

肥培灌漑施設の新設と河川水中の全窒素濃度の改善効果

Effect of the Installation of Slurry Storage Tanks on T-N Concentration of River Water

山崎 由理* 宗岡 寿美** 木村 賢人** 辻 修**
 (YAMAZAKI Yuri) (MUNEOKA Toshimi) (KIMURA Masato) (TSUJI Osamu)

I. はじめに

1970年頃より、霞ヶ浦における水質汚濁の原因論争^{1),2)}を契機として、農業は水質汚濁の原因者とみなされはじめた。この「農業加害者説」への疑問に端を発し、農業土木学分野では農林地流域の土地利用と河川水質に関する調査・研究・評価手法が確立されるに至った。

一方、北海道において上記の視点から河川水質調査が本格的に実施されたのは1990年代前半以降のことである。このとき、農業土木学分野に限らず研究者の関心（調査研究対象）が全国有数の大規模酪農地域である北海道東部の釧路・根室管内に集中した^{3)~5)}。

この北海道東部に位置する風蓮湖（面積56.38 km²）は豊富な水産資源を有する大規模な汽水湖であり、ラムサール条約指定湿地として多くの野鳥が生息・飛来している。他方、風蓮湖流域（面積962.5 km²）は1市3町にまたがる北海道有数の大規模酪農地域である。この地域一帯では1960年代以降に大規模な草地造成・開発が急激に進められた結果、酪農流域河川からの流入水（排水）が湖沼を汚染する主な原因となり、漁業者は深刻な被害をこうむるようになった。こうした背景の中で、農業・漁業の持続的な繁栄と水質保全との両立を目指した酪農流域全体の総合的な保全対策が模索されつづけながら現在に至っている^{6),7)}。

1993~2013年の20年間、著者らを含めた研究者によって風蓮湖流域内の風蓮川水系（流域面積572 km²）支流の小河川（定点）における平水時河川水質が継続的にモニタリングされてきた（図-1）^{5),8)~12)}。

調査流域（図-1）では、国営総合農地開発事業「茶内地区」（1969~1991年度）において排水改良に伴い多くの小河川が改修によって直線化された。その後、国営環境保全型かんがい排水事業「はまなか地区」（2001~2011年度）では、浄化型排水路の整備とともに、多くの酪農家で肥培灌漑施設（大型スラリータンク）が新設された。この間、国内では1990年代以降、

窒素を指標とした水質環境基準が追加・格上げされるとともに、1999~2004年にかけて家畜ふん尿管理に関する規制が強化された。しかし、このような水質環境のみならず地域資源を含めた保全対策を通じて、長期的な視点から酪農流域河川の水質改善効果を検証した事例はほとんどみられない。

この報告では、風蓮湖に流入する窒素の発生負荷を軽減・抑制することを目的として、風蓮川流域内の酪農小流域における肥培灌漑施設の新設が河川水中の全窒素濃度の改善に及ぼす効果を検証する。

II. 調査

1. 調査流域概要

調査対象は北海道釧路総合振興局管内に位置する4つの小流域である（図-1、表-1）。このうち3流域（流域2~流域4、浜中町内）は風蓮湖に流入する風蓮川水系支流の酪農流域である。3流域の比較対照として厚岸湖に流入する別寒辺牛川水系支流の林野1流域（流域1、厚岸町・浜中町内）を選定した。

調査期間中、4流域の流域面積および土地利用に大差はなく、酪農3流域では草地率が70~79%と大きい。流域3・流域4では調査開始以前の国営事業に



図-1 風蓮湖、風蓮川流域、国営環境保全型かんがい排水事業「はまなか地区」および調査流域の位置図

*東京農業大学地域環境科学部

**帯広畜産大学

モ子ノミド 肥培灌漑施設、酪農小流域、発生負荷、飼養頭数密度、全窒素濃度、水質改善効果

よって河川改修（直線化）され、河川近傍まで草地化されている。流域2周辺の水系では2000年代に国営事業の一環で浄化型排水路として自然環境に配慮した河川整備が一部で進められ、河川周辺には緩衝域が多く残されている。一方、林野流域（流域1）にも17%の草地は存在するが、流域内に酪農家（畜舎）はなく河川は整備されていない。

