HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	美々川 －自然環境と社会環境の歴史－
著者	余湖，典昭; YOGO, Noriaki
引用	北海学園大学工学部研究報告(50): 11-56
発行日	2023-01-13

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

美々川
―自然環境と社会環境の歴史―

余　湖　典　昭*

The Bibi River
– History of Natural and Social Environment –

Noriaki Yogo*

要　旨

本研究は，千歳市を源流部としウトナイ湖に流入する美々川に関して，その自然環境と社会環境の歴史をまとめたものである．美々川は全川にわたって人間社会の近傍にあり，北海道の開拓にも貢献し人間社会の影響を強く受けてきた河川である．また，湧水を源流として多様な湿原環境を形成し，多くの生き物にすみ場を提供している．本論文では，美々川とその流域の社会環境の歴史を振り返ることによって，人間の営みと河川の関係について考察を加えた．さらに27年間にわたって実施してきた水質調査結果から，美々川の窒素汚染の実態と汚染源についても検討を加えたものである．

* 水ing株式会社，北海道支店
* Swing Corporation, Branch Office of Hokkaido
* 北海学園大学名誉教授
* Emeritus Professor of Hokkai–Gakuen University

目　次

１．はじめに 13

２．美々川流域の自然環境と社会環境 13

2.1.流域の地質構造と地下水脈 13

2.2.美々川と人間社会 15

2.3.地下水涵養区域（駒里地区）の開拓の歴史 18

３．美々川の水質環境 28

3.1.水質調査方法 28

3.2.水質環境の概況 32

3.3.左源頭部湧水群の水質の特徴と経年変化 33

3.4.窒素の汚染源について 38

3.5.上流部の窒素濃度について 46

3.6.家畜排せつ物由来の汚濁発生量について 47

3.7.左源頭部最上流部における河床からの湧出速度と水質分布 50

3.8.美々川の水位変動について 53

４．おわりに 54

参考文献 55

1．はじめに

美々川は，北海道の新千歳空港東側に源流がある全長18.2kmの河川である．豊富な湧水群を源流として湿原地帯を蛇行しながら南下し，ウトナイ湖に流入している．流域では湧水，川，湿原，森林，湖沼などの多彩な自然環境を見ることができ，豊かな植生が形成され，野鳥をはじめとする数多くの動物のすみ場となっている．

また，ウトナイ湖は国設鳥獣保護地区に指定され，昭和56（1981）年にはラムサール条約の登録湿地にも指定された水鳥の多く見られる湖である．その主たる流入河川である美々川は，ウトナイ湖の水質環境を左右する河川としても重要である．

筆者は約27年間にわたって，美々川の左源頭部湧水群と上流部を中心に水質調査を継続してきた．その目的は，主として深刻な窒素汚染の原因究明であった．本論文では，汚染の経年変化や汚染源に関する検討結果について報告するが，その前に美々川が人間社会とどのような関わりを持ってきたかを纏めた．なぜなら，美々川は人間活動の場の近傍を流下し，水環境もその影響を強く受けているからである．

美々川の周辺は湿地であるため河川へのアクセスが困難で，現在は地元の人たちとの接点が意外と少ない．また蛇行する美々川を俯瞰できる高台も存在しないため，いわゆる観光地としての評価は決して高くない．見方を変えると，他の河川にはない数多くの魅力を持っているが，その魅力を感じるには人間から美々川にアクセスすること，知ろうと努力することが必要である．

美々川，ウトナイ湖の水環境は窒素汚染のほかにもいくつかの問題を抱えているが，その解決には行政と市民の理解が必要である．しかし美々川流域の自然環境には極めて多くの要因が関係しており，狭い専門分野の知識では対応できない．美々川のテキストとしての役割を想定し，本論文では先に述べたように，できるだけ広い視点から美々川を論じた．これらの情報がこの流域の環境保全に資する一助になれば幸いである．

2．美々川流域の自然環境と社会環境

2.1. 流域の地質構造と地下水脈[1)]

美々川は火山活動によって作られた川と言っても過言ではない．４万年以上前の支笏火山の大噴火から始まり，恵庭岳，樽前山などの度重なる噴火による大量の火山堆積物が流域全体の地層を形成している．透水性が高く貯水能力が豊富な火山堆積物が地下水層を形成し，美々川の水源となっている．

図１に，美々川源流部付近の水理地質横断面図を示した．また**表１**には，このような地質を構成している地質の概要，過去の火山噴火との関係を示した．美々川周辺の火山群の度重なる

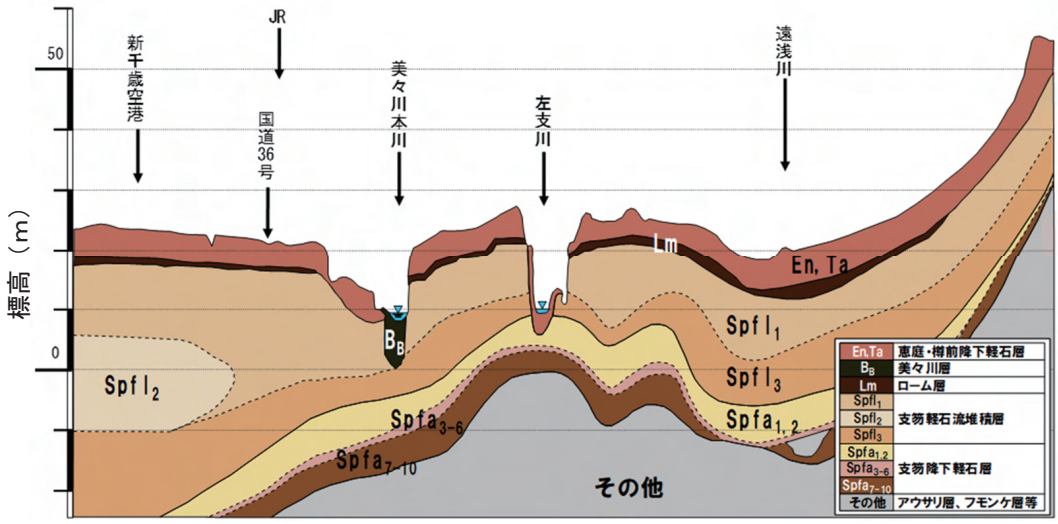

図１　美々川源頭部付近の水理地質横断面図[1)]

表１　地質の概要と火山活動[1)]

地層名	記号	水理地質概要	分布と火山活動の年代
美々川層	B_B	泥炭，粘土などの軟弱な堆積物，二次堆積物などからなるいわゆる沖積層．	・美々川周辺
樽前降下軽石層	Ta	樽前山の噴火による軽石または軽石混じりの火山灰を主とする堆積層．流域の火山灰台地を覆い，降水の大部分を地下に浸透させる透水性の高い地層．	・低地帯全域 ・1739年（－a）， 1667年（－b）， 2.0～4.0千年前頃（－c）， 8.9千年前（－d）に噴火
恵庭降下軽石層	En	恵庭岳の噴火による軽石を主とする堆積層．流域の火山灰台地を覆い，降水の大部分を地下に浸透させる透水性の高い地層．	・北広島から千歳周辺 ・1.3～1.7万年前（－a）， （－b）は年代特定されていない， 2.1万年前（－c）に噴火
支笏軽石流堆積層	$Spfl_1$ $Spfl_2$ $Spfl_3$	支笏火山の大規模火砕流噴火による堆積層で，Ta，En層より涵養を受けて帯水層を形成する．	・石狩川周辺を除く低地帯のほぼ全域 ・4.2万年前頃に噴火
支笏降下軽石層	$Spfa_{1,2}$ $Spfa_{3-6}$ $Spfa_{7-10}$	支笏火山による軽石を主とする堆積層で10層に細分される． $Spfa_{1,2}$は透水係数が著しく高く，美々川の主帯水層である．美々川流量の約80％に寄与すると考えられる． $Spfa_{3-6}$は$Spfa_{1,2}$層と$Spfa_{7-10}$層の間に存在する低透水層で，$Spfa_{7-10}$層の加圧層の役割を果たす． $Spfa_{7-10}$は美々川への寄与率が２番目に高い透水層である．	・石狩川周辺を除く低地帯のほぼ全域 ・4.2～5.0万年前頃に噴火

噴火の影響を受けて，極めて複雑な地質構造が形成されている．特に，透水係数の大きい表層のTa（樽前降下軽石層，透水係数K＝10^{0}～10^{-1}cm/s），En（恵庭降下軽石層，K＝10^{0}～10^{-1}cm/s），その下に位置する透水係数が小さいSpfl層（支笏軽石流堆積層，最も難透水性の$Spfl_3$層でK＝１～２×10^{-4}cm/s），さらにその下にある透水係数の大きいSpfa層（支笏降下軽石層，最も透水性の高い$Spfa_{1,2}$層でK＝５×10^{-1}cm/s）が源頭部での湧水の湧出と強く関連している[2)]．

このような地質構造の流域に雨が降ると，降雨は透水性の高いTa，En層に速やかに浸透し貯留される．その後，透水係数が小さいSpfl層をゆっくり下降する．透水性の高いSpfa層に到達すると，源頭部に向かって早い速度で水平方向に流れて，Spfa層が露頭している源頭部で湧出する．したがって，地表付近に汚染物質が負荷されると，地層に吸着されない成分は地下水流に乗って源頭部で湧出するため，湧水水質は農業や畜産などの人間活動の影響を強く受けている．

美々川流域は以上述べたような独特な火山性地層のため，地下水涵養の視点から見ると，地形上の流域と地下水流域が大きく異なる．池田ら[2)]は地下水温のデータの解析から，美々川の流域が地形上の流域よりも広く，東側は駒里地区を中心とする広い地域を含むことを明らかにした（**図２**）．駒里地区の開拓の歴史は次節で述べるが，紆余曲折を経て現在は全道でも有数の畜産地帯として発展を遂げた．しかし畜産の発展とともに，発生する家畜排泄物も増加の一途をたどり，美々川左源頭部湧水群の高濃度窒素汚染の原因となっている．

かつては，アウサリ川とホカンカニ川は**図２**に示すように途中で覆没していた尻無川であった．図中の地下水の流れの線から分かるように，覆没した水は左源頭部の方向に向かっていたと言われており，遠浅川はホカンカニ川覆没点の南に源流部があった．

しかし，昭和40年代の河川改修工事により，アウサリ川とホカンカニ川の覆没点がなくなり，遠浅川源流部まで河川を延長して新たな遠浅川に改修した．これによってそれまで覆没後に美々川上流部で湧出していた地下水量が0.24m^3／s程度減少したと言われている[2)]．

2.2. 美々川と人間社会

（１）シコツ越え－幕末から明治の初めまで

かつて美々川は，太平洋と日本海を結ぶ北海道唯一の内陸交通路の一部であった（勇払→勇払川→ウトナイ湖→美々川→（約８キロの陸路）→千歳川→石狩川→石狩の約130Km）．２泊３日のいわゆるシコツ越え（勇払越え）である（**図３**）．

北海道の開発は航路により和人が移入し沿岸部から始まった．内陸部には獣道程度の移動手段しかなく，内陸への物資の輸送は河川を利用した舟運が重要な手段であった．そのような状況下で，太平洋と日本海を結ぶ唯一のルートとして先住民族であるアイヌの人たちの生活を支え，さらに明治初めまで重要な交通路であったのが，河川と陸路を利用したシコツ越えのルー

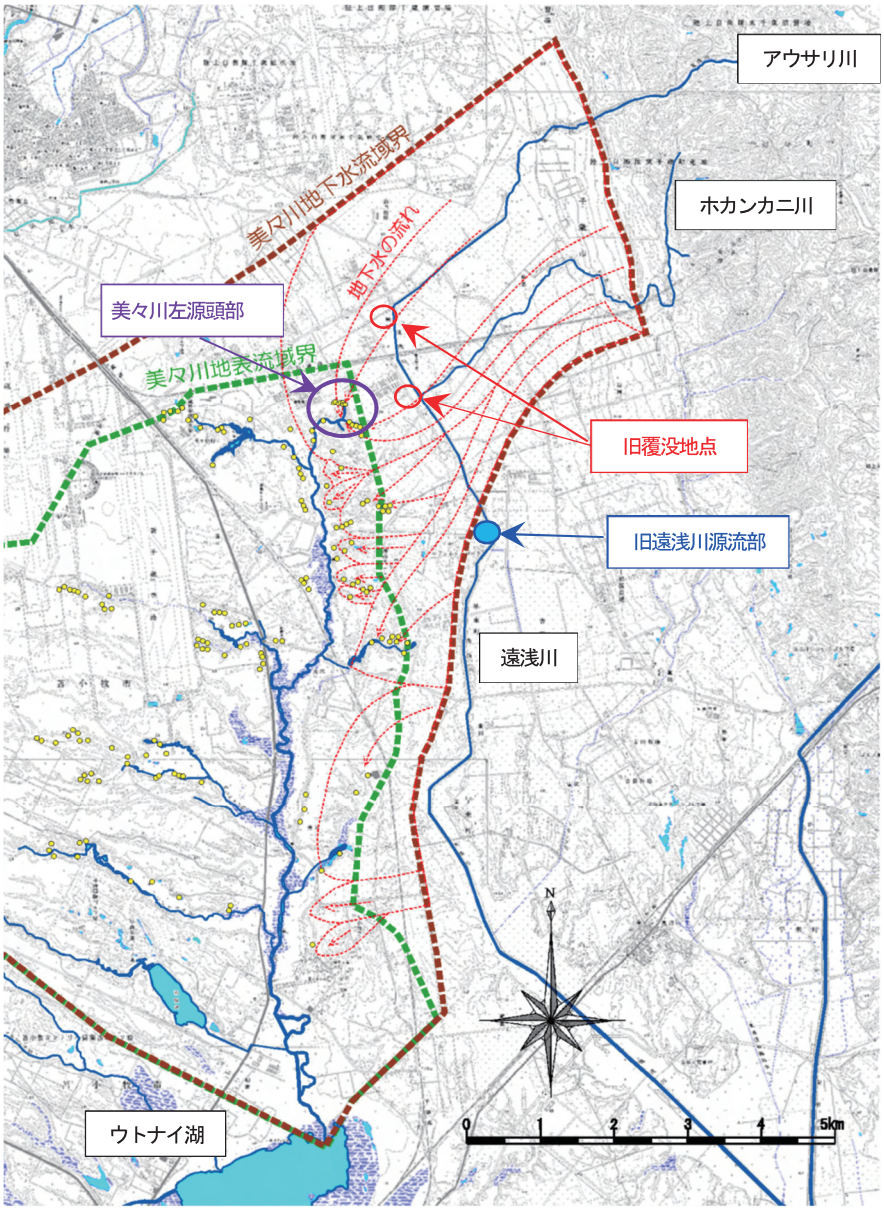

図 2　美々川の地下水流域[1,2]（筆者一部加筆）

トであり，その一部として美々川が利用されていた．

シコツ越えのルートが初めて記録に登場するのは，『正保御国絵図』である[3]．流れが穏やかで流量変動の小さい美々川は丸木舟の移動にも都合がよかった．多量の交易品がこのルートで輸送されたと言われている．

享和元（1801）年，磯谷則吉は蝦夷地取締御用掛松平忠明の蝦夷地巡見に随行して蝦夷道中

記を残した．勇払からシコツ越えのルートを利用した記述があり，勇払川，ウトナイ湖，美々川の様子を書いている．特に船着場から千歳に至る陸路には甘棠（かんとう）が一里にわたって満開であったと書き残している[4]．

北海道の名付け親である松浦武四郎は３度千歳を訪れているが，美々川を２度（弘化３年（1846），安政５年（1858））船で下っている[5]．「西蝦夷日誌」の安政５年（1858）６月20日に以下のような記述がある[5,6]．

「両岸荻，蘆蓊鬱として，此方彼方より船の出入るさまは，梁山伯の阮家の三兄弟が遊漁のさまもやとおもはれぬ．」

これは，美々川の船着き場（現在の美沢川上流．新千歳空港の滑走路下に当たる．）付近の様子を書いたものである．現在では想像もできないが，数多くの船が往来し，交通路として非常に重要な場所であったことを示している．さらに，

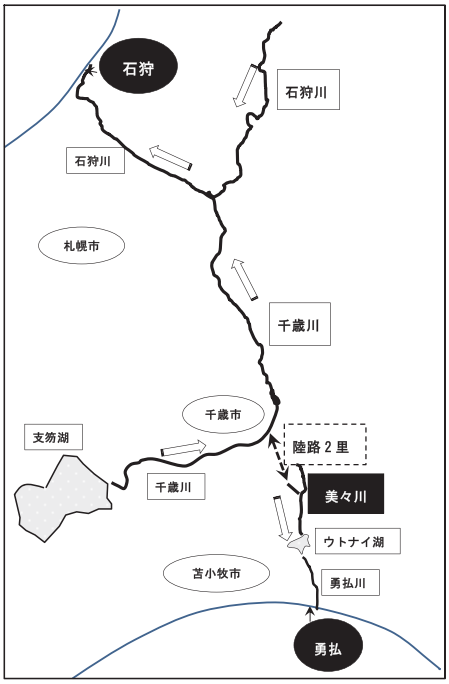

図３　シコツ越えのルート

「大やまと　豊蘆原の　國の名は　このあたりより　呼そめしかも」と詠んでいる．

当時の景色はわからないが，広大なヨシ原に覆われた湿原の景色を表現しているのであろう．西に樽前山，風不死岳，恵庭岳の山並みを船上から見ていたのであろうか．日本の原風景として称賛しているが，船上からしか見えない風景である．

恐らく，武四郎が訪れた時代が，美々川が最も人間に利用され，社会的に重要な役割を果たし，同時に自然の美しさも評価されていた時代であった．

明治６年（1873）に札幌新道が開通するなど陸路の整備が進むと，輸送手段は次第に陸路に移り，水路としても美々川の役割は忘れられていった．

大正時代になって１回のみシコツ越えが復活したことがある[7]．小樽高島町の漁師は，明治末期までに前浜のホタテをとりつくし，漁場を求めて遠征を始める．大正６（1917）年６月24日に勇払海岸に到着．９月30日の漁の終了日が近くなると函館回りの帰路は西風が強く危険なため，シコツ越えのルートを使って石狩から小樽に輸送することを考える．陸路の苦労などあったが，帰路は５日間に短縮できた．しかし，資源保護上の理由でこの年限りでホタテ漁は中止された．これが記録に残る最後のシコツ越えである．

