

水質対策工の長期的な機能維持に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水利基盤チーム、寒地技術推進室

研究担当者：中村和正、鶴木啓二、古檜山雅之、
平吉昭、幸田勝

【要旨】

北海道東部の大規模酪農地帯では、緩衝林帯や水質浄化池といった自然の機能を利用した水質対策工が整備されているが、その長期的機能は十分には解明されていない。本課題では、既整備の水質対策工（緩衝林帯・水質浄化池）の機能モニタリングと評価を継続して実施し、長期的な視点に立った機能評価を行う。また、上記の機能評価をもとに、自然の機能を利用した水質浄化施設の長期的な機能維持を考慮した計画設計技術と維持管理方法を検討する。

2011 年は、水質浄化池の機能継続性評価を実施した。また、これら水質浄化池の土砂堆積に伴う機能変化を追跡するための初期条件として堆積土砂量調査を実施した。さらに、水質浄化池の長期的機能評価として、整備から 10 年程度経過した施設を対象に、過年度に実施された水質データから、周辺土壌条件と水質浄化機能について考察した。

キーワード：窒素、リン、水質浄化池

1. はじめに

琵琶湖や霞ヶ浦流域など、各地において農業活動に起因した水質汚濁が顕在化しており、良好な水質環境の回復が求められている。農業由来の排水は都市下水に比べて低濃度で降水による大量の水とともに移動するため、下水処理のような集中処理は困難かつ不経済であり、自然の機能を利用した水質浄化が期待されている。一方で、自然の機能を利用した水質対策工の計画・設計技術や維持管理方法は未確立で、整備した施設が十分に機能していない場合がある。

北海道東部の大規模酪農地帯では、国営環境保全型かんがい排水事業により、緩衝林帯や水質浄化池といった自然の機能を利用した水質対策工が設置されているが、その長期的機能は十分には解明されていない。現在も実施中や調査計画段階の国営環境保全型かんがい排水事業が複数あり、先行地区で得られる技術的知見を後続地区に反映することが求められている。

過年度の研究において、林地や湿地の水質浄化機能の解明や、水質対策工の機能評価を多数の施設について詳細な調査を行い、整備から数年の短期間な機能を明らかにした。しかし、自然の機能を利用した水質対策工は、植生の成長などにより機能が向上する部分と土砂の堆積などにより機能が低下する部分があるため、長期的な視

点にたった評価を行う必要がある。また、水質対策工の機能が十分に発揮される計画設計技術と、その機能を持続・向上させるために必要な維持管理方法を検討しなければならない。

本課題では、既整備の水質対策工（緩衝林帯・水質浄化池）の多様な気象・水文条件下でのデータが得られるように機能モニタリングと評価を継続して実施し、最終年に過年度の研究と合わせて長期的な視点に立った機能評価を行う。また、上記の機能評価をもとに、自然の機能を利用した水質浄化施設の長期的な機能維持を考慮した計画設計技術と維持管理方法を検討する。

2011 年は、水質浄化池の機能継続性評価を実施した。また、これら水質浄化池の土砂堆積に伴う機能変化を追跡するための初期条件として堆積土砂量調査を実施した。さらに、水質浄化池の機能評価として、整備から 10 年程度経過した施設を対象に、過年度に調査された水質データから、周辺土壌条件と水質浄化機能について考察した。

2. 水質浄化池の機能継続性評価

2.1 調査方法

2.1.1 調査地点概要

調査は、北海道東部酪農地域で実施されている環境保全型かんがい排水事業 A 地区（2011 年度完了）と B 地区

(実施中) で整備された水質浄化池で行った (図-1)。水質浄化池とは、土砂流出及び水質負荷物質を低減させることを目的として設置され、流速緩和により土砂を沈降させる堆砂域とヨシ等により水質負荷物質を吸収し水質浄化を行う植生域から構成される池状の施設である (図-2)。事業計画では、水質浄化機能として、平水時における全窒素 (T-N)、全リン (T-P) の負荷削減率は20%としている。

現地調査は、A地区ではA-1～A-14の14箇所、B地区ではB-1とB-2の2箇所で行った (表-1)。A-1～A-14は、A地区のモデル流域 (地区の中で先行して整備が進められ、効果検証が集中的に実施された流域) に整備され、2007年より水質浄化効果の検証を実施しており、水質浄化効果の長期的変化を観測することができる。B-1とB-2は、2012年または2013年に沈砂域に堆積した土砂の除去が実施される予定となっており、維持管理による機能の回復効果を評価することができる。