調査流域近傍の榊町（平年値（1981～2010年）¹³⁾）における年平均気温、年間降水量はそれぞれ5.4℃、1,010.7mm、5～11月間の平均気温、降水量はそれぞれ11.1℃、798.2mmであり、調査流域は比較的寒冷・少雨の気候を呈する。

1993～2013年における各調査流域内の農家戸数および乳用牛飼養頭数に関する情報を表-2に示す。

調査期間中、酪農3流域のうち流域2・流域4の農家戸数は減少したが、流域3ではほぼ一定（9戸）であった。調査3流域内の乳用牛飼養頭数は調査期間中に変動がみられ、いずれの流域も200頭程度の範囲内で増減していた。しかし、1993年と2013年の両年で比較すると、3流域における乳用牛飼養頭数の差は36～149頭であり、20年間で大差はみられない。

いま、風蓮湖に流入する窒素発生負荷の視点から単位草地面積当たりの乳用牛飼養頭数（飼養頭数密度）を指標として比較した。流域2・流域3の飼養頭数密

度は82～127頭/km²の範囲にあり比較的類似していた。一方、流域4では205～231頭/km²であり、流域2・流域3よりも飼養頭数密度はつねに高い状態にあった（表-2）。

2. 水質調査・分析方法

上記4流域で1993、1994、1996、2000、2006～2008および2013年の20年間を対象として、5～11月（平水時）に月1回の水質調査を実施した。現地では河川水の採水、電気伝導率（EC）・水温の測定後、河川流量を観測した。

採水した河川水を500mlのポリ瓶に封入後、保冷状態で室内に搬入し、日本工業規格（JIS）に準じて各種水質分析を実施した。このうち、この報告で評価対象とした水質項目は全窒素（T-N）濃度および硝酸態窒素（NO₃-N）濃度である。

3. 土地利用解析

酪農3流域内の農家戸数、乳用牛飼養頭数および肥培灌漑施設の整備状況について行政諸機関より調査年ごとに情報提供を受けて詳細に解析した。

調査4流域の流域面積および土地利用率の算出にはGISソフト（ArcGIS 10, ESRI）を利用した。使用したデータは、国土数値情報の河川、流域界および土地利用細分メッシュ（100×100mメッシュサイズ、2006年）である。

4. 風蓮湖の水質保全

「生活環境の保全に関する環境基準（環境基準生活項目、湖沼その2）」のV類型では、T-N濃度が1mg/l以下とされている。酪農流域内の草地に投入される家畜ふん尿・化学肥料由来の窒素成分は最終的にNO₃-Nとなり、地下への溶脱を経て地下水・平水時河川水の硝酸汚染を引き起こす。よって、風蓮湖の水質保全を考えるには、酪農流域から流入する発生負荷（T-N濃度）の“しきい値”を1.0mg/l以下と考えて解析を実施した。

III. 結果および考察

1. 河川水中の全窒素濃度・窒素形態の推移

4流域における平水時河川水中のT-N濃度（以降、年間の算術平均値）およびT-N中のNO₃-Nの割合（%）の推移を図-2に示す。

林野主体の流域1ではT-N濃度は0.22～0.35mg/lとつねに低濃度であり、T-N中のNO₃-Nの割合も21.6～36.7%と低い。一方、酪農3流域では河川・河畔の土地利用、飼養頭数密度などの違いにかかわらず、調査開始初期（1990年代）のT-N濃度は「環境基準生活項目（湖沼その2・V類型）」の1mg/l以下をおおむね超過していた。また、T-N中のNO₃-N

表-1 調査4流域の流域諸元（2006）

	流域面積 (km ²)	土地利用 (%)		採水地点 河川名・橋名	備考 土地利用・河川形態
		草地	林野等*		
流域1	15.1	17	83	トライベツ川 ・第1号鶴橋	林野・自然河川
流域2	8.7	74	15	左支姉別川・友交橋	酪農・準自然河川
流域3	10.4	79	18	丸佐1号川・耕耕橋	酪農・改修河川
流域4	13.5	70	24	丸佐2号川・昭耕橋	酪農・改修河川