（2）戦後の開発計画

高度成長期には，利用価値の少ない美々川の湿原流域はごみ処分場などの迷惑施設用の敷地として使用された．また昭和40年代以降，源頭部湧水群の水質は家畜排せつ物由来の窒素汚染により急激に悪化し，現在も改善されていない．

昭和57（1982）年に北海道開発局による千歳川放水路計画が突然浮上する．放水路は，千歳川流域の氾濫防止のため，洪水時に千歳川の水を太平洋に放流するもので，工期20年・総工費4800億円の巨大プロジェクトであった[8]．この計画に対して，美々川とウトナイ湖の環境破壊につながるとして反対運動がおこり，一気に美々川に対する世間の関心が高まった．種々の経緯を経て，計画は平成11（1999）年に中止となったが，この18年間にわたる混乱が現地住民に残した行政不信の爪痕は，現在も尾を引いている．

ただし唯一の救いは，放水路建設の環境アセスメントに関連して，北海道開発局により膨大な環境調査が実施されたことである．短期集中型の調査であったが，その結果の一部は美々川流域の環境基礎データとなり，調査によって明らかになった事項も多い．本研究でもそのデータを一部利用している．

放水路計画中止に伴い美々川に対する世間の注目度も一気に醒めてしまった．しかし周辺の開発は進行し，美々川流域の環境悪化に歯止めがかからない．

2.3. 地下水涵養区域（駒里地区）の開拓の歴史

2.1. で述べたように，美々川左源頭部の湧水群は，主に千歳市駒里地区への降水が起源であり，それが火山堆積物の複雑な地層を移動し湧出したものである．したがって，湧水水質には駒里地区の産業活動の影響が強く反映されることになる．

後述するように，現在駒里地区では畜産が大規模に行われており（特に養鶏，最近は養豚も増加），千歳市の主要産業となっている．**3.** で述べるように，その排せつ物が地下水質へ影響し，美々川の窒素汚染の要因となっている．

美々川の環境保全には，地元畜産業と行政の連携が不可欠であることは自明である．しかし，そこに踏み込む前に，駒里地区の産業構造が，明治の開拓時代からどのような政策と経緯を経て現在の姿に至ったのか，歴史を振り返ることも重要であると考えた．水環境をテーマとする論文としては，やや異色ともいえる構成であるが，人間活動との距離が極めて近い美々川の水環境保全を考えるには．重要な視点と判断した．

なお，記述内容については，以下の既存資料から多数引用していることをお断りしておく．ただし，これらの資料の記述を比較すると，辻褄の合わない点が相当数みられる．その場合は，発行年の新しい資料の記述を採用することとした．

・1949　躍進千歳の姿　開町七十周年記念[9]

・千歳市史[10)]
・増補　千歳市史[11)]
・新千歳市史（上巻，下巻）[12)]

駒里の地名は昭和27（1952）年の字名変更から使用されたもので，それまではアウサリ（阿宇砂里）地区と呼ばれていた．アウサリとはアイヌ語で，「ホカンカニ，アウサリ両河川内の葭（ヨシ）原（川股にある葭原）」を意味していると言われている[13)]．しかし，「川股にある葭原」というアウサリの意味をあらわす景観は，後述するように明治以降の記録からは確認できない．アウサリ地区は，開拓当初から第２次世界大戦前まで，地域内の樹木を原料とした産業にも支えられてきた歴史的事実からも明らかである（後述）．

元文４（1739）年に樽前山が大噴火し，アウサリ地区にも大量の降灰があった．おそらくこの影響によって，それまであった葭原が消滅し，時間をかけて湿原が樹林に代わっていったものと推定される．

千歳には，先に述べたシコツ越えの要所として，あるいは獣の皮や鮭の取引のために早くから和人が交易のために入っていたが，和人が定住し本格的な開拓が始まったのは明治になってからである．

北海道の開拓は，明治５（1872）年から開拓使10年計画が実施に移され，ケプロンの提言を受けながらインフラ整備など大事業が開始された．明治７（1874）年からは屯田兵制度も始まり，北海道は旧武士や貧困層の受け皿となった．ケプロンは，北海道では稲作は不適と考え，畑作有畜農業を提唱した．

千歳についても，明治５（1872）年の開拓使千歳出張所開設，郵便取扱所設置，明治10（1877）年支笏湖街道開削，明治11（1878）年官営美々鹿肉缶詰所開設（資源枯渇のため17年廃止），明治13（1880）年千歳教育所開設（明治14（1881）年公立となる），勇払外五群郡役所開庁，千歳郡各村戸長役場開庁と続き，明治17（1884）年には山口県から31戸140人が団体移住した．明治19年以降には漁村（現在の恵庭市）にも山口県から団体移住が何度か行われた．しかし結果として，定着した人は極めて少なかったといわれる．

以上のような急速な開拓にやや遅れ，アウサリ地区に最初に和人が入植したのは明治18（1885）年，国有地の払い下げを受けた札幌郡山鼻村の横島徳次郎が，横島農場を創設したのが最初と言われている．横島農場は60町歩（約60ha）を開墾した．駒里地区の面積は約2,400haであるから，開拓面積はごく一部である．当時の農耕法は，木を切り倒して表土を耕し，座布団を二つ折りにした状態で両側から畝を作り，この上に種をまいた．同時期に大原力松，田中銀蔵も入植した．しかし樽前の火山灰が厚く積もり地味は悪かった．どのような作物を育てていたかは不明である．

明治19（1886）年に，北海道庁が開庁する．初代長官岩村通俊は，それまでの直接保護から間接保護に殖民政策の方針を大きく変更する．すなわち，道庁は殖民地の選定やインフラ整備を手掛け，内陸の開発には内地資本や移民を利用しようとするものである．この政策実行のため，明治19（1886）年の北海道土地払下規定，明治31（1898）年の北海道国有未開発地処分法の制定によって，大規模な殖民地の払い下げが実行される．

明治19（1886）年の北海道土地払下規則の制定に伴い，道庁は殖民地選定事業（殖民区画測設）に着手する．千歳では千歳原野と長都原野が対象となった．殖民地とは，道庁があらかじめ調査した開墾予定地・開墾適地のことである．千歳の殖民地選定調査は，明治19（1886）年から27（1894）年まで実施された．現在の千歳市に選定された殖民地は，南は国道36号線，東は千歳川（改修前の旧千歳川），西は漁川，北は旧長都沼に囲まれた地域である．さらに北の島松・漁（現在の恵庭市），旧夕張川両岸，千歳川両岸の広大な地域が選定され，区画割が行われた．最小区画は100間×150間（182m×273m，約１万５千坪）であった．現在でも空中写真で整然と区画された様子をはっきりと見ることが出来る．ただし，農耕に不適な火山灰地は対象外となったためアウサリ地区は選定事業の対象とはなっていない．

明治31（1898）年の北海道国有未開地処分法が制定され，民間資本の導入を促すさらに大規模な土地貸付が始まった．開発に成功すれば土地取得は無償になる条件付きで，一人当たりの制限面積は農耕地で150万坪（500Ha），牧畜地で250万坪（833Ha），山林は200万坪まで，立ち木も無償付与であった．会社や組合はその倍の面積が貸し付けられた．

明治25（1892）年に北海道炭鉱鉄道の岩見沢―室蘭が開通すると，アウサリ地区は千歳村よりも早来との結びつきが強くなった．様々な物資が早来駅経由で輸送されることになる．このような状況下で，アウサリ地区は木材資源を利用した産業で生き延びていく．

明治30（1897）年に，アウサリ地区に豊富に繁茂していたドロの木を使ったマッチ製軸工場が４か所でき，従業員らで人口が増え，明治31（1898）年には横島徳太郎宅で寺子屋式の私塾が始まった．黒田重太郎が十数人の学齢児童を教え，明治33（1900）年には千歳尋常小学校阿宇砂里分教場が認められた．松本宅でも教育塾を開いた．これが現在の千歳市立駒里小中学校の前身である．

しかし原料の枯渇で，明治39（1906）年にはマッチ工場が閉鎖される．同年，阿宇砂里簡易教育所設置により私塾から公立学校となった．

当時の住人の手書きの地図によれば（**図４**），アウサリ川とホカンカニ川に沿って住宅が点在している．地図にはマッチ工場が４か所あるため，明治30（1897）年代の様子を表していると思われる．横島が２件，松本，などの名があるが，黒田重太郎の名はない．ホカンカニ川沿いにはアイヌ人が，アウサリ川沿岸には和人が多く住んでいたらしい．また両河川の覆没地点に小さな池も書かれている．

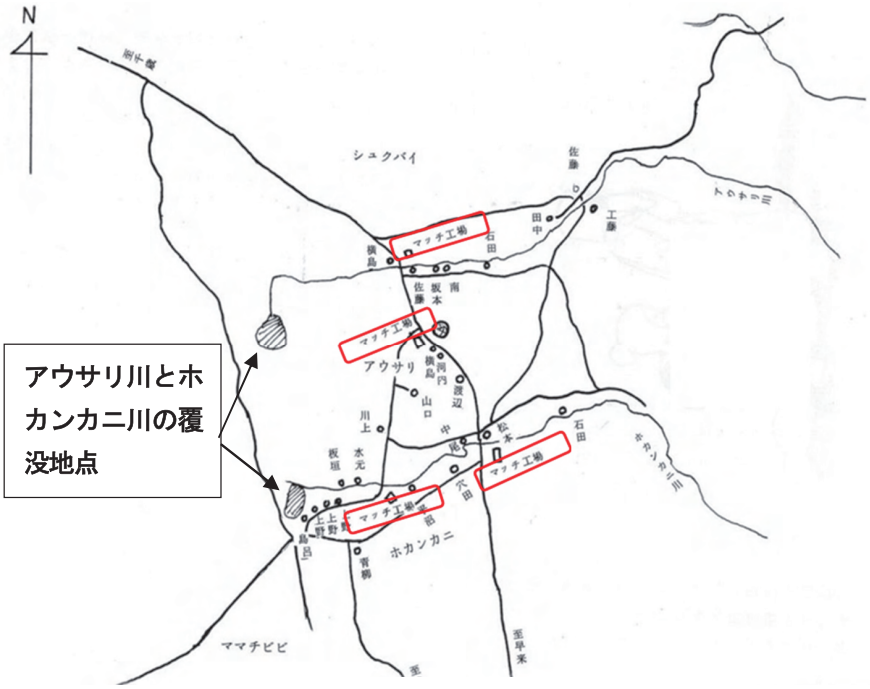

図 4　明治時代の駒里地区の様子[12]
（筆者一部加筆）

明治35（1902）年５月に，東京の桜組合資会社が，タンニンエキスを製造する日本一の規模の製渋工場を早来村に建設開始する．翌明治36（1903）年８月に製造開始し，アウサリ地区で産出される柏（カシワ）の渋皮が原料として使用された．また，渋皮を取った後のカシワを炭に焼いた．窯から焼いた木を出し，土をかけて炭にする消し炭に似た方法であった．この頃から製炭が商売として成り立つようになる[14]．

桜組はアウサリ地区に牧場を開いた（桜組牧場）との記録があるが，土地を取得した経緯や面積は不明である．また本当に酪農を行ったのかの記録はない．むしろ柏の木の確保のための方策であった可能性が高い．

近唐（コムカラ）(現在の協和）に最初に入植した人たちも，製渋工場の原料に木を切り，樹皮を追分に出した．明治40（1907）年４月，日皮革㈱が工場を引き継いだが，明治44（1911）年原料枯渇のため早来の製渋工場は閉鎖され，十勝国池田に工場を新設し移転した．

マッチ軸，渋皮，薪炭などいずれも資源切り売り型の産業によって，かろうじてアウサリ地区は生き延びていた．また，記録に登場する人物名も入れ替わりがあり，入植と離植が繰り返されていたようである．薪炭については後述するように，残された資源を切り売りして戦後まで継続することになる．

明治39（1906）年のマッチ工場の閉鎖は，アウサリ地区にとって大打撃であったはずである

が，明治41（1908）年の阿宇砂里簡易教育所の学童数は33名との記録があり，現在の駒里小中学校よりも生徒数は多い．また，部落有志によって教員住宅を建設している．さらに明治43（1910）年には建設費20円で（村費と部落民の寄付金が半々）校舎を新築し，早来の製渋工場が閉鎖された明治44（1911）年にも，農村青年のために夜学科を設置し11名が入学している．

マッチ軸製造，渋皮採取が資源枯渇で衰退する中で，生徒数の大きな減少は記録されていない．細々ではあるが農業が定着していたのであろう．当時の生活は決して裕福ではなかったと思われるが，子供だけでなく若者も対象とした夜間教育を，地元住民の支援を受けて実施していた熱意には驚かされる．

木材の天然資源を切り売りする綱渡りのような産業構造下で，何とか生き延びてきたこの地域であったが，持続的な産業構造の構築が求められるようになる．

前述のように，開拓使は明治の初めからケプロンの進言を受けて，有畜農業や酪農・畜産を推奨してきたが，アウサリ地区では導入が遅れていた．大正２（1913）年に，アウサリ地区の畜産酪農がやっと始まる．厚さ１m以上の火山灰地では有畜農業しかないとして，西城忠光がエアシャー種の牛２頭を導入．石田六三．穴田某もこれに続いた．横島農場跡地に入植した宮脇（熊太郎？）は，牧柵を作りめん羊200頭を飼育し，アウサリの有畜農業の基礎を作った．この時点で，最初にアウサリ地区に入植した横島農場はすでに撤退していたことが分かる．

大正年間のアウサリ地区の農作物については詳しい情報がないが，千歳市全体の生産額統計から推定すると，麦や豆類が主要な農産物であったと思われる．

しかし，大正３（1914）年には全道的な大凶作に襲われ，第１次世界大戦が勃発する．戦争の影響で一時期豆類の価格が高騰するが，大正７年終戦により豆類の輸出激減，相場は暴落し，大正10（1921）～14（1925）年頃に農家数が激減（千歳では特に自作農）した．

なおアウサリの桜組牧場は，大正９（1920）年，室蘭の利根五郎兵衛が買い取り小分けして売ったと言われている[14]．これにより，アウサリ地区に新たな入植があったと推定されるが，詳細は不明である．

この頃から，北海道全域で略奪農法による地力低下が問題となる．北海道庁は，畑地の水田化，有畜経営による地力回復，畜力による農機具利用などを推進した．畑作から収益の良い稲作への転換（根志越，祝梅，剣淵，長都地区で），乳牛飼育による経営改善等，農業の転換期であった．長都，アウサリ地区では火山灰地の農地対策は有畜化にあるとして，酪農経営を行う農家が増えてきた．

ただしこの頃はまだ農耕馬の飼育数が多く，乳牛は少なかったが下記のように千歳市の乳牛数が年々増加する．

大正11年： 51頭

大正14年：158頭

昭和８年：578頭

昭和10年：797頭

昭和11年：892頭

昭和２（1927）年，アウサリ地区で松本賢次が長となって酪農組合が組織され，集乳所を設けクリームを分離して輸送缶に入れ，美々駅から雪印札幌工場に出荷可能となる．

昭和５（1930）年には，アウサリ地区の乳牛の飼育農家が，松本，板垣，大蔵，西条，中尾，水本と増え，長都に次ぐ酪農地帯となる.（大正２年に名前があった，石田，穴田，宮脇の名前がない）.

昭和８（1933）年には遠浅に酪連のチーズ工場が完成したため，牛乳のまま馬車で出荷可能となり，集乳所は閉鎖された.

紆余曲折を経て，アウサリ地区は酪農地帯として生産が軌道に乗りつつあったが，再び戦争が影を落とし始める．その顕著な影響は，薪炭業に現れる.

アウサリ地区には，大正３（1914）年５月26日に千歳村が国有地を購入し，村有林となったアウサリ林団地があった（106.46町歩）．昭和14（1939）年，千歳村はアウサリの村有林内（団地），19.5haの闊葉樹林木（幼齢樹848.695m^3）を大蔵長蔵と売買契約を結ぶ．薪炭用材の不足に悩む薪炭業者のための払い下げであった.

昭和15（1940）年，石狩支庁から木炭増産の通達がでる．これを受けて，村役場は８月20日従来の焼き子である水本清次，太田十太郎，大蔵進（蔵？）に本件に関して出頭を求める．さらに９月６日，阿宇砂里第一農事実行組合長松本賢治（次？）と同第二農事実行組合長武田菊五郎にも出頭要請.11月１日，両農事実行組合とアウサリ団地の村有林内44町２反１畝の立木闊葉樹（幼齢樹）11,672石２斗の売買契約をし，製炭のため窯を築くことを認めた．昭和14（1939）年と15（1940）年で，アウサリ地区の村有林63.5haが薪炭材として伐採された．伐採面積は，現在の駒里地区の面積の約３％である．伐採したのは，アウサリ地区の東側丘陵地帯と思われるが，伐採跡地に更新された樹齢20年程度の林であった．恐らく約30年前に銃床，マッチ軸製造のためドロの木が伐採されているので，その後に再生した２次林であろう．昭和19（1944）年の空中写真にそれらしき伐採の痕跡らしきものが認められる.

戦時下の需要増もあって，千歳村製炭実行組合はしばしば村有林の払い下げを陳情するが，薪炭材の減少が生産量の枯渇につながり．やがて産業としての役割を終える.

昭和17（1942）年に入ると，アウサリ川上流北側に海軍航空基地の建設工事が始まり，アウサリ地区に飯場が立ちにぎやかになる．戦時体制下，若者が連日かり出された．昭和20（1945）年に海軍第二千歳滑走路2500mが完成したが，皮肉にも同日に終戦を迎えた.

