

第1節 自然科学的立場からのモニタリング

2. ミクロ視点より一圃場レベルの管理一

2.2 しろかき期における水田からのケイ素の流出

山田佳裕¹⁾、三戸勇吾²⁾、中島沙知²⁾

1) 香川大学農学部、2) 愛媛大学大学院連合農学研究科

1. はじめに

ケイ素は、一次生産者である珪藻類に不可欠な元素であり、陸域から海域にかけての循環が注目されている。ヨーロッパにおける大規模な河川ではダム湖内で珪藻類が増殖することによって下流域へのケイ素の供給量が減少することが報告されている^{1,2)}。日本においても、ダムによりケイ素がトラップされ、河川から海域へのケイ素の供給が減少することにより、沿岸海域における一次生産者が珪藻類から生育にケイ素を必要としない種に遷移するという可能性が指摘されている³⁾。沿岸域における一次生産者の種組成の変化は、生態系全体を改変する可能性がある。しかしながら、日本の河川は急峻で、短時間で海へと至る特徴をもっており、かつ流域における人間活動の密度は高く、その影響を受けている。そのため、海域におけるケイ素の減少を論議するにあたっては、陸水域におけるケイ素の供給と消費を詳しく知ることが必要であると言える。しかしながら、国内の陸水域におけるケイ素の循環に関する知見は、富栄養化の原因物質である窒素やリンと比べ乏しいのが現状である。

日本の河川の流域では水田が主要な構成要素の1つである。水田で栽培される稲は他の陸上高等植物と比較して多くのケイ素を含有している。よって、灌漑期に水田から流出する水はケイ素を多く含んでおり、下流域へのケイ素の供給源となっていることが予想される。本研究では水田からの排水が最も多くなるしろかき期において、水田からどの程度の溶存ケイ素及び生物態ケイ素が流出しているかを、圃場における実験を通して明らかにした。

2. 方法

調査は滋賀県の湖東平野の水田において2004年6月4日から5日にかけて行った。滋賀県の湖東平野は米の生産が盛んで、稲作の効率化が進んでいる地域である。特に利水に関しては、琵琶湖の水

を逆水灌漑することで、水資源を豊潤に利用できる環境にあり、そのため水管理が粗放化し、しろかき期における水田からの濁水の流出が問題となっている⁴⁾。調査は逆水灌漑によって琵琶湖の水が供給されている0.3ha (30m×100m)の水田2枚(水田A; 35°12'60"、136°11'54"・水田B; 35°12'00"、136°11'51")でおこなった。しろかきを行い、田面水を濁った状態にした。しろかきが終了した約3時間後、排水口の堰を取り払い田面水を強制的に落水させた。排水口からの田面水の流出が見られなくなった時を調査終了時とした。水田Aの水位減少は8mm、水田Bは72mmであった。

調査期間中に排水口から排水を一定時間毎に採水した。同時にJIS法に基づき、容量がわかった容器にて排水を採取し、水の流出量を測定した(日本工業標準調査会、1994)。排水は落水開始時と10分後に、その後20分ごとに5回採水し、その後は1~2時間ごとに採水した。採水した試料は孔径150 μ mのプランクトンネットでリターなどを取り除き、溶存態ケイ素(D-Si)、生物起源ケイ素(Bio-Si)を測定した。

D-Siは0.2 μ mの目合いのろ紙(GD/X、Whatman)でろ過後、TRAACS 2000(BRAN+LUEBBE)を用いて測定した。本研究ではBio-Siを、一次鉱物等の結晶構造を持ったケイ素と生物起源を主とする非結晶性のケイ素の溶解速度の違いから見積もった⁵⁾。DeMaster⁵⁾の方法を一部改良し、試料水10mlに1NのNaOHを1ml加え、恒温層を用いて85°Cで1時間、4時間、6時間の抽出を行った。抽出溶液は、pH調整を行った後、TRAACS 2000(BRAN+LUEBBE)を用いてD-Si濃度を測定した。その後、抽出時間と抽出溶液中のD-Si濃度との回帰直線式のY切片から各試料のD-Si濃度を差し引いた画分をBio-Siとし算出した。

水田からのD-Si、Bio-Siの流出量を以下のような方法で見積もった。排水中の各濃度から水田に供給されていた逆水灌漑用水の各濃度(D-Si:

168 $\mu\text{g l}^{-1}$ 、Bio-Si : 368 $\mu\text{g l}^{-1}$) を差し引き、これに排水口からの排水量を乗ずることで流出量を算出した。また、調査期間中の1時間毎の流出量を積算することで実験期間中における総流出量を求めた。このとき、1時間に複数回サンプリングを行った場合は加重平均し1時間当たりの流出量を求めた。また、サンプリングの間隔が2時間以上の場合、前後のサンプリング時の流出量の平均値を算出し、1時間当たりの流出量を求めた。