*森林・湿地などの自然の土地利用の総和（荒地などを除く）

表-2 酪農3流域の農家戸数および飼養牛頭数（1993～2013）

	1993	1994	1996	2000	2006	2007	2008	2013
[流域2]								
農家戸数(戸)	10	—	9	6	6	6	6	6
乳用牛飼養頭数(頭)	754	—	629	730	534	531	536	605
飼養頭数密度 (頭/km ²)	117	—	98	113	83	82	83	94
[流域3]								
農家戸数(戸)	9	—	9	9	9	8	9	9
乳用牛飼養頭数(頭)	984	—	1,046	995	863	830	903	1,022
飼養頭数密度 (頭/km ²)	120	—	127	121	105	101	110	124
[流域4]								
農家戸数(戸)	22	—	20	20	18	18	18	16
乳用牛飼養頭数(頭)	2,037	—	2,086	2,185	1,975	1,954	1,937	2,001
飼養頭数密度 (頭/km ²)	216	—	221	231	209	207	205	212

の割合は全期間において林野主体の流域1より大きく、とくに流域4では66.8~83.5%と高い値を示した。家畜ふん尿に由来する有機態窒素は、微生物の無機化作用および硝化細菌によって最終的にNO₃-Nに変化する。このため、乳用牛飼養頭数および飼養頭数密度の大きい流域4では、河川水中のT-N濃度に加えてT-N中のNO₃-Nの割合がともに大きくなっていったと考えられる。

酪農3流域のうち、T-N濃度が最も低い流域2では1999年に「家畜排せつ物法」が施行された後の調査年(2000年)以降、T-N濃度が1.0mg/l以下に改善していた。一方、流域3・流域4では、国営環境保全型かんがい排水事業によって調査流域内に肥培灌漑施設が新設されはじめた後の調査年(2006年)以降、河川水中のT-N濃度が緩やかな低下傾向を示した。とりわけ事業完了後の2013年には大きく低下し、流域3ではT-N濃度が1.0mg/l以下(「しきい値」以下)になった。

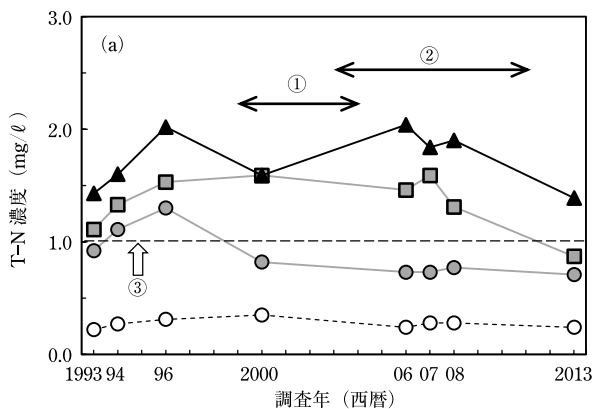
このように、単位草地面積当たりの乳用牛飼養頭数が多い流域ほど河川水中のT-N濃度やT-N中の

NO₃-Nの割合が大きいことが明らかになった。また、長期的な調査の結果、水質環境・地域資源に関する保全対策を通じて河川水質の改善効果が確認された。

2. 河川水中の全窒素濃度と肥培灌漑施設の新設率

表-3、図-3では、酪農3流域(2006~2013年)を対象として、国営環境保全型かんがい排水事業に伴う肥培灌漑施設の新設率(乳用牛飼養頭数を対象とした新設率)を整理し、河川水中のT-N濃度と比較した。このとき、単位草地面積当たりの乳用牛飼養頭数が比較的類似する2流域(流域2・流域3)をあわせてみると、肥培灌漑施設の新設に伴う河川水中のT-N濃度の低下傾向が明らかである。ここで、乳用牛の飼養頭数密度が最も高い流域4では河川水中のT-N濃度も高い。しかし、肥培灌漑施設の新設率が増加することにより他の2流域と同様にT-N濃度の低下傾向が認められる。