図-1 位置図

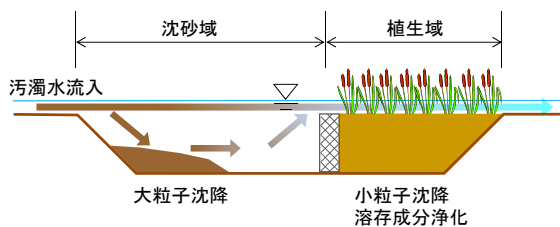


図-2 水質浄化池概略図

表-1 水質浄化池諸元

地区名	施設名	堆砂容量 (m^3)	流域面積 (km^2)	堆積土砂 量調査
A	A-1	356	0.58	○
	A-2	204	0.23	
	A-3	930	1.26	
	A-4	324	0.28	○
	A-5	126	0.21	
	A-6	359	0.39	
	A-7	115	0.09	
	A-8	48	0.14	
	A-9	259	0.22	○
	A-10	72	0.11	
	A-11	24	0.04	
	A-12	178	0.13	
	A-13	434	0.43	○
	A-14	173	0.49	
B	B-1	250	1.60	○
	B-2	137	0.42	○

2.1.2 水質調査

水質浄化池の浄化効果検証のための調査として、平水時は、全地点を対象に2011年5月から11月に月1回程度、流入口と流出口で採水と流量観測を行った。降雨出水時は、B-1で3回の出水を対象に自動採水器を用いて24本/回の連続採水を行った。採水時間間隔は前半12本が30分、後半12本が60分である。水質分析項目は、平水時はT-NとT-P、降雨出水時はT-NとT-P、浮遊物質 (SS) である。A地区については、2007年から2010年に実施した調査結果もデータ解析に利用した。

2.1.3 堆積土砂量調査

水質調査を実施した水質浄化池のうち、現時点で水質浄化効果の良好な地点 (A-1、4、9、13) と、土砂除去の予定がある地点 (B-1、2) において堆積土砂量調査を実施した。現地調査では、池全体を縦横およそ10分割に格子で区切り、各格子点における堆積土砂表面の標高を測量した。土砂頂部の標高と竣工時の底面標高との差から横断面ごとの堆積量を算出し、隣接する横断面との平均堆積量に横断間の距離を乗じて区間堆積土砂量を求め、区間堆積土砂量を加算して池全体の堆積土砂量とした。

2.2 結果と考察

2.2.1 平水時の機能継続性評価

A地区の水質浄化池について、流入部と流出部の濃度の関係を調査年ごとに分類して図-3に示す。T-Nは、流入濃度と流出濃度が1対1の線 (以下、1:1のラインと記す) よりも概ね下に分布しており、池内部で濃度低下していることが分かる。T-Pは1:1のラインの上下にデータが分布しており、流出側の濃度が流入側よりも高い場合もあるが、濃度の絶対値は低いため下流の水質環境への影響はないと思われる。

つぎに、調査年ごとに濃度低下率 ($= (1 - \text{流出濃度} / \text{流入濃度}) \times 100$) を求めて表-2に整理した。値がゼロより大きい場合は、池内部で濃度が低下していることを示す。なお、T-Pは流入濃度が低く、浄化の必要がないデータが多いため、流入濃度が0.01mg/L以下のデータは除いて集計した。「0.01mg/L」という閾値は、当該河川がサケ・マス増殖河川の支流であることから、環境省の「生活環境の保全に関する環境基準」の(2)湖沼のサケ科魚類に対する基準値である水産1種の値を適用したものである。つまり、水質基準を満たしているため、これ以上浄化する必要が無いということである。T-Nの濃度低下率は造成直後の2年と比較すると近年3年は低下していることが分かる。T-Pは年変動が大きく、一定の傾向はみ

