと考えられた。八浜町波知の水田の負荷量はCODが20 kg/ha/年, T-Nが1.7 kg/ha/年, T-Pが1.2 g/ha/年であった。他の一筆の水田での調査事例と比較してT-N負荷量及びT-P負荷量が小さく, その主な要因は水量が小さいことと考えられた。

[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, 依然として水質汚濁が問題となっている児島湖の環境基準の達成に向けて, 水質汚濁メカニズムの解明が必要となっている。

平成19年から現在まで, 岡山市南区西・北七区で, 主に流出水対策を目的として, 農地からの負荷量の流出状況を調査しているが, 複数の地点での調査が望ましいため, 児島湖流域の都六区(岡山市南区藤田)の水田群(300 ha)及び玉野市八浜町波知の水田(0.10ha)で調査を行い基礎資料を得た。玉野市八浜の水田は上部ため池からの取水を行うことから, 間断灌漑を行う西・北七区や都六区の水田群よりも排水量が少ない傾向であった。

2 材料および方法

都六区の水田群及び八浜町波知の水田で調査を行った(図1)。都六区(面積440ha, うち水田300ha)では3地点で平成25年4月から平成26年3月まで, 灌漑期に11回(6月は月3回, 7~10月は月2回)非灌漑期に7回(4~5月及び11~3月に月1回), 合計18回, 現地測定及び採水を行った。採水時に現地で水温, 水深を測定し, 排水の流量を妹尾川排水機場前の遊水池で流量計(ワイエスアイ・ナノテック製 SonTek-IQ 超音波流量計)により測定した。また室内でpH, COD, T-N, T-P, ECを測定した。水量について, 降水量は文献値¹⁾, 蒸発散量は以下の式¹⁾で求めた。

$$E_p(\text{蒸発散量})(\text{mm}/\text{H})=0.14 \times (\text{可照時間}/12)^2 \cdot q_t$$

ただし $q_t=5.047 \cdot e^{0.0606 \cdot \text{Temp}}$

八浜町波知では水田内(面積1,030m²)及び用水を取水している上流のため池(砂山池)で平成26年4月から平成27年3月まで, 灌漑期に8回(6月及び10月は月1回, 7~9月は月2回)非灌漑期(4月)に1回, 合計9回, また降水時に6回(7月に2回, 8月に3回, 9月に1回)