昭和20（1945）年に入り戦況が悪化し国内都市部の空襲が本格化すると，千歳にも疎開と食糧確保のために都市部から疎開転入者の受け入れが始まる．続けて終戦後は入植者を受け入れ

ることになる．この間，農地調整法（1938年）の改正と，自作農創設特別措置法（1946年）及び関連法の特別会計法などがGHQの指揮下で行われ，農地の買収・譲渡は昭和22（1947）年から昭和25（1950）年までに行われた．このような戦中から戦後に連続的に行われた劇薬ともいえる種々の政策は，千歳市の農業にも極めて大きな影響を与える．千歳については，昭和22（1947），23（1948）年に小作人318戸に対して水田と畑地を合わせて803ha,1戸平均2.53haが売り渡された．農地改革に対しては様々な評価があるが，経営面からみると農業の小規模化が進み国際競争力が低下した結果となった．当然アウサリ地区でも大きな変化があったと推定されるが，詳細な記録はない．

千歳市の戦災帰農者と戦後の入植者は，昭和23（1948）年までに200戸に達した．その内，長都が151戸の多数を占めた．農林省は北海道総合開発の共同経営実験農場として，昭和23（1948）年度に千歳祝梅とアウサリの火山灰地約1,400町歩を指定．全道から入植者を募る．しかしアウサリには入植者はいなかった．祝梅には24戸ほど入植したが多くが離農した．アウサリ地区には昭和23（1948）年と24（1949）年に各１戸入植したとの記述があるが．昭和25（1950）年迄の開墾総面積は，長都で566町，祝梅156町などであり，アウサリの記録はない．過去の実績から，アウサリ地区の地味の悪さが入植者にも知れ渡っていたのであろう．

昭和25年（1950）になってやっとアウサリ地区にも動きが出てくる．アウサリ地区開拓計画書（内容の詳細不明だが，その後の動きから推察して，酪農の推進が計画されたと思われる.）が策定され，アウサリ地区に18戸の入植があり，１戸８町経営の酪農計画がスタートした．行政は戦後になっても「本町の理想的農業経営形態は有畜農業である」と言う姿勢を続けており，かつ農耕馬から乳牛へのシフトが進行し，乳牛飼育数は徐々に増加していた．

昭和27（1952）年，字名変更によりアウサリが駒里に変更になった．開拓当初から馬の飼育数が多かったことに由来していると言われている．同時に阿宇砂里小学校は駒里小学校に校名変更され，中学校の教室が落成した．

昭和30（1955）年代に入っても，駒里地区に入植した人は，相変わらず土壌改良を目的とした酪農を関係官庁から指導されていた．しかし飼料確保が難しかったため，土壌改良を続けながら換金作物としてスイカ栽培を始め，千歳西瓜として札幌や室蘭に出荷する特産品にまでなったが，その後の冷害で転作を余儀なくされた．昭和32（1957）年に，家畜の飼料確保のため８町歩から倍の16町歩の酪農形態に計画変更し，この時点で41戸が営農していた．

昭和33（1958）年に入植した堀勝らは１戸16町歩体制でも酪農経営は難しいと考え，排水の良さ，積雪の少なさを勘案して養鶏を選択した．ここから養鶏を主産業とする新しい駒里地区がスタートする．

昭和38（1963）年に農業近代化資金大型家畜が養鶏にも適用となり，堀は79万円の資金を得て，アメリカのメルビル方式による専業経営をスタートさせた．２年間の成果により，昭和39

（1964）年度に創設された政府豚鶏資金を昭和40（1965）年に５戸が活用し，駒里地区に３～５万羽の大規模養鶏団地ができることとなった．

酪農経営では飼料の確保が大きな問題となることは現在では常識であるが，開拓初期から，行政が大型家畜（馬，牛）による有畜農業に固執してきたことが，駒里地区の開拓が迷走した原因ともいえよう．民間人の発想から養鶏への切り替えが行われたことは，特筆すべき歴史である．

昭和42（1967）年から駒里地区の養鶏の大型化が本格化する．昭和43（1968）年，毎時１万２千個の処理能力のある選卵場が屠畜場を改修して完成した．しかし，昭和44年（1969）年には豪雪で地区内鶏舎の半分に当たる27棟が全壊，成鶏３万９千羽が圧死し，被害額は5600万円に達したが，同年中に防衛庁の補助により毎時１万６千個の選卵機を導入するなどして復旧・発展した．JAから品質が評価され道央養鶏団の名で指名を受けるに至る．廃鶏の処理の事業化がきっかけとなり，昭和45年に５つの農場が賛同して農事組合法人道央養鶏が立ち上げられた．

昭和45（1970）年，飼養数128,180羽，飼養農家数は144戸となり，これ以降千歳市での飼養数は全道１位を維持している．昭和47（1972）年に駒里に選卵場が移転新築，さらに同年ホクレンに一元出荷することとなった．昭和48（1973）年，第一次畜産経営特別資金により道央養鶏は成鶏40万羽体制となる．昭和49（1974）年には第二次，三次畜産経営特別資金により，選卵機の購入，鶏舎内部の合理化を図った．

しかし，昭和45年頃から価格下落が起こり，自主滅羽運動がおこる．また，昭和48（1973）年オイルショック（昭和48（1973）年10月～昭和49（1974）年８月）で飼料が高騰．飼育羽数を減らし鶏卵の生産調整が必要となる．昭和49（1974）年，千歳市鶏卵需給調整協議会を設立．協議会には大手の道央養鶏，ホクレン養鶏団地東千歳組合,3000羽以上の採卵用成鶏雌を飼養する生産者，各農協代表，市長，その他鶏卵の需給調整に関連するものによって組織された．

昭和51（1976）年，千歳市開拓農業協同組合は選卵場の運営管理を道央養鶏に事業分離．その後，道央養鶏が全面経営することになる．昭和52（1977）年，選卵場と廃鶏処理場が焼失．8250万円の損失を出すが，翌年ホクレンの援助を得て鶏卵集荷センターが完成した．この年，千歳市鶏卵需給調整協議会は石狩支庁から，鶏卵の需給調整に関する協議や調査，その報告や周知する事業を受託した．

昭和54（1979）年，飼養数595,000羽，飼養農家数は21事業体となり，大規模経営が急速に進んだ．しかし，昭和57（1982）年，千歳川放水路計画が決定されると，計画地域に駒里地区が含まれていたため，将来的な事業継続が危うくなる．この後放水路計画は，大きな社会問題となり，駒里地区は放水路計画に18年間にわたって翻弄され続けた．

平成11（1999）年，結局，放水路計画が中止される．計画着工を想定して設備投資を行わなかった駒里養鶏団地への影響は大きく，㈲駒里エッグファーム，㈲武石忠興農場，㈲サークルファーム，㈲沼山ファームが養鶏事業廃業に追い込まれ，㈱道央養鶏を設立した．㈱道央養鶏は，平成13（2001）年に家畜排せつ物法に対応して，高度発酵肥料駒里生産センターを開設し（国と同の補助金を活用し，17億６千万円で建設．約80ton／日の国内最大級の鶏糞処理能力を持つ），翌年４月から本格操業，製品販売を開始した．

放水路計画によって，駒里地区では基盤整備や施設近代化等の農業投資がほとんど行われることなく約20年が経過し，経営改善が抑制された中で負債の累積と農業従事者の高齢化のみが進行してきた．このため，畑作，野菜，花卉栽培等の地元農業にも大きな影響が出てきた．これまで離農者の土地は他の農家が購入し農地の拡大で対応してきたが，一農家当たりの農地面積が限界に達し，次第に遊休地が増え担い手不足が深刻化した．そこで駒里地区は平成15（2003）年に，都市近郊型の立地条件を生かした農村再生特区の指定を受けて，新規就農者の農地下限面積２haを10aに緩和する措置を取り，初期投資を抑えて就農者を募る試みを開始した．この申請書には，「鶏糞処理及び堆肥製造施設をこの地域に整備し，堆肥が耕種農家に還元される体制が整っている．」との記述がある[15]．これは高度発酵肥料駒里生産センターで生産された発酵鶏糞の農業利用を指している文章と思われる．このような方策は，当面の遊休地対策としては有効であろうが，小規模経営が持続可能かが課題と思われる．

平成22（2010）年，廃業した養鶏場の資産は，飼料会社などを経て㈱ホクリョウが取得し，翌23（2011）年10月には防疫や管理の全自動化可能なホクリョウ千歳GP工場が操業開始した（GPとは鶏卵自動選別包装施設（Grading&Packaging）のこと）．これにより，駒里地区の養鶏は㈱ホクリョウと㈱トーチクの大手２社体制となった．

㈱トーチクは昭和50（1975）年に駒里地区で養鶏を開始している．昭和57（1982）年には28万羽を飼育．平成12（2000）年には，千歳GPセンターを建設し，60万羽に規模拡大．平成26（2014）年７月に，札幌農産㈱に養鶏・鶏卵販売卸売り事業を譲渡したが，札幌農産は消費者がなじみ深い㈱トーチクに商号変更した．平成27（2015）年，千歳市の採卵鶏飼養数は169万500羽，59億9000万円で道内１位．全国では，飼養数14位，生産額19位となる．

さらに，令和４（2022）年１月に，㈱ホクリョウが㈱トーチクの鶏卵生産販売事業を４月１日付けで買収する契約を締結した．しかし，この年２月の大雪による㈱トーチク資産の被害状況を踏まえ，結局買収計画は解除された[16]．㈱トーチクの親会社であるイセ食品㈱は３月に経営破綻し，会社更生手続きが開始されている．駒里地区の採卵鶏飼育数の約半数を占める㈱トーチクの今後の動向が注目される．

平成13（2001）年に操業を開始した高度発酵肥料駒里生産センターでは，㈱ホクリョウの鶏糞；約80万羽分をすべて受け入れている．残りの㈱トーチクの約70万羽分の鶏糞の具体的な処

理方法は明らかではない．後述するように，高度発酵肥料駒里生産センターの稼働によって，左源頭部湧水の硝酸窒素濃度は一時期相当の改善が観察された．その後新たな汚染源により水質は再悪化してしまったが，鶏糞処理が水質改善の有効な手段であることが実証された．現状では高度発酵肥料駒里生産センターの処理能力に余裕はないが，施設は建築後20年以上経過しており，今後設備更新も話題になるであろう．設備更新を契機に，全鶏糞の処理を一本化できれば，窒素汚染改善対策として最も効果的な方法となる．

以上，美々川左源頭部湧水群の涵養地域である駒里地区に関して，明治初期の開拓時代に遡って地域産業の変遷について述べた．

現時点では，駒里地区の採卵鶏飼育羽数は，全道の525万羽の25.6％を占め，一大養鶏団地となっている．また近年，農林水産省の畜産クラスター事業として大規模養豚場も複数開設されており，新たな汚染源の影響が危惧される．しかしこの背景には，火山灰地で地味の悪いこの地に入植した開拓者の積年の辛苦があったことも事実である．

行政の指導により，入植者は牛馬の力と，その排泄物による土地改良を行いながら細々と農業を営んできた．明治中期には乳牛による酪農経営が一部軌道に乗ったが，飼料の確保が大きな課題であった．また，マッチ軸，渋皮，薪炭など森林資源を切り売りして地域を維持してきたが，いずれも資源の枯渇によって長続きはしなかった．最後にたどり着いたのが，地域の特性を生かした養鶏であった．記録には明確な記述はないが，開拓当初からの有畜産業の伝統により，農家が鶏糞の農地還元を積極的に受け入れたことも，養鶏の定着に貢献したものと推定される．

しかし，急激な養鶏産業の大規模化によって，鶏糞の農地還元必要量を超える発生量となり，野積み，埋め立てなどの処分量が増加し，地下水汚染の原因となった．

美々川左源頭部湧水群の硝酸窒素汚染は，明らかに駒里地区の家畜排せつ物が原因である．しかし，歴史を振り返ると，火山灰地と苦闘した農民の歴史があり，有畜農業により家畜排泄物を用いて土地改良を続けてきた歴史が，養鶏や養豚を一大産業とする現在の駒里地区を作り上げたといっても過言ではない．

美々川の環境保全には，家畜排せつ物対策が最重要課題であるが，以上述べた土地開発の歴史的経過を考慮して，地元民の理解を得ていく作業が最も重要であろう．また，千歳川放水路計画の中止は，この地域に「行政への不信」という大きな傷跡を残した．しかし20年以上経過した今，農業従事者の世代交代も進んでおり，過去からの脱却も試みるべきである．

3．美々川の水質環境

ここでは，筆者らが長年にわたって継続してきた美々川左源頭部湧水群と美々川上流部の水質調査結果について述べる．

3.1. 水質調査方法

（1）調査地点・調査年月日

図5～7に美々川および美々川上流部，左源頭部湧水の調査地点を示した．美々川本流に関しては，左源頭部のSt.1，左源頭部下流のSt.2，南側支川のSt.21，美々橋，松美々橋，第2美々橋，植苗橋などで実施したが，本論文での主たる研究対象地点は上中流部のSt.1，St.2，St.21，美々橋である．左源頭部湧水の調査地点は**図7**に示す地点Aから地点Sまでの20地点である（地点Paを途中から追加）．美々川は左右二つの源頭部を持っているが，右源頭部は左源頭部の水量の3分の1程度であり，かつ窒素汚染を受けていないため，窒素流出量は圧倒的に左源頭部が大きい．したがって，本論文では，窒素汚染の汚染源に関する研究を主目的としたため，主に左源頭部について述べることとする．

左源頭部湧水群および美々川本流の水質調査は，1993年から2019年に実施した．主に6月，8月，10月の年3回を基本とし，左源頭部湧水群については約90回，美々川本流については約100回調査を実施した．

なお，美々川本流の水質調査は北海道開発局によって1986年から1999年まで年4回程度実施されており，また，河川の流量観測は北海道開発局により1984年から月1回程度，北海道胆振総合振興局により2003年以降開始されたので，これらのデータも併せて解析に用いた．

（2）水質分析項目・測定方法[17]

水質測定項目ならびに分析方法は以下の通りである．

（1）気温および水温；SK SATO SK－250WPおよびYSI社 model 63 pHメーター使用

（2）pH；YSI社 model 63 pHメーター使用

（3）電気伝導度；YSI社 model 63 pHメーター使用

（4）溶存酸素（DO）；YSI社DOメーターmodel 550A使用

（5）流速；ケネック電磁流速計を使用

（6）アルカリ度（pH4.8）；硫酸滴定法

（7）亜硝酸窒素イオン，硝酸窒素イオン，塩化物イオン，硫酸イオン；イオンクロマトグラフ法により測定（Dionex社製）

（8）カルシウムイオン，ナトリウムイオン，マグネシウムイオン，カリウムイオン
原子吸光法により測定（日立Z－6000を使用）

（９）酸可溶性マンガン：二酸化マンガンの沈殿を防ぐため試料100mlに対してconc HClを１ml添加し保存した．0.45ミクロンのメンブレンフィルターでろ過後，原子吸光法により測定.

(10) 全リン，全窒素；ブランルーベ全窒素・全リン自動測定装置使用

(11) アンモニア窒素；インドフェノール法

(12) リン酸イオン；モリブデン青法

(13) ケイ酸；モリブデン黄色法

図５　美々川の概要と調査地点

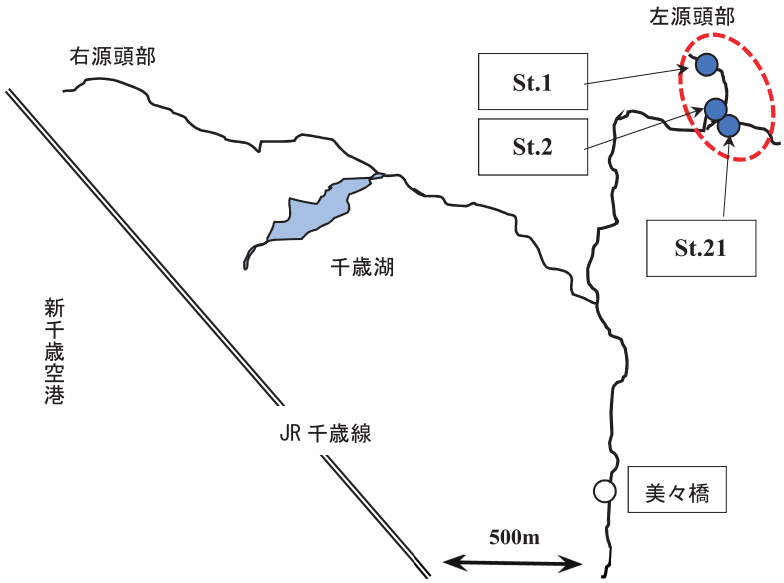

図 6　美々川上流部の調査地点

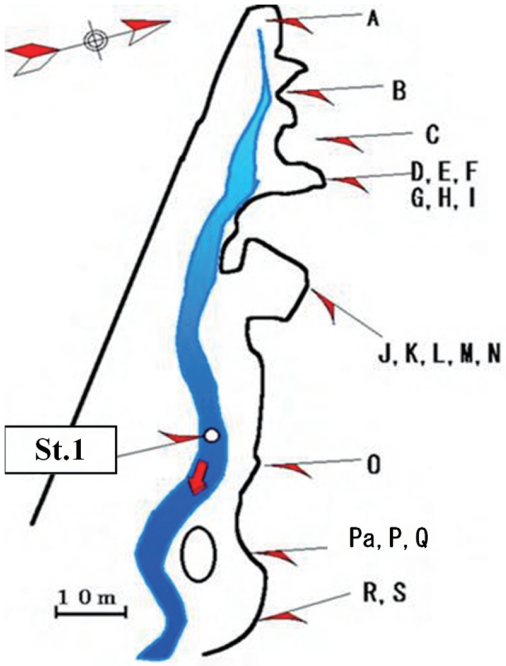

図 7　美々川左源頭部の湧水群調査地点

（3）硝酸窒素イオンの窒素安定同位体比：

・試料の前処理；試料のpHを10～11に調整後，液量が10～14ml程度になるまで加熱圧縮．pH

を７付近に戻し，続けて１～２ml程度になるまで加熱圧縮．窒素として約100μgをスズコンテナ（φ５mm×９mm）に入れ凍結乾燥後，粒状に成型し窒素同位体比測定試料として回収．

