



循環灌漑による琵琶湖への窒素負荷削減の効果

著者	櫻井 伸治, 林 友紀, 中桐 貴生, 堀野 治彦
雑誌名	環境技術 = Environmental conservation engineering
巻号	42 12
ページ	722-726
発行年	2013-12
権利	Society of Environmental Conservation Engineering (環境技術学会) 本文データは環境技術学会より転載許可を得て掲載しています
URL	http://hdl.handle.net/10466/15481

特集・環境水中の窒素の汚染源と処理対策・水資源管理

循環灌漑による琵琶湖への窒素負荷削減の効果

櫻井 伸治*・林 友紀*・中桐 貴生*・堀野 治彦*

キーワード：環境配慮型、循環灌漑、流入・流出負荷、循環取水率、流出負荷削減率

要 旨

農業由来の窒素などによる環境水への水質汚染が懸念されることから、環境配慮型の水管理として排水の再利用を行う循環灌漑の適用が試みられている。本稿では、循環灌漑における用排水状況、循環取水率および窒素の流入・流出負荷に関するデータを整理し、循環灌漑による環境水（湖沼の琵琶湖を中心に）への窒素負荷削減効果を検討した。その結果に基づき、窒素負荷削減効果の定量的な考察と循環灌漑の今後のあり方を述べる。

1. はじめに

農業は食を支える重要な役割を果たしている一方で、地下水、河川、海域および湖沼などへの水質汚染源にもなる危険性を有している。これについては農業からの面源負荷として様々な報告がなされている。

環境水の中でも、特に湖沼は、閉鎖性水域としての特性上、その水質改善は河川や海域など他の水域に比べ困難な現状にある。例えば、日本での公共用水域の水質環境基準達成率は、河川の87%、海域の76%に対し、湖沼は55%と著しく低い。さらに、窒素のみの環境基準達成率を見ると、湖沼は20%にも満たない¹⁾。このように湖沼の水質浄化や汚濁抑制は最も重要な懸案事項の一つであろう。加えて、工場・家庭などの点源負荷には排出規制や下水道整備などの直接的対策が実施されているが、農地などの面源負荷では、汚染発生域の特定が難しく規制による対策は行いにくい。このような背景から、農地における環境配慮型(負

荷削減型)水管理の適用が重要であり、農地から湖沼への排出を抑制する試みがなされている。その一つとして、排水の再利用を行う循環灌漑が挙げられる。農業排水の循環利用は、特に閉鎖系水域を下流に有する水田域において、水資源の有効利用や負荷削減による環境配慮の観点から非常に重要であり、その持続的な水管理が期待される。

循環灌漑はこれまでも負荷削減の効果について検討が行われてきた²⁻⁶⁾。これらの検討では、循環灌漑による一時的な負荷削減評価であることが多く、かつ灌漑期全体での積算量としての整理に留まっており、循環取水率の増加に伴って負荷削減効果は増加するという報告がほとんどである。しかし、排水の利用増や長期化に伴い水田群内部での物質蓄積も増え、循環利用形態によっては降雨時や栽培管理上の落水時、非灌漑期にはむしろ流出負荷が増加する恐れもある。また、収穫品質面での抵抗感や維持管理負担増などマイナス面も少なくない。したがって、節水評価、負荷削減評価だけでなく、落水時や降雨時の負荷増大の危険性も定量的にすることで循環灌漑の利害を統合的に評価することが必要である。すなわち「循環取水率(=農地排水の再利用量/全取水量)」や「排水利用可能量」を基軸に、循環形態に応じた適切な環境配慮型水管理法を検討するとともに、その持続性の確立に向けた課題への対処が重要となる。

そこで、本研究では、日本の代表的な湖沼である琵琶湖の沿岸部に展開する水田群を事例に循環灌漑による水質汚濁物質の負荷削減の効果を実証的に整理することを考えた。なお、本稿では水質汚濁物質の中でも窒素に着目して報告する。具体