このことは、2003年以降に開始された肥培灌漑施設の新設に伴い、家畜ふん尿の地下への浸透・溶脱に由来する窒素成分の河川への流出が抑制されたことを



①家畜排せつ物法：施行(1999)～完全適用(2004)
②肥培灌漑施設：新設期間(2003～2011)
③環境基準生活項目(湖沼その2・V類型)

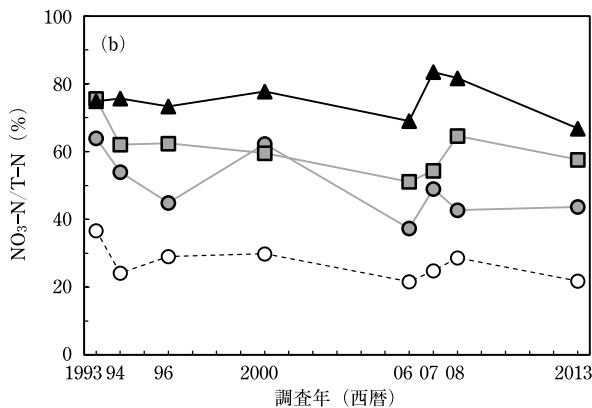


図-2 河川水中のT-N濃度および窒素形態の推移
(年間の算術平均値；1993~2013)

表-3 肥培灌漑施設を新設した農家戸数と乳用牛飼養頭数(2006~2013)

	2006	2007	2008	2013
[流域2]				
農家戸数(戸)*	3/6	3/6	3/6	5/6
乳用牛飼養頭数(頭)**	368/534	387/531	397/536	530/605
[流域3]				
農家戸数(戸)	2/9	2/8	4/9	7/9
乳用牛飼養頭数(頭)	246/863	260/830	397/903	790/1,022
[流域4]				
農家戸数(戸)	5/18	6/18	6/18	12/16
乳用牛飼養頭数(頭)	938/1,975	1,053/1,954	1,063/1,937	1,697/2,001

*肥培灌漑施設を新設した農家戸数/全農家戸数

**肥培灌漑施設を新設した農家の乳用牛飼養頭数/全乳用牛飼養頭数

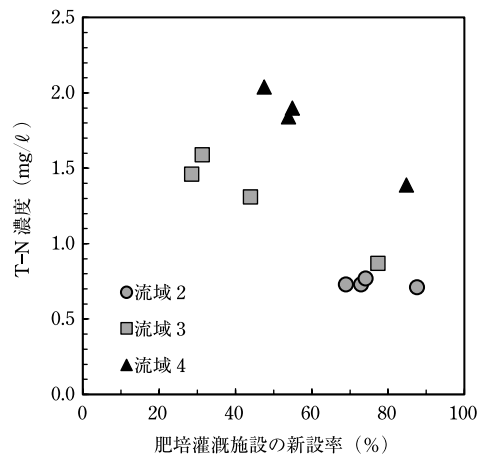


図-3 酪農3流域における河川水中のT-N濃度と肥培灌漑施設の新設率(2006~2013)

示唆している。換言すれば、農業農村整備事業としての肥培灌漑施設の新設という水質環境・地域資源に関する保全対策が、酪農流域河川からの窒素発生負荷(湖沼の富栄養化)を軽減して水質改善効果を発揮していた。

IV. おわりに

風蓮湖流域の水質保全をはかるには、風蓮湖への発生負荷(酪農流域の河川水)に“しきい値”(T-N濃度1.0mg/l以下)を設定し、流域全体における総合的な保全対策を検討していく段階にきている。

ここで流域2および流域3に注目すると、乳用牛飼養頭数密度および肥培灌漑施設の新設率は同程度であるが、河川水中のT-N濃度は流域2において低い。この報告では肥培灌漑施設の新設による効果に着目したが、流域2では自然環境に配慮した河川整備が進められていることから、河川周辺の緩衝域などの存在が河川水中のT-Nを低濃度に維持する役割を果たしている可能性が考えられる。今後は、浄化型排水路や緩衝域などを組み合わせた河川水質の改善効果を検証して別途報告する予定である。