・測定：ガス化前処理装置（Thermo Fisher Scientific 社製Flash EA1112）でNをガス化し，安定同位体比質量分析計（Thermo Fisher Scientific 社製 DELTA V）を用いて安定同位体比を測定．

（４）河床からの湧出速度の測定[18]

河床に内径６cm，長さ約１mのアクリルパイプを差し込み，パイプの中と外の水位を等しく調整する．湧出がある場合はパイプ内水位が上昇する．パイプ内の水位が一定になった時点で水位差を測定する（湧水圧と呼ぶ）．

湧出が確認された場合，パイプ内の水を抜き数センチ水位を下げて，その後の水位の時間変化を記録する（**図８**）．この時のパイプ内水位の上昇速度が以下の式に従うと考える．

$$v_{in} = \frac{dh}{dt} = \frac{a}{L}\cdot(H_E - h) \qquad \cdots（１）$$

v_{in}：水面上昇速度（cm/min），t：時間（min），

h：時間tの時のパイプ内水面の水面からの高さ（cm），H_E：時間t＝∞（定常状態）のパイプ内水面の外水面からの高さ（cm）（湧水圧と定義），

a：湧出速度係数（cm/min），

L：パイプの河床挿入深さ（cm）

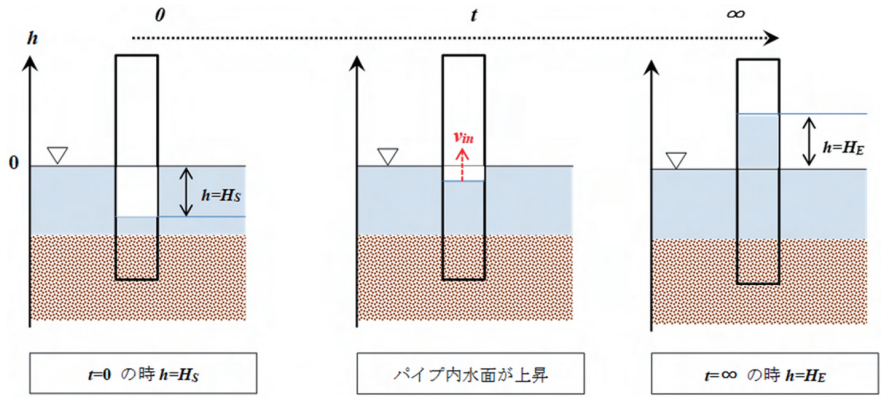

図８　アクリルパイプを用いた河床からの湧出速度測定法

式（１）を積分して

$$h = H_E - (H_E - H_S)\cdot e^{-\frac{a}{L}t} \qquad \cdots（２）$$

式（１）で，h＝０の時の水面上昇速度，すなわち「$(a/L)\cdot H_E$」の値が湧出速度を表すと考えることが出来る．したがって，式（２）と実測値によりカーブフィッティングを行い湧出速

度係数aを決定すると，湧出速度を求めることができる．

通常は上記の方法で測定可能であるが，本研究で測定した左源頭部最上流部では，水深が極めて浅くかつ水面上昇速度が非常に速いため，水面上昇速度は以下に述べる方法で測定した．

反射体（発泡ポリプロピレンシート（厚さ２mm））をあらかじめ入れたアクリルパイプ（外径：７cm，内径：６cm，L＝100cm）を河床に垂直に突き刺す．ただし，パイプ内水面がすぐに上昇するため，シリコン栓でパイプの上を塞いで突き刺した．その後，シリコン栓を外すと同時にレーザー距離計（BOSH GLM－50）で水面上昇速度を測定した．パイプ内水位が一定値（H_E）となるまで測定を継続した（平均１時間程度）．その後，アクリルパイプ内の湧出水を採取し分析に供した．左源頭部最上流部での調査は，2015年９月29日と10月６日に実施した．

3. 2. 水質環境の概況

筆者がこれまで実施してきた調査結果をもとに，美々川の水環境の概況を最初に述べると以下のようになる．

（１）左源頭部には支笏降下軽石層からの無数の湧水がある．湧水は目視できる河岸からの湧出のほか，河床からの湧出もある．

（２）流量の大部分が湧水起源のため，降雨時の流量変化が小さい．しかし，豊富な水中植物の繁殖の影響で，河川水位が季節によって周期的に変動する（夏に高く，冬に低い）．また，流量観測に適した断面が少なく，湧水地点も広範囲に分布するため水収支の把握が難しい．

（３）湧水の涵養源から見た流域面積は，地形から判断される流域面積よりも広く，左源頭部湧水群の涵養地域は源頭部東側の駒里地区である[2)]．

（４）湧水中の硝酸窒素濃度が1980年頃から上昇を開始し，高濃度に達している（20mg/l以上）．この原因は鶏糞を主とする家畜排せつ物である．しかし，家畜排せつ物法の施行に伴い2001年から鶏糞処理施設が稼働し，養豚場の糞尿処理方法なども変わった．施行後５年程度は窒素濃度に改善がみられたが，その後は再悪化に転じて一時期は最悪のレベルまで達した．現在は再び減少に転じているが，窒素濃度は依然として高い．

（５）美々川の窒素濃度は最上流の左源頭部で最大値を記録し，下流ほど希釈効果によって濃度が低下するが，美々橋でも10mg/l近い濃度を記録している．

（６）高濃度の窒素の影響で，美々橋の上下流でクサヨシの繁茂が顕著であり，植生の多様性に影響を与えている．クサヨシの繁茂によって流路幅が狭く水深が深くなり河道が固定される．このため，（２）で述べた河川水位の季節変動が小さくなり，クサヨシの繁茂をさらに促すことになる．

（7）近年，大規模養豚場が2か所建設され，新たな汚染源となる可能性が危惧されている．糞尿の処理・処分方法の詳細を把握し，美々川への影響を未然に防止するべきである．また，駒里地区の採卵鶏由来の鶏糞発生量の半分は，処理されて発酵鶏糞として製品化されている．しかし残り半分の処理方法は不明である．

3.3. 左源頭部湧水群の水質の特徴と経年変化

左源頭部には，最上流から僅か100mほどの間に目視で確認できるだけで20か所以上の湧水があり，美々川の始点となっている（前出，**図7**）．この節では，湧水群の水質の特徴や経年変化について述べる．

湧水の湧出は河床からもあり（後述），最上流から約100mの間で流量は約0.1m^3／sに達する．それより下流では確認できる沿岸からの湧水はほとんどないが，河床からの湧出があり，その影響により流下に伴って徐々に流量は増加する．

左源頭部湧水群の水質の特徴を述べると以下のようになる．

（1）湧水の水温はほぼ一定であり，水量も大きな変動はない．

（2）水質は一様ではなく，湧出地点により大きな違いがある．

（3）水質の経年変化を見ると，特にDO，窒素成分を中心に非常に大きな変化を記録してきた．

（4）源頭部湧水群は水質の特徴から2つのグループに分けられ，上流側湧水群は顕著な経年変化を記録しているが，下流側の変化は比較的穏やかである．

図9～13には，左源頭部湧水群の水質分布を5年間隔で示した．僅か100m程度の距離で湧出地点による水質の違いは大きく，かつ経年的にも大きな変化を示していることが分かる．電気伝導度（**図9**）は，1994年から2004年まで増加しているが，特に地点B～Iで急激な上昇がみられる．2009年にはやや減少し地点Jから下流側の地点では2019年まで大きな変化はない．しかし，2014年には地点C，D，Eで500μS/cm・25℃を超える値に急増し，2019年には減少している．総じて上流側の湧水ほど変化が大きい．

硝酸窒素濃度（**図10**）も上流側の湧水で変化が大きいが，濃度ピークは電導度の場合より下流の地点Mで記録され2009年に約28mg/lに達している．その後濃度は減少に転じたが，近年でも左源頭部湧水群の硝酸窒素は10mg/l台後半の濃度を記録しており，汚染レベルは極めて高い．

DO（%）（**図11**）は，上流側の地点B～Nの経年的減少が顕著である．1999年までは40%以上を記録していたが，2004年には一気に低下し，2009年には5%以下まで低下した．この影響でアンモニア窒素濃度が急上昇した（**図12**，最大約20mg/l）．アンモニア窒素濃度は，近年は低

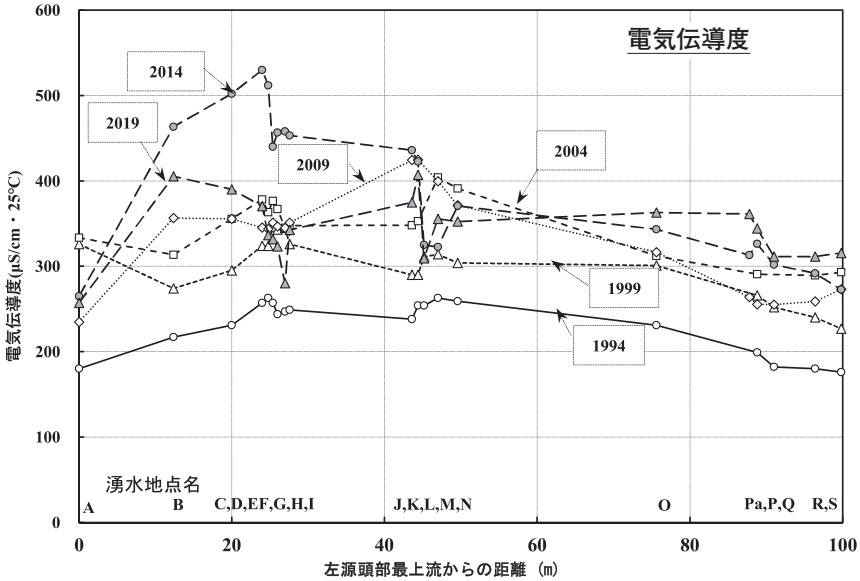

図 9　湧水群の電気伝導度の経年変化（1994年～2019年（５年間隔，８月））

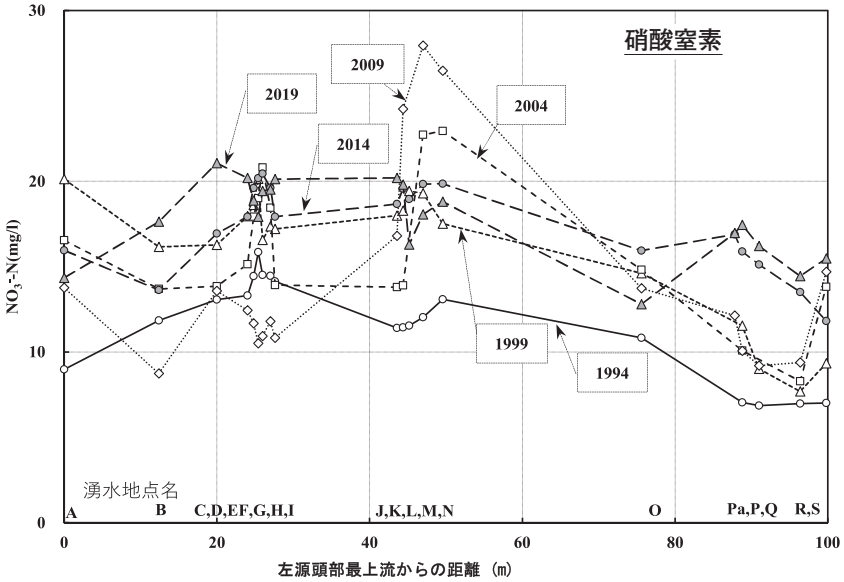

図10　湧水群の硝酸窒素濃度の経年変化（1994年～2019年（５年間隔，８月））

下傾向に転じているが，このような急激な変化の原因は汚染源の変化など人為的な要因と考えられる．地点B～N以外の点については，DO（％）は低下傾向にはあるが好気的条件が維持されており，アンモニア窒素は検出されていない．

無機窒素（TIN）濃度としてみると（**図13**），2014年には40mg/lに近い高濃度を地点D，Eで記録し，上流側湧水群の高濃度が目立つ．DOの低下，アンモニア窒素の増加は，水生生物の

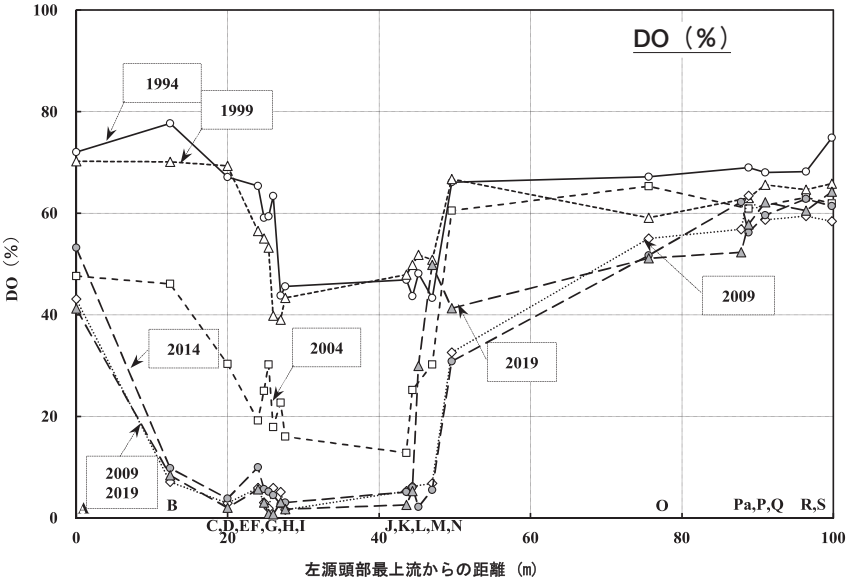

図11　湧水群のDO（%）の経年変化（1994年～2019年（５年間隔，８月））

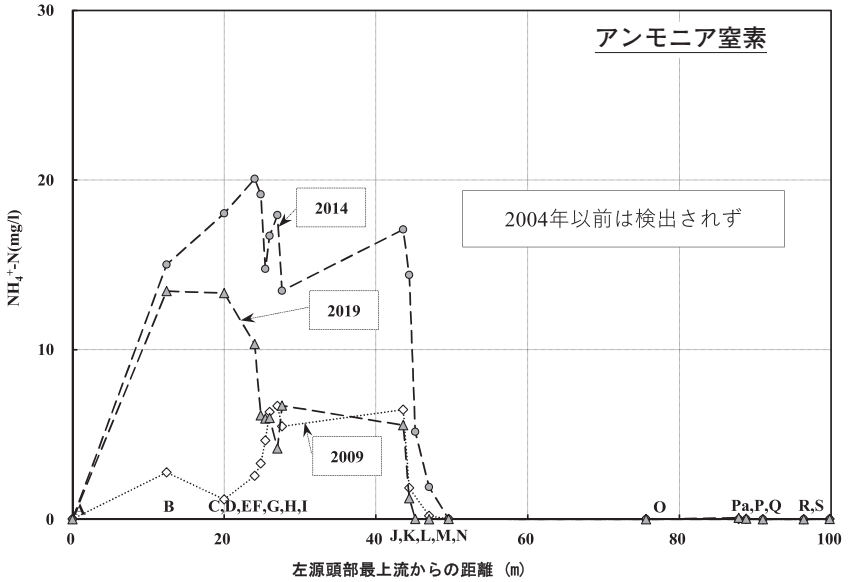

図12　湧水群のアンモニア窒素の経年変化（1994年～2019年（５年間隔，８月））

生息状況に与える影響も大きく，底生動物やクレソンの現存量が著しく低下した．

次に，代表的な湧水について水質経年変化を述べる．

左源頭部の上流側の地点Jと最下流の地点Sを湧水の代表地点として，**図14～18**に結果を示した．両地点の現場測定項目（水温，pH，DO（%），電気伝導度），代表的なイオン，および溶存無機窒素（TIN）の経年変化（地点Jのみ）を示してある．すべての図について言えること

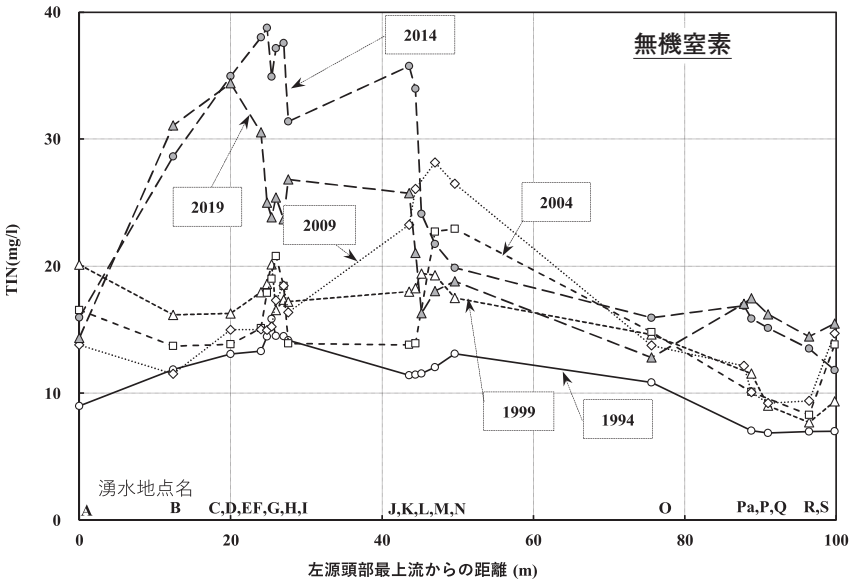

図13　湧水群の無機窒素（TIN）濃度の経年変化（1994年～2019年（５年間隔，８月））

は，上流側の地点Jの水質変化が，下流側の地点Sとは全く異なり，変動幅が大きい．**図９～13**と合わせて考えると，地点Nを境界として上流側と下流側では地下水脈が異なると考えられる．

