

平成12年度霧多布湿原学術研究助成報告書

酪農流域河川における融雪期の汚濁負荷流出に関する研究

北海道大学大学院農学研究科

山本忠男 鶴木啓二 井上 京

## 1 はじめに

近年、農業流域における地下水の硝酸態窒素汚染や、河川・湖沼の富栄養化など、農地から水系への汚濁物質の流出が取りざたされている。積雪地域の農業流域では、これらの汚濁物質は融雪水と共に河川に流出するため、融雪期間における汚濁物質の流出量が大きく、下流域への影響は多大なものと推定される。この期間の流出負荷は、年間総負荷の約半分を占めるとする報告もある（大村・黒川，1991）。

冬期間流域に堆積した雪が春期に融解し、融雪水となって河川に流出する現象が融雪流出である。気温や日射による積雪上層での融雪水は、浸透する際、雪粒子による捕捉、積雪層内での滞留・再凍結を繰り返す（藤野，1979）。積雪層内に氷盤があつて下方浸透が妨げられる場合には、融雪水は横方向へも移動するが、融雪が進行すると大部分が地表面に到達することになる。地表面に達した融雪水は、土壌が凍結していない場合は地下に浸入し、氷盤が凍結していたり飽和状態の場合は地表面流出する。ただし、河川に流出する過程で、表面流去水が地下に浸入する場合や、地下浸透した融雪水が復帰流として表面流となることも考えられる。このように、融雪水の流出経路は積雪内、地下、地表面に大別でき、これに地下水を合わせて、融雪期の河川水が構成される。

土壌凍結しない多雪流域では、融雪水の大部分は一旦氷盤に浸入してから河川に流出する（小林，1979）。一方、釧路や根室地方など北海道東部地域は、冬期の積雪が少ないうえに寒さの厳しい少雪寒冷地域となっており、冬期間に土壌が凍結する。凍結した土壌は難透水層となり、融雪水の浸入を妨げるため、融雪融凍期の水質水文環境は多雪地域とは大きく異なることが予想される。

本研究では、北海道東部の大規模酪農流域を対象として、土壌凍結状況下における融雪融凍期の水質・水文特性および汚濁負荷流出状況を把握することを目的とした。調査対象は、北海道東部浜中地区の大規模酪農流域であり、土地利用状況や河川形状、河畔の状態、飼養頭数等と河川水質形成要因との関係について検討した。

## 2 調査流域概要と調査方法

### 2. 1 調査流域概要

調査は前報（井上・山本，1998）で取り上げた浜中地区の9流域のうち，硝酸態窒素濃度の最も高い丸佐二号川流域と，アンモニア態窒素とリン濃度の最も高い左支姉別川流域で行った（Fig.1）．両流域とも草地率が非常に高く，土地利用は草地に単一化されている（Table 1）．土地利用状況の違いは，河川改修の進んだ丸佐二号川流域で河畔の湿地が少なく，本川が未改修の左支姉別川流域で河畔に湿地が多く残されていることである．したがって，この2流域を対象とすることで，土壤凍結地域の融雪融凍期における水質環境に関して土地利用との検討が可能となる．

### 2. 2 調査方法

流域の最下流にそれぞれ自動採水器を設置し，2000年3月12日～4月24日，2001年3月2日～4月21日の両期間，3時間間隔で4サンプル／1ボトルのコンポジット採水を行った．ただし自動採水器パイプ内の結氷等のため，採水は一部欠落している．また，冬期の水質状況を調べるため，2000年12月～2001年2月の厳冬期に1回／月の採水を行った．採水した試料は冷蔵状態で実験室に搬入して水質分析に供した．

本章で対象とする水質分析項目は，窒素成分（T-N，DTN，NO<sub>3</sub>-N，NO<sub>2</sub>-N，NH<sub>4</sub>-N），リン成分（T-P，PO<sub>4</sub>-P），主要イオン（Cl<sup>-</sup>，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，Na<sup>+</sup>，K<sup>+</sup>，Ca<sup>2+</sup>，Mg<sup>2+</sup>），SS，pH，SiO<sub>2</sub>であり，測定方法はJISに準拠した．PTN（懸濁態窒素）はT-NとDTNの差，PTP（懸濁態リン）はT-PとDTPの差としてそれぞれ算出した．なお，DTN，NO<sub>3</sub>-N，NO<sub>2</sub>-N，NH<sub>4</sub>-N，DTP，PO<sub>4</sub>-Pの分析には孔径0.45μmのメンブレンフィルターで，各イオンの分析は孔径0.22μmのメンブレンフィルターでそれぞれ濾過した試料を用いた．

河川水の採取と並行して，最下流採水地点付近で積雪調査を数回行った．採雪は金属製円筒（体積277cm<sup>3</sup>，282cm<sup>3</sup>，272cm<sup>3</sup>）により，積雪層をほぼ10cm間隔の層に分け，同一層で3試料採取して平均化した．試料はポリ容器に移して実験室に搬入し，重量を測定して密度を求めた．その後，室温にて融解し，河川水と同様に水質分析を行った．また，2001

年の調査では、メチレンブルー水溶液を用いた土壌凍結深の測定（日本雪氷学会北海道支部，1991）を行った。ただし、両地点とも3月末に凍結深計が一時水没し、正確な凍結深が測定出来なくなったため、以降は欠測である。

河川流量は、可搬型電磁流速計による徒渉観測を随時実施するとともに、採水地点に水位計を設置し、連続測定した水位を H-Q 式により変換して求めた。降水量、気温、積雪深は調査地近傍の厚床アメダスデータを用いた。

Table 1 調査流域諸元

流域名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	土地利用率(%)		湿地率 (%)	河川改修率 <sup>*</sup> (%)	飼養牛頭数 <sup>**</sup> (頭)	飼養牛頭数密度 (頭/km <sup>2</sup> )
		林地・湿地等	草地				
左支姉別川流域	8.7	30	70	6.8	0	754	87
丸佐二号川流域	12.7	23	77	0	80	2051	161

<sup>\*</sup>1/25,000地形図から判読 <sup>\*\*</sup>本川の改修延長割合 <sup>\*\*</sup>1993年北海道開発局釧路開発建設部調べ

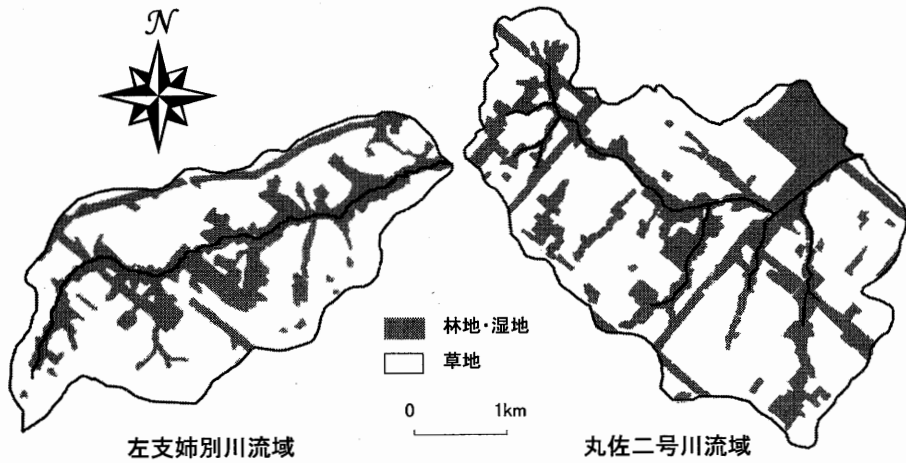


Fig.1 流域の土地利用状況

### 3 土壤凍結流域の水文状況

#### 3.1 冬期～春期の気象状況および土壤凍結深

Figs.2, 3 に1999年12月～2000年4月（以下、2000年）と、2000年12月～2001年4月（以下、2001年）のアメダス気象データ（降水量、積雪深、気温）、観測期間の流量および土壤凍結深（凍結深は2001年のみ）の推移を示す。降水量のうち気温が2℃未満または積雪深が増加している場合は降雪と判断し、降雨と区分して示した

2000年は当地域としては積雪が多く、2月中旬に最大積雪深61cmに達した。一般に、積雪深が初冬期に20cmを越えてその値以上を保つ地域では、土壤凍結は地表付近にとどまりわずかしか侵入しないとされている（東，1954）。しかし、積雪深が20cmを越えたのは1月中旬で、それ以前の冷え込みで土壤凍結が起こっていたと推定される。この年の調査では凍結深の測定は行っていないが、融雪期の積雪調査時に土壤表層の凍結を確認している。3月になると最高気温が0℃以上の日が多く、積雪は急激に減少し4月上旬に消雪した。また、3月下旬から4月は降雨が多く、大規模出水はいずれも降雨影響の融雪出水であった。