られない。続いて、T-N について施設ごとの濃度低下率の推移を図-4 に示す。表-2 に示した通り、2009 年以降の濃度低下率が全体的に下がっているように見えるが、全地点で一律に低下しているわけではないことが分かる。この中で大きく低下している地点は、A-6、7、9、14 である。このうち、A-7 以外は土砂の堆積が進行しており、これが要因の一つと考えられる。A-6 は 2011 年の秋に堆積土砂が除去されたので、次年度は濃度低下率が回復することが期待される。A-7 については、機能が低下した理由は不明である。いずれの地点についても、年変動が大きく、長期的機能の推移を考察するには、データの蓄積が必要であると考えられる。

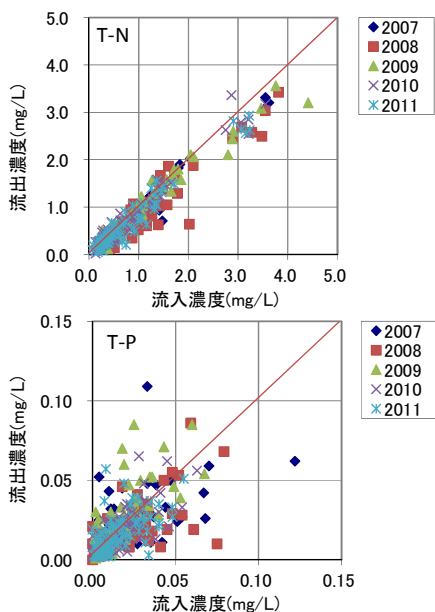


図-3 水質浄化池の平水時の流入・流出濃度 (A地区)

表-2 水質浄化池の平水時における濃度低下率 (A地区、各年の全地点平均を算出)

調査年	濃度低下率 (%)	
	T-N	T-P
2007	16	8
2008	20	24
2009	7	-20
2010	8	7
2011	11	5

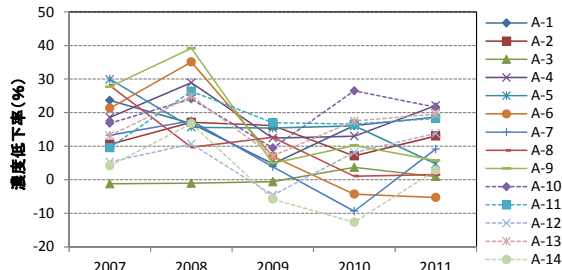


図-4 各水質浄化池の平水時の T-N 濃度低下率の推移

B-1、2 は 2011 年のみのデータで、濃度低下率は T-N がそれぞれ 1% と 19%、T-P は 34% と 58% であった。B-1 で T-N の濃度低下率が低い理由は、後述するように、池内の土砂堆積が進行し、滞留時間の減少により浄化効果が低下したためと思われる。今後、土砂除去の実施による機能変化を観測する予定である。両施設で T-P の濃度低下率がマイナスになっている理由は、データは示さないが、SS 濃度が流出側が高いためと考えられる。リン成分は土壌に吸着されやすいため、SS とともに流出したと推測される。次年度は、溶存態と懸濁態に区分して検討する予定である。

2.2.2 降雨出水時の機能

B-1 における降雨出水時の事例を図-5 に示す。降雨出水時の負荷量は時間の経過と共に変化することから、降雨出水時の浄化効果は、降雨出水のピーク全体の負荷量と比較を行う必要がある。本研究では、負荷削減率 (= (1 - 流出負荷 / 流入負荷) × 100) の算出には、降雨出水による負荷量ピークの立ち上がり点から負荷量変化の終了点までのデータを用いた。図-5 の事例では、10/15 の 7 時頃から 16 時頃までとなる。この期間の負荷削減率を算出すると、T-N で 1%、T-P で 7%、SS で 50% となった。沈降堆積の効果により SS 負荷は大きく削減された。T-N の削減率が低い理由は、溶存態の占める割合が高く懸濁態の沈降による削減効果が少ないためと考えられる。T-P については、土粒子に吸着されて流入するため沈降の効果により削減率が高いと予想されたが、SS ほど高い削減割合ではなかった。これは、T-P の吸着した土粒子はシルト、粘土等の微粒子で、池に沈降せずに流出したためと推定される。観測した 3 出水の負荷削減率と平均