The Effects of the Cyclic Irrigation on the Reduction of Nitrogen Effluent Loads into Lake Biwa

*大阪府立大学大学院生命環境科学研究科 Shinji SAKURAI, Yuki HAYASHI, Takao NAKAGIRI, Haruhiko HORINO

的には、循環灌漑方式を適用している地区における用排水状況を整理するとともに、水質汚濁物質中でも窒素に注目して循環灌漑による負荷削減効果および降雨が及ぼす水田からの負荷量の変化について経過報告を行う。

2. 調査の概要

2.1 琵琶湖周辺部の窒素負荷の現状

琵琶湖への窒素負荷量の内訳推定結果⁷⁾によれば、家庭系、産業系が発生源の約半分を占め、農地からの割合はおよそ14%程度と見積もられている。この概算から農業由来の窒素負荷の関与は決して無視することはできない。また、窒素負荷量の経年変化を見ると⁸⁾、どの項目も減少傾向にある。しかし、これは家庭系、産業系といった点源負荷減少の影響が大きく、農地、市街地などの面源負荷減少量は小さい。このように琵琶湖周辺の水問題の特性上と環境配慮型農業の時流を鑑みると今後ますますその削減管理の重要度が増加し、循環灌漑の価値は高くなることが予想される。

2.2 対象水田群

今回対象とした調査水田群は、琵琶湖北西側の高島市内に位置し、鴨川流域土地改良区の受益地に含まれている。同受益地の灌漑は、図1に示すように河川を取水源とした一般的な自然流下型(図の左側、以下、非循環灌漑区とする)と、琵琶湖を主水源としこれに農地排水の一部を再利用して逆水灌漑を行う循環灌漑型(図の右側、以下、循環灌漑区)に大別される。

受益水田面積は非循環灌漑区で約85.4 ha(実作付面積80.0 ha)、循環灌漑区で約745 ha(同面

積647 ha)となっており、多くが循環灌漑されている。具体的には、非循環灌漑区では、頭首工から鴨川の渓流水を取水し、開水路による自然流下型の重力灌漑を行っている。すなわち、水田排水は再利用しないで下流に排出される。一方、循環灌漑区では、受益地末端の貯水槽に琵琶湖水を導き(図1参照)、これに農地排水の一部を混合させて、揚水ポンプによりパイプラインシステムを利用して、循環灌漑区の水田に用水供給されている。農地排水の利用は、全ての受益地からではなく比較的下流部に位置する約57 haの水田からの集水となっている。なお、現在の滋賀県における循環灌漑面積率は集水水田面積率換算で約7.5%である。

2.3 調査方法

循環灌漑による流出負荷削減の効果の定量化を行うために、循環灌漑区での取水量、排水量、再利用水量、水質の測定を経時的に行っている。取水量はポンプに設置した揚水記録計、排水量は排水路流量計、再利用量はポンプ場貯水槽への導水量計のデータを基に、対象水田群における用水量および排水量を測定した。

現地にて試料水を採取し、全窒素(以下、T-N)、全リン、TOC、CODおよびカリウム、硝酸などの各種無機イオンの測定に供した。ただし、本稿ではT-Nの結果を中心に報告する。測定方法はJIS K0102工場排水の試験方法に準拠した⁹⁾。また、循環灌漑の影響を明確にするために、対照として非循環灌漑区においても調査水田群を具体的に設け(調査対象面積5.7 ha)、先と同様に、取水量、排水量、水質等の観測を行った。

これらの観測は営農期に入る2012年の4月末頃から開始しており、現在も調査は継続中である。採水の頻度は原則、灌漑期では週1回、非灌漑期では月1~2回である。この他にも大気からの窒素の総沈着負荷量(乾性沈着および湿性沈着)をφ30 cmのロートを用いて月1回程度、大気降下物を回収し、測定している。