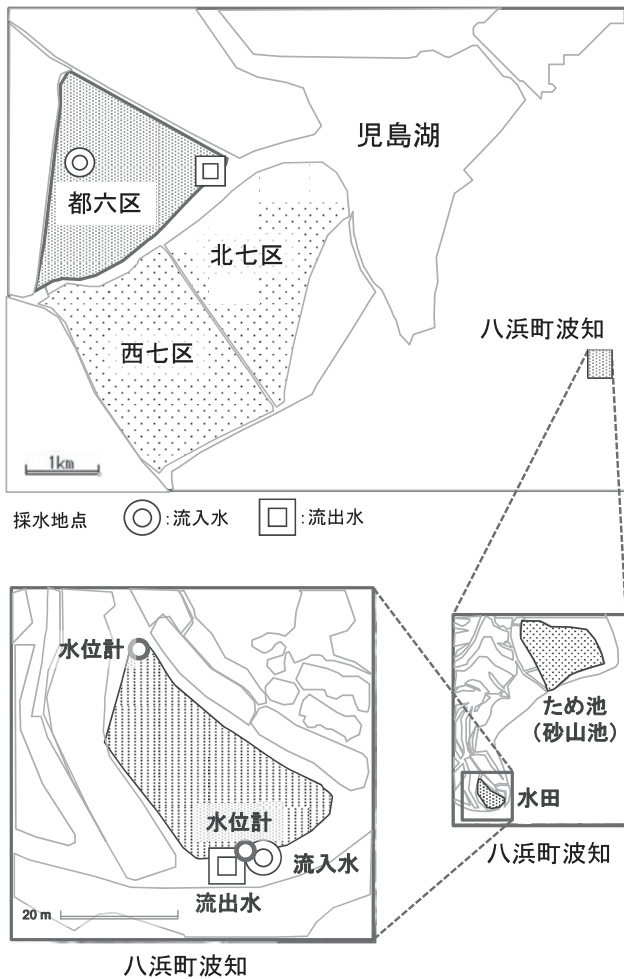
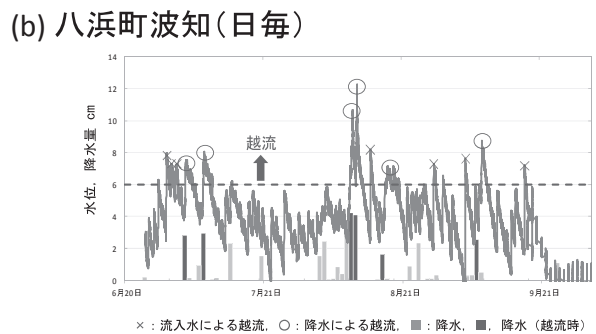
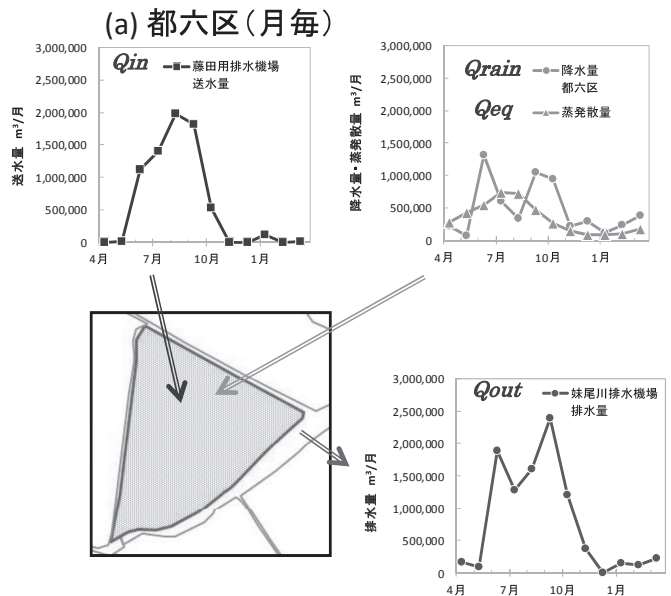


図1 調査地点



(c) 八浜町波知(月毎)

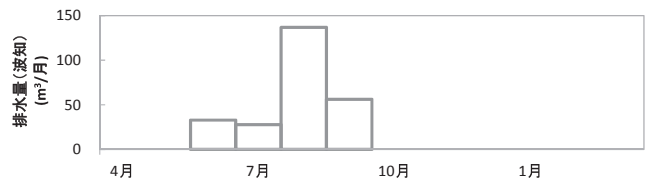


図2 水量(都六区及び八浜町波知)

現地測定及び採水を行った。採水時に現地で水温及び水田内の水深を測定し、室内でpH, COD, T-N及びT-Pを測定した。また水田の2地点で水位計(大起理化学製 DIK-611A-A1)により水深を連続測定した。別途降雨を環境保健センター屋上で本年度29回(7月~1月)採水し、水質(COD, T-N及びT-P)を測定した。

水質について、pHはpH計(堀場製作所製 F-51), ECはEC計(横河電機製 IWC-5), 全窒素(T-N)は全窒素計(アナテック・ヤナコ製 TN-308P), COD, 全リン(T-P)は工場排水試験法 K0102²⁾に準じて測定した。