2001年は12月下旬に積雪深が30cmを越えたが、その後減少し、寒さが厳しくなる1月以降は概ね20cm以下で推移した。土壤凍結深は12月19日に丸佐二号川流域23cm、左支姉別川流域19cmであり、融雪流出が始まる直前の3月2日に最大値（丸佐二号川流域34cm、左支姉別川流域27cm）を観測した。河川流量は、調査開始直後の3月4日に暖気による融雪に降雨が加わり、両流域とも調査期間最大となった。その後、3月14日まで低温が続く、ほとんど出水はみられない。融雪流出の特徴である流量の日変動は3月中旬から始まる。日変動は4月中旬まで確認できるが、アメダスデータでは積雪が残っているものの、現地調査では4月初旬に流域内の積雪はほとんど無かったことから、凍結土壤の融凍水による影響と推定される。4月12日、4月15日の降雨後は日変動が無く、土壤凍結層は消失したと思われる。

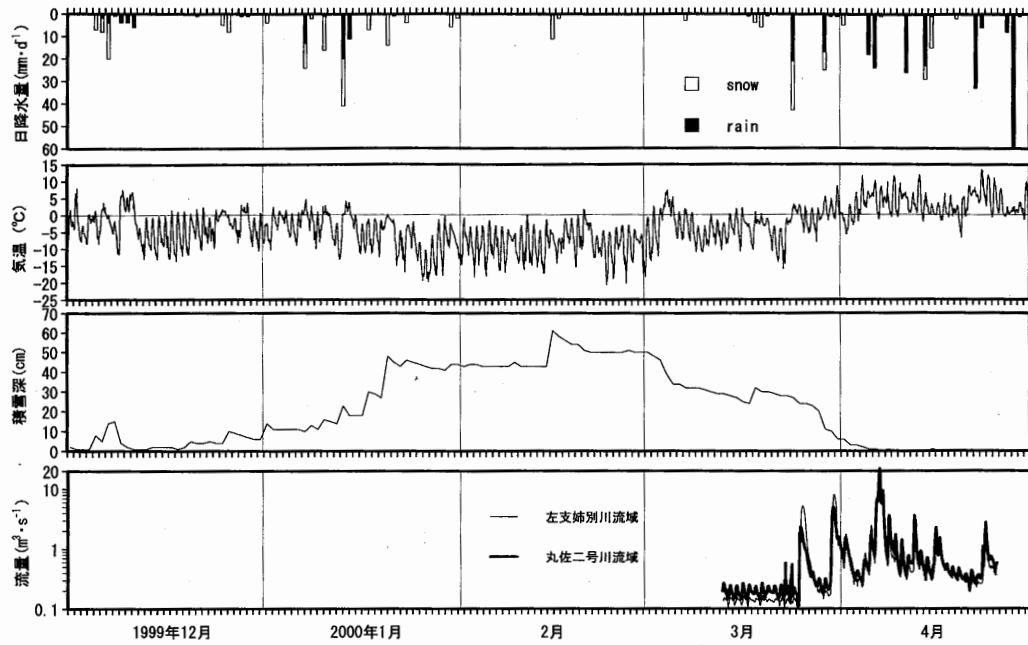


Fig.2 1999年12月～2000年4月の気象水文データ

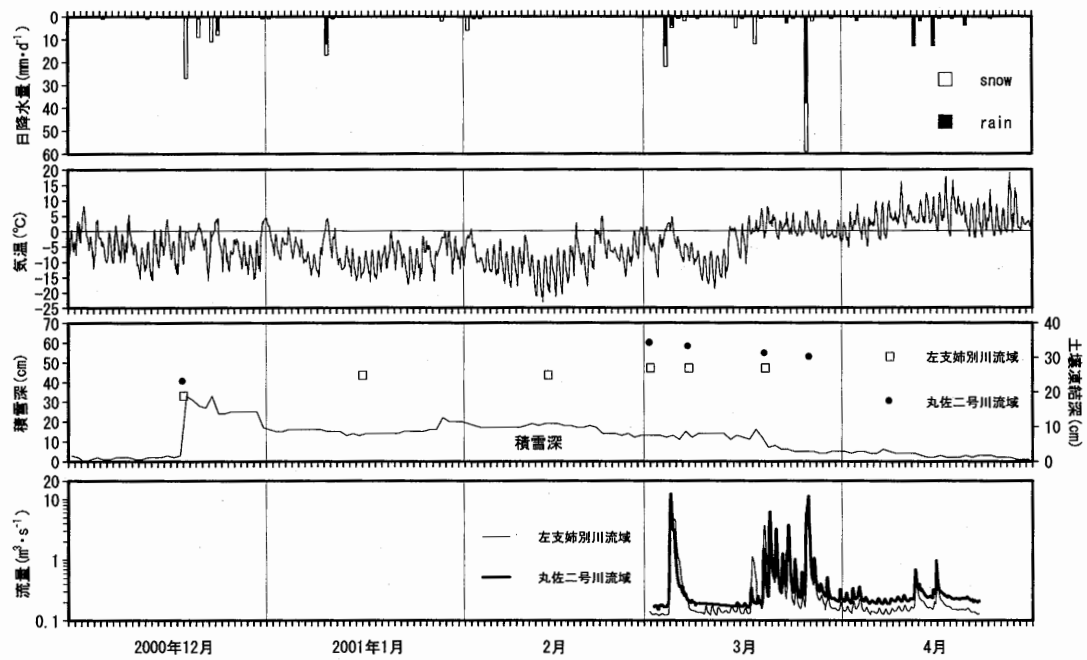


Fig.3 2000年12月～2001年4月の気象水文データ

### 3. 2 流出成分の分離

気温や日射による積雪上層での融雪水は、積雪層内に氷盤があって下方浸透が妨げられる場合には、融雪水は横方向へも移動するが、融雪が進行すると大部分が地表面に到達することになる。地表面に達した融雪水は、土壌が凍結していない場合は地下に浸入し、土壌表層が凍結していたり飽和状態の場合は地表面流出する。ただし、河川に流出する過程で、表面流去水が地下に浸入する場合や、地下浸透した融雪水が復帰流として表面流となることも考えられる。また、融雪水は河川に流出する際に、土壌中の溶存物質の溶脱や土壌表層物質の洗い出しなど、移動媒体として流域内の様々な物質を流出させる。そのため、流域の水質環境を解明するには、まず水の動きを把握することが重要となる。ここでは、土壌凍結下における水文状況を解明するために、流出成分の分離を行う。

#### (1) 流出分離手法

流出成分の分離には、水質を指標とした手法を用いる。水質成分をトレーサーとした流出分離の条件は、水分移動への追従性、すなわち、土壌粒子や植生表面に吸着・保持され難く、かつ、他の物質と容易に反応しない安定な物質が望ましい(海老瀬, 1993)。これまで、無機イオン(たとえば、海老瀬ら, 1982; 坂本・竹内, 1985; 鈴木・小林, 1987; 大類ら, 1992)、安定同位体(たとえば、Sklash and Farvolden, 1979)、 $\text{SiO}_2$ (たとえば、Pionke et al., 1993)などによる流出分離が提案されている。本研究では、分析が比較的容易な $\text{SiO}_2$ を指標として流出分離を行った。

水質成分をトレーサーとした収支式による解析では、分離流出成分は「古い水」(Old water)、「新しい水」(New water)と定義されることが多い(たとえば、鈴木ら, 1992)。鈴木・小林(1987)は、「古い水」は流量が増大するイベントを生起させた降水による影響を直接化学的には受けていない流出成分、「新しい水」はイベントの降水そのものの化学的性質を有する成分を示すもので、本来流出経路まで立ち入った議論は出来ないとしている。一方、Pionke et al. (1993)は、 $\text{SiO}_2$ に関し、地表面を水が流去する際、流去水が $5\text{mg Si}\cdot\text{l}^{-1}$ になるのに数日かかるのに対し、土壌中を浸透する水の場合、数分で $5\text{mg Si}\cdot\text{l}^{-1}$ に達す



ることから、降雨継続中に大半の降水が土壌に浸入せず表面流去する場合、 $\text{SiO}_2$ を用いて地中流出(Subsurface runoff)と表面流出(Surface runoff)に分離することは妥当としている。当流域では、冬期に土壌凍結が起こっているため、Pionke et al.による「降雨継続中に大半の降水が土壌に浸入せず表面流去する場合」に相当する流出状況と考えられ、 $\text{SiO}_2$ を指標とした流出成分分離では、表面流出と地中流出を表すことになる。

本研究のような農業流域を対象とした場合、 $\text{SiO}_2$ による流出成分分離により、水系の富栄養化に関する栄養塩類の表面流出成分(有機態窒素,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , P)や地下溶脱成分( $\text{NO}_3\text{-N}$ )の流出経路に関して重要な知見を得ることが可能となる。