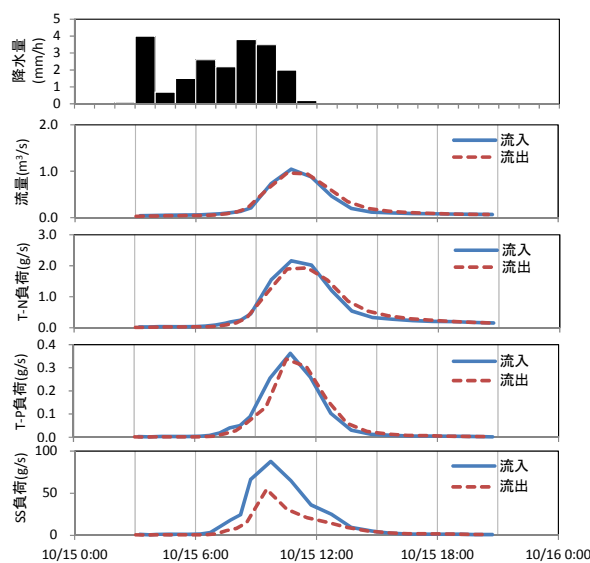


図-5 降雨出水時の水質負荷の経時変化事例

値を表-3に整理した。T-N、T-Pの負荷削減状況は出水ごとに大きく異なるので、次年度は、溶存態と懸濁態の区分など、形態別の浄化状況を観測し、降雨出水時の浄化メカニズムを検討する。また、池内部への土砂の堆積に伴う機能の変化も継続してモニタリングしていく予定である。

表-3 降雨出水時の負荷削減率

	降水量 (mm)	負荷削減率(%)		
		T-N	T-P	SS
9/22出水	81.5	7	0	35
10/15出水	31	1	7	50
10/22出水	36.5	14	11	—
平均値		7	6	43

自動採水器による採水期間(18時間)を対象
降水量は別海アメダス観測値

2.2.3 土砂堆積状況

水質浄化池の土砂堆積量観測結果一覧を表-4に示す。測量時点の沈砂域部分の貯水量と、平水時の平均流量から、平均滞留時間を算出した。池内での水質浄化には滞留時間が重要であることから、今後、土砂の堆積に伴い滞留時間が減少することによる、水質浄化池の浄化機能の変化を観測する予定である。現時点では、B-1で滞留時間が極端に短くなっており、先述したようにT-N濃度低下率が低い要因になっていることが予想される。

表-4 堆積土砂量観測結果一覧
(2012月11月末時点)

地点名	堆積土砂量 (m ³)	貯水量 (m ³)	平水時滞留 時間(h)
A-1	31	482	8
A-4	229	387	13
A-9	112	250	14
A-13	386	260	8
B-1	344	105	2
B-2	62	124	20

平均滞留時間=貯水量/平水時平均流量

2.3 小括

本章では、水質浄化池の濃度低下機能の継続性評価を行った。過年度より調査を継続しているA地区の施設では、整備直後よりも機能が低下している状況が明らかとなった。ただし、データのバラツキが大きいため観察を継続していく必要があると思われる。池内の土砂除去が予定されているB地区の施設では、平水時と降雨時の水質状況を明らかにした。土砂除去の実施によって、これらの状況がどのように変化するか観察していく予定である。

3. 水質浄化池の立地条件と浄化機能についての一考察

3.1 目的

前章で検討の対象としたA地区に整備された水質浄化池は、徐々に機能が低下する傾向はあるが、整備直後は事業計画にある「T-N・T-P負荷20%削減」を達成している施設も多くみられるなど、水質浄化機能が良好に発現していると評価できる。一方で、同様な設計手法で整備された施設であっても、浄化効果が十分に発現されない施設もある。事業を実施した北海道開発局の報告では、前章B地区に隣接するC地区で整備された水質浄化池で十分な浄化効果が出ていない状況が示されている¹⁾。その要因として、流入濃度が低いことや植生域の植物が十分に生育していないことなどが挙げられている²⁾。また、このような施設でも、流入水のBOD濃度が高いときは濃度低下率が高い場合もあることを示しているが³⁾、そのメカニズムは不明なままである。今後、同様の施設を整備するにあたり、蓄積されたデータを解析して浄化効果が十分に発現されない場合の要因を特定することが、計画設計技術の高度化に向けて有益な情報になると考えられる。