地点JとSの溶解成分（電気伝導度，主要イオンなど）濃度は，1992年から2002年頃までいずれの地点でも徐々に上昇する傾向がある．しかし，地点Jで2000年頃からDOの減少が顕著になると，硝酸窒素濃度の減少，カリウムイオン濃度の上昇，アンモニア窒素濃度の上昇と大きな水質変化が連続的に生じた（**図16**）．その後2010年頃からカリウムイオンとアンモニア窒素濃度は減少に転じ，その傾向は継続中である．無機窒素に注目すると，地点Jでは**図18**に示したように大きな増減を繰り返しており，過去最大35mg/l以上の高濃度を記録している．近年は減少したが20mg/l台で安定傾向にある．一方地点Sは，DOは経年的に若干低下しているものの充分好気的な条件下にあり，アンモニア窒素は検出されていない．硝酸窒素濃度は15～20mg/lの範囲で増減している．地点Jと比較すると低濃度に見えるが，いずれの地点も地下水の環境基準値（10mg/l）を超える汚染レベルにある．

以上，左源頭部を代表する２つの湧水水質の経年変化を比較した．湧水群は高濃度の窒素汚染状態にあるが，上流側では2000年頃から大きな水質変化が連続的に生じており，汚染源に変化があったことを示唆している．いわゆる「家畜排せつ物法」の施行が1999年（本施行は2004年）であり，駒里地区でも鶏糞処理施設の建設（2001年）など様々な対策が取られた．上流側湧水群の大きな水質変化は，家畜排せつ物法の施行と関係しているものと推定される．一方，下流側の湧水群では比較的安定な状態が続いており，家畜排せつ物法の施行との明確な関係は

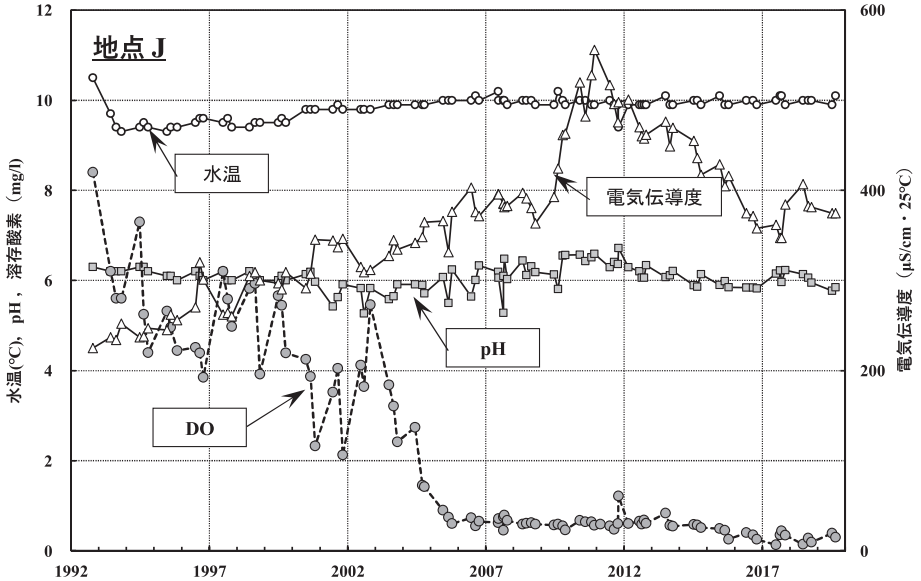

図14　水温，pH，DO，電気伝導度の経年変化（地点J）

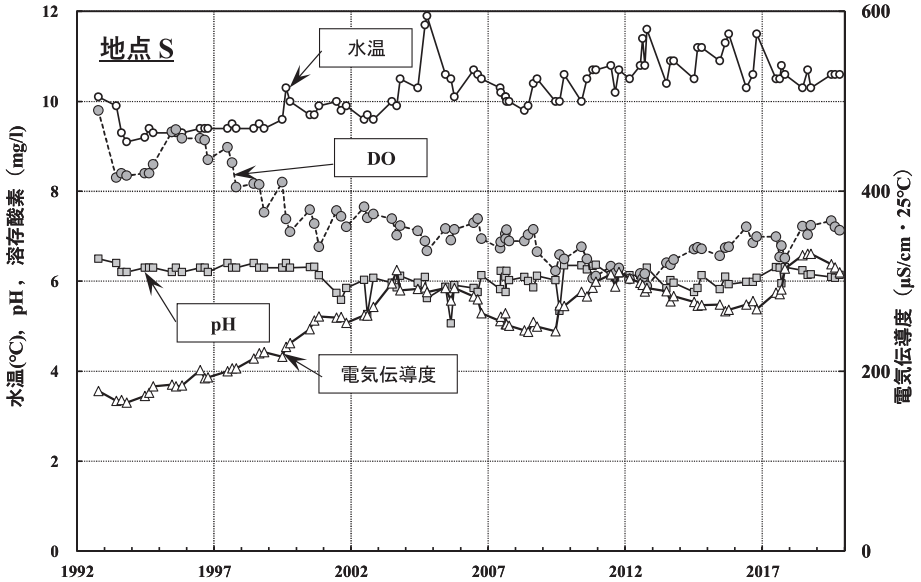

図15　水温，pH，DO，電気伝導度の経年変化（地点S）

見られない．この法律は「家畜排せつ物の管理（処理や保管）の適正化と利用促進」を目的としている．しかし，以上述べた調査結果から判断すると，法律の施行が「家畜排せつ物の管理の適正化」に貢献したとは考えられず，特に左源頭部上流部湧水群の水質の急激な悪化の原因になった可能性も否定できない．法律の施行によって汚染源に何が起こったのか，この点については次節で検討する．

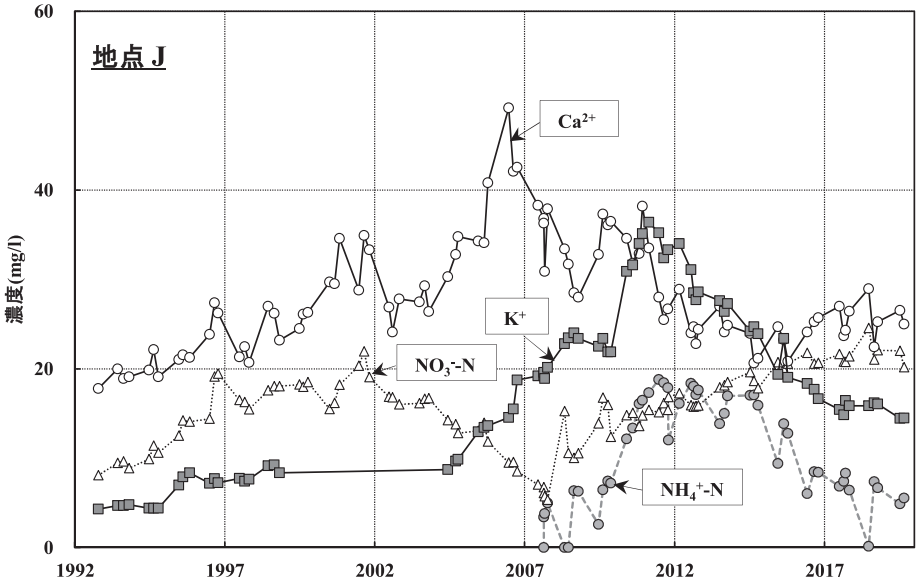

図16　湧水水質の経年変化（地点J）

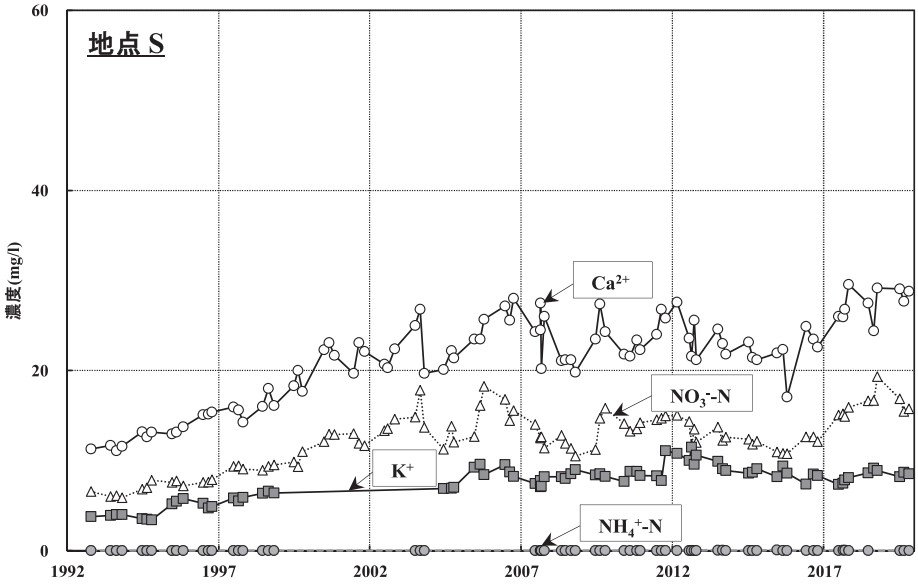

図17　湧水水質の経年変化（地点S）

3. 4. 窒素の汚染源について

（1）鶏糞による窒素汚染

水質調査を開始した1992年頃には，駒里地区の採卵鶏飼育羽数は100万羽に達しており，その後順調に増えて2010年頃からは約150万羽体制が持続されている．養鶏が企業化することに

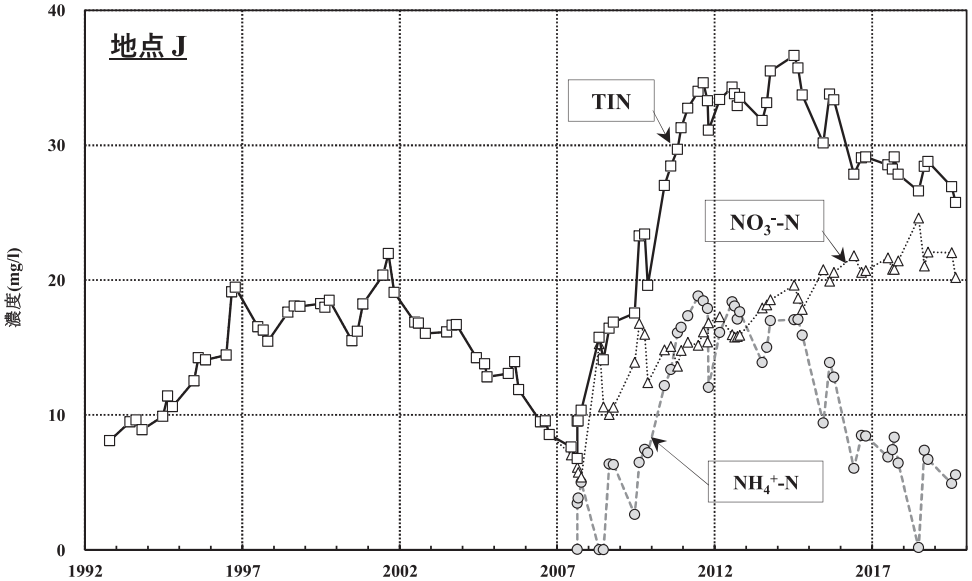

図18　無機窒素（TIN）濃度の経年変化（地点J）

よって，鶏糞の発生量もうなぎ上りに増えて，農地還元に必要な量を遥かに上回る発生量となり，素掘り等により処分された鶏糞が地下水汚染を引き起こす要因となったと推定される．鶏糞由来の窒素発生量については**3.6**で詳細に検討するが，2000年頃までの湧水の硝酸窒素濃度の上昇は，鶏糞の発生量の増加とよく一致している．

まず，鶏糞中の窒素の形態と分解のメカニズムについて述べておく．

鶏糞は他の家畜糞と比較して，速効性の窒素成分を多く含むのが特徴である．ヒトは窒素を尿素として体外に排泄するが，鶏は窒素を尿酸（$C_5H_4N_4O_3$）として排泄する．尿酸は新鮮鶏糞全窒素の約半分を占め[19,20]，土壌中において微生物（ウリカーゼ生産細菌）の作用によって，アラントイン（$C_4H_6N_4O_3$），アラントイン酸（$C_4H_8N_4O_4$），尿素（$(H_2N)_2C=O$），アンモニア（NH_4）の順に速やかに分解されていく[21~24]．この一連の反応の速度は大きく，鶏糞が速効性窒素肥料として有効な原因である．しかしアンモニアは堆積や貯蔵中に大気中に気散し，これによる窒素損失は10～80％に達するという報告もあり[24]，鶏糞の窒素含量はその管理方法によって変化し，必ずしも一定ではない[19]．また生成したアンモニアは，土壌中あるいは水中で亜硝酸窒素を経て硝酸窒素にすみやかに硝化されていく．アンモニア窒素１mgが硝酸窒素に硝化されるのに酸素が4.57mg必要である．水温10℃の飽和溶存酸素量は10.9mg/lであるから，アンモニア窒素を最大約2.5mg／l程度しか硝化できない．高濃度のアンモニア窒素の硝化には，大気との接触が容易な土壌表面などの環境が必要である．

源頭部湧水の涵養地域である駒里地区内に負荷された鶏糞中の窒素化合物は，土壌や水中で分解・硝化され硝酸窒素となり，それが帯水層であるSpfa層に達し源頭部まで輸送され湧出す

るものと考えられる．

鶏糞原因説を裏付けるデータは二つある．硝酸窒素の安定同位体比と，カルシウム濃度の上昇である．

図19に美々川上流部の硝酸窒素の安定同位体比の経年変化を示した[25]．家畜糞由来の場合，安定同位体比は10‰以上を示すと言われている．左源頭部のSt.1，St.2では微減傾向にはあるが，10‰以上を記録しており，窒素の主たる汚染源が家畜糞であることは明らかである．家畜糞が乾燥するとアンモニア窒素が揮散するが，その時は軽い窒素（N_{14}）を持ったアンモニアが主に揮散するため，家畜糞に残留している窒素の安定同位体比は増加する．つまり，新鮮な家畜糞ほど窒素の安定同位体比は低く，古いものほど高くなる傾向があるため，古い汚染源の寄与率が低下しているのかもしれない．左源頭部下流の南支川であるSt.21では安定同位体比は10‰を割り込み低下傾向にあるが，化学肥料などに由来する安定同位体比の小さな硝酸窒素が．混在している可能性もある．

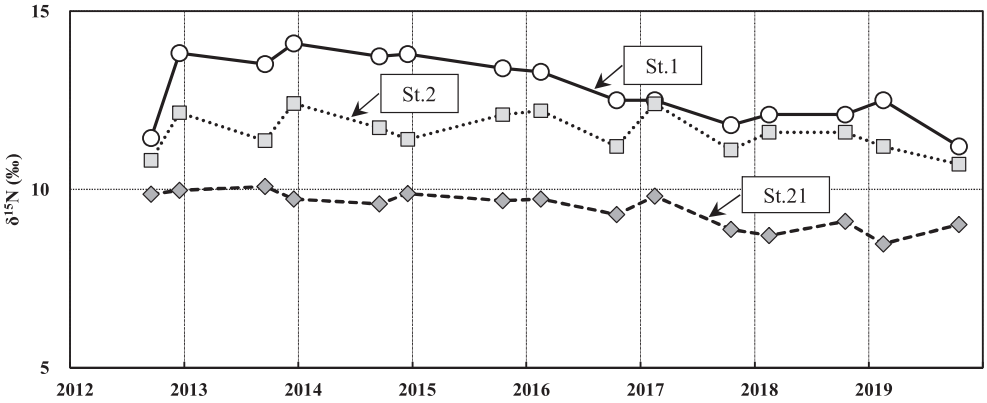

図19　美々川上流部の硝酸窒素安定同位体比の経年変化

もう１点は，調査開始から2000年頃まで，硝酸窒素と同時にカルシウムイオンの濃度が上昇していることである（前出，**図16**，**17**）．採卵鶏の飼育には，卵殻の強度を上げるため炭酸カルシウムの粉末を餌に混合するが，その大部分は糞として排泄されるため，鶏糞は他の家畜糞と比較してカルシウム含有量が高いことが大きな特徴である（後述，**表３**）．炭酸カルシウムは固形物でありやや水に溶けにくいが，自然界では弱酸性の雨水によって地下水中にカルシウムイオンとして溶け出していく．

図20にSt.1における硝酸窒素とカルシウムイオン濃度の相関を示した．St.1の水は美々川最上流部の調査地点で，上流側湧水（地点A～N）が混合した河川水である（前出，**図７**）．この図から2000年までは両成分は直線関係にあり，採卵鶏の鶏糞が硝酸窒素の汚染源と考えられる．しかし，2001年から負の相関となり，2016年以降は再び2000年までの相関に近い位置にデータが移動する．**図16**に示したように地点Jでは，2001年頃から硝酸窒素とカルシウムイオ