## (2) 土壌凍結下における融雪流出状況およびその変化

河川流量と水質濃度には、質量保存則より以下の式が成り立つ。

$$Q_t = Q_s + Q_b \quad (4-1)$$

$$C_t Q_t = C_s Q_s + C_b Q_b \quad (4-2)$$

$Q$ : 流量,  $C$ :  $\text{SiO}_2$ 濃度,  $t$ : 総流出,  $s$ : 表面流出,  $b$ : 地中流出,

$C_t$ : 分析値,  $C_s$ : 表面流去水の水質濃度,  $C_b$ : 地中流出水の水質濃度

(4-1), (4-2) より

$$Q_b = \{(C_s - C_t) / (C_s - C_b)\} Q_t$$

$$Q_s = Q_t - Q_b$$

ここでは、 $C_s$  (表面流去水の水質濃度) は積雪の平均濃度、 $C_b$  (地中流出水の水質濃度) は融雪前における河川水濃度の最大値を採用した。流出分離結果として、Figs. 4~7に2000年と2001年における両流域の流量 ( $Q_t$ ,  $Q_b$ ,  $Q_s$ ) と地中流出割合 ( $Q_b/Q_t$ ) の変化を降水量とともに示す。流量データは、コンポジット採水時間である0, 3, 6, 9時(午前)と、12, 15, 18, 21時(午後)の3時間間隔データを平均化した半日平均値である。

流量変動をみると、低水時と高水時の差が大きく、降雨を伴った時に非常に高い流量を示す。これは、難透水性の凍結土壌が流域に広がり、一時的に水文的な都市化現象(早川ら, 1998)が起こったため、前章で検討した多雪地帯に位置する憩川流域の融雪期には

見られなかった現象である。このような条件下では、融雪水や降水はほとんど地中に浸入せず表面流去水として短時間で河川に流出するため、流量増加の大部分は表面流出( $Q_s$ )の増加によるものとなり、両流域とも表面流出割合は最大で90%を越えた。

土壤凍結層はおもに表層から徐々に融解し、融雪水や降水が浸入するようになるため、流出状況は融雪融凍の進行に従って変化していくと推察される。とくに降雨は土壤凍結層の融解に大きく影響すると考え、降雨イベントごとに流出状況の変化を調べた。流量データは2000年の丸佐二号川流域を用い、降雨を伴った6回の出水時における流出のピークごとに期間Ⅰ～Ⅵに分け (Fig.8)、流量と地中流出割合の関係の変化を見る (Fig.9)。その結果、前半の期間Ⅰ、Ⅱ、Ⅲと後半の期間Ⅳ、Ⅴ、Ⅵのデータ分布範囲が明らかに異なり、同程度の流量の時、融雪期の後半の方が地中流出割合が高くなっている。これは、流域内の地盤凍結が融解し、融雪水や降水が地盤への浸入していることを裏付ける結果である。このような水文状況の変化は、2000年の左支姉別川流域や2001年の両流域のデータでも認められた。

また、Fig.4 をみると、期間Ⅰ、Ⅱの前半にも地中流出の増加が確認できる。しかし、期間Ⅲでは地中流出はほとんど増加していないことから、期間Ⅰ、Ⅱで地中流出が実際に増加していたとは考えにくい。当流域では、積雪内の融雪水が地表面に到達しても地下に浸入せず土壤表面を流去するが、融雪初期の比較的気温が低い時期 (期間Ⅰ以前や期間Ⅰの後半) には、融雪水はすぐに河川に到達せず積雪内で再凍結するなど、時間をかけて河川に流達すると考えられる。つまり、融雪水が地表に接している時間が長く、 $SiO_2$ は土壤との接触で濃度増加することから、積雪底面を流下する融雪水は地表面から  $SiO_2$ を供給され、出水時の最初に比較的高濃度で流出し、地中流出が増加しているような分離結果になったと判断した。この現象は、 $SiO_2$ を融雪期の流出成分分離の指標とする場合の課題である。

流域による流出状況の違いは (Figs. 4 ~ 7)、流量上昇時の地中流出割合減少後、丸佐二号川流域では速やかに表面流出が減少し、地中流出割合が回復していくのに対し、左支

姉別川流域では表面流出が継続し、地中流出割合の回復が遅いことである。すなわち、地中流出割合が低いことは、 $\text{SiO}_2$ 濃度の低い表面流去水の割合が高いことを示すことから、左支姉別川流域は丸佐二号川流域に比べて地表水の排除が遅れていることを表す。これは、丸佐二号川流域は左支姉別川流域に比べて排水整備水準が高いことに起因すると考えられる。この傾向は積雪量の多い2000年に強く表れていた。