本章では、整備から10年程度経過した施設を対象に、過年度に調査された水質データから、流入条件や立地条件と水質浄化機能について考察した。

3.2 調査方法

解析に使用したデータは、C地区で2003年に整備された水質浄化池(C-1)において、過年度に北海道開発局で実施された平水時の水質調査結果である。C-1は前章の水質浄化池と同様に流入側に沈砂域、流出側に植生域がある池状の施設で、幅が13~15m、堆砂域面積2,610m²、植生域面積850m²である。土地利用状況はA地区とC地区で大きな違いはなく、流域全体が草地利用されている。C-1の立地条件がA地区と異なる点は、A地区の土壌が厚層(または湿性厚層)黒色火山性土であるのに対し、C-1の周辺は低位泥炭土が広がっていることである⁴⁾。

現地調査は、2003年から2010年の6月から11月に月1回程度、流入・流出口での採水と流量観測が実施された。検討に用いた水質項目は、T-N、硝酸態窒素(NO₃-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、有機態窒素(TON)、化学的酸素要求量(COD)、生物化学的酸素要求量(BOD)、溶解性鉄(D-Fe)である。

3.3 既往データの解析

3.3.1 窒素の浄化状況

図-6に、C-1の窒素成分の浄化状況を示す。T-Nは、1:1のライン付近に均等に分布し、平均濃度は流入が1.38mg/L、

流出が1.36mg/Lで濃度低下率は1%とA地区の平均に比較して低い。窒素の各形態についてみると、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は大部分のデータで1:1のラインよりも下、すなわち濃度低下率がプラス側に分布し、平均濃度は流入が0.92mg/L、流出が0.82mg/Lで濃度低下率は11%であった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は低濃度であり、濃度低下率は平均で0%とT-N濃度低下率の高低にほとんど影響しない。TONは1:1のラインよりも上に分布するデータが多く、平均濃度は流入が0.37mg/L、流出が0.45mg/Lで濃度低下率は-22%である。数値上は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度低下とTONの濃度上昇が相殺されてT-Nの濃度低下率がほぼゼロになっていることになる。

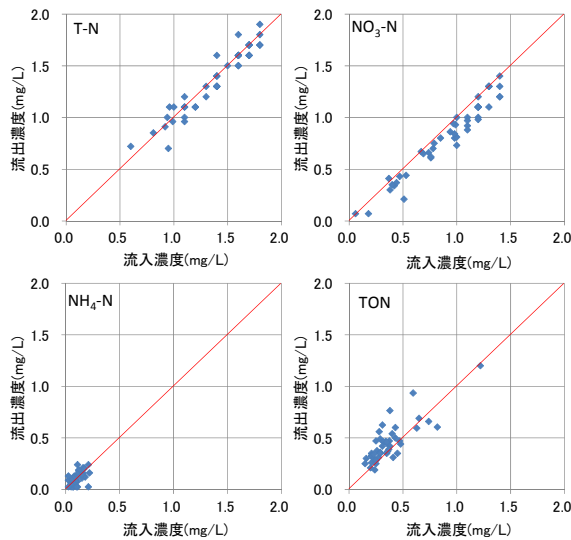


図-6 C-1の流入水と流出水の窒素濃度
(2003~2010年全データ)

3.3.2 課題整理

これまでの北海道開発局の報告や寒地土木研究所が現地で実施した水質対策工の調査、自然の機能を利用した水質対策施設の一般的性質などから、C-1で浄化効果が低い理由として、以下が想定される。

- ① 滞留時間
- ② 植生域の広さ
- ③ 流入水の濃度
- ④ 池内で発生する藻類の流出
- ⑤ 泥炭の分解

①については、滞留時間が長いほど浄化される時間が長いため有利である。C-1の滞留時間は池の容量と平水時の平均流量から約9時間と算出され、表-4に示したA地区のA-1、A-13よりも長く、主要要因とはいえない。②については、植生が十分に発達していると溶存成分の浄化が促進されると考えられる。C-1は植生域の面積が施設全体の約25%でヨシの成長も良好である。一方

で、A地区の水質浄化池で、十分に植生が揃っている施設はA-3、A-9のみであり、植生のほとんど無い施設でも浄化機能は良好であるため、これもC-1の浄化状況を説明できる要因とはならない。③については、流入水のT-N濃度の平均は1.4mg/Lであり、A地区の施設の平均値よりも高く、これも問題ではない。次項以降で、④と⑤について詳細に検討する。

