

国営環境保全型かんがい排水事業における窒素、リン収支フローによる水質浄化効果の算定手法

釧路開発建設部 農業開発課 ○福原 道俊
前畑 宏樹
農業環境保全対策官 伊東 耕

釧根地域で施行されている国営環境保全型かんがい排水事業は、水質浄化機能等を有する用・排水施設の整備によって、農業生産性の向上を図るとともに、環境保全に資する各種事業と連携し、農業生産性の向上はもとより、家畜排せつ物や農用地から発生する負荷物質の公共用水域への流出抑制を目的として、平成9年に事業制度が創設され、現在1地区が完了、3地区が実施中となっている。

本事業の費用対効果分析では、農業関係効果の他、環境に寄与する効果として「水質浄化効果」を計上しており、制度創設時に事業区域内における窒素・リンの循環フローモデルを作成し、本事業による窒素・リンの削減量を定量的に把握する算定手法が整理されている。

今回、事業が完了した別海地区において計画策定時に算定した水質浄化効果と事業完了後の水質調査に基づき算定した、窒素・リン収支フローから求められる水質浄化効果の検証結果について報告する。

キーワード：事業評価、費用対効果分析、水質浄化、環境保全

1. はじめに

広大な草地を活用した北海道の大規模酪農地帯では農用地から流出する土砂及び家畜ふん尿や肥料に由来する水質負荷物質が、河川・湖沼等へ流入し、水質への影響が懸念されている状況にある。

国営環境保全型かんがい排水事業は、農業生産性の向上と併せて、家畜排せつ物や農用地から発生する負荷物質の公共用水域への流出抑制と、生息する動植物の生態系保全を図るため、水質浄化等多面的機能を有する農業用排水施設を整備する事業であり、現在、道東の別海町及び浜中町で4地区が事業着手し、このうち平成19年度に別海地区が完了している。(図-1)



図-1 位置図

今回、事業が完了した別海地区の計画策定時に算定した水質浄化効果と、事業完了後の水質調査に基づき算定した、窒素・リン収支フローから求められる水質浄化効果の検証結果について報告する。

2. 多面的機能を有する施設整備

これまで着手した国営環境保全型かんがい排水事業の整備計画は、4地区合計で受益面積44,163ha、用水路58条、総延長259km、排水路113条、総延長143kmを対象としている。(表-1)

関係町村	地区名	事業期間	受益面積	用水路		排水路	
				条数	延長	条数	延長
別海町	別海	平成11年度～平成19年度	7,802 ha	14 条	71 km	30 条	44 km
浜中町	はまなか	平成13年度～	13,065 ha	18 条	71 km	46 条	47 km
別海町	別海南部	平成17年度～	13,344 ha	20 条	90 km	29 条	35 km
別海町	別海西部	平成19年度～	9,952 ha	6 条	27 km	8 条	17 km
合計			44,163 ha	58 条	259 km	113 条	143 km

表-1 事業の実施計画

本事業における用水施設は、家畜ふん尿を有機質資源とし効率的に農地還元するための「用水路」・「配水調整池」を整備し、排水施設は、排水路の上・下流に「排水調整池」・「遊水池」を整備すると共に、水路沿いに「土砂緩止林」を付帯施設として配置し、水質浄化機能を有する構造としている。(図-2)



図-2 造成する施設のイメージ

(1) 用水施設（肥培かんがい施設）

家畜ふん尿とかんがい用水を混合したものに、曝気処理を行うことで、肥効性の高い良質なスラリーが生成され、これを農地還元することにより、牧草の収量増・品質向上、購入肥料の削減など生産性の向上と併せて窒素・リンの投入量の削減が図られる。（写真-1, 写真-2）



写真-1 配水調整池の整備状況



写真-2 スラリー散布状況

(2) 排水施設

①排水調整池の構造

排水調整池は、排水路上流に設置し、農用地等から流出する土砂や濁水の河川流出を抑制する施設で、土砂の沈降及び窒素・リンの削減を図るため幅広水路の構造としている。（写真-3）