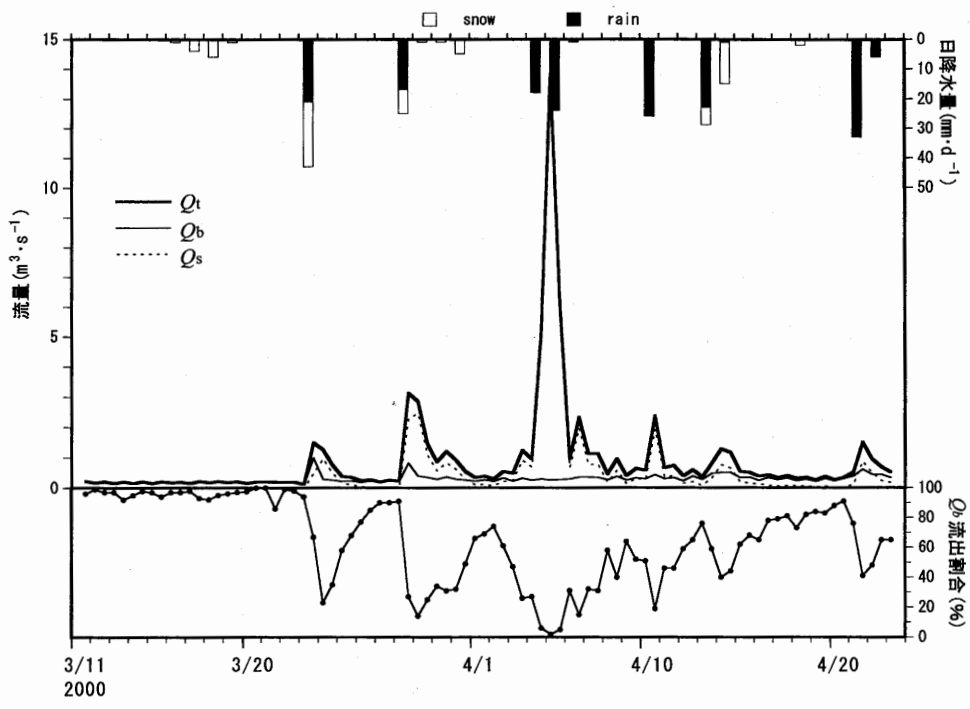


Fig.4 流出分離結果（2000年，丸佐二号川流域）

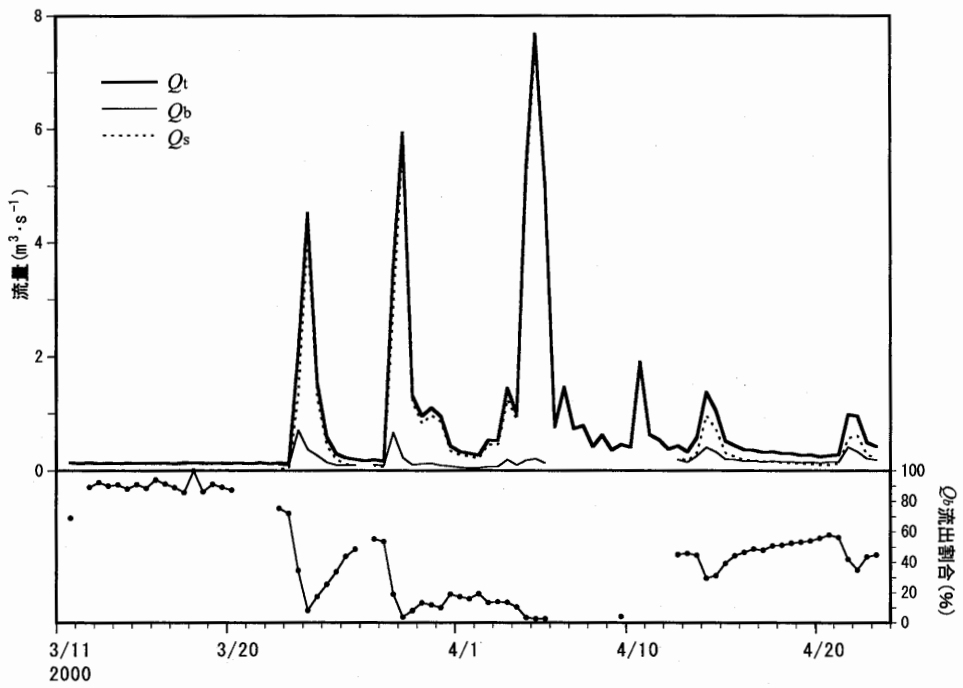


Fig.5 流出分離結果（2000年，左支姉別川流域）

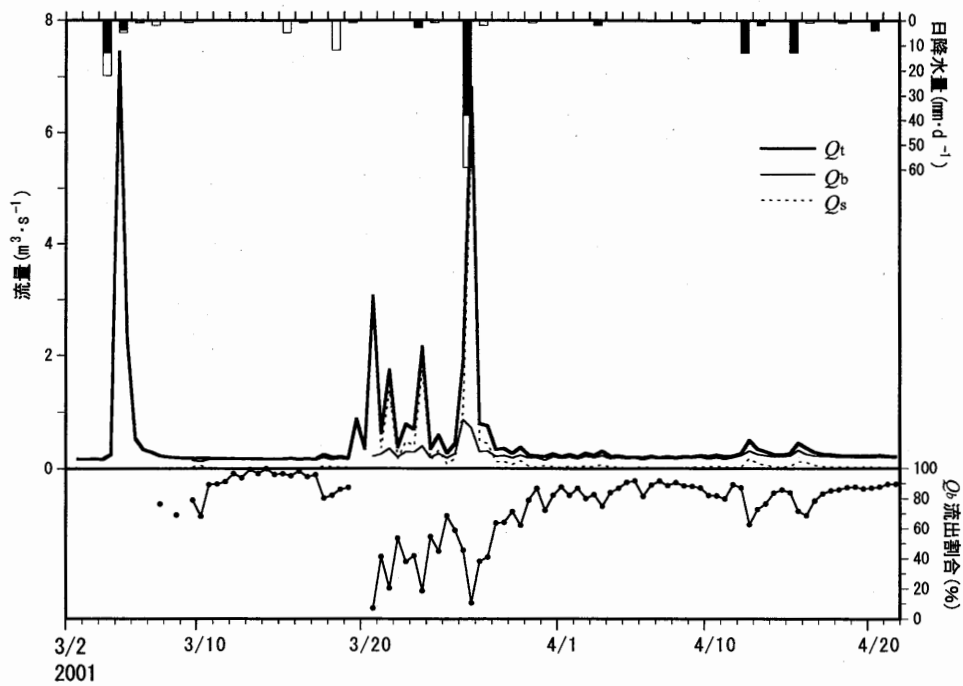


Fig. 6 流出分離結果 (2001年, 丸佐二号川流域)

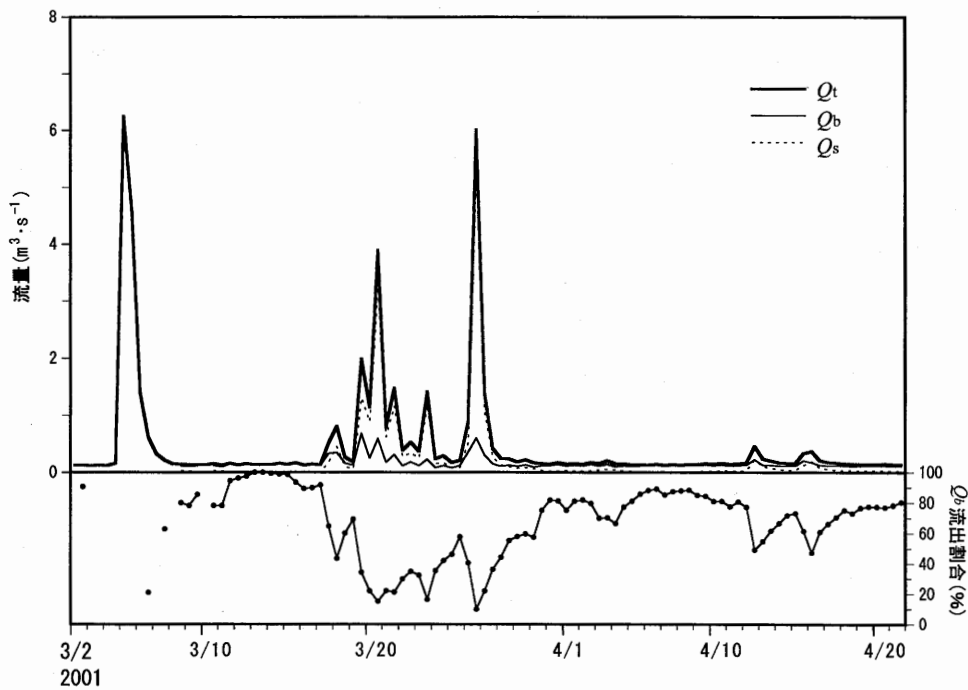


Fig. 7 流出分離結果 (2001年, 左支姉別川流域)

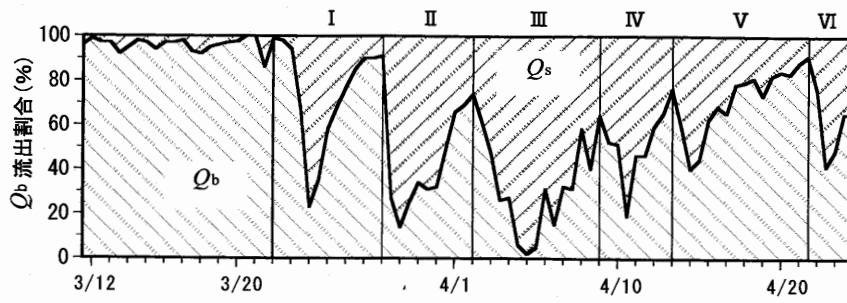


Fig.8 2000年丸佐二号川流域の融雪期間区分

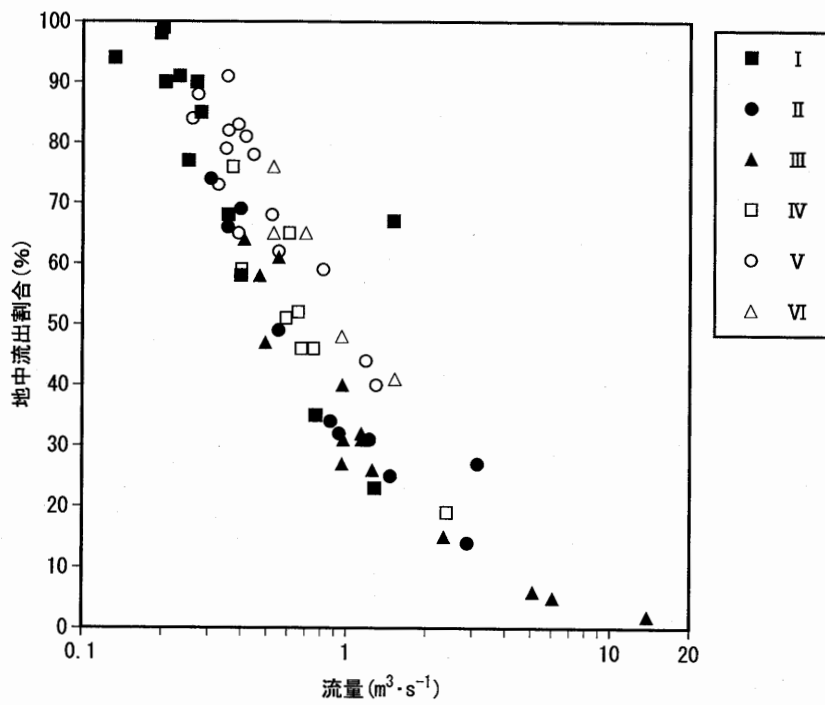


Fig.9 流量と地中流出割合の関係 (2000年, 丸佐二号川流域)

## 4 土壤凍結下における融雪期の水質環境

### 4.1 河川水質状況

2000年データは左支姉別川流域の採水に欠落が多いため、河川水質状況の検討には2001年データを用いることにする。Fig.10 に両流域の流量、地中流出割合、河川水質の変化状況を示す。なお、期間全体の状況を把握するために、データは日平均値（流量加重平均）で示した。水質変化には、流量増加時に濃度上昇する成分（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TON、T-P、 $\text{K}^+$ ）、低下する成分（ $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ）、途中で傾向の変化する成分（ $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、Cl）が確認できる。そして、流量増加の大部分を占める表面流出の流出割合と、これら水質成分の濃度との関係は Figs. 11 ~ 13 のようになる。以下に、水質成分の流出機構を水文状況と併せて検討する。

#### (1) 流量増加時に濃度上昇する成分と低下する成分

ここで、融雪流出時の流域へのインプットとして融雪流出開始直前（3月2日）の積雪と融雪期間の降水水質、流域のバックグラウンド的水質として冬期間の両流域の河川水質を比べると、ほとんどの成分で河川水の濃度が高いことが分かる（Table 2）。流量増加時の河川水質濃度は、増加流量分の流出水（地中流出、表面流出）濃度と、流量増加前の河川水濃度（一般に基底流出と呼ばれる流出水の濃度）および、それらの混合率で決定される。したがって、当流域の融雪融凍期のように、河川水に比べ相対的に低濃度の融雪水と降水が大部分表面流出する状況で、流量増加時に濃度増加する河川水質成分は（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TON、T-P、 $\text{K}^+$ ）、地表面から物質の供給を大量に受けているといえる。逆に、濃度低下する水質成分（ $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ）は、表面流出水が基底流出水に比べ低濃度であったため、流量増加時には河川水は表面流去水に希釈され低濃度となる。なお上に示した基底流出水や流量増加分の流出水はそれ自体が様々な流出水からの混合物からなり、このような考え方は End-member mixing model で議論されている（たとえば、David et al., 1993；倉持ら，1996）。

濃度上昇する水質成分（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TON、T-P、 $\text{K}^+$ ）は家畜糞尿に大量に含まれることが