3.3.3 藻類の発生と有機態窒素の関係

3.3.1で示したように、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が削減されてTONが増加することから、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が藻類などに取り込まれて(すなわち有機化されて)減少し、枯死した藻類が流出することでTONが増加していると考えられることができる。この仮定が正しいければ、TONの増減は池内部の有機物の増減と関連しているはずである。そこで、枯死した藻類のような易分解性の有機物の指標になるBODとの関連を検討する。まず、流入・流出部のBOD濃度の関係をみると(図-7)、TONと同様に1:1のラインよりも上に分布するデータが多いことが分かる。しかし、TONの濃度低下率とBODの濃度低下率の関係をみると無関係であった(図-8)。つまり、池内部におけるTON濃度の上昇はBOD濃度の上昇、すなわち池内で発生する藻類の流出(前項の④)とは無関係ということになる。

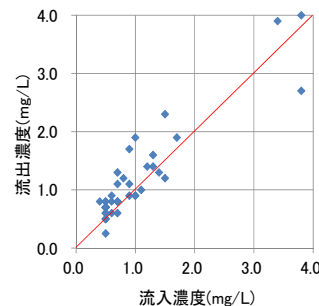


図-7 C-1の流入水と流出水のBOD濃度
(2004~2010年全データ)

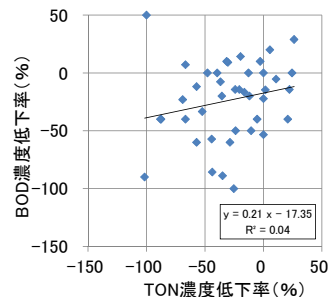


図-8 C-1のTONとBODの濃度低下率の関係

3.3.4 泥炭の分解と有機態窒素の関係

前項において、藻類の流出とTONの濃度上昇に関係の

無いことを示した。また、図では示さないが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度低下率と TON の濃度低下率の相関は高くはないことから（負の相関、 $r=0.63$ ）、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が有機化されて TON が増加するという池内部での形態変化以外にも、TON を増加させる有機物の供給源があることになる。

そこで、BOD 以外の有機物の指標として COD と TON の関係について検討する。まず、流入・流出部の COD 濃度の関係を見ると（図-9）、データは少ないが、TON と同様に 1:1 のラインより上に分布するデータが多いことが分かる。つぎに、濃度低下率について TON との関連をみると（図-10）、BOD の場合とは異なり高い相関関係がみられた。すなわち、池内部における TON 濃度の上昇は COD 濃度の上昇と関連が強いことになる。

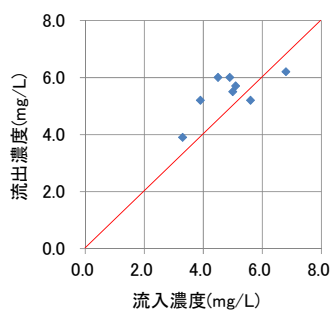


図-9 C-1の流入水と流出水のCOD濃度(2009年全データ)

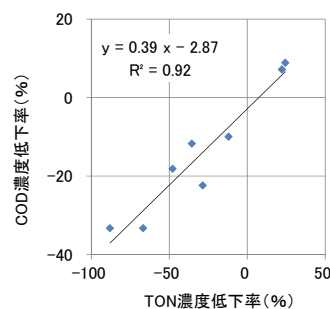


図-10 C-1のTONとCODの濃度低下率の関係(2009年全データ)

ここで、COD 濃度を上昇させる有機物の供給源として分解された泥炭からの溶出が予想される。既往の文献では⁵⁾、分解の進んだ泥炭地の地下水は、COD と D-Fe 濃度が高いことが示されている。そこで、流入・流出部の D-Fe 濃度の関係をみた（図-11）。すべてのデータで 1:1 のラインよりも上に分布しており、濃度低下率は-48%と大幅に濃度上昇していた。人為的な排水等の流入は無いことから、濃度上昇の要因は泥炭の分解以外に考えられない。池は周辺よりも低く掘下げられて造成されているため、池周辺の地下水位は低く、泥炭の分解が進んでいると考えられる。そのため、周辺地下水中の COD や D-Fe