写真-3 排水調整池の整備状況

②土砂緩止林の構造

土砂緩止林は、農用地等から排水路への土砂等の流出抑制と併せて、水路の法面保護を図る施設である。

土砂緩止林は農地側からの濁水が林地の土壤に侵入・浸透する過程で土砂及び窒素・リンの流出抑制を図るので、排水路の両岸に配置する。

植栽樹種は自然環境への配慮から、周辺地域に自生しているヤチダモ、ハンノキ、ドロノキ、ミズナラ等を主体に植樹している。（写真-4）



写真-4 土砂緩止林の整備状況

③遊水池の構造

遊水池は、排水路整備区間の下流部に設置し、排水路に流入した土砂等の流出を最終的に抑制する施設である。遊水池の構造は、土砂の沈降・捕捉を行う堆砂域と、ヨシ等の水生植物により窒素・リンの吸収を行う植生域で構成される。（写真-5）



写真-5 遊水池の整備状況

3. 窒素・リン収支フロー

本地域は日本最大の酪農地帯であり、地域の河川流域では酪農が盛んに営まれているが、降雨時には、農用地等から流出する負荷物質（ふん尿、化学肥料、土砂等）が河川に流入し、下流域の湖沼、海域の水質に影響を与えている状況にある。

そのため、本事業において肥培かんがい施設の整備や、土砂緩止林、遊水池等の整備と併せて、家畜ふん尿の流出防止や適性利用等を定めた、集落協定を農業者が履行することによって、河川・湖沼域の水質改善に寄与するものである。

そこで、水質の改善状況を定量的に評価するため、酪農が起因とされる水質負荷成分の窒素（N）、リン（P）に着目し、牧場（畜舎・パドック）、農地（採草地、放牧地）、林地において、施肥や降雨等の要素を組合せ窒素・リン収支フローを整理し、牧場から河川流出までの窒素・リンの流れを事業実施前後で把握し、比較している。

その負荷物質の収支計算は窒素・リン収支フローによって行う。（図-2）

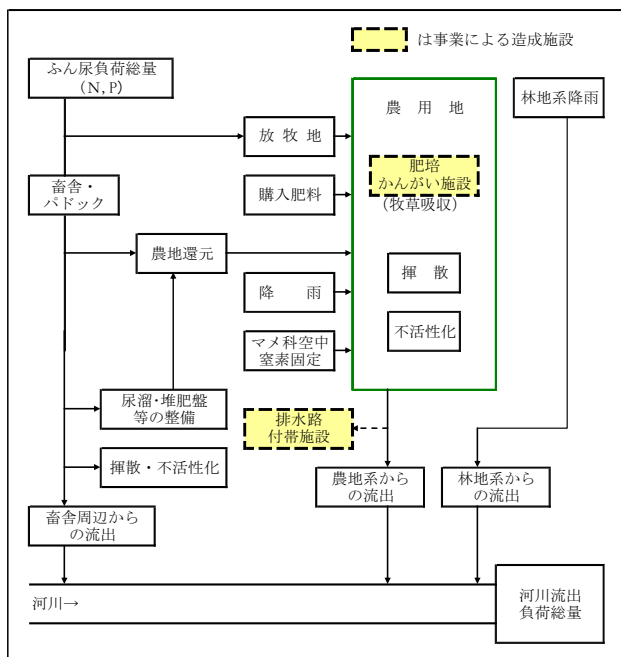


図-2 窒素・リン収支フローのモデル

4. 水質調査

(1) モニタリング調査

環境保全型かんがい排水事業では、環境保全型農業を推進するための基本方針として、各自治体において「環境保全型農業農村基本計画」を作成し、この中で地域環

境保全と効果の検証のため、モニタリングを行うものとしており、地域内の主要河川で水質調査を実施している。（表-2、図-3）

別海町環境保全型農業農村基本計画におけるモニタリング調査地点

河川名	調査地点	調査回数
西別川	1 新生橋	年8回（4月～11月の月1回）
	2 西別川橋	〃（〃）
	3 長栄橋	〃（〃）
清丸別川	4 共栄橋	〃（〃）
風連川	5 風連橋	〃（〃）
ヤウシュベツ川	6 浄美橋	〃（〃）
ボンヤウシュベツ川	7 克巳橋	〃（〃）
床丹川	8 第1床丹橋	〃（〃）
春別川	9 春絵橋	〃（〃）