知られている（たとえば，大村・黒川，1989）．当流域は市街地や工場等のない酪農流域であり，営農活動が水質状況に影響していると考えるのが妥当であろう．北海道では冬期間，発生した家畜糞尿を草地に還元できないため，堆肥盤や畜舎周辺等の一次貯留施設，パドック等からの汚水流出（大村・黒川，1991），草地での堆肥の野積み，不適切な糞尿散布（松本ら，1993）などが一部にみられる．これら地表面に大量に存在している物質が，融雪期の表面流去水に伴って河川に流出していると思われる．

## (2) 流出状況が変化する成分

融雪融凍の進行に伴い流出状況が変化する水質成分（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ， $\text{SO}_4^{2-}$ ， $\text{Cl}$ ）の特徴は，期間中期（3月19日～）の大規模出水では流量増加時に濃度低下するが，後期に当たる4月12日，15日の出水では流量増加時に濃度が上昇することである．この傾向が最も顕著に表れている左支姉別川流域  $\text{NO}_3\text{-N}$  は，流出割合と濃度の関係を見ると，流量増加時に3月では濃度低下するが，4月には濃度上昇していることが分かる（Fig.13）．これらの成分は土壤に吸着されにくく，土壤中の水の浸透とともに地下に溶脱される．当調査流域のように融雪融凍期中盤まで表層土壤が凍結している場合，融雪水が浸入できないため，低濃度の表面流去水で希釈されて河川水濃度は低下する．その後土壤表層が融解し，融雪水や降水の地下への浸入が可能になり，土壤中に蓄積されていた水質成分が河川に流出すると，流量増加時に濃度上昇するようになる．しかし同じ水質成分でも，流域によって変化状況は全く違う．これは，流域内土壤中の蓄積量，積雪の水質，流出経路が異なるためであり，現象解明には地下水や土壤水など詳細な調査が必要と考える．



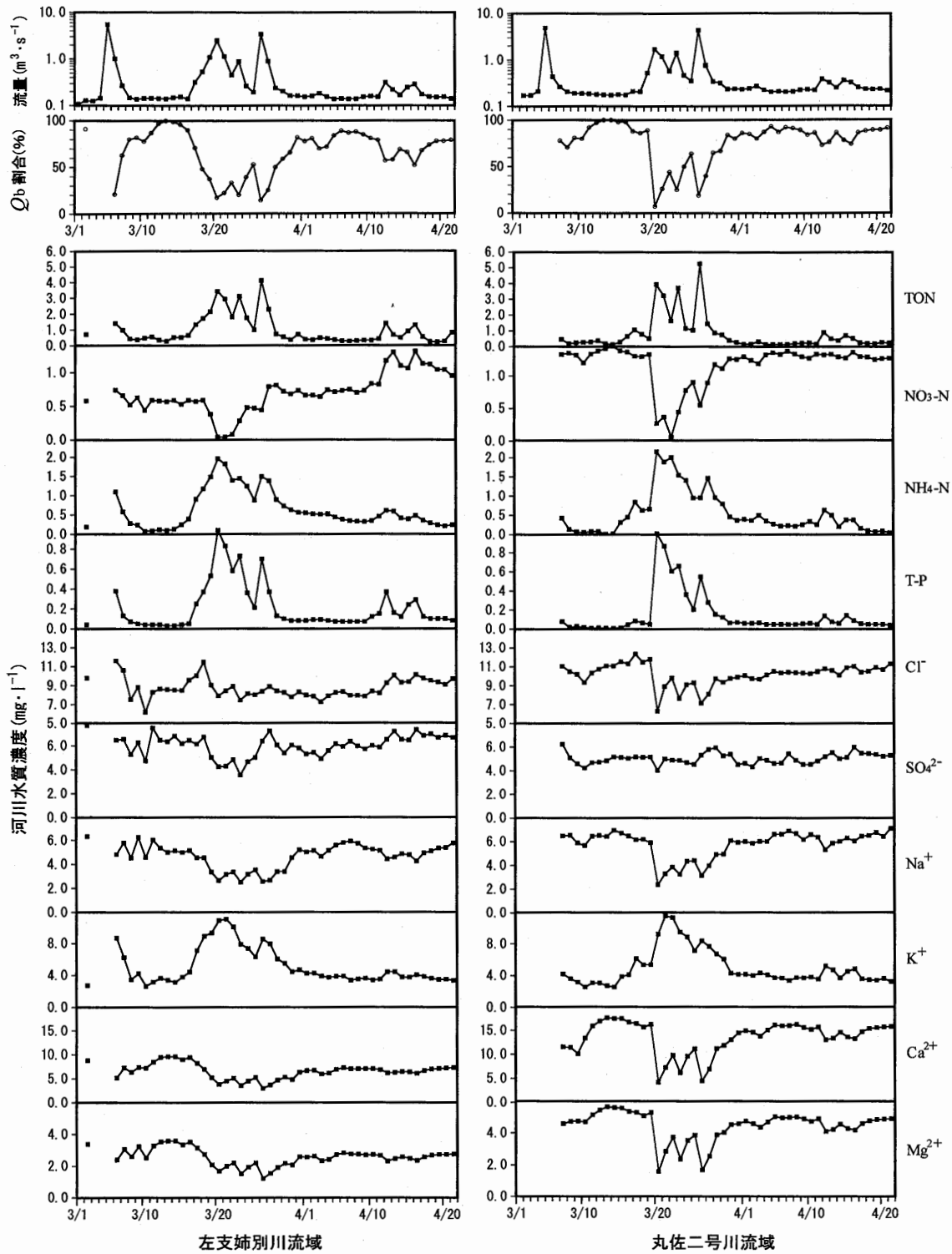


Fig.10 流量, 地中流出割合, 水質変化 (2001年)

Table 2 積雪の水質, 降水水質, 積雪期河川水質 (算術平均)

EC:  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , 濃度:  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$

	EC	pH	TON	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
積雪の水質	30	7.05	—	0.11	0.21	—	5.10	2.57	2.73	0.36	0.31	0.24
降水水質	18	5.51	0.13	0.16	0.22	0.01	2.92	2.45	1.88	0.44	0.41	0.14
積雪期 丸佐二号川流域	149	—	0.01	1.56	0.03	0.04	10.78	5.37	5.51	1.89	15.27	4.68
積雪期 左支姉別川流域	128	—	0.10	0.66	0.02	0.03	8.59	6.33	5.38	2.50	10.85	3.48

—: 未測定

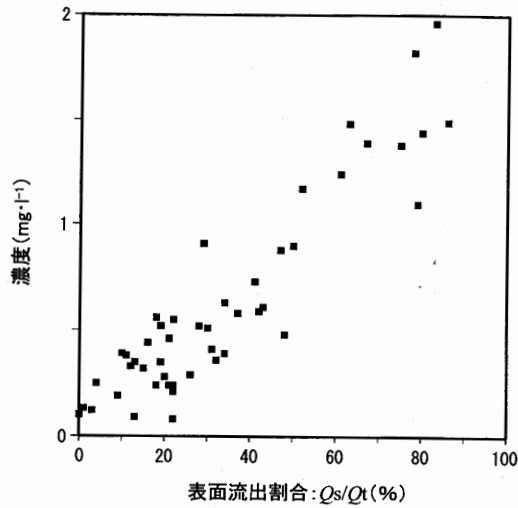


Fig.11 流量増加時に濃度上昇する水質成分の濃度と表面流出割合の関係  
(例：左支姉別川流域,  $\text{NH}_4\text{-N}$ の場合)

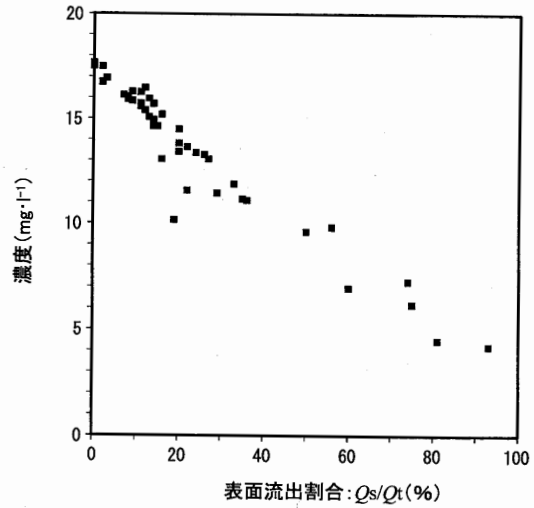


Fig.12 流量増加時に濃度低下する水質成分の濃度と表面流出割合の関係  
(例：丸佐二号川,  $\text{Ca}^{2+}$ の場合)