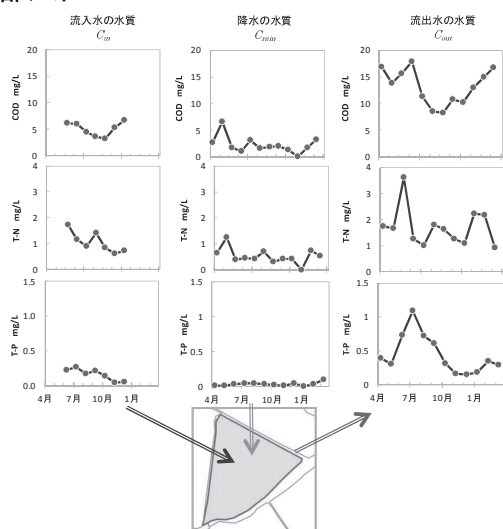
3 結果および考察

3.1 都六区の水量, 水質および負荷量

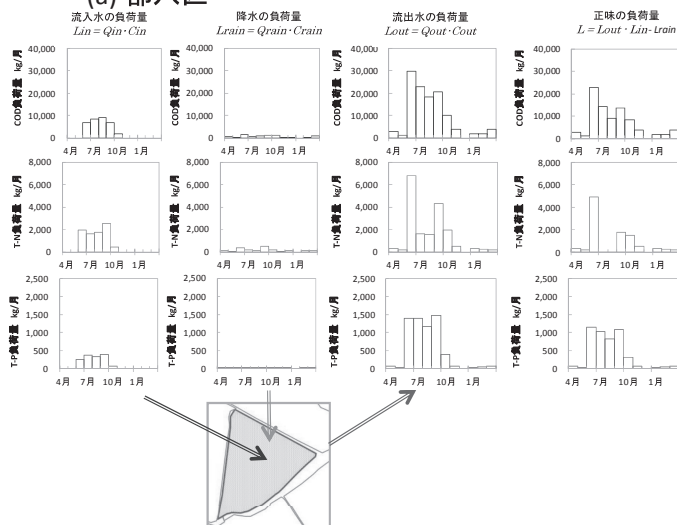
各水量の月毎の経時変化を図2aに示す。都六区の水収支の計算に必要な排水量, 用水量, 降水量及び蒸発散量について, Q_{out} : 妹尾川排水機場(機場稼働時間), (2) Q_{in} : 藤田用排水機場(機場送水量), Q_{rain} : 降水量(樋門降水量), Q_{ep} : 蒸発散量(気温及び日照時間からの計算値)を示す。

妹尾川排水機場からの排水量(Q_{out})は流速計による測定値及び排水機場の聞き取り調査から $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。降水量(Q_{rain})は水田(300ha)を含む都六区の区域440haへの降水量とした。藤田用排水機場からの流入水量(Q_{in})

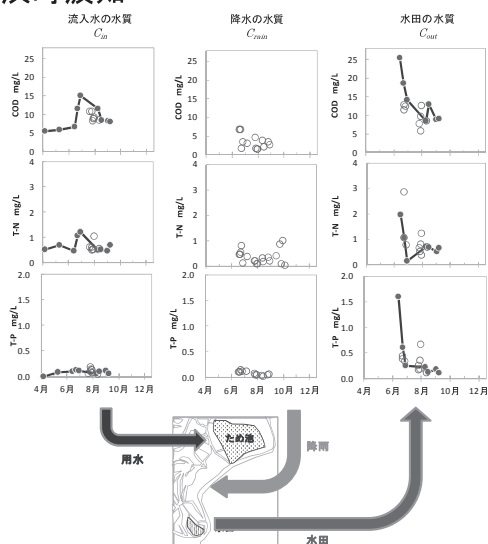
(a) 都六区



(a) 都六区



(b) 八浜町波知



(b) 八浜町波知

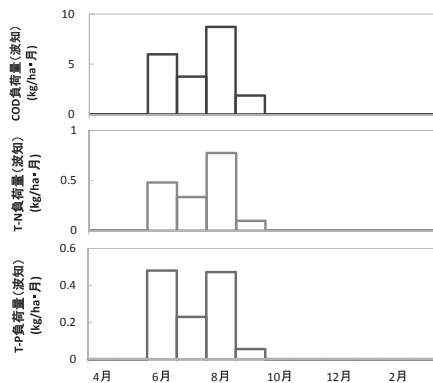


図3 水質

—●—: 平水時, ○: 降水時

図4 負荷量

は排水量，降水量及び蒸発散量から $Q_{out} = (Q_{rain} - Q_{ep})$ で計算した。

流入水(自動給水栓)及び流出水(妹尾川排水機場)の水質(COD, T-N及びT-P)を図3aに示す。流出水の値は流入水や降水の値に比べて高かった。次に水質及び水量から負荷量を計算した(図4a)。水田以外の区域(140ha)からの負荷量について，生活排水は処理方法(下水道，合併処理浄化槽，単独処理浄化槽，くみ取り)毎の人口，土地利用方法(水田，畑，市街地)毎の面積及び工場・事業場の数量と各原単位から計算した。