※モニタリング項目

①農業生産活動に伴う負荷物質に関する項目・・・全窒素、全リン

②河川の水質環境基準に関する項目・・・PH、BOD、SS、DO、大腸菌群数

表-2 別海町における水質調査地点

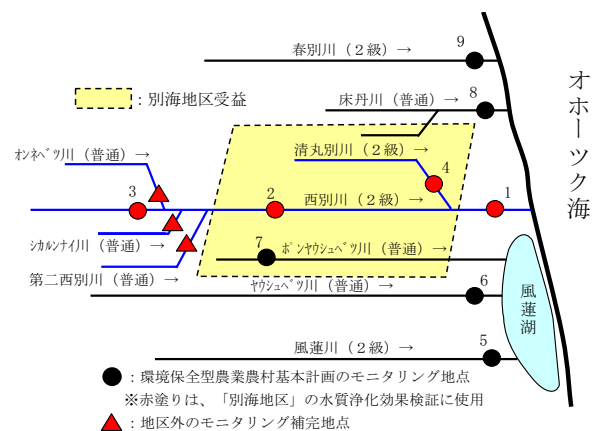


図-3 河川水質調査位置の概略図

(2) 排水調整池、遊水池

今回の検証にあたり、収支フローで使用する排水調整池及び遊水池の窒素・リンの除去率は、別海地区、はまなか地区及び別海南部地区で整備した排水調整池6カ所、遊水池5カ所の水質調査結果に基づき設定した。

水質調査は、圃場作業期間の5～11月において、月1回、降雨の影響が現れていない平水時に、各施設の流入部（入口）と流出部（出口）において採水し、窒素（N）、リン（P）等の濃度を把握した。（図-4）

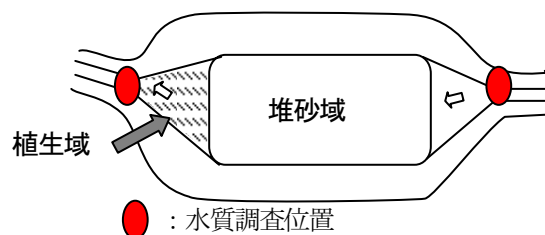


図-4 遊水池の水質調査箇所イメージ

(3) 排水調整池、遊水池の除去率

水質調査の結果から窒素、リン共に流入する負荷濃度が高濃度のときに高い除去率（流入部と流出部の減少比率）を発揮する傾向が確認されている。（表-3）

遊水池（窒素）

流入濃度(mg/l)	平均除去率	サンプル数
5.00～	-	-
4.00～4.99	67.5%	1
3.00～3.99	-	-
2.00～2.99	4.8%	3
1.00～1.99	3.4%	68
0.00～0.99	-0.6%	21

遊水池（リン）

流入濃度(mg/l)	平均除去率	サンプル数
0.250～	90.7%	1
0.200～0.249	13.0%	1
0.150～0.199	0.0%	1
0.100～0.149	11.6%	5
0.050～0.099	1.2%	19
0.000～0.049	-12.2%	66

表-3 流入濃度と除去率

しかし、全データを調査施設ごとに平均化すると窒素の除去効果は確認できるが、リンについては流入濃度が非常に低いため、採水時の沈砂物質攪拌など測定誤差により、計測した除去率にマイナス値を多く含み、明確な除去効果が確認できない結果となった。（表-4, 表-5）

排水調整池			
地区名	施設名	窒素除去率 (%)	リン除去率 (%)
別海	第三清丸別1号排水路	13.7	-30.2
	第五清丸別3号排水路	3.1	-48.8
はまなか	右支二姉別川2号排水路	13.6	8.3
	右支二姉別川3号排水路	4.7	-5.2
別海南部	第七川排水路	11.6	21.7
	第七川1号排水路	10.4	-1.7
平均（各施設の単純平均）		10.0	-9.0

表-4 排水調整池の除去率

遊水池			
地区名	施設名	窒素除去率 (%)	リン除去率 (%)
別海	第三清丸別排水路	0.6	-0.7
	第五清丸別排水路	1.7	-43.0
	ポン北川排水路	3.6	-3.3
はまなか	右支二姉別川排水路	1.4	4.5
別海南部	第七川排水路	12.1	17.9
平均（各施設の単純平均）		4.0	-5.0