謝辞 この報告の作成に当たり、北海道大学名誉教授・長澤徹明博士をはじめとする諸先生方には、1993~1996年における河川水質(窒素濃度)データを開示していただいた。また、北海道開発局釧路開発建設部および浜中町役場の各位には、農家戸数、乳用牛飼養頭数および肥培灌漑施設の新設状況に関する情報を提供していただいた。以上の各位に記して深謝の意を表す。なお、この報告は平成25年度霧多布湿原学術研究助成(No.108, 山崎由理)を受けて進めた調査研究成果の一部であることを付記する。

引用文献

- 1) 広瀬利雄：霞ヶ浦の水質保全について、水温の研究17(1), pp.12~21 (1973)
- 2) 田淵俊雄：農地汚濁説への驚きと疑問、水温の研究18(1), pp.32~34 (1974)
- 3) 倉持寛太, 永田 修, 佐久間敏雄：草地酪農地域における地下水と草地排水の窒素およびリンによる汚染 根釧台地における研究事例I, 土肥誌65(5), pp.522~529 (1994)
- 4) 田淵俊雄, 吉野邦彦, 志村もと子, 黒田清一郎, 石川雅也, 山路永司：農林地からの流出水の硝酸態窒素濃度と土地利用との関係, 農土論集178, pp.129~135 (1995)
- 5) 長澤徹明, 井上 京, 梅田安治, 宗岡寿美：北海道東部の大規模酪農地域における河川の水質環境, 水文・水資源学会誌8(3), pp.267~274 (1995)
- 6) 長坂晶子：風蓮湖流域の再生 川がつなぐ里・海・人,

北海道大学出版会, 258p. (2017)

- 7) 日本水環境学会：日本の水環境1 北海道編, pp.166~172 (2001)
- 8) 宗岡寿美, 長澤徹明, 井上 京, 山本忠男：北海道の酪農流域河川における窒素流出と水質保全, 農土誌68(3), pp.1~4 (2000)
- 9) 井上 京, 山本忠男, 長澤徹明：北海道東部浜中地区における流域の土地利用と河川水質, 農土論集200, pp.85~92 (1999)
- 10) Muneoka, T., Tsuji, O. and Tsuchiya, F. : Land-use and river water quality in dairy farming area of eastern Hokkaido, Proceedings of the 1st International Conference on GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE, GGAA2001, pp.453~456 (2001)
- 11) 作田友磨, 宗岡寿美, 辻 修：北海道東部の酪農流域における平水時河川の窒素流出の長期変動, 平成19年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.650~651 (2007)
- 12) 山崎由理, 宗岡寿美, 木村賢人, 辻 修：肥培かんがい施設の新設に伴う平水時河川水中の全窒素濃度の改善効果, 平成26年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.564~565 (2014)
- 13) 気象庁：各種データ・資料, 過去の気象データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

[2018.6.28.受理]

山崎 由理 (正会員)



略 歴
1990年 兵庫県に生まれる
2014年 帯広畜産大学大学院修士課程修了
2017年 岩手大学大学院連合農学研究科博士課程修了
2018年 東京農業大学地域環境科学部助教
現在に至る

宗岡 寿美 (正会員・CPD 個人登録者)



1968年 北海道に生まれる
1995年 北海道大学大学院修士課程修了
1998年 帯広畜産大学助手
その後、講師・准教授を経て、
2018年 帯広畜産大学教授
現在に至る

木村 賢人 (正会員)



1977年 茨城県に生まれる
2010年 北海道大学大学院博士課程修了
帯広畜産大学助教
2017年 帯広畜産大学准教授
現在に至る

辻 修 (正会員・CPD 個人登録者)



1955年 香川県に生まれる
1980年 帯広畜産大学大学院修士課程修了
1982年 帯広畜産大学助手
その後、助教授・准教授を経て、
2009年 帯広畜産大学教授
現在に至る