水質について，流入水(自動給水栓からの用水)，流出水(妹尾川排水機場)及び降水の水質(COD, T-N及び

T-P)を図3aに示す。流出水の値は流入水や降水の値に比べて高かった。負荷量を水質と水量から試算した結果(図4a)，CODが220 kg/ha/年，T-Nが14 kg/ha/年，T-Pが14 kg/ha/年であった(表1)。

今回の結果と文献値の14事例(一筆での調査7事例，水田群での調査7事例)を表1に記載した。またこれらの岡山県の事例と今回の結果について，流出水量と負荷量の関係をプロットし，直線近似線及び近似線からのばらつき(残差の $\pm 1\sigma$)を示した(図5)。流出水量の増加に伴い各負荷量が増加する傾向が見られた。近似線に対する縦軸方向の各負荷量のばらつき(残差の $\pm 1\sigma$)の範囲はCOD負荷量では ± 80 kg/ha/年，T-N負荷量では

表1 各地点の水量及び負荷量

	調査年度	調査地点	調査水田の形態	水田面積 ha	流出水量 m ³ /ha/年	濃度差 流出水(表流水) - 流入水(用水、降水)			負荷量		
						COD mg/L	T-N mg/L	T-P mg/L	COD kg/ha/年	T-N kg/ha/年	T-P kg/ha/年
都六区(H25)		岡山県岡山市	水田群	300	27,300	10	0.9	0.33	220	14	14
八浜町波知(H26)		岡山県玉野市	単一水田(1筆)	0.10	2,460	9.5	0.8	0.52	20	1.7	1.2
参考											
文献 1(1) ³⁾	平成15年度	香川県綾歌郡	単一水田(1筆)	0.12	9,510	9.9	1.2	0.38	77	6.6	3.2
文献 1(2) ³⁾	平成15年度	香川県綾歌郡	単一水田(1筆)	0.16	8,210	13	0.7	0.40	95	1.6	3.1
文献 2(1) ⁴⁾	平成19年度	岡山県総社市	単一水田(1筆)	0.24	3,300	-	0.8	1.82	-	-1.2	3.4
文献 3(1) ⁵⁾	平成18年度	岡山県総社市	単一水田(1筆)	0.25	14,090	-	2.2	1.93	-	9.4	13
文献 4 ⁶⁾	平成6~7年度	滋賀県守山市	単一水田(1筆)	0.29	6,663	-	1.5	0.20	-	5.6	1.0
文献 2(2) ⁴⁾	平成19年度	岡山県岡山市	単一水田(1筆)	0.44	18,940	-	0.1	0.95	-	-7.7	-0.7
文献 3(2) ⁵⁾	平成18年度	岡山県岡山市	単一水田(1筆)	0.50	31,710	-	-0.2	0.11	-	-7.8	0.5
文献 5(1) ⁷⁾	平成23年度	滋賀県守山市	水田群(9筆)	0.84	10,980	-	0.0	1.09	-	-6.9	11
文献 5(2) ⁷⁾	平成23年度	滋賀県守山市	水田群(7筆)	1.0	15,006	-	0.6	0.90	-	1.2	13
文献 6(1) ⁸⁾	平成20年度	滋賀県守山市	水田群(18筆)	5.6	12,530	-	1.1	0.39	-	6.0	3.9
文献 6(2) ⁸⁾	平成21年度	滋賀県守山市	水田群(18筆)	5.1	13,350	-	1.6	0.34	-	15	3.8
文献 7 ⁹⁾	昭和63~平成元年度	滋賀県甲賀郡	水田群(44筆)	12	40,750	2.0	0.1	0.19	59	13	7.3
文献 8 ¹⁰⁾	昭和60年	新潟県西蒲原郡	水田群(50筆)	14	19,030	-	0.6	0.11	-	0	1.6
文献 9 ¹¹⁾	平成26年度	岡山県岡山市	水田群	337	30,000	4.5	0.8	0.14	116	16	4.9
文献 10 ¹²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	187	29	3.9