注1：除去率は、（流出濃度(mg/l)－流入濃度(mg/l)）÷流入濃度(mg/l) より求めた。

注2：施設毎の除去率は、調査を実施した5～11月（施設によっては欠測値あり）の除去率の単純平均値である。

表-5 遊水池の除去率

(4) 土砂緩止林の除去率

土砂緩止林については、植樹後の年数が浅いことから、別海町及び浜中町の自然林において試験地を設けて窒素・リンの除去率を設定している。（表-6）

土砂緩止林			備考
調査カ所	窒素除去率 (%)	リン除去率 (%)	
別海町内 (当初計画時の試験)	35	90	平成7年～平成8年調査
別海町内	17	24	平成14年調査
浜中町内	60	95	平成19年調査
3事例平均除去率		37	70

表-6 土砂緩止林の除去率

(5) 施設の浄化能力（窒素・リンの除去率）の検証

水質調査の結果から、窒素・リンの除去率は排水調整池及び遊水池ともに、事業計画時に設定した除去率よりも低い値となった。

これは、肥培かんがい施設や土砂緩止林の整備により、負荷物質が高濃度のときに高い除去率を示す浄化型排水施設への負荷物質の流入量が減少したものと考えられる。

（表-7）

	窒素		リン	
	計画値	検証	計画値	検証
排水調整池	20%	10%	20%	-9%
遊水池	20%	4%	20%	-5%
土砂緩止林	35%	37%	90%	70%

表-7 費用対効果分析における各施設の除去率

5. 水質浄化効果の検証

今回の水質浄化効果の検証は、平成19年度に完了した別海地区で行った。

検証に当たり、事業計画時点の水質浄化効果算定に使用した乳牛の飼養頭数、牧草収量は、最新の数値に更新し、浄化型排水施設の除去率は、本水質調査結果に基づき検証した。

なお、排水調整池、遊水池のリンの除去率については明確な効果が確認できなかったため、0として扱うこととした。(表-8)

	平成10年 事前評価		検証 (平成20年)		計画値との増減比較	
	(現況) 平成7年	(計画) 平成20年	窒素	リン		
飼養頭数(頭)	13,208	15,057	13,551		減	
牧草単収(kg/10a)	3,750	4,880	4,541		減	
施設の(窒素)除去率	-	窒素	リン	窒素	リン	-
排水調整池	施設なし	20%	20%	10%	0%	窒素減、リン減
遊水池	施設なし	20%	20%	4%	0%	窒素減、リン減
土砂緩止林	施設なし	35%	90%	37%	70%	窒素増、リン減

表-8 最新の数値に変更した項目と数値

(1) 年間負荷量

年間負荷量について、別海地区では地区内を流下している西別川において水質調査を継続しており、地区の下流側である新生橋地点の流出負荷量から、地区の上流側である長栄橋地点の流出負荷量を差し引き、窒素・リンの年間負荷量を求めた。(図-5)

別海地区の事業計画では、事業実施前の窒素221t/年、リン10t/年の流下量に対して、事業実施後は肥培かんの牧草増収効果及び浄化型排水施設の整備により、窒素146t/年、リン5t/年まで減少すると想定している。

今回行った水質調査では、窒素146t/年、リン6t/年であり計画で想定していた削減を概ね満たしていることが確認できた。(表-9)

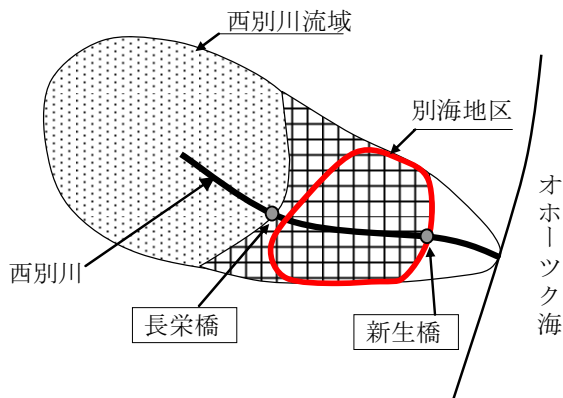


図-5 年間負荷量算定区間の概略図

		平成10年 事前評価		検証 (平成20年)
		(現況) 平成7年	(計画) 平成20年	
窒素	年間負荷量	221t/年	146t/年	146t/年
	削減量 (平成7年を基準)	-	75t/年	75t/年
リン	年間負荷量	10t/年	5t/年	6t/年
	削減量 (平成7年を基準)	-	5t/年	4t/年