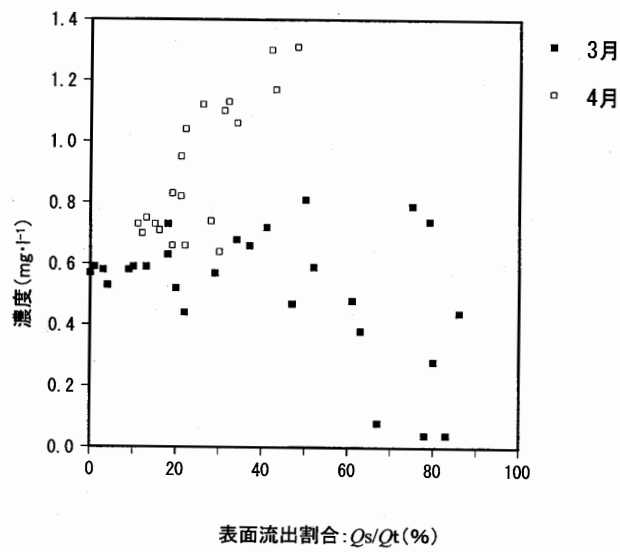


Fig.13 流量と濃度の関係が変化する水質成分の濃度と表面流出割合の関係  
(例：左支姉別川流域の $\text{NO}_3\text{-N}$ の場合)

#### 4. 2 河川水質形成要因と融雪融凍期の河川水質

前報（井上・山本，1998）では，条件の異なる大規模酪農流域を対象に平水時の河川水質を比較検討した．そのなかで，河川水の窒素・リン濃度を高くする要因は，飼養牛頭数密度が高いこと，草地率が高く湿地率の低いこと，河川改修率が高いこと，畜産施設が排水路に近接していることなどを指摘した．ただし，これらの河川水質決定要因と河川水質には一定の傾向が確認できるものの，バラツキの大きいことも認められた．流域末端の河川水質は，「発生負荷量」，「排出率」，「流達率」（田淵・高村，1985）と関係があるが，これら3要素を確定できないことがバラツキの原因と思われる．たとえば，流域内で発生した家畜糞尿の排出率は，処理方法や施用方法等で変動すること，排出された負荷の河川（もしくは流域末端）への流達率は，河畔林や湿地の面積や位置，また河川・排水路の状態や位置などが影響することなど，数値化の難しい要因が絡んでいる．このように，河川水質形成の原因は特定できないが，その結果は河川水質として明確に表れており，曖昧さがない．そこで，ここでは流域による融雪流出の違いを，平水時の水質を基準に考察した．

1996年調査における両流域の平水時水質と，2001年調査の融雪融凍期水質を Table 3 に示す．いずれも流量加重平均値で，家畜糞尿の流出が環境に影響する項目として富栄養化物質の窒素とリン成分について整理した．平水時における両流域の水質環境は，①  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度は丸佐二号川流域の方が高いことから，地中流出経路の汚濁は丸佐二号川流域の方が高い．②  $\text{NH}_4\text{-N}$ ， $\text{P}$  濃度は左支姉別川流域の方が高いことから，左支姉別川流出は表面流出経路の汚濁物質が流出しやすい状況にある．

融雪融凍期の水質は，流量増加時に濃度上昇する  $\text{TON}$ ， $\text{NH}_4\text{-N}$ ， $\text{T-P}$ ， $\text{PO}_4\text{-P}$  が平水時より高濃度を示す．これは先ほど述べたように，表面流出経路での家畜糞尿流出の影響である．地下溶脱成分の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度は融雪融凍期の後半には回復するが，期間中盤に低濃度であった（Fig.10）ため，平均値は平水時より低い．

平水時と融雪融凍期の水質を比較すると，流域間の濃度差は同程度である．しかし，左支姉別川流域の濃度を1として丸佐二号川流域の濃度を相対化し，平水時と融雪期の水質

を図示すると (Fig.4-14), 融雪融凍期の方が両流域の濃度比率が小さいことがわかる。これは, 平水時にみられた河川水質形成要因の差が, 融雪融凍期では小さいことを示す。とくに, 平水時に差の大きかった  $\text{NH}_4\text{-N}$ , T-P,  $\text{PO}_4\text{-P}$  で比率が近くなっている。これらの成分は土壌に吸着されやすいため, 平水時に草地からの流出はほとんどない。つまり, 左支姉別川流域で平水時にこれらの成分濃度の高い原因は, 河川や排水路近くに存在する畜舎や堆肥盤, パドック等からの直接的な家畜糞尿の流入が考えられた。逆に言うと, 丸佐二号川流域の畜産施設は河道からの距離が離れており, これらの成分の流出が少なかったことになる。しかし, 融雪融凍期では土壌が凍結しているため, 土壌による捕捉機能がほとんど発揮されず, 草地や畜産施設等の負荷発生源から流出した物質は, 河川からの距離に関係なく流達したと考えられる。

## 5 家畜糞尿からの窒素・リン流出

冬期に土壌凍結する大規模酪農流域において融雪融凍期の河川水質状況を把握し, 家畜糞尿成分が河川に流出する状況を明らかにした。ここでは, 窒素とリンに関する河川流下負荷量を算出し, 家畜糞尿から排出される負荷量と併せて検討する。

河川流下負荷量算出には, 融雪融凍期のほぼ全期間の流量を把握できた2001年データを用いた。また流出状況に大きな違いがみられないので, 丸佐二号川流域だけを検討の対象とした。欠落データの補完には L-Q 式を用いた。式には, 低流量時に負の値が出ず, かつ高流量時に過大とならないように, 直線型の2つの式を組み合わせた (Figs.15, 16)。また, 家畜糞尿からの窒素, リンの発生負荷量は原単位に飼養頭数を乗じて求めた。使用した原単位は北海道における調査事例の  $\text{N} : 88.2\text{kg}\cdot\text{年}^{-1}\cdot\text{頭}^{-1}$ ,  $\text{P} : 15.5\text{kg}\cdot\text{年}^{-1}\cdot\text{頭}^{-1}$ である (大村・黒川, 1989)。また, 降水には大気汚染物質として, 工場からの  $\text{NO}_x$ , 酪農地帯からの  $\text{NH}_4\text{-N}$  が含まれることが知られているが, 家畜糞尿由来物質だけを分離することができないので, 以下の試算では河川流出負荷量から降水負荷量は除いた。降水負荷量は先に記した降水水質に総流量を乗じて求めた。

**【家畜糞尿による年間負荷発生量】**

N :  $88.2\text{kg}\cdot\text{年}^{-1}\cdot\text{頭}^{-1}\times 2051\text{頭}\cdot\text{年}^{-1}\div 1000=180.9\text{t}$  (草地面積当りに換算すると $185\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

P :  $15.5\text{kg}\cdot\text{年}^{-1}\cdot\text{頭}^{-1}\times 2051\text{頭}\cdot\text{年}^{-1}\div 1000=31.8\text{t}$  (草地面積当りに換算すると $33\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

**【調査期間(2001年3月2日～4月21日, 51日間)の河川流下負荷量(降水負荷差引後)】**

N : 全流下負荷量 (10.3t) - 降水負荷量 (1.1t) = 9.2t

P : 全流下負荷量 (0.7t) - 降水負荷量 (0.02t) = 0.68t

堆肥化した家畜糞尿を草地に還元している農家であっても、一般に即効性の肥料として化学肥料を投入する。化学肥料成分のうち窒素成分は牧草に一部利用され、残りは土壤に残存し硝酸態に変化して、降水の地下浸透とともに下方に溶脱される(志賀, 1996)。一方、融雪融凍期における河川流下窒素の大部分は有機態やアンモニア態であった (Table 3)。すなわち、この期間に河川に流出する窒素成分の大部分は、家畜糞尿由来と考えてよいことになる。よって、上で算出した河川流下負荷量 (N : 9.2t, P : 0.68t) は、融雪融凍期間の家畜糞尿からの負荷流出量となり、年間発生負荷量のうち、率に換算すると N : 5%, P : 2% に相当する。大村・黒川(1989)による試算では、畑作複合経営の場合、家畜糞尿発生負荷量のうち系外への排出負荷量は最大でも N, P ともに1割程度としている。ただしこの算出方法は、糞尿処理施設の保有数・容量を根拠とした試算で、処理施設に入らない量=排出負荷量としていた。しかし、処理されない糞尿に含まれる成分は、揮散や土壤による捕捉、植生による吸収等によって、水系に移動する前に減少すると考えられ、河川に流達する量はさらに少ないはずである。本研究では、51日間という短期間にも関わらず、窒素に関して大きな流出負荷量となった。年間流出負荷量は、これに夏期や積雪期の流出負荷量が加算されるのであるから、大村・黒川(1989)の試算した畑作複合経営の場合よりも、少なくともNの年間流出負荷量は大きなものとなることが予想される。

Table 3 平水時と融雪融凍期の平均濃度の比較(流量加重平均値)

	流域名	比流量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	T-N ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	TON ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	$\text{NO}_3\text{-N}$ ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	$\text{NH}_4\text{-N}$ ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	T-P ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	$\text{PO}_4\text{-P}$ ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )
平水時 (1996年)	左支姉別川流域	0.015	1.11	0.33	0.50	0.26	0.15	0.08
	丸佐二号川流域	0.019	1.67	0.40	1.16	0.09	0.06	0.03
融雪融凍期 (2001年)	左支姉別川流域	0.044	3.91	2.24	0.49	1.17	0.49	0.22
	丸佐二号川流域	0.033	4.08	2.26	0.87	0.94	0.37	0.19