3. 水田群の経路による負荷の変化

測定された用排水量や、試料水中のT-Nから整理した各灌漑区における負

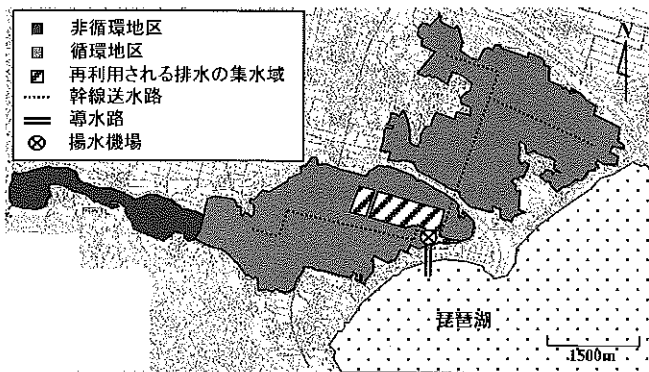


図1 対象水田群の概要

荷の流入・流出状況を、2012年の観測結果をもとに整理し検討する。

3.1 用排水諸元の概要

代かきに代表される灌漑初期とこれに続く灌漑普通期を中干し前後に大別して、全灌漑期間を3期（代かき期、普通期中干し前および普通期中干し後）に分割し、それぞれについて日平均用排水量を整理したところ表1のようになった。

循環灌漑区の代かき期では数枚の水田ごとに輪番的に作業が進められるため、見かけ上、用水量は小さくなっている。非循環灌漑区では代かき期以外で用水のほとんどが排水されているような結果となった。これは該当地区の農家が同期間に好んで掛け流し灌漑を行っていることが一因である。全体的に用水量、排水量ともに、自然流下型の非循環灌漑区の方が大きくなった。これは圃場の土壌特性も関係することも考えられるが、循環灌漑区において節水の傾向をうかがうことができる。

循環灌漑区の循環取水率に関して、期別で比較すると、代かき期でおよそ8%と他の栽培期間(普

通期中干し前、普通期中干し後)と比べて、1.5~2倍程度大きいことが判った。なお、灌漑期を通じて循環取水率がおよそ4%~8%と若干低い印象がある。しかし、再利用可能な農地排水の集水面積が、最大でも循環灌漑の全受益地の9%未満であることを考慮すると、調査対象地区の循環取水率は決して小さくはないと考えられる。

3.2 灌漑形態による負荷量の差

代かき開始以降の循環灌漑区、非循環灌漑区の水田群におけるT-Nの流入および流出負荷量を半旬毎に日平均値で整理した結果を図2に示す。

全体的に両灌漑区とも窒素の流出負荷量の方が流入負荷量より大きい傾向にあることが判った。特に、循環灌漑区では、ほぼ全期間を通じて明確に流出負荷>流入負荷の大小関係が見られた。また、非循環灌漑地区では流入負荷に季節的な変動が見られたが、これは用水として利用されている渓流水の水質が反映しているものと考えられる。

ここで先の表1と同様に、灌漑期を3期に大別した場合の各灌漑区別の水田群における単位面積

表1 調査水田群の期別日平均用排水量

対象区	代かき期				中干し前				中干し後			
	用水量	排水量	循環取水率	降雨量	用水量	排水量	循環取水率	降雨量	用水量	排水量	循環取水率	降雨量
	mm/d	mm/d	%	mm/d	mm/d	mm/d	%	mm/d	mm/d	mm/d	%	mm/d
循環灌漑地区	14.8	14.6	7.94	2.1	22.2	19.7	3.82	6.4	18.0	15.9	4.62	5.3
非循環灌漑地区	34.5	17.5	-	2.6	27.1	27.0	-	6.4	27.1	26.7	-	5.7