濃度が高くなり、これが池に溶出しているものと考えられる。

以上より、池内部での TON の増加は、池周辺の泥炭の分解に起因した有機物の溶出によるものであり、このことが、C-1 で窒素浄化率が低い主要因と考えられる。

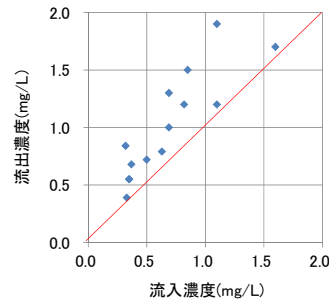


図-11 C-1の流入水と流出水のD-Fe濃度(2008、2009年全データ)

3.4 小括

本章では、泥炭土壌に造成された水質浄化池について、過年度に調査された水質データから、流入条件や立地条件と水質浄化機能について考察した。その結果、泥炭の分解に起因した有機物の溶出により窒素の浄化率が低いことが明らかとなった。しかし、流入条件によっては浄化率が高い場合もあり³⁾、また沈砂域での土砂堆積は進行していることから、浄化機能がゼロというわけではない。今後は、このような立地条件に造成される水質浄化池で浄化効果が発現する条件を現地調査により明らかにするとともに、機能評価方法を検討する予定である。

4. まとめ

本課題では、既整備の水質対策工（緩衝林帯・水質浄化池）の機能モニタリングと評価を継続して実施し、長期的な視点に立った機能評価を行うことで、自然の機能を利用した水質浄化施設の長期的な機能維持を考慮した計画設計技術と維持管理方法を検討する。

2011年は、水質浄化池の機能継続性評価を実施した。また、これら水質浄化池の土砂堆積に伴う機能変化を追跡するための初期条件として堆積土砂量調査を実施した。さらに、水質浄化池の機能評価として、過年度に実施された水質データを解析した結果、泥炭土壌に立地する施設では、泥炭の分解に起因した有機物の溶出により窒素の浄化率が低くなることを明らかにした。

今後は、土砂堆積の進行や土砂除去による機能変化を評価するとともに、機能評価方法について検討する予定である。

参考文献

- 1) 金田敏和, 斎藤大作, 小柳和彰: 浄化型排水路の機能調査について(第3報), 第49回北海道開発局技術研究発表会, 2006
- 2) 町田美佳: 浄化型排水路の水質浄化機能について, 農業土木北海道 29, pp. 41-44, 2006
- 3) 羽生哲也, 相澤俊也, 町田美佳: 別海地区における浄化型排水路の水質浄化機能, 水土の知, 76(6), pp. 34-35, 2008
- 4) 北海道農業試験場編: 北海道土壌図 農牧地および農牧適地, 1985、北農会
- 5) 谷昌幸, 近藤錬三, 筒木潔: 泥炭地水中の溶存有機物と溶存鉄との相互作用, 日本土壌肥科学会誌, 72(3), pp. 348-355, 2001

**A STUDY ON THE MAINTENANCE OF LONG-TERM FUNCTIONALITY
IN WATER POLLUTION CONTROL FACILITIES**

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Cold-Region Agricultural Development
Research Group (Irrigation and Drainage
Facilities) and Director for Cold-Region
Technology Development Coordination
(Cold-Region Technology Promotion Division)

Author : NAKAMURA Kazumasa

UNOKI Keiji

KOHIYAMA Masayuki

TAIRA Toshiaki

KOHDA Masaru

Abstract : Large dairy farming areas of eastern Hokkaido develop water pollution control facilities based on natural functions, such as forest buffer zones and water purification ponds. However, the long-term functionality of such facilities has not yet been fully clarified. In this study, functional assessment from a long-term viewpoint was made by monitoring and evaluating the functionality of existing water pollution control facilities (i.e., forest buffer zones and water purification ponds) on a continuous basis. In addition, related planning/design technologies and maintenance methods were examined in consideration of long-term functionality maintenance based on the above functional assessment.

In FY 2011, the functional continuity of water purification ponds was evaluated. Volumes of deposited sediments were also measured as initial conditions for subsequent functional changes stemming from such deposition. In addition, soil conditions in the surrounding areas and the water purification functions of facilities that were around 10 years old were examined to support evaluation of their long-term functionality based on water quality data collected in the previous year.

Key words : nitrogen, phosphorus, water purification pond