± 9.3 kg/ha/年、T-P 負荷量では± 5.5 kg/ha/年に相当した。この縦軸方向のばらつきは流出水と流入水の濃度差が個々の事例により異なることに起因し、濃度に換算(流出水量を 20,000 m³/ha/年と仮定)すると COD は ± 4.0 mg/L、T-N は ± 0.47 mg/L、T-P は ± 0.28 mg/L に相当した。

都六区での負荷量を近隣の同規模の広さの水田群(岡山市南区の北七区、面積 464ha、うち水田 337ha)での結果(表1の文献9)¹¹⁾と比較すると、COD 負荷量は 1.2 倍、T-N 負荷量は 0.9 倍、T-P 負荷量は 2.9 倍で、COD 負荷量及び T-N 負荷量は概ね同等の値で T-P 負荷量が大きかった。負荷量を文献値(表1の文献10:水田群及び一筆水田の 479 事例から、降雨を考慮した慣行農法の水田として COD 負荷量 2 件、T-N 負荷量 6 件、T-P 負荷量 6 件をまとめたもの)¹²⁾と比較すると、COD 負荷量は 1.2 倍、T-N 負荷量は 0.5 倍、T-P 負荷量は 3.6 倍で、特に T-N 負荷量が小さく T-P 負荷量が大きいと考えられた。また COD 負荷量を水田群での調査結果(2 事例、表1の文献7⁹⁾及び9¹¹⁾)と比較すると 3 事例中で最も大きかったが、この主要因は 3 事例中において流出水量は最も小さいが、流入水(用水及び降水)と流出水の濃度差(年平均 10 mg/L)が 3 事例中最も大きい為であった。T-N 負荷量を水田群での調査結果(7 事例、表1の文献5~9^{7)~11)})と比較すると 8 事例中 3 番目に大きい値であったが、この要因は流出水量が 8 事例中 3 番目に大きく、水質(流入水と流出水の濃度差)が年平均 0.9 mg/L

で 3 番目に大きいことによる。T-P 負荷量は水田群での調査結果(7 事例、表1の文献5~9^{7)~11)})と比較すると 8 事例中で最も大きかったが、この主要因は流出水量が 8 事例中において 3 番目に大きいことであり、水質(流入水と流出水の濃度差)は 8 事例中 5 番目(年平均 0.33 mg/L)であった。一般に地区によって水田からの負荷量が異なる主要因は施肥の量や方法とかんがい水量⁴⁾であるが、特に都六区の水田群の負荷量が T-N を除き他の水田群と比較して大きい主要因は水量が多いことと考えられた。また T-N 負荷量について、白谷等は 91 事例を解析し、かんがい水の窒素濃度が 0.15 mg/L 以上のとき流出負荷量は流入負荷量より小さくなる¹³⁾としている。今回の都六区の流入水の T-N は 1.0 mg/L(平均値)とやや高く、これにより流入水と流出水の濃度差が小さかったことが、T-N 負荷量が小さい要因と考えられた。

3.2 八浜町波知の水量、水質および負荷量

用水は上流部のため池から供給され、児島湖に流入する庄田川の支流に排出される。日毎の水位の変化を図 2b、月毎の流出水量を図 2c に示す。用水量は 11,100 m³/ha/年と推算され、一般的な値(19,200 m³/ha/年)³⁾と比較すると少なかった。また流出水が殆ど出ないよう水管理が行われており、降雨または流入水により水位が 6cm(畦の高さ)以上に上昇したときの越流が主な流出水と考えられた。流出水量は堰からの越流量が 2,460 m³/ha/年で文献値(水田面積 11.6ha)⁴⁾の流出量 21,700 m³/