・両地区で降雨量が異なるのは灌漑期の開始および終了時期にずれがあるため。

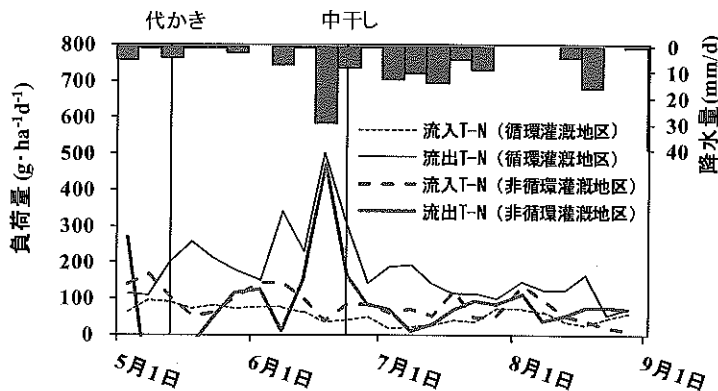


図2 T-Nの流入および排出負荷量と降雨の関係

当たりの窒素流入・流出負荷量を集計すると、表2が得られた。流入負荷量は、灌漑期全般において循環灌漑地区<非循環灌漑地区の傾向が見られた。一方、流出負荷量は、流入負荷量と異なり、循環灌漑区>非循環灌漑区と大小関係が逆転した。これに関する明確な要因の断定までには至っていないが、これまでの循環灌漑区で蓄積された水田システム内の窒素が放出された可能性もある。

加えて、灌漑期全体での窒素排出負荷比も表3に整理している。ここでの排出負荷比は、施肥や薬剤散布など意図的な水田への物質投入を除いた水管理上の不可避的な窒素流入負荷（すなわち、灌漑水に伴う流入負荷と大気からの総沈着負荷の和）に対する流出負荷の比を意味する。また、流出負荷は水田群からの地表排水や排水路浸出水に内在する形で流下する窒素量と考えた。

表3から循環灌漑区における窒素排出負荷比は非循環灌漑区におけるそれよりおよそ3倍程度大きいことが観察された。こうした排出負荷比の高さが、農地排水の再利用と何らかの因果関係にあることは先と同様現時点では断定できていない。

ここでの窒素排出負荷比から見ると非循環灌漑区における水田群では、見かけ上、窒素収支が均衡した状態であることが判った。ただし、該当地区の施肥管理、栽培管理によっては浄化型にも、負荷型にもなり得ることが考えられる。

灌漑期の循環灌漑区、非循環灌漑区の水田群における窒素の流入および流出負荷量と降雨の関係に関して、図2から両地区とも中干し直前に大き

な流出負荷が見られた。これは見かけ上、およそ30 mm/dの降雨による流出負荷と見られるが、他の期間において降雨と負荷のピークの発生タイミングが異なることから、おそらく中干しに向けた強制落水によるものと考えられる。総じて、本研究では降雨による流出負荷の増減への顕著な影響は見られなかった。

3.3 灌漑形態による負荷削減

循環灌漑による琵琶湖への負荷削減の評価は、当初からの懸案事項である。農地排水の一部を再利用することから、厳密には水田群への流入負荷が幾分か上昇し、これにより水田群からの流出負荷も割り増しになることは否定できない。しかしながら、現段階ではその割増し分を定量化するまでには至っていないため、ここでは単純に再利用に供された農地排水による負荷が削減された負荷に等しいとしてその量を特定した。

その結果、灌漑期全体の総量で見ると、窒素は440 kgが再利用されたことになる。一方で、排水を集水している循環灌漑水田群から流下した窒素負荷量は1,247 kgであることから、およそ35%の削減となっている。また、こうした窒素の負荷削減率を期別に見ると、代かき期で約64%、普通期中干し前で約35%、普通期中干し後で約32%となり、代かき期で最も削減率が大きくなった。この削減率の大小は、表1に示した期別ごとの循環取水率の大小とはほぼ一致している。