ン濃度の増減パターンが正反対となり，2016年頃まで続いている．これらのことから，2001年以降の窒素の汚染源に何らかの大きな変化が起こったものと推定される．

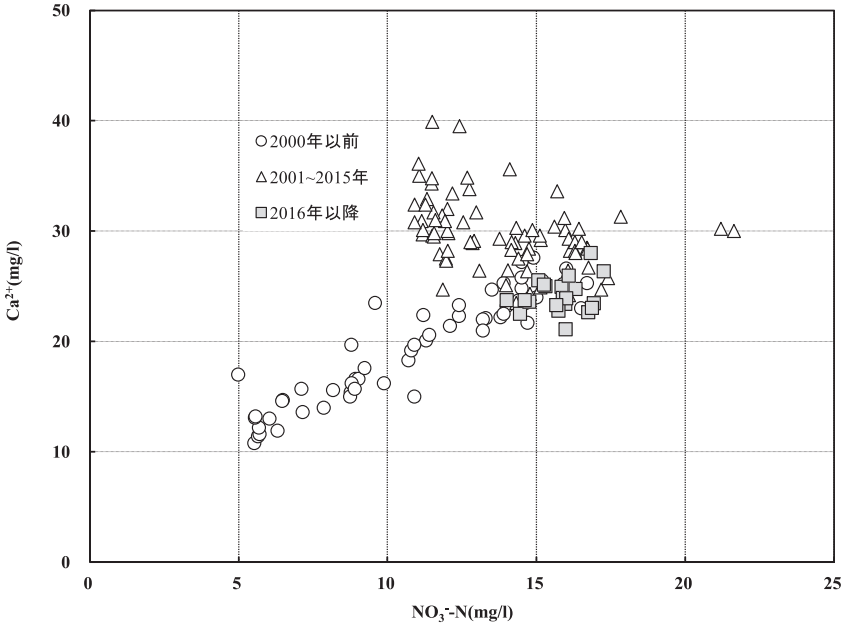

図20　硝酸窒素とカルシウムイオンの関係（St.1）

（2）新旧汚染源モデルによる解析

これまで述べたように，美々川左源頭部の上流部に位置する湧水群（地点B～N）については，この25年以上にわたって大きな窒素濃度の増減を二度繰り返してきた．その間，硝酸窒素濃度，DOの低下，カリウムイオンとアンモニア窒素濃度の急激な増減などが連続して確認されている．

左源頭部上流部の湧水群が合流した本流の調査地点としてSt.1が設定されている．この地点は，美々川源流部の最も古い水質調査地点で，北海道開発局が千歳川放水路計画の環境調査の調査地点とした地点である（前出，**図7**）．1986年からデータがあり，途中数年の空白があったが，筆者が調査を引き継ぎ継続してきた点である．最も古く，かつ左源頭部の上流部湧水群合流後の水質を示す地点であるため，この地点のデータを用いて上流部湧水群の窒素濃度変化の原因について解析してみたい．

St.1における硝酸窒素濃度とアンモニア窒素濃度の経年変化を**図21**に示した．図中に示したように濃度変化を下記のようなStageに分けて考察する．

（1）StageⅠ：1986年から2001年頃：直線的に硝酸窒素汚染が悪化していた．

（2）StageⅡ：2001年から2007年頃まで：硝酸窒素濃度の低下が顕著である．ただしDO

（%）の低下も同時進行していた．

（3）StageⅢ：2007年から2015年頃まで：DOの低下に伴いアンモニア窒素濃度が急上昇．

（4）StageⅣ：2015年から現在？：アンモニア窒素の濃度上昇が鈍化，低下に転ずる．

水質調査を開始した1986年の硝酸窒素濃度はすでに約5 mg/lの高い濃度を記録している．採卵鶏の飼育羽数については後述するが，飼育羽数と硝酸窒素濃度はパラレルに増加している．この時期がStage Ⅰであり，前節で述べたように汚染源は鶏糞である．

1999年には家畜排泄物法が施行になり，家畜排せつ物の農地還元の実施が推奨されると同時に，素掘り等による埋め立ての禁止，堆肥板等の設置による汚濁物質の流出防止などによる適切な管理が求められるに至った（2004年から本格施行）．

当時まだ小規模業者で構成されていた駒里地区の養鶏業者にとって，鶏糞の処理は大きな問題となった．そこで，大手のトーチク産業を除く小規模業者が集まって，2001年高度発酵肥料駒里生産センターを開設（国と道の補助金を活用し，17億6千万円で建設）．翌年4月から本格操業・製品販売を開始し，年間6000トンの肥料を生産・販売する体制がスタートした．駒里地区での鶏糞発生量の約半分が処理されることとなった．製品化された発酵鶏糞はほぼ全量駒里地区外で販売されており，駒里地区内での処分量は半減された．

鶏糞処理施設が稼働後に硝酸窒素濃度がすぐに減少に転じ，それまでの汚染源が鶏糞であったことを証明する結果となった．これがStage Ⅱである．当時は，このまま窒素濃度が低下すると期待されたが，この時期の水質にいくつか変化が出てくる．すなわち，DOの低下とカリ

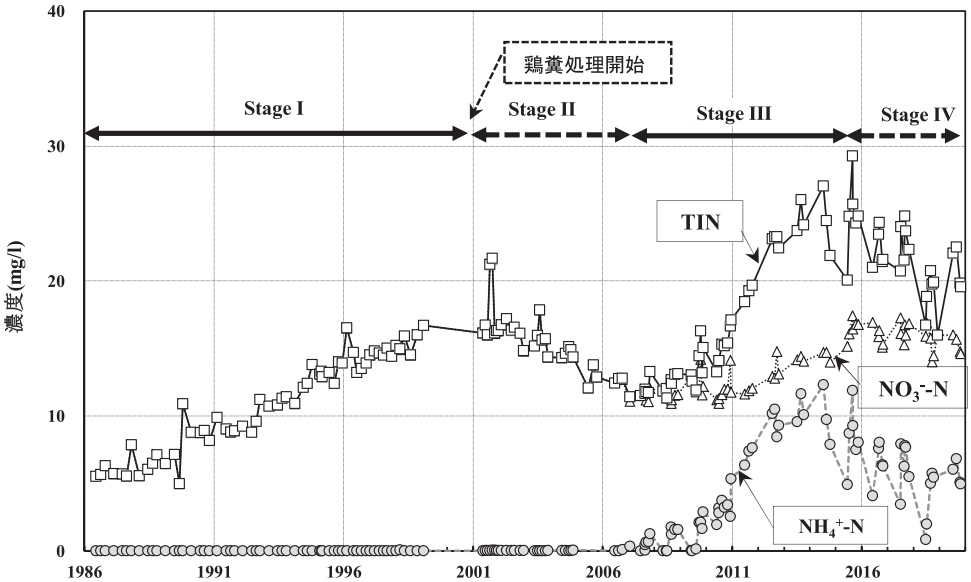

図21　美々川上流部の無機窒素濃度の経年変化（St.1）

ウム濃度の上昇が始まる（前出**図14，16**）．次いでアンモニア窒素濃度が，2007年からDOの低い湧水で一斉に急激な濃度上昇が観測された．St.1でもアンモニア窒素濃度は2014年頃にはピークに達して12mg/l程度に達している．また，減少し続けていた硝酸窒素も増加に転じ,2016年頃にはStageⅠのピーク濃度と同レベルまで再上昇してしまう．このアンモニア窒素の急増期がStageⅢである．

アンモニア窒素濃度のピークは2013～2015年頃で，その後に低下に転じ濃度は次第に減少している．硝酸窒素の濃度はほぼ横ばいの状態が続いている（StageⅣ）．

家畜排せつ物法の施行に伴い，鶏糞処理が開始され湧水の窒素汚染は一時的には回復したものの，一転して過去を上回る汚染状態まで悪化した．このような想定外の結果は何に起因するものなのか，検討を加えてみたい．

StageⅠ～Ⅳに至る窒素汚染の悪化，改善，再悪化の原因については，以下のように旧汚染源と新汚染源２つの存在を考えることによって説明できる．

・汚染源A（旧汚染源）：2001年頃までの，主に鶏糞由来の硝酸窒素を主体とする汚染源.
・汚染源B（新汚染源）：新たに発生した硝酸窒素を主体とする汚染源.
・汚染源C（新汚染源）：新たに発生したアンモニア窒素を主体とする汚染源.

図22に示したように，StageⅠでは，硝酸窒素濃度が直線的に上昇している（汚染源A）．StageⅡに入ると鶏糞処理の開始によって汚染源A由来の湧水中の濃度が減少していく．ただし廃棄量が減少しても，源頭部までの地下水流内にすでに存在する窒素の流出に時間を要するため，濃度は徐々に低下する．2007年ころからの硝酸窒素とアンモニア濃度の急上昇は，あらたな汚染源によると考えられる．すなわち2001年頃に，汚染源Aに代わって硝酸窒素の汚染源Bとアンモニア窒素の汚染源Cが新たに発生し，そこから地層中を移動して2007年頃に源頭部に達したと仮定すると，StageⅡからⅣの濃度変化をうまく説明できる．StageⅢ以降では，新旧３つの汚染源からの合計値が観測されていると考えられる．2014年頃から濃度上昇が鈍化し，2015年から減少に転じ新たなStageⅣに入った．これは，汚染源B，Cへの窒素供給量が減少したためと推定される．

（３）新旧汚染源の特徴

前節で述べた汚染源A，B，Cに関してさらに解析を進めたい．前節では，上流部湧水が混合したSt.1の水質変化をもとに検討したが，さらに個々の湧水水質の増減パターンについて整理した．**図23**には，上流部湧水群の，硝酸窒素，アンモニア窒素，カリウムイオンの濃度変化パターンをまとめた．各湧水の，濃度増加，減少時期を模式的に示している．硝酸窒素濃度については，減少開始時期あるいは再上昇開始時期の地点差が，いずれも最大５年程度ある．対

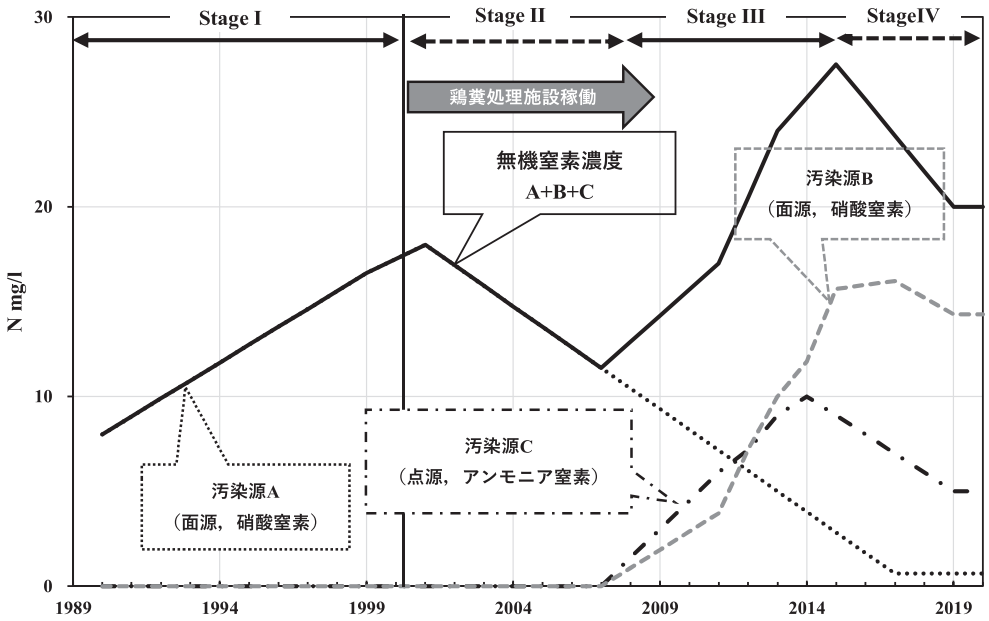

図22　左源頭上流部湧水群の汚染源のモデル図

照的にアンモニア窒素は，2007年にほぼ同時に濃度上昇が始まり2014年に同時に減少が始まっている．この違いは何を意味するのであろうか．

例えば，汚染物質が地下水涵養域に広く一定速度で負荷された場合，湧出点までの地層中の流達時間が短い汚染源から湧出するため，時間遅れが生じ湧水中汚染物質濃度は徐々に上昇する．最も流達時間の長い汚染源からの湧出が起こると，湧水中汚染物質濃度は一定値となる．さらに，ある時点で汚染物質の負荷が停止すると，徐々に濃度低下が起こり，地層中に残留する汚染物質がすべて湧出すると（最も流達時間の長い汚染源からの流出が終わると）湧水中汚染物質はゼロになる．ただし，美々川の地下水涵養地域では，流達時間を決めるのは源頭部までの距離ではなく，透水係数の小さなSpfl層を鉛直方向に移動する時間と，透水係数の大きなSpfa層を水平方向に移動する時間の和であり，当然透水係数が小さいSpfl層の厚さが流達時間を大きく左右する．Spfl層の透水係数は10^{-4}程度と小さく，また地層厚さは最大30m以上あると言われている．したがって，源頭部までの移動時間が最大５年と言う値は十分想定される時間である．広く負荷される汚染源とは，いわゆるノンポイントソース（農地等に広く散布される）と考えることができる．

一方アンモニア窒素の場合は，硝酸窒素と異なり地点による時間差はなく，同時に濃度上昇が始まっている．濃度低下開始時期も地点による違いはない．これは汚染源から湧出点までの流達時間が等しいことを意味しており，汚染源がいわゆるポイントソースであると考えることができる．しかし，ポイントソースであれば，地下水流中での分子拡散があるとはいえ，もっ

と急激にアンモニア窒素濃度が上昇するはずである．また，**図23**にはカリウムイオンの変化パターンも示したが，アンモニア窒素より３年早く濃度が急増する．この現象には，土壌粒子の持つイオン交換容量が関与している．土壌粒子は負の電荷を持ち陽イオンを吸着している．一般に，吸着力は２価のカルシウムイオンやマグネシウムイオンが強く，アンモニア窒素イオンやカリウムイオンは比較的吸着力は弱い．ただし，吸着量と土壌粒子間隙水中濃度には平衡関係が成立するため，濃度が高いほど吸着量も大きくなる．鶏糞を主体とする汚染源A由来の窒素は100％陰イオンの硝酸窒素であり，家畜排泄物法施行以前は，土壌粒子へのアンモニア窒素吸着量はゼロであったと考えてよい．

家畜排泄物法施行に伴い，新たな汚染源Cから高濃度のアンモニア窒素が土壌間隙水中に入ってくると，吸着力が同等のカリウムイオンを主に追い出し，吸着する．最終的には，土壌中の間隙水中濃度と吸着量は平衡状態になり一定値となるが，量的には，間隙水中存在量よりも吸着量が数千倍大きいため平衡に達するには相当の時間を要する．以上のようなプロセスにより，アンモニア窒素に追い出されたカリウムイオンが先に流出すると考えられる．アンモニア窒素流出開始後，一部の湧水では変化パターンは次第にカリウムの濃度変化に追いつきつつある．これは，次第に間隙水濃度と吸着量が平衡状態に近づいたためである（前出，**図16**）．また，カリウムイオン濃度の最大値は約40mg/lで非常に高い濃度を記録している．これは汚染

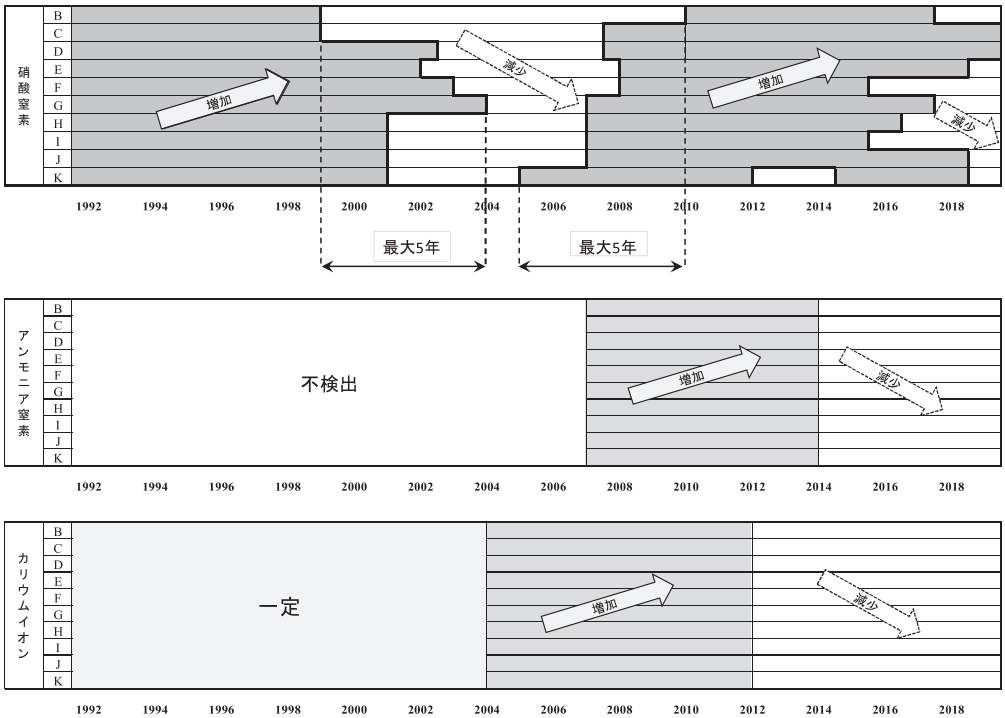

図23　源頭部上流部湧水の水質変化パターン

源にカリウムイオンも高濃度に含まれるためと考えられる．アンモニア窒素とカリウムイオンを高濃度に含む汚染源としては，牛尿，豚尿である可能性が高い（後述，**表 3**）．糞は堆肥化して利用されるが，尿は邪魔者扱いされて，農地還元されず処理・処分されることが多い．駒里地区のある養豚場では，家畜排せつ物法施行後に豚尿の人口湿地処理を開始し，処理水を直接地下浸透していた．処理水のアンモニア濃度は高く（1000mg/l以上），直接地下浸透すると地下水の溶存酸素濃度では硝化が進まず，大部分の窒素はアンモニアのまま浸透していくことになる．すべての業者の家畜尿の処分法を把握していないので量的な評価はできないが，駒里地区では河川に直接放流している業者は確認されておらず，浸透性の高い地質の特性を利用して地下浸透処分している可能性は否定できない．近年，アンモニア窒素とカリウムイオンの濃度が低下に転じた理由は不明であるが，汚染源に何らかの変化が生じている可能性もある．今後もモニタリングが必要である．

以上のように，水質の経年変化のパターン分析によって汚染源の形態を推定することが出来た．硝酸窒素の２種類のノンポイントソースと，アンモニア窒素のポイントソースが複雑に関与して美々川源頭部の湧水群の水質が形成されていることが明らかになった．なお，ポイントソースはノンポイントソースに比較して汚染源制御の対策が立てやすい．この点は，今後の汚染源対策を考えるうえで重要である．