表-9 年間負荷量と削減量

実測の年間負荷量は河川水の水素及びリンの濃度と流量から算定しているが、計画値の年間負荷量は平成7年の実測値を基に作成した収支フローを用いて事業実施後に想定される乳牛飼養頭数の増加や牧草収量の増収及び浄化型排水施設の除去率等を考慮して算定している。

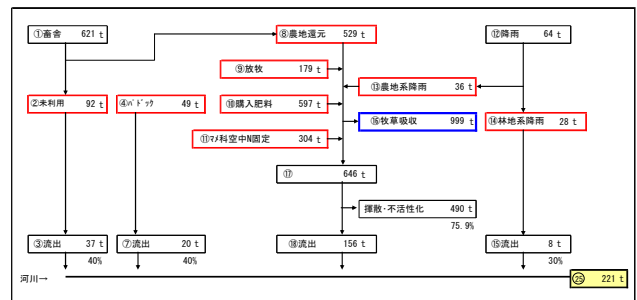
なお、窒素とリンは収支フローの計算過程が同じであることから、本報告では窒素を例に示す。

(2) 窒素の収支計算

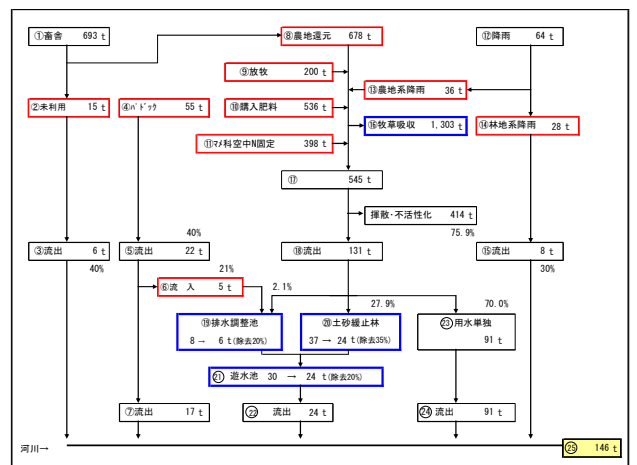
収支フローでは、窒素の流れを畜舎、パドック、農用地、林地に区分した収支計算から、河川に流出する負荷量の算定を行っている。

収支フローでは、肥培かんの導入により「牧草収量」の増加や「購入肥料」の投入量が減少することを示しており、排水路の付帯施設である「排水調整池」「土砂緩止林」「遊水池」の設置によって、河川に流入する負荷物質が削減されていることが確認できる。(図-6)

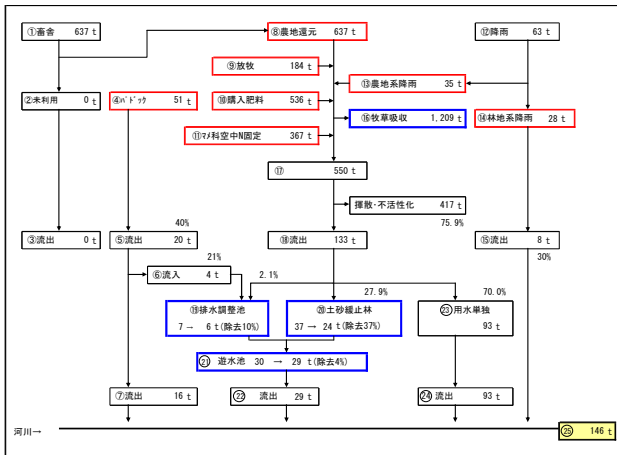
1. 平成7年の状況(事業実施前)における窒素収支フロー



2. 事業計画(目標:平成20年)における窒素収支フロー



3. 最新の基礎資料及び水質調査結果に基づく平成20年の窒素収支フロー



※赤枠が畜舎、パッド等の区分から発生する負荷物質
青枠が浄化される負荷物質

図-6 窒素収支フロー

6. 水質浄化効果額の算定

水質浄化効果算定では、水質負荷物質となっている窒素に単価が存在しないことから、窒素の削減量を金額換算するに当たり、窒素除去施設の整備・運用に必要な年当たり経費（代替事業費）を削減量に乗じて算定する代替法を用いている。