したがって、排水の集水域が循環灌漑農地の一部に限定されていること、3.1で述べたように循

表2 期別毎の窒素流入・流出負荷量

負荷量 (g·ha ⁻¹ d ⁻¹)	代かき期		中干し前		中干し後	
	循環	非循環	循環	非循環	循環	非循環
流入 I	57	197	70	91	44	66
流出 O	108	78	265	108	174	87
差引 (O-I)	51	-119	195	17	130	21

表3 灌漑期における窒素排出負荷比

対象区	流入負荷	流出負荷	大気負荷	排出負荷比
	kg·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹	-
循環灌漑区	6.9	24.9	0.8	3.26
非循環灌漑区	10.5	11.1	0.7	1.00

・排出負荷比 = 流出負荷 / (流入負荷 + 大気負荷)

環取水率が10%に満たないことを勘案すると、今後のさらなる循環灌漑の展開によって、琵琶湖への流出負荷を削減し環境保全に寄与するポテンシャルは高いと思われる。

4. おわりに

灌漑期の結果からは、従来の報告通り、循環取水率を上昇させるほど灌漑期の負荷削減効果は大きいと予想され、琵琶湖への負荷削減が十分に見込まれる。本稿では灌漑期のみを報告に留まったが、非灌漑期における循環灌漑地区における窒素の排出負荷に関する結果も整理し次第報告する予定である。

農地や内湖、沈殿池などの浄化機能には限界があり、落水・降雨などの出水時には逆効果となる可能性も否定できない。この閾値は受益水田と排水集水域（水田）の構成バランスにも左右されることから、今後さらに実態調査を重ねることが必要である。加えて、モデル化により負荷収支などを評価した上で効果的な環境配慮型の取排水操作を提言する必要もある。

本稿では窒素の負荷削減に循環灌漑が貢献する一端を報告することができたが、窒素を含む水質汚濁成分の負荷削減評価だけでなく、循環形態や期別に応じた環境配慮型水管理を統合的に検討する必要がある。これには稲作を実践する農家が循環灌漑に伴う品質管理上の水管理負担増や、排水

利用に対する抵抗感などをどこまで許容するのかについても考慮に入れなければならない。いずれにせよ、こうした水田地域の循環灌漑に関する知見は、日本の他の循環灌漑地区における同種の水管理にも援用できるだけではなく、アジアモンスーン地域において、水利用効率向上および環境に配慮した水管理を展開する一助にもなるものと期待できる。

引用文献

- 1) 環境省水・大気環境局；平成23年度公共用水域水質測定結果 (2012), <<http://www.env.go.jp/water/suiiki/h23/full.pdf>>, (参照2013-10-9).
- 2) 金木亮一；循環灌漑による琵琶湖への流入負荷削減効果, 農業土木学会誌, 57, (7), 39-44, 1989.
- 3) 濱武英, 中村公人, 三野徹；循環灌漑を実施する水田流域の窒素・リンの物質収支, 農業農村工学会論文集, (250), 91-97, 2007.
- 4) 濱武英, 中村公人, 川島茂人, 三野徹；普通期晴天日における循環灌漑の窒素・リン差し引き排出負荷削減効果, 農業農村工学会論文集, (257), 11-17, 2008.
- 5) Takeda, I. and A. Fukushima; Long-term changes in pollutant load outflows and purification function in a paddy field watershed using a circular irrigation system, Water Research, 40, 569-578, 2006.
- 6) Hitomi, T., I. Yoshinaga, Y. W. Feng and E. Shiratani; Nitrogen removal function of recycling irrigation system, Water Science and Technology, 53, (2), 101-109, 2006.
- 7) 大久保卓也；琵琶湖の水質とノンポイント負荷, 琵琶湖研究所所報, (14), 16-19, 1997.
- 8) 滋賀県；滋賀の環境2008 (平成20年版環境白書), 56p, 2008.
- 9) 日本工業規格；JIS K0102 工場排水試験方法, 168-170, 2008.