3. 5. 上流部の窒素濃度について

前節で述べた湧水群の窒素汚染の悪化が，美々川上流部の水質に与えている影響について検討する．

図24には，St. 1，St. 2，St. 21，美々橋における溶存無機窒素濃度（TIN）の経年変化を示した．左源頭部のSt. 1，St. 2の濃度は，2015年に過去最高の濃度レベルに達したが，2016年から明らかに上昇傾向に歯止めがかかった．左源頭部の北支川にあるSt. 21でも減少傾向に転じたことが明らかであるが，美々橋以外ではTIN濃度は10mg/l以上であり，環境基準値を超過している．美々橋地点のTIN濃度は2000年頃から大きく変化していない．また，**図25**には負荷量の経年変化を示したが，濃度とは逆に下流ほど負荷量は大きくなる．河床からの湧出などによって，河川への窒素の供給が上流部全体で生じていることがわかる．なお，美々橋の負荷量の変動幅が大きいが，水草やクサヨシの繁茂により流量の測定精度が低下することも影響しているかも知れない．

後述するように，美々橋上流部から松美々橋にかけての区間では，2000年ころからクサヨシの繁茂が優占となり，水位変動幅の減少，河道幅の縮小あるいは閉塞などが顕著となり，植生や流況に大きな影響を与えるようになった．クサヨシの繁茂は源流部に近い上流部でも一部見られるが，河道を覆う樹林が日射を遮るため，一部の日当たりの良い場所に限られる．しかし

美々橋上流から日射量が多くなりクサヨシの繁茂が盛んとなる．クサヨシの繁茂は，日射量に加えて高い窒素濃度が要因となっている可能性が高い．

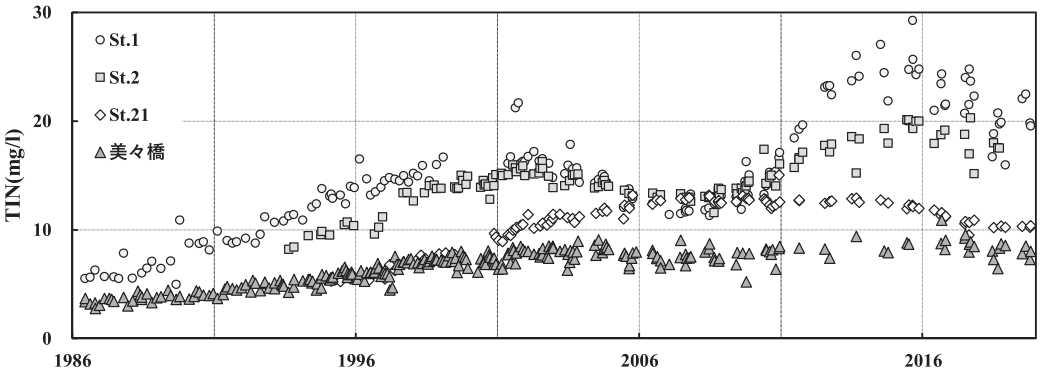

図24　美々川上流部のTIN濃度の経年変化

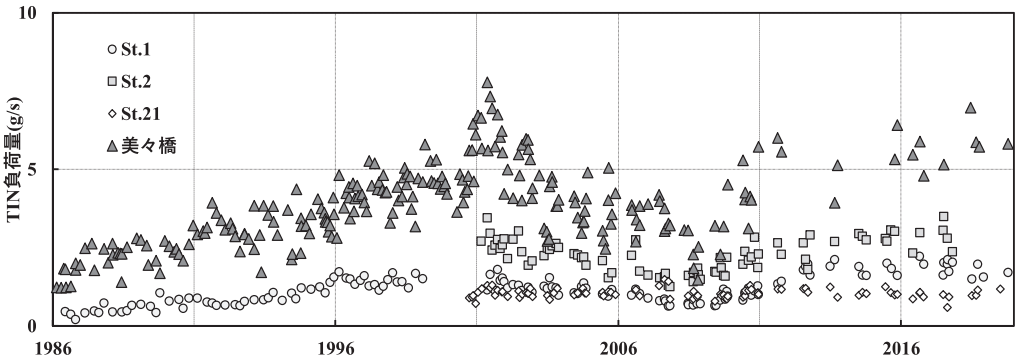

図25　美々川上流部におけるTIN負荷量の経年変化

3. 6. 家畜排せつ物由来の汚濁発生量について

ここでは，駒里地区の家畜飼育数のデータから，家畜糞尿の原単位，および糞尿の化学組成の文献データを用いて，家畜糞発生量の推定を行う．

図26は駒里地区の家畜数の経年変化である．1970年頃から採卵鶏が急増し近年はほぼ150万羽余りの飼育数を維持している．また最近は，養豚場の規模拡大が活発で，今後さらに飼育数は増加予定である．この家畜数データと糞尿原単位（**表 2**）から，駒里地区における家畜別糞尿発生量の経年変化を計算すると**図27**が得られる．家畜糞の中では鶏糞が圧倒的な発生量を占めている．ただし鶏糞については2001年からの鶏糞処理によって，発生量の約半分が発酵鶏糞として地域外へ搬出されているため，実質的な鶏糞発生量は半分となっている．

次に，家畜糞量から**表 3** の化学組成値を用いて家畜糞由来の窒素発生量を計算した結果が**図28**である．

窒素量で見ると，糞尿量よりもさらに鶏糞由来の割合が大きくなり，圧倒的な量を占めてい

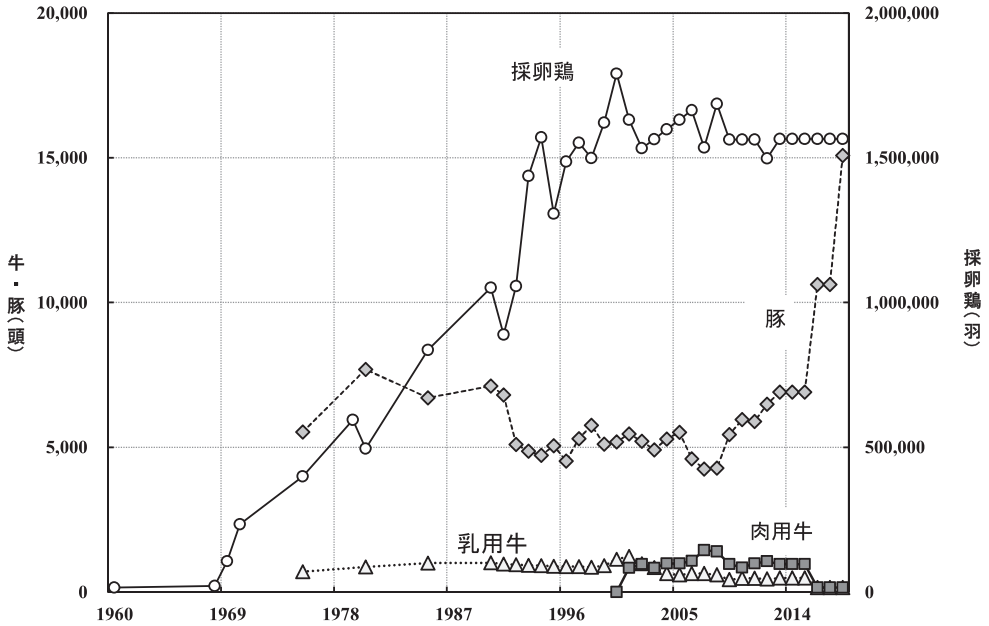

図26　駒里地区における家畜飼育数の経年変化

る．**図27**と同様に鶏糞処理によって平成13（2001）年以降は発生量が半減したと考えると，鶏糞処理は極めて大きな発生量削減効果があったと言える．それでもなお，現在の駒里地区における窒素発生量の８割は鶏糞が占めている．

表２　家畜別の糞尿量原単位[26]

採卵鶏	乳牛		肉用牛		豚	
鶏糞	糞量	尿量	糞量	尿量	糞量	尿量
0.15	27.5	8.5	25.5	12	2.5	5.5
kg／日／羽	kg／日／頭		kg／日／頭		kg／日／頭	

また，**表３**から鶏糞はリン（P）の含有率が高いことも特徴の一つである．本論文ではリンの濃度について触れていないが，湧水の窒素濃度が数10mg/lある場合，鶏糞の組成から考えるとその半分弱の濃度で検出されても不思議ではない．リンは好気性条件下では不溶性の化合物となるが，嫌気性条件下ではリン酸イオンとして水中に溶けだしてくる．

湧水の嫌気化が進行したとき（前出，**図11**，**14**），リン濃度が上昇することを危惧していたが，0.02mg/lを超える濃度は今のところ検出されていない．この要因として考えられるのは，火山性土壌が持つ強力なリン固定能力である．リンが溶け出しても火山性土壌に固定されてしまうものと推定される．窒素が高濃度でもリンが低濃度であることが美々川の水環境にとっては救いであり，仮にリン濃度の上昇が生ずると，美々川の水質環境は一気に悪化してしまうであろう．火山性土壌のリン固定能は無限ではなく限界がある．将来的なリン濃度の予測は困難であるが，湧水の嫌気性状態が継続すると濃度上昇が起こらないとは言い切れない．リン固定能が限界に達して湧水中のリン濃度が上昇した場合，それを制御する手段は恐らくないであろう．

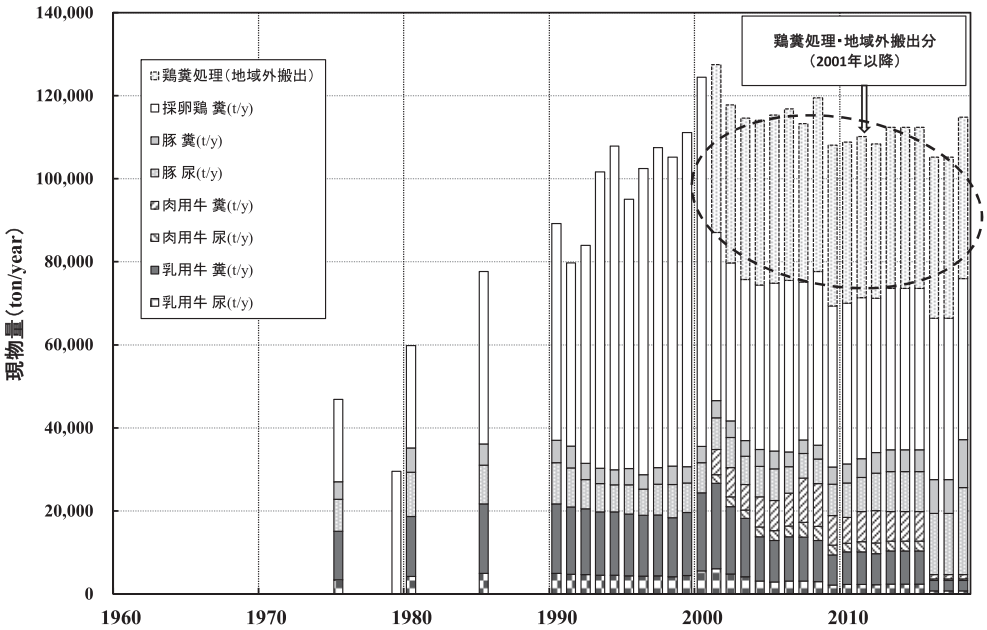

図27　家畜糞尿発生量の経年変化（駒里地区）

駒里地区の家畜糞由来の窒素発生量は，圧倒的に鶏糞が多く，2001年からの鶏糞処理施設の稼働は汚濁負荷削減と言う意味では極めて効果的であった．事実，2006年頃までは湧水中の窒素濃度は順調に低下したが，その後は再度アンモニアを含む窒素濃度が上昇するという予想外の結果となった．美々川の窒素流出量を家畜糞由来の窒素発生量で割り，流出率を計算した結果が**図29**である．当然ではあるが，2000年ころを境に，鶏糞処理による窒素発生量の50％削減率効果を打ち消すほど流出率が上昇する．汚染源から河川までの流達時間を考慮していないので，流出率の値自体の精度は低いが，明らかに汚濁源に変化があったことを示している．

表 3　家畜糞の組成（現物％）[27)]

種類	水分		N	P	K	Ca	Mg
採卵鶏	鶏糞	73.70	2.24	0.82	0.93	2.85	0.31
乳用牛	糞	81.90	0.43	0.17	0.24	0.32	0.11
	尿	92.50	1.00	0.00	1.24	0.02	0.01
肉用牛	糞	81.90	0.43	0.17	0.24	0.32	0.11
	尿	92.50	1.00	0.00	1.24	0.02	0.01
豚	糞	76.60	0.63	0.40	0.23	0.61	0.16
	尿	94.00	0.50	0.02	0.83	0.01	0.05

先に述べたように，家畜尿を直接地下浸透処分すると，揮散や植物の利用による削減効果が期待できず，高濃度のアンモニア窒素が湧出する原因となる．また，鶏糞処理が稼働しても，残り半分の鶏糞の処分状況は不明であり，一時的な変更はあっても，結局は過剰な農地還元が行われ，再度硝酸窒素濃度が上昇している可能性が高い．家畜排泄物法施行に対応して，各業者は経費をかけて家畜糞対策を実施したと推定される．ただしその方法が，この地域の特性を十分考慮せずに実施されたため，結果として逆効果になってしまったことは残念である．今後汚染状況がどのように変化するかはわからないが，家畜排せつ物の処理・処分に対して，行政

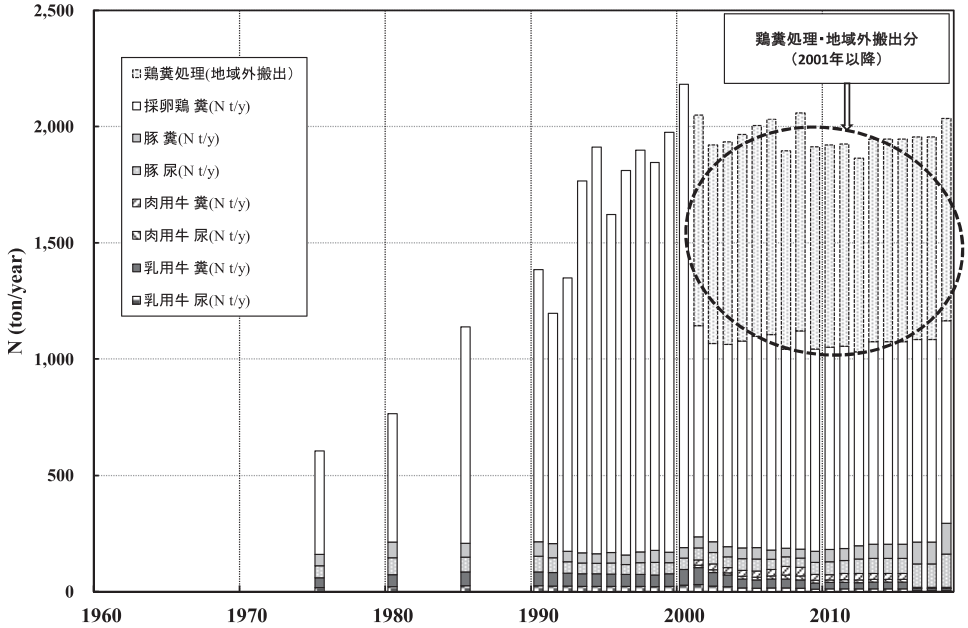

図28　家畜糞尿由来の窒素発生量（駒里地区）

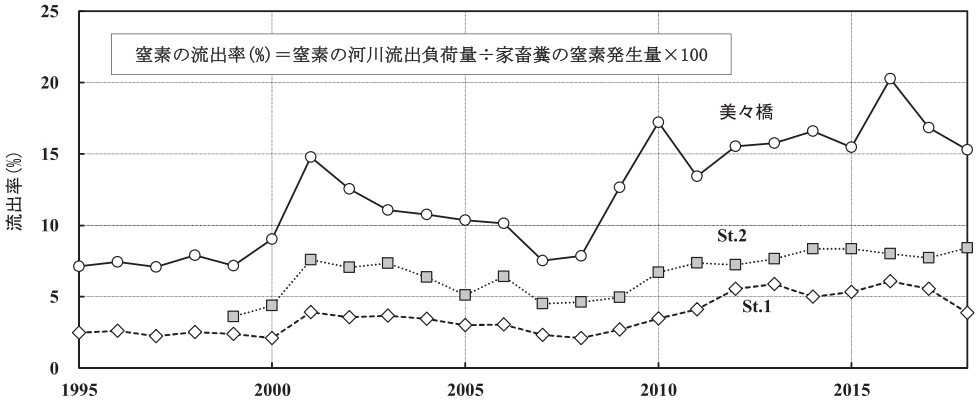

図29　窒素の流出率の経年変化

や専門家が適切なアドバイスができる体制を構築すべきである．

3.7. 左源頭部最上流部における河床からの湧出速度と水質分布

美々川上流部で河床からの湧出速度と湧出水質を測定した結果について述べる．左源頭部の湧出速度を予備調査したところ，源頭部の最上流部での速度が圧倒的に大きいことが明らかになった．そこで平成27（2015）年９月29日と10月６日に，最上流部から下流に約20mの範囲について詳細な調査を実施した（**写真１**）．**図30**は16地点の測定結果をもとに，河床からの湧出速度の等速度線を描いたものである．湧出速度は２か所以上の極大値を持つ分布を示し一様で

写真１　湧出速度測定の様子

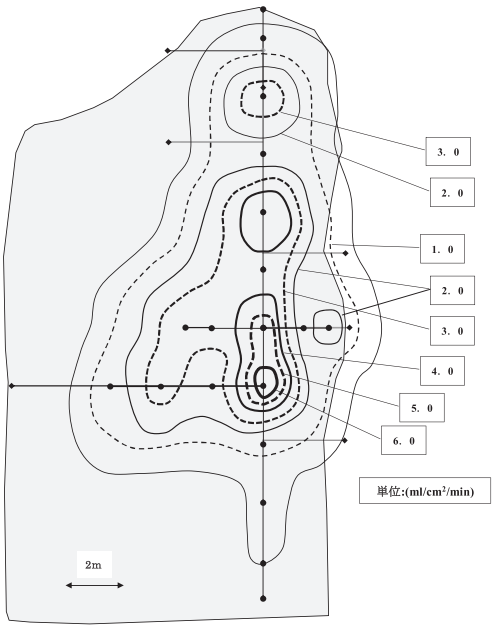

図30　河床からの湧出速度測定結果

はないことが明らかになった．

この地区の河床からの湧出量を求めると，0.039m³／sとなり，同時期の下流のSt.1の流量（0.071m³／s）の55％程度を占め，最上流部の河床からの湧出量は非常に大きいことが明らかになった．