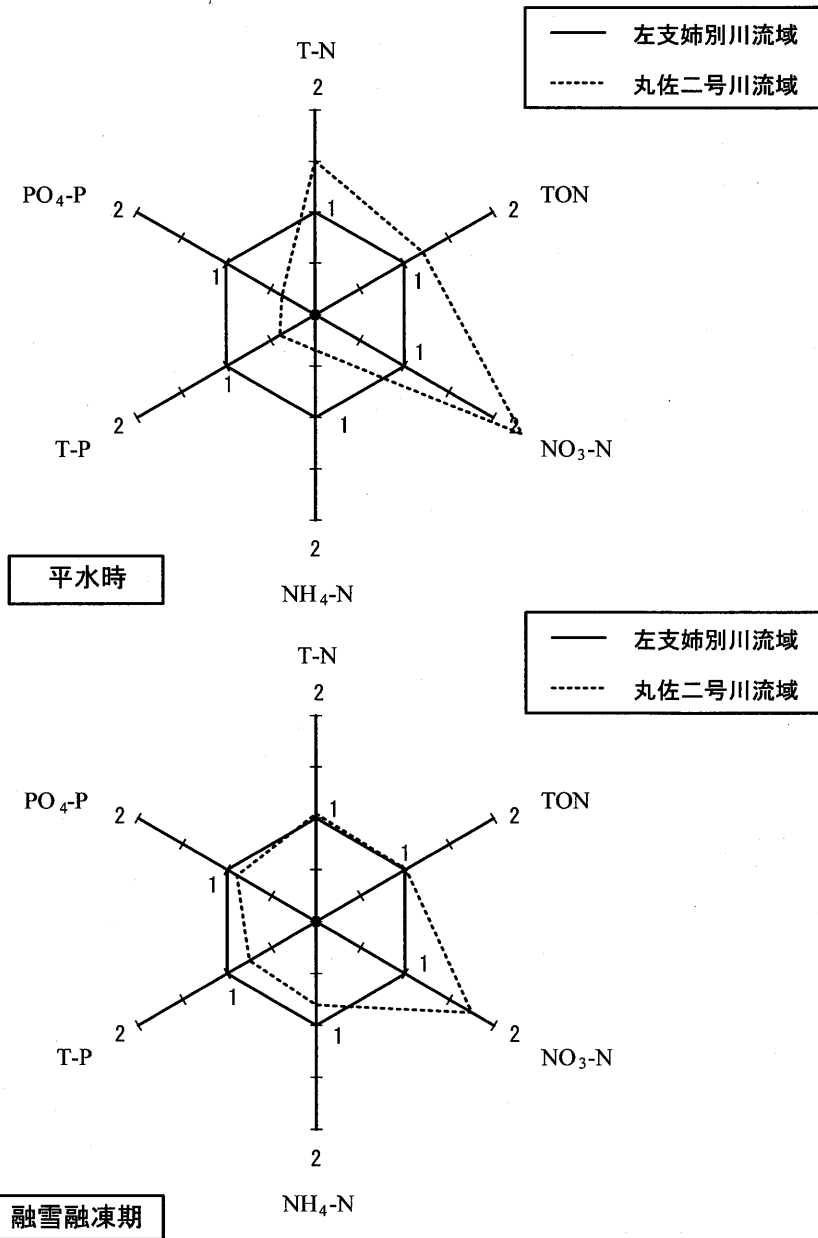


Fig.14 平水時と融雪融凍期における左支姉別川流域の濃度をそれぞれ1としたときの、丸佐二号川流域との濃度比較

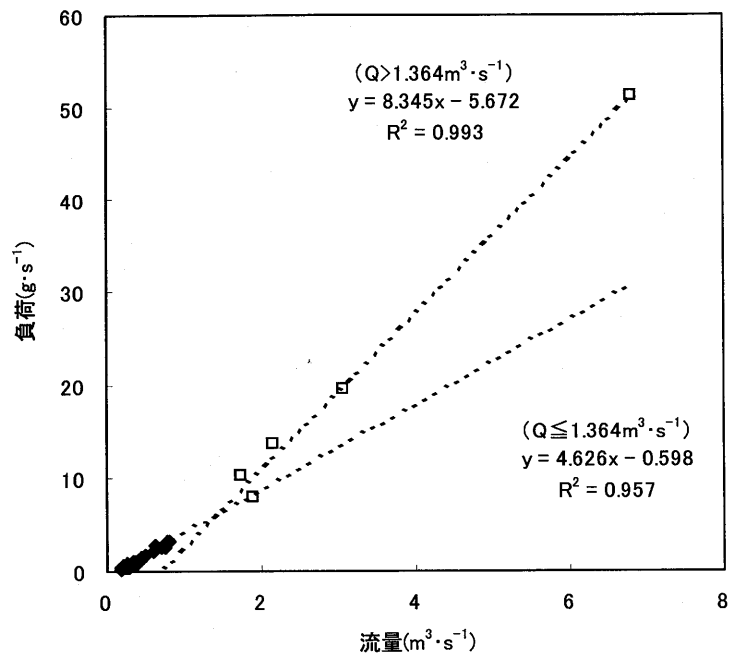


Fig.15 全窒素L-Q式

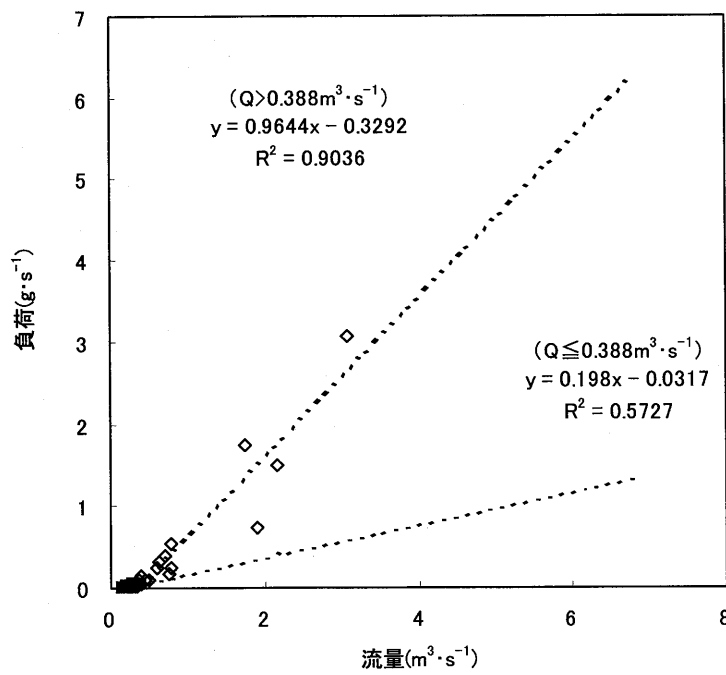


Fig.16 全リンL-Q式



## 6 おわりに

少雪・土壌凍結流域の北海道東部酪農地帯における融雪融凍期の深刻な汚濁負荷流出状況は、地盤凍結現象という特殊な水文条件に、大規模酪農地域が抱える家畜糞尿の処理問題が重なって引き起こされると考えられる。

少雪・土壌凍結流域では、冬期間に土壌が凍結するため、融雪水の大部分は表面流去水となって河川に流出する。冬期間に畜舎周りや草地で蓄積された汚濁物質は、融雪融凍期に表面流去水とともに河川に流出すると推測される。とくに凍結した土壌では、表面流去水に含まれる汚濁物質を捕捉・濾過する作用が機能せず、かつ土壌非凍結流域で水質浄化に有効と考えられた圃場周辺や河畔の緩衝林帯が有効に機能しないことも指摘されており（中村ら、2001）、負荷発生源から流出した物質は、多くが河川に流達すると考えられる。そのため、土壌凍結地域における融雪融凍期の水質環境保全には、負荷を発生させない「汚濁源対策」が最も重要な対策方法であるといえる。これを実現するためには、施設容量に適合した規模の経営を行い、植生による吸収の期待できない時期の糞尿施用を極力さげなければならない。

北海道東部酪農地域では、土地利用が草地に単一化されており、草地の更新時を除くと、糞尿還元は表層散布となる。堆厩肥の表面施用には、ある程度腐熟の進んだものが要求される（大村・赤城、1983）。そのため、一時貯留が長期化して、貯留量も増大し、余剰分は草地へ野積みせざるを得ないのが現状であり、融雪や降雨時にはその中の栄養塩類が流出することになる（松本ら、1993）。また、酪農専業地域では尿溜の整備が遅れているため、不適切な時期の散布が余儀なくされている（松本、1999）。家畜糞尿には、窒素やリン、カリウムが多く含まれており（大村・黒川、1989）、資源の活用と環境保全の両面から、今後有効な利用とそのための施設整備が望まれる。

本研究は、平成12年度浜中町の霧多布湿原学術研究助成交付金の補助を受けて実施した。調査にあたって種々お世話いただいた霧多布湿原センターの富沢日出夫氏をはじめ浜中町