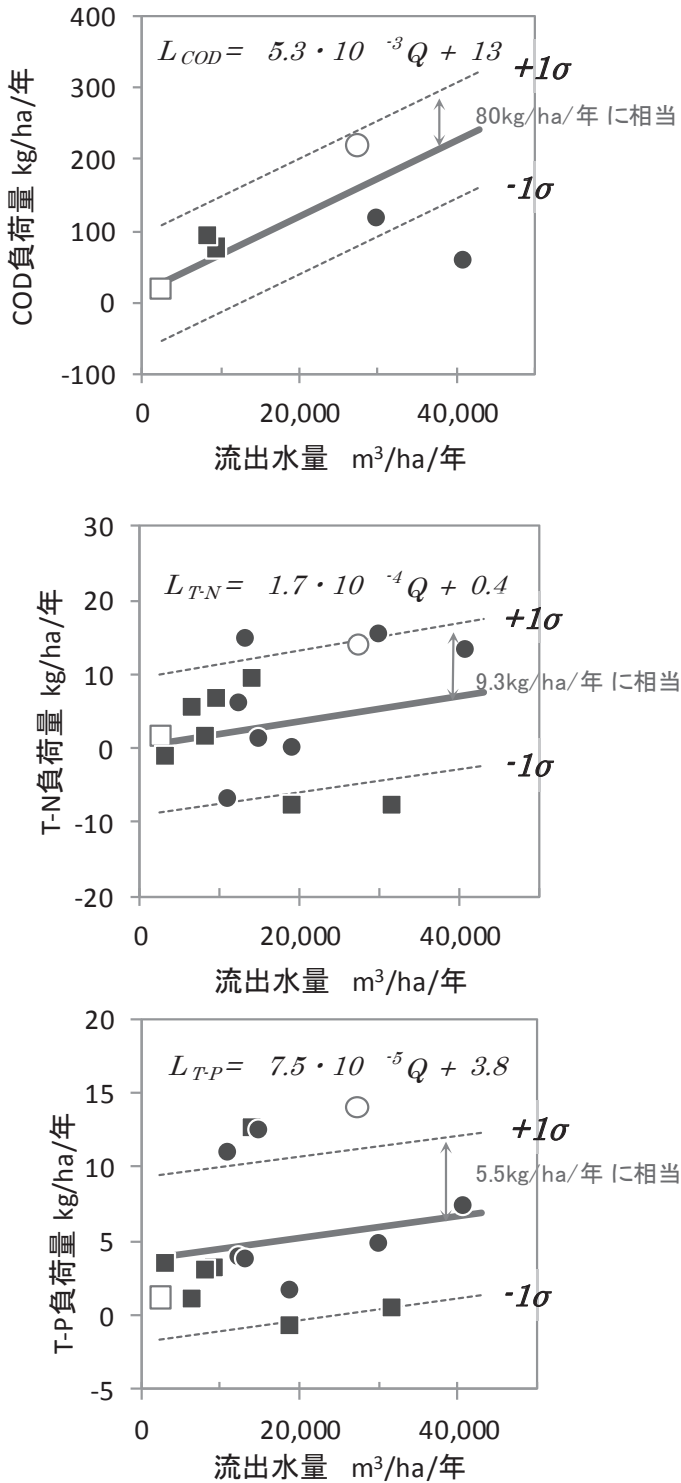


図5 流出水量と負荷量の関係

○: 都六区(平成25年度), □: 八浜町波知(平成26年度),
 ●: 文献値(水田群での調査)^{7~11)}, ■: 文献値(一筆の水田での調査)^{3~6)},
 直線: 近似値(平均値), 破線: 近似値(平均値)から $\pm 1\sigma$ の値。