3. 結果

水田Aでは調査開始から3時間後、水田Bでは調査開始から20時間後まで濁水の流出は続いた。水田AにおけるD-Si濃度は調査開始時には0.716 mg l^{-1} であり、10分後には0.369 mg l^{-1} と急激に濃度が減少した(図1)。30分後には0.864 mg l^{-1} と濃度が増加し、その後は1 mg l^{-1} 前後の濃度で変動した(図1)。一方、水田BにおけるD-Si濃度は調査開始時には0.915 mg l^{-1} であり、10分後には0.242 mg l^{-1} と濃度が低下したが、30分後には0.820 mg l^{-1} と濃度が増加した(図1)。50分後には0.315 mg l^{-1} と再び濃度が低下し、2時間後までは0.3~0.4 mg l^{-1} 程度で変動した(図1)。3時間後には1.10 mg l^{-1} と増加し、調査終了時まで1~2 mg l^{-1} 程度の比較的高い値で変動した(図1)。水

田AにおけるBio-Si濃度は調査開始時には46.3 mg l^{-1} であり、調査開始から50分後までは急激に濃度が減少し13.0 mg l^{-1} となった(図1)。70分後から調査終了時までには20 mg l^{-1} 程度となった(図1)。水田BにおけるBio-Si濃度も調査開始から50分後までは急激に濃度が減少し、調査開始時には63.7 mg l^{-1} であったのが、50分後には27.1 mg l^{-1} まで減少した(図1)。その後、徐々に濃度は低下し、調査終了時には8.70 mg l^{-1} となった(図1)。

水田からのD-SiおよびBio-Siの流出量について見てみると、水田AではD-Siの流出量は調査開始時には9.86 g hour^{-1} であり、調査開始から10分後にはD-Si濃度を反映して3.94 g hour^{-1} まで減少した(図2)。その後、20分後には8.48 g hour^{-1} と増加したが、調査終了時には1.23 g hour^{-1} まで減少した(図2)。水田BのD-Siの流出量は、調査開始時には13.7 g hour^{-1} であり、10分後には1.28 g hour^{-1} と減少したが、20分後には11.5 g hour^{-1} に増加した(図2)。50分後にはD-Siの流出量は、再び2.50 g hour^{-1} と減少し、2時間後までは同程度の値で変動した(図2)。3時間後にはD-Siの流出量は9.98 g hour^{-1} まで増加し、8時間後に最大値の12.1 g hour^{-1} となった。その後、徐々に減少し、調査終了時には0.71 g hour^{-1} となった(図2)。Bio-Siについては、水田A、水田Bとも時間の経過