次に，湧出速度測定時に採取した湧出水の水質について述べる．**図31**に湧出水の水質成分の等濃度線図を示した．いずれの成分も濃度は一様ではなく複雑な分布を示しているが，硝酸窒素，カルシウムイオンの濃度は広い範囲で高く，かつその分布が類似している．

またアンモニア窒素の分布は，濃度が狭い範囲で高くなっている．カリウムイオンは自然由来のバックグラウンド値が高いので広く分布しているように見えるが，濃度が極大値をとる位置はアンモニア窒素と同じである．また各成分濃度のピーク位置は，湧出速度が極大となる地点とほぼ一致している．

3.4で述べたように，水質変化パターンの時間差から，硝酸窒素とカルシウムイオンは汚染源A，Bと定義した鶏糞由来の汚染源と考えられ，かつ広い区域に分散しているノンポイントの汚濁源と推定された．一方，アンモニア窒素とカリウムイオンを排出している汚染源Cは，いわゆる点源であると考えられた．

河床からの湧出水の調査結果によって，湧出速度と湧出水の水質成分の極大値の位置がほぼ一致し，かつ硝酸窒素とカルシウムと，アンモニア窒素とカリウムの，２つのグループに分けられた結果は，汚染源A,Bと汚染源Cの違いを証明するものである．また，硝酸窒素とカルシ

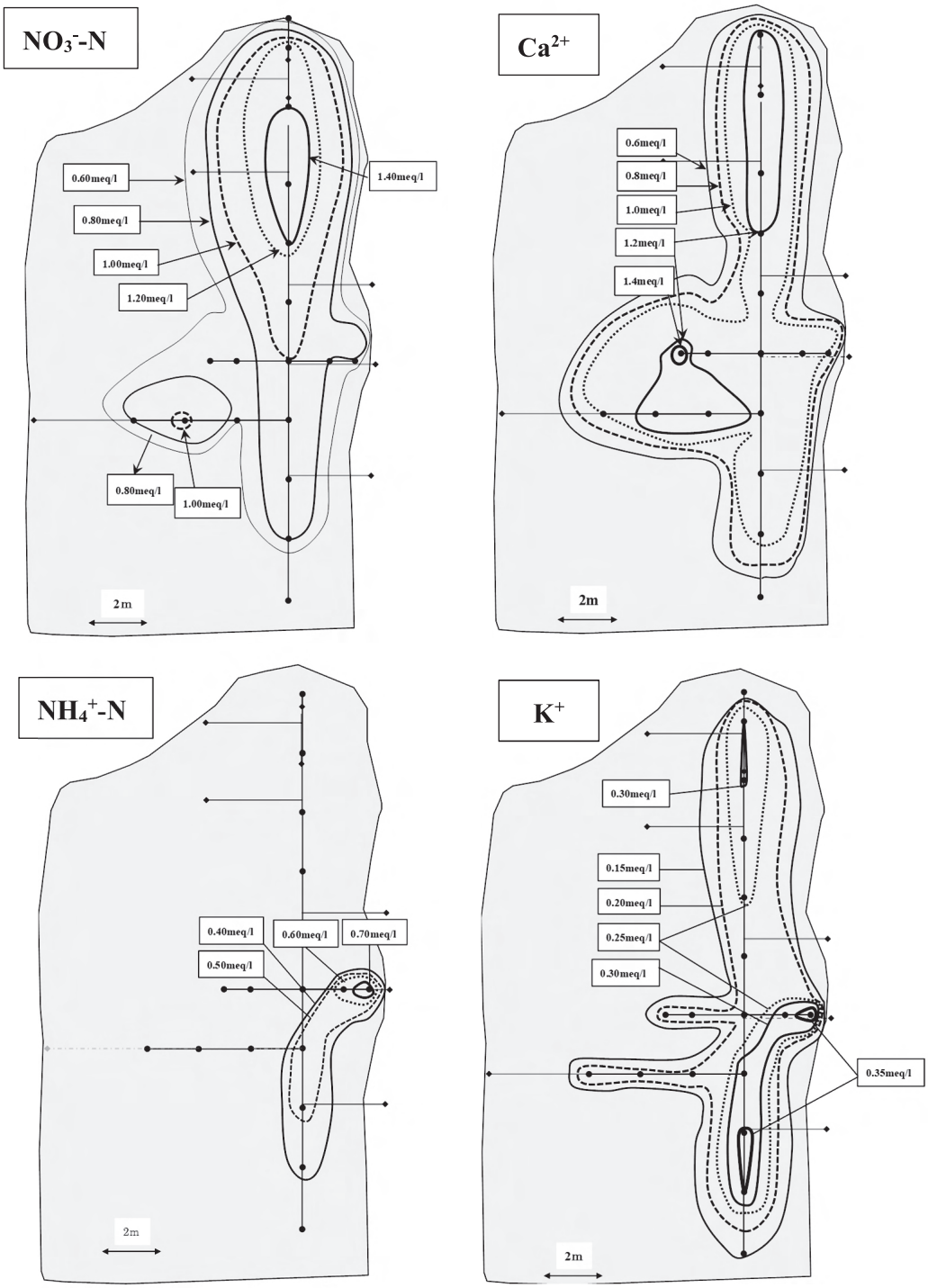

図31 河床からの湧出水の水質濃度分布

ウムイオンの広範囲な濃度分布に比較して，アンモニア窒素の分布範囲が狭いことから，汚染源Cが源頭部に近く，かついわゆる面源ではなく点源である可能性を補完する結果と考えられる．

3. 8. 美々川の水位変動について

美々川の特徴として，季節による水中植物の流水抵抗の増減によって，周期的な水位変動を繰り返すことが上げられる（**図32**）．美々橋地点では，1992年頃までは年間60～70cm程度の水位変動があったが，次第に最低水位が上昇し，クサヨシの繁茂により河道の大部分が閉塞した2007年頃には水位変動はほとんど見られなくなった．流路が狭くなるため流速が増加し，河床の浸食も進むため，水中植物の多様性が失われクサヨシが圧倒的な優占種となった．

水位変動の回復を目的に，2008年に美々橋上流部の全面刈取りが実施されたが，その後水位変動が徐々に回復を見せている．さらに，2013年に，美々川下流部で河道を閉塞していたクサヨシ群落を除去したところ，2014年春からさらに水位変動が回復した．しかし2015年には，上流部で剥離して流下したクサヨシ群落が河道を閉塞したため除去作業を実施した．このように，水位変動を確保するためには，河道の閉塞状況を定期的に確認し，必要に応じて除去作業を実施することが必要である．適切な管理を実施することによって水位変動が復活し，多様な植生が復元することが櫻井[28]らによって確認されている．クサヨシの刈り取りは対症療法では

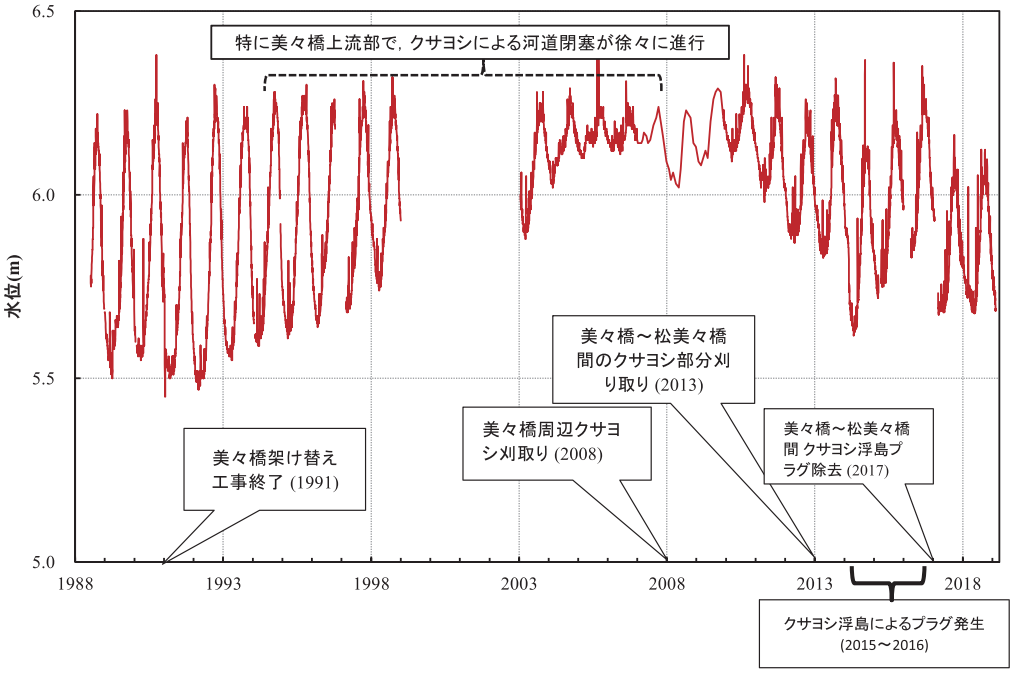

図32　美々橋地点の水位経年変化

あるが，汚染源対策が手詰まりである以上，河道の閉塞を防ぐ人為的な管理を継続する必要がある．

4．おわりに

美々川は，源頭部から全川にわたって人間社会と隣接している．さらに，浸透性の高い火山性地質構造は，地下水涵養域での人間活動の影響を直接受け入れている河川である．

このような美々川の人間社会との関りと言う視点から，美々川の舟運の歴史と役割，地下水涵養地域である千歳市駒里地区の明治以来の開拓の歴史について経緯をまとめた．

さらに，過去27年間にわたる美々川左源頭部湧水，美々川上流部の水質調査結果等から，水質経年変化，窒素汚濁の汚染源について検討した．結論を以下に記す．

・美々川の水源である地下水は，この地域の火山性地層に由来し，その浸透性の高さから地表における種々の人間活動の影響が地下水に直接影響する．その典型な現象が家畜排せつ物による地下水の硝酸窒素汚染である．
・明治初頭の開拓使時代から，地味が悪く農業に不適な駒里地区は火山性地質の土壌改良に腐心してきた．その方策が，農作業に家畜を使い，その排せつ物を肥料として利用する有畜農業であり，長い間行政も推奨していた．第２次世界大戦後になって，住民の発案で始まった養鶏が次第に主要な産業に成長していくが，その背景には，長い間の有畜農業の実績があった．
・1980年代から美々川左源頭部の湧水群の水質は，鶏糞を汚染源とする高濃度の硝酸窒素汚染が進行していた．家畜排せつ物法の施行を機に鶏糞処理施設が竣工し，発生量の約半分が発酵鶏糞として製品化され地域外に搬出されると，2001年から2006年頃まで湧水中の窒素濃度の低下がみられた．
・しかし，左源頭部上流部の湧水群では2000年頃から湧水のDO低下が進行し，2007年頃からは高濃度のアンモニア窒素が検出された．家畜排せつ物法に対応して，家畜排せつ物の処理水が地下浸透によって処分されたことが原因と推定される．
・左源頭部上流部の湧水群では，2016年頃から窒素濃度は改善傾向にあるが，依然として高濃度である．また，下流部湧水群は大きな変化はなく硝酸窒素濃度は高止まりであり，鶏糞を汚染源とする硝酸窒素汚染が続いており，今後，鶏糞の全量処理体制の構築を目指すべきである．
・上記のような窒素濃度の大きな変動は，鶏糞を汚染源とする状況が，家畜排せつ物法施行に対応した対策によって，新たな形に変化したことが原因と考えられる．事業者の努力が逆効果になってしまったことは，行政の指導・認可体制にも問題がある．

・近年，家畜経営が大規模化し（特に養豚），家畜排せつ物発生量も急増しているが，その処理・処分方法は十分明らかになっていない．地下浸透による処分が行われている可能性があり，美々川への影響が危惧される．
・美々川の流水環境の特性として，水位が季節的に変動することが上げられる．その原因は，水中植物の繁茂による流水抵抗の変化である．冬季に低く，夏に高い水位を示す．
・美々橋付近ではクサヨシの繁茂が進行し，その影響で河道が徐々に狭くなった．流路が狭くなると，水位変動が減少し水中植物の植生も変化した．水位変動を維持するためには，クサヨシを刈り取るなど人為的な管理が必要である．ただし，クサヨシ繁茂の原因は高濃度の窒素にあると推定され，汚染源対策が根本的対策である．
・人間社会と極めて近い場所に位置する美々川の環境は，すでに様々な人間活動の影響を受けており，具体的な対策が望まれる．すなわち地元自治体，河川，環境，農業の分野が連携して有効な政策を策定・実施することが重要であるが，現時点では全く連携が機能していない．
・千歳川放水路の計画と中止に至る間の行政の迷走は，駒里地区の住民に行政に対する不信感を植え付けた．しかしすでに相当の年月が経過し，養鶏業界の再編成も行われ，農家の世代交代も進んでいる．行政は地元住民との協働による保全政策を考えるべきである．
・美々川は小さな河川ではあるが，きわめて個性的で多様な自然環境を有する河川である．また，歴史的には北海道の開発に重要な役割を果たした．一方で，人間社会の近傍に位置するため，様々な政策に翻弄されてきた流域でもある．このような歴史を持つ美々川を，その自然だけではなく河川と人間の関りを学ぶ教育の場として活用すべきである．そのような地道な活動の継続が，美々川流域の環境保全につながると考えられる．

謝辞

本論文は，北海学園大学工学部 社会環境工学科（旧 土木工学科）余湖研究室の卒業研究のテーマとして約27年にわたって継続してきた研究の成果である．調査・分析・解析等の作業にかかわった,100名を超える数多くの卒業生諸君にこの場を借りて深謝します．

また本研究の実施に際し，北海道開発局石狩川開発建設部，一般財団法人北海道開発協会，北海道胆振総合振興局建設室蘭管理部の協力を得た．記して深謝します．

参考文献：

1）美々川自然再生計画書～水環境と地域の共生に向けて～，北海道室蘭土木現業所，平成19年３月．
2）池田光良・三浦均也・操上広志：地下水温による北海道美々川周辺の地下水流動解析，応用地質，第40巻，第２号,70－85,1999.

3）正保御国絵図，正保元（1644）年，https : //www.cas.go.jp/jp/ryodo/taiou/hoppou/hoppou01−01.html
4）更科源蔵編著：寛政蝦夷乱と千歳，千歳市史，49－70．昭和44（1969）年．
5）更科源蔵編著：松浦武四郎と千歳，千歳市史，84－112．昭和44（1969）年．
6）松浦武四郎：西蝦夷日誌，文久４（1864）年．
7）高島小学校開校百周年記念協賛会編：新高島町史，高島小学校開校百周年記念協賛会，昭和61（1986）年10月．
8）千歳川放水路計画：https : //www.hkd.mlit.go.jp/sp/kasen_keikaku/kluhh40000001qfy−att/gburoi0000008hao.pdf
9）山崎文吉編輯：1949 躍進千歳の姿 開町七十周年記念，千歳町役場，昭和24（1949）年．
10）更科源蔵編著：千歳市史，千歳市，昭和44（1969）年．
11）千歳市史編さん委員会：増補 千歳市史，千歳市，昭和58（1983）年．
12）新千歳市史編さん委員会：新千歳市史（上巻，下巻），千歳市，平成22（2010）年．
13）長見義三：ちとせ地名散歩，北海道新聞社，昭和51（1976）年．
14）大谷敏三：明治・大正の千歳を支えた薪炭業，志古津第６号，平成19（2007）年．
15）構造改革特別区域計画（千歳市駒里地区）：https : //www.chisou.go.jp/tiiki/kouzou2/kouhyou/031222/001.pdf
16）M&A Online, https : //maonline.jp/news/20220419jp
17）日本分析化学会北海道支部編：水の分析 第５版，化学同人，2005．
18）余湖典昭：美々川上流部における河床からの湧出水量の測定，第47回日本水環境学会講演集（金沢大学），2015．
19）Krogdahl, S. and Dalsgard, B. : Estimation of nitrogen digestibility in poultry, Content and distribution of major urinary nitrogen compounds in excreta. Poultry Sci., 60, 2480−2485, 1981.
20）楠田安正，茂角正延，水落勁美：採卵鶏由来鶏糞の窒素成分と窒素無機化率との関係，日本土壌肥料学会誌，73，NO.３，263－369，2002．
21）Volhardt/Schore：現代有機化学（第３版），化学同人，753p，2004．
22）高橋英一，小西茂毅，狭間顕一郎：施用尿酸の植物による吸収利用について，日本土壌肥料学会誌，41，107－113，1970．
23）清水幹夫，川井光：鶏糞からのアンモニア生成と制御，畜産の研究，52，1264－1269，1998．
24）Sims, J.T. and Wolf, D.C. : Poultry waste management, Agricultural and environmental issues. Adv.Agron., 52, 1−83, 1994.
25）余湖典昭：窒素安定同位体比による美々川の硝酸窒素汚染に関する研究，㈶北海道河川防災研究センター研究所紀要（XIX），2008年10月．
26）農山漁村文化協会編：畜産環境対策大事典　第２版，農山漁村文化協会，2004．
27）伊達昇編：便覧　有機質肥料と微生物資材，44－48，農山漁村文化協会，1988．
28）櫻井善文，矢部和夫，片桐浩司，椎野亜紀夫：日本の寒冷地小河川におけるクサヨシ除去による沈水植物復元の検証，湿原研究　Wetland Research Vol.12, 2022.
https : //j−wetlands.jp/lreport/online−first/