の関係者各位に厚くお礼申し上げます。また、現地調査、試料分析などに御協力いただいた北海道大学農学部土地改良学研究室の関係各位に謝意を表します。

## 引用文献

- David, P. G., Harnold, F. H. and Partric, J. M. (1993) : Use of radon-222 and calcium as tracers in a three-end-member mixing model for streamflow generation on the West Fork of Walker Branch Watershed, *Journal of Hydrology*, 142, pp. 167-211
- 海老瀬潜一・村岡浩爾・大坪国順(1982) : 降雨流出成分の水質による分離, 第26回水理講演会論文集, pp. 279-254
- 早川 博・齋藤靖史・内島邦秀(1998) : 凍結土層を有する少雪寒冷地の融雪流出特性に関する研究, 水工学論文集, 42, pp. 127-132
- H. B. Pionke, W. J. Gburek, G. J. Formar(1993) : Quantifying stormflow components in a Pennsylvania watershed when  $^{18}\text{O}$  input and storm conditions vary, *Journal of Hydrology*, 148, pp. 169-187
- 東 晃(1954) : 北海道の土壤凍結-積雪との関係一, *農業物理研究*, 3, pp. 145-157
- 井上 京・山本忠男(1998) : 浜中町の河川水質と流域の土地利用について-湿原・林地・農地の関係一, 平成8年度霧多布湿原学術研究助成報告書
- 小林大二(1979) : 融雪水の流出, *気象研究ノート*, 136, pp. 39-48
- 倉持寛太(1996) : 草地酪農流域の水圏水質と草地負荷寄与率の推定, *土壤肥料研究通信*, 42, pp. 25-35
- 松本武彦・小出佳正・吉川 直・能代昌雄(1993) : 根室管内における糞尿の処理・利用の実態と問題点, *北農*, 60(4), pp. 380-384
- 日本雪氷学会北海道支部(1991) : 雪氷調査法, pp. 79-93, 北海道大学図書刊行会
- 大村邦男・黒川春一(1989) : 牛ふん尿の成分特性と汚濁負荷の発生, *北海道立農試集報*, 59, pp. 1-7
- 大村邦男・黒川春一(1991) : 融雪期の表面流去水が河川の水質に及ぼす影響, *北海道立農試集報*, 62, pp. 35-45
- 大類清和・生原喜久雄・相場芳憲(1992) : 降雨イベントでの渓流水の溶存物質の流出特性と流出成分の分離, *日林誌*, 74, pp. 203-212
- 坂本 康・竹内邦良(1985) : 融雪流出水水質の特徴と流出解析への利用についての基礎的検討, 第29回水理講演会論文集, pp. 143-148
- Sklash, M. G. and Farvolden, R. N. (1979) : The role of groundwater in storm runoff, *Journal of Hydrology*, 43, pp. 45-65
- 鈴木啓助・石井吉之・兒玉裕二・小林大二(1992) : カナダ東部, 北方針葉樹林における融雪水の流出II, 化学物質の流出過程, *低温科学物理篇*, 51, pp. 93-108
- 鈴木啓助・小林大二(1987) : 森林小流域における融雪流出の形成機構, *地理学評論*, 60(Ser. A)-11, pp. 707-724
- 志賀一一(1996) : 糞尿処理を中心とした酪農からの問題提起, *土壤肥料研究通信*, 42, pp. 1-15
- 田淵俊雄・高村義親(1985) : 集水域からの窒素・リンの流出, p. 16, 東京大学出版会

## 参考資料

1. 鵜木啓二・山本忠男・井上 京・長澤徹明(2001)：北海道東部酪農流域における融雪期の水質水文特性－農業流域における融雪期の水質環境（IV）－，平成13年度農業土木学会大会講演会講演要旨集，pp. 720-721
2. 鵜木啓二・山本忠男・井上 京・長澤徹明(2001)：土壤凍結地域における融雪期の河川水質と土地利用－農業流域における融雪期の水質環境（VI）－，第50回農業土木学会北海道支部研究発表講演集，pp. 44-47

## 北海道東部酪農流域における融雪期の水質水文特性

## - 農業流域における融雪期の水質環境 (IV) -

## Characteristics of River Water Quality and Hydrology during Snowmelt Period

## on Dairy Farming Watershed, Eastern Hokkaido

## - Water Quality Environment during Snowmelt Period in Agricultural Watershed (IV) -

○ 鶴木啓二・山本忠男・井上 京・長澤徹明

Keiji UNOKI, Tadao YAMAMOTO, Takashi INOUE and Tetsuaki NAGASAWA

## 1. はじめに

北海道東部は冬期の積雪が少なく、寒さが非常に厳しい、少雪寒冷地域である。このような気候条件下では、冬期間に土壌が凍結する。凍結した土壌は難透水層となり、融雪水の地下浸透を妨げる。また、この地域は大規模酪農地帯であり、営農活動が融雪期の流域水環境に影響をおよぼしている可能性がある。しかし、この問題を扱った研究事例は少なく、詳細は明らかになっていない。

本報告では、北海道東部大規模酪農流域において融雪期の河川の水質水文調査を行い、とくに $\text{SiO}_2$ を用いた流出分離によって水文状況を明らかにし、さらに酪農と河川水質との関係について検討した。

## 2. 方法

調査は、北海道釧路管内の大規模酪農地帯に位置する丸佐二号川流域で実施した。流域面積は $12.7\text{km}^2$ で農地利用率が77%と非常に高く、土地利用は放牧採草地に単一化されている。飼養牛頭数密度は $0.88\text{頭/ha}$ である。また、排水整備により、河川改修率は80%に達する。当流域の最下流点に自動採水器を設置し、2000年3月12日から4月24日にかけて、3時間間隔で4サンプル/1ボトルの採水を行った。採水地点では、積雪深の測定、積雪の採取を行い、この時、土壌凍結の有無を確認した。また、採水地点付近で降水の採取を行った。流量は、河川水位を圧力式水位計により10分間隔で測定し、H-Q式により変換した。水質分析項目はN, P, SS,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Cl,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2$ である。

## 3. 結果と考察

流出経路の変化状況を解明するために、以下の[1][2]式により、 $\text{SiO}_2$ をトレーサーとした河川流出の分離を行った(齊藤ら, 2000)。

$$Q_t = Q_s + Q_b \quad [1], \quad C_t Q_t = C_s Q_s + C_b Q_b \quad [2]$$

Q: 流量, C:  $\text{SiO}_2$ 濃度, t: 総流出, s: 直接流出, b: 基底流出

$C_t$ : 分析値,  $C_s$ : 積雪の平均濃度 ( $0.07\text{mg/l}$ ),  $C_b$ : 融雪前の最大濃度 ( $19.70\text{mg/l}$ )

Fig.1に降水量, 積雪深, 流量, 流出割合, および河川水質状況の推移を示す。

①水文状況: 調査年は当地域としては積雪が多く、融雪流出は3/24から始まった。表層の土壌は凍結しており、融雪水はほとんど地下浸透せず、表面流去水もしくは積雪内側方浸透水として流出する。そのため、流量増加の大部分は直接流出( $Q_s$ )の増加によるものである。直接流出割合は徐々に増加していき、4/5~4/6の降雨を伴った大規模出水でピーク

となり、このとき流出の97%が直接流出であった。その後、直接流出割合は減少していき、4/11・14・22にも降雨があるものの、直接流出割合はあまり増加しない。これは、流域内の土壤凍結が消失し、降水の地下浸透が可能になったからと考えられる。

②水質状況と酪農の関係：河川水質をみると、融雪流出が始まるとともに濃度が低下する成分と、増加もしくはほぼ一定で推移する成分が確認できる。ここで、融雪期前の河川水質と、積雪および降水の水質を比べると、ほとんどの成分で河川水の濃度が高い(Fig.2)。つまり、河川水に比べ相対的に低濃度の融雪水および降水が、ほとんど地下浸透せず河川に流出する状況において、流量増加時に濃度低下しない河川水質成分は、地表面から物質の供給を受けていることになる。とくに、懸濁態成分、有機態成分、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、Pの濃度増加が顕著で、本流域では酪農の影響が大きいと考えられる。

北海道東部酪農地域では、土地利用が草地に単一化されており、草地の更新時を除くと、糞尿還元は表層散布となる。とくに、積雪状態にある冬期間は、家畜糞尿を草地に適正に還元することができず、堆肥場等の畜舎周りからの汚水流出、草地での堆肥の野積み、雪上への散布などが一部にみられる。これらが、融雪期に表面流去水として河川に流出しているものと推測される。

#### 4. おわりに

北海道東部酪農流域で融雪期の調査を行った。SiO<sub>2</sub>をトレーサーに用いた流出解析で、融雪流出の大部分が直接流出であることがわかった。また、地表面を流入経路とした、家畜糞尿による水質汚濁現象を確認できた。

本報告は浜中町霧多布湿原研究助成ならびに文部科学省科学研究費の補助を受けて実施した研究成果の一部である。また、現地調査、水質分析にあたり多大のご協力を頂いた浜中町役場、土地改良学研究室専攻生の関係各位に謝意を表す。

#### 引用文献

齊藤麻美子他(2000):河川水質による融雪流出の検討,第49回農業土木学会北海道支部研究発表会講演集,pp.92-95