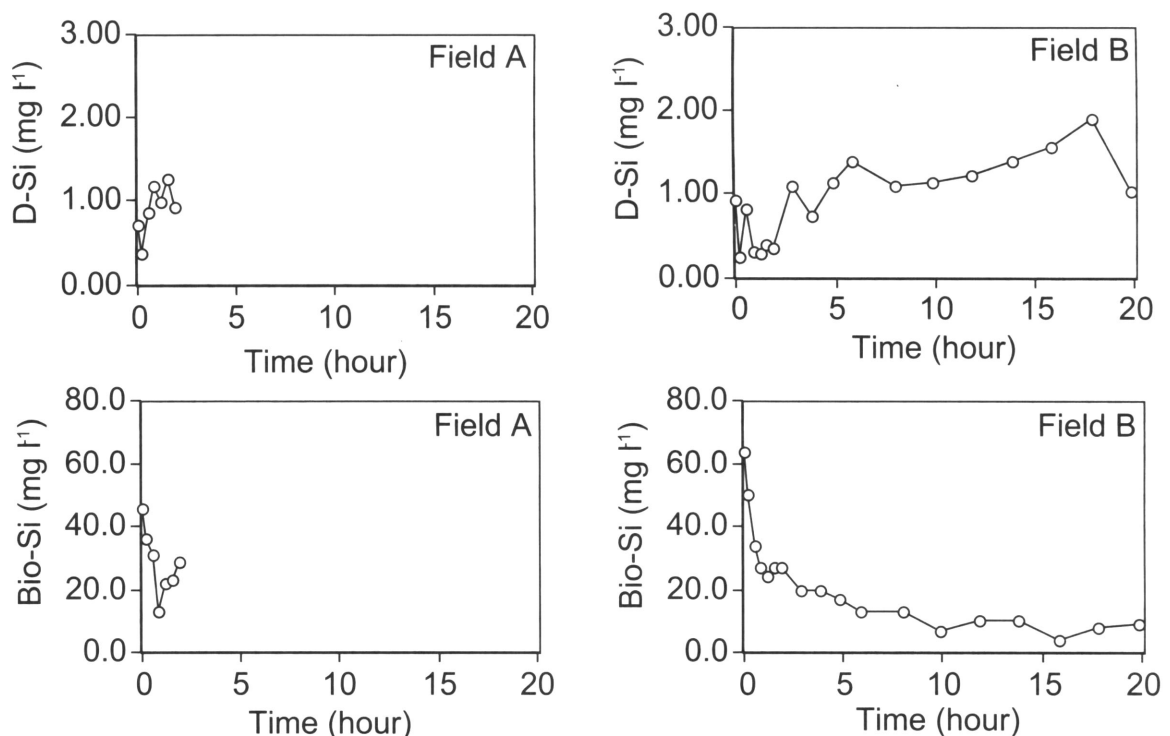


図1 水田A及び水田BにおけるD-SiとBio-Si濃度の経時変化

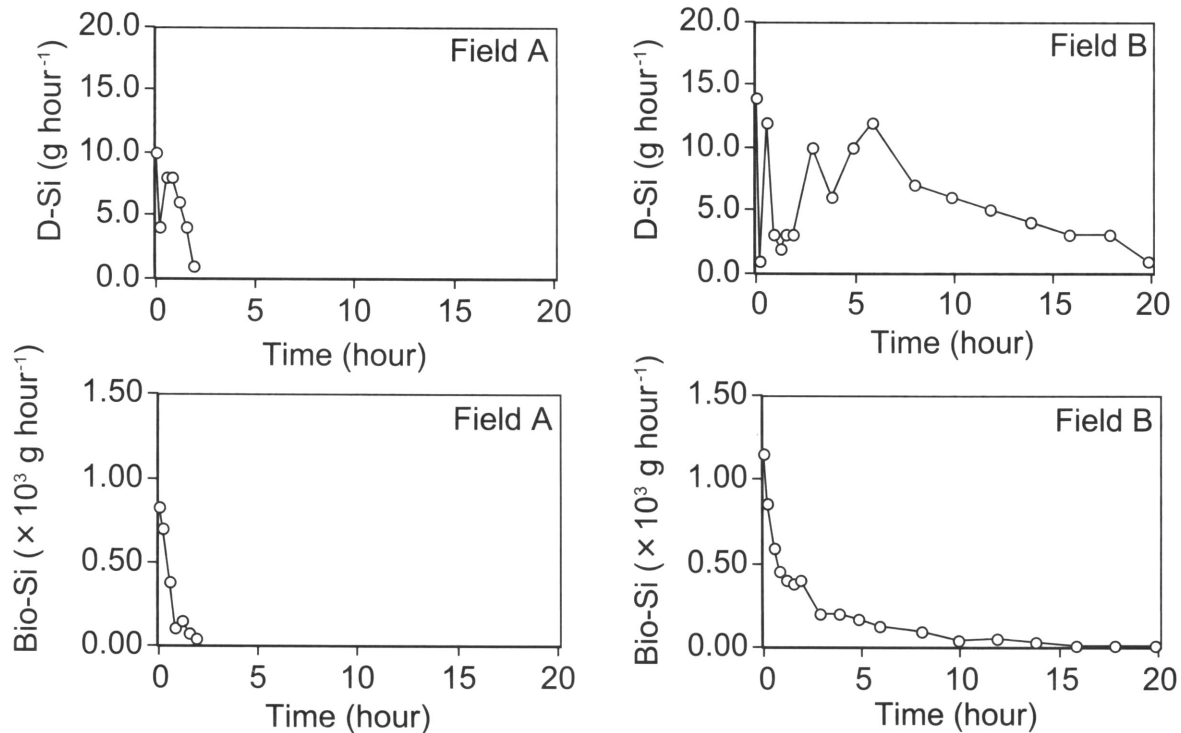


図2 水田A及び水田BにおけるD-SiとBio-Si流出量の経時変化

とともに流出量が減少する傾向が見られ、水田Aでは $827 \sim 46.4 \text{ g hour}^{-1}$ 、水田Bでは $1.15 \times 10^3 \sim 6.86 \text{ g hour}^{-1}$ で変動した（図2）。