ha/年⁴⁾と比較すると9分の1と少なかった。

流入水、流出水及び降水の水質を図3bに示す。流出水の水質は流入水や降水より高かった。水質及び水量から負荷量の推移を試算した結果(図4b), COD 20 $kg/ha/年$, T-N 1.7 $kg/ha/年$, T-P 1.2 $kg/ha/年$ であった(表1)。負荷量を先述の文献値(水田群及び一筆水田の479事例から降雨を考慮した慣行農法の水田としてCOD負荷量2件, T-N負荷量6件, T-P負荷量6件をまとめたもの)¹²⁾と比較すると, COD負荷量は9分の1, T-N負荷量は17分の1, T-P負荷量は3分の1といずれの値も小さかった。またCOD負荷量を一筆の水田での調査結果(2事例, 表1の文献¹³⁾)と比較すると, 流出水量は3事例中最も小さく, 流入水(用水及び降水)と流出水の濃度差が3事例中最も小さく, 結果としてCOD負荷量が3事例中最も小さかった。T-N負荷量を一筆の水田での調査結果(7事例, 表1の文献1~4^{3)~6)})と比較すると, 8事例中4番目の値であった。当該水田の流出水量は8事例中において最も小さい一方, 水質(流入水と流出水の差)は0.7 mg/L で8事例の平均値(0.9 mg/L)と同等の値であることから, T-N負荷量が小さい理由は流出水量が小さいことと考えられた。またT-P負荷量を一筆の水田での調査結果(7事例, 表1の文献1~4^{3)~6)})と比較すると, T-P負荷量は4番目に小さい値であった。当該水田の流出水量は8事例中において最も小さく, 一方水質(流入水と流出水の差)は0.52 mg/L で8事例の平均値(0.83 mg/L)と同等の値であり, T-P負荷量が小さい理由は流出水量が小さいことと考えられた。

様々な水田の事例を比較した結果(図5及び表1)から, 負荷量は水量(図5の横軸)の影響が大きく, 水田からの汚濁負荷量を削減する方法として営農方法を変えることは困難と思われるが, 用水量の低減が重要と考えられた。

4 まとめ

都六区(岡山市南区藤田)の水田群及び八浜町波知の一筆の水田から流出する汚濁負荷量の調査を行った。

都六区の水田群の負荷量はCODが220 kg/ha/年、T-Nが14 kg/ha/年、T-Pが14 kg/ha/年であった。流出水量が27,300 m³/ha/年と大きく汚濁負荷量が大きかった。他の水田群の事例と比較してCOD及びT-P負荷量が大きい主な要因は水量が大きいこと、T-N負荷量が小さい主な要因は流入水のT-N濃度が高く流入水と流出水の濃度差が小さいことであった。

八浜町波知の水田の負荷量はCODが20 kg/ha/年、T-Nが1.7 kg/ha/年、T-Pが1.2 g/ha/年であった。流出水量が2,460 m³/ha/年と小さく汚濁負荷量が小さかった。他の一筆の水田の事例と比較してT-N及びT-P負荷量が小さく、主な要因は水量が小さいことであった。

文 献

- 1) 岡山県：平成26年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書，2015
- 2) 島弘志編：工場排水試験法 JIS-K0102，日本規格協会，東京，2010
- 3) 笹田康子，石原暁，岡井隆：水田からの汚濁負荷の流出特性，香川県環境保健研究センター所報，3，49-57，2004
- 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，55-65，2008
- 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・児島湖直接流域地区)平成18年度調査結果報告書，69-88，2007
- 6) 宇土顯彦，竺文彦，大久保卓也，中村正久：灌漑期の水田における水量収支と栄養収支，水環境学会誌，23(5)，298-304，2000
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 武田育郎，国松孝男，小林慎太郎，丸山利輔：水系における水田群からの汚濁物質の収支と流出負荷量 - 水田群からの汚濁負荷流出に関する研究(Ⅱ) -，農業土木学会論文集，153，63-72，1991
- 10) 近藤正，三沢真一，豊田勝：北陸地方の沖積低平地水田におけるN，P負荷量の流出特性 - 新潟平野での測定結果とその特徴 -，農業土木学会論文集，159，17-27，1992
- 11) 岡山県：平成26年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書，100-130，2015
- 12) 社団法人日本水環境学会：非特定汚染源からの流出負荷量の推計手法に関する研究，12-15，2012
- 13) 白谷栄作，吉永育生，馮延文，人見忠良：代替法による農地の窒素除去/付加機能の経済評価の試み，水環境学会誌，27(7)，491-494，2004