なお、今回の水質浄化効果算定では、土砂緩止林でリンの水質浄化効果が認められるものの、排水調整池及び遊水池について除去率を確認できないことから、リンの削減に関する水質浄化効果額は算定しないことで整理した。

(1) 採用する水質浄化方法の検討

水質の浄化方法には、各種方法はあるが、本地区の代替事業費の検討に当たっては、全国的に見て導入実績が比較的多く、事例収集・分析が可能な生物的浄化と物理的浄化を併用する「接触酸化法」が、本事業の浄化方法に類似していることから代替事業費として採用している。（表-10）

浄化方法	内容
接触酸化法	礫・波板・ひも等の接触材利用により新たに浄化の場を作り出す。 (河床材料の変更を含む)
薄層流法	川幅を大きくし水深を浅くする方法によって水と接触する河床面積を大きくし、河川の本來持つ浄化能力を増大させる。
土壌浄化法	土壌の持つ分解吸着能力を利用し、トレンチ等を用いて土壌中に排水を注入することにより新たに浄化の場を作り出す。
リビングフィルター法	水生生物（ヨシ、マコモ、アマ等）の繁殖する水路に排水を通して、生物の持つ機能（分解・吸着等）や沈殿作用などを利用する。
水源転換法	汚濁した河川に清流を引き込むことによって、希釈・掃流などの効果を図る。
ろ過法	ろ過装置を用いて、物理的に除去する。
曝気法	曝気装置を用いて、物理的にDOの供給を図る。
流路転換法	河川へ流入する汚濁支川の流路を変えて、流入しないようにする。

表-10 主な水質浄化方法

(2) 代替事業費の単価設定

建設省（現：国土交通省）の技術認定評価を受けている接触酸化法の7システムに同省による試験実績の1システムを加えた8システムを基に、支出済費用換算係数を用いて、平成22年度単価に修正を行い代替事業費単価を3,650円/kgに設定した。（表-11）

No	システム名	削減単価 (円/kg) ①	単価年	支出済換算 係数 ②	現在価換算 代替事業費単価 (円/kg) ③=①×②
		全窒素			全窒素
1	ﾊﾞｲｵﾌﾞﾘｯｸ工法	7,420	H5	1.121	8,318
2	ﾊﾞｲｵﾘｰﾝ	2,731	H5	1.121	3,061
3	INS接触酸化装置	1,607	H5	1.121	1,801
4	DBケーｼﾞｰﾍﾞｯﾄ R-W法	2,947	H5	1.121	3,303
5	ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製波板平行版型充填	4,994	H5	1.121	5,598
6	球状砕石集合体を用いた接触酸化方式	1,986	H5	1.121	2,226
7	ﾆｭｰﾊﾞｲｵﾘｰﾝ	1,798	H8	1.094	1,967
8	隙間接触酸化	2,648	H5	1.121	2,969
平均単価					3,650

表-11 代替事業費の単価算定

(3) 水質浄化年効果額

算定結果から、別海地区の水質浄化年効果額は、約2億8千万円である。

- ①平成7年の窒素量：221t/年
- ②平成20年の窒素量：146t/年
- ③1kg当たりの窒素を削減するための経費（代替事業費）：3,650円/kg

○水質浄化効果算定式

$$(①-②) \times ③ = 273,750 \text{千円/年}$$

7. まとめ

本報告では、土砂緩止林・排水調整池・遊水池による負荷物質の除去率について、現地調査のデータを用いた検証の結果、計画当初設定した窒素・リンの除去率を下回っているものの窒素については、明確に水質浄化効果の発現が確認できた。

また、本報告では水質浄化効果について報告したが、その他にも本事業により、動植物の生息環境の向上や地域住民と連携した植樹会を行うことで、地域における環境保全に対する意識が向上してきており、貨幣換算することが困難な内容についても、この事業の効果が発現している。