調査期間中における水の総流出量は、山田ら⁴⁾によると水田Aでは 24 m^3 、水田Bでは 148 m^3 であることから、D-Siの総流出量は水田Aで $1.46 \times 10^2 \text{ kg}$ 、水田Bで $1.16 \times 10^1 \text{ kg}$ 、Bio-Siの総流出量は水田Aで $7.92 \times 10^1 \text{ kg}$ 、水田Bで 2.93 kg と見積もられた（表1）。また、水田1ha当たりからのD-Siの流出量は水田Aで $4.87 \times 10^2 \text{ kg ha}^{-1}$ 、水田Bで $3.87 \times 10^1 \text{ kg ha}^{-1}$ 、Bio-Siの水田1ha当たりからの流出量は水田Aで 2.64 kg ha^{-1} 、水田Bで 9.77 kg ha^{-1} であった（表1）。

4. 考察

濁水中のBio-Si濃度は、水田A、水田Bともに最

大でD-Siの50倍以上の濃度があり、しろかき時に水田から排出される水中では、土壌粒子中に含まれる一次鉱物のケイ素を除けば、Bio-Siが主要なケイ素の存在形態であると言える。本研究の対象とした水田では3月初旬にSiとして 50 kg ha^{-1} 程度が施肥されており、これが高濃度のBio-Siの供給源となっていると考えられ、水田に施肥されたケイ素は分解しやすい非結晶性のケイ素を多く含んでいるといえる。このことは、D-Si濃度が最大で 2 mg l^{-1} 程度と逆水灌漑によって水田へと流入する琵琶湖湖水よりも濃度が10倍高いことから明らかであり、水田に施肥された非結晶性のケイ素は比較的速やかにD-Siへと無機化されると考えられる。また、Bio-Siは温度によってその溶解速度が速くなることが知られており^{6,7)}、しろかきによって流出したBio-Siは夏期の間には分解速度が増加し、無機化されD-Siとして琵琶湖流域へと負荷されやすくなるであろう。

原島³⁾によれば琵琶湖への河川からのD-Siの供給量は 70 ton day^{-1} である。本研究で得られた水田1ha当たりの流出量に山田ら⁴⁾で示された琵琶湖北湖における強制落水が可能な水田面積 276.6 km^2 を乗ずると、水田Aの値を用いた場合ではD-Siの流出量は 1.30 ton 、Bio-Siの流出量は 70.3 ton となる。よって、Bio-Siについては一日に河川から琵琶湖

表1 水田Aと水田BにおけるD-SiとBio-Siの流出量

Field	Parameters	Total flux (kg)	Flux rate (kg ha^{-1})
Field A	D-Si	1.46×10^2	4.87×10^2
	Bio-Si	7.92×10^1	2.64
Field B	D-Si	1.16×10^1	3.87×10^1
	Bio-Si	2.93	9.77

へ供給されるD-Si量に匹敵する量が一度のしろかきによって負荷されることとなる。また、水位減少の著しい水田Bの値を用いた場合ではD-Siの流出量は10.7ton、Bio-Siの流出量は270tonとなり、D-Siは琵琶湖へのD-Siの一日当たりの負荷量の15%になる。Bio-Siについては一日に河川から琵琶湖へ供給されるD-Si量の4倍近くに相当すると見積もられる。

以上の点から考えて、しろかきによって排出される濁水、特に濁水中に含まれている高濃度のBio-Siは琵琶湖流域へのケイ素の供給源として重要であるといえる。水田は国内における主要な土地利用形態の一つであり、日本の流域においてはケイ素の循環を考える上で、水田からのケイ素の流出は重要な要因であると思われる。

参考文献

- 1) Humborg, C., Ittekkot, V., Cociaus, A. and Von Bondungen, B., Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature*. (1997) 386: 385-388.
- 2) Ittekkot, V., Humborg, C. and Schafer, P., Hydrological alternations and marine biogeochemistry: silicate issue? *Bio Science*. (2000) 50: 776-782.
- 3) 原島省「陸水域におけるシリカ欠損と海域生態系の変質」『水環境学会誌』(2003) 26: 621-625
- 4) 山田佳裕・井桁明丈・中島沙知・三戸勇吾・小笠原貴子・和田彩香・大野智彦・上田篤史・兵藤不二夫・今田美穂・谷内茂雄・陀安一郎・福原昭一・田中拓弥・和田英太郎「しろかき期の強制落水による懸濁物、窒素とリンの流出—圃場における流出実験—」『陸水学雑誌』(2006) 67: 105-112
- 5) Demaster, D., The supply and accumulation of silica in the marine environment. *Geochim. Cosmochim. Acta*. (1981) 45: 1715-1732.
- 6) Kamatani, A., Dissolution rate of silica from diatom decomposition at various temperature. *Marine Biology*. (1982) 68: 91-93.
- 7) Cappellen, P. V. and Qiu, L., Biogenic silica dissolution in sediments of the Southern ocean. *Deep-Sea. Res.* (1997) 44: 1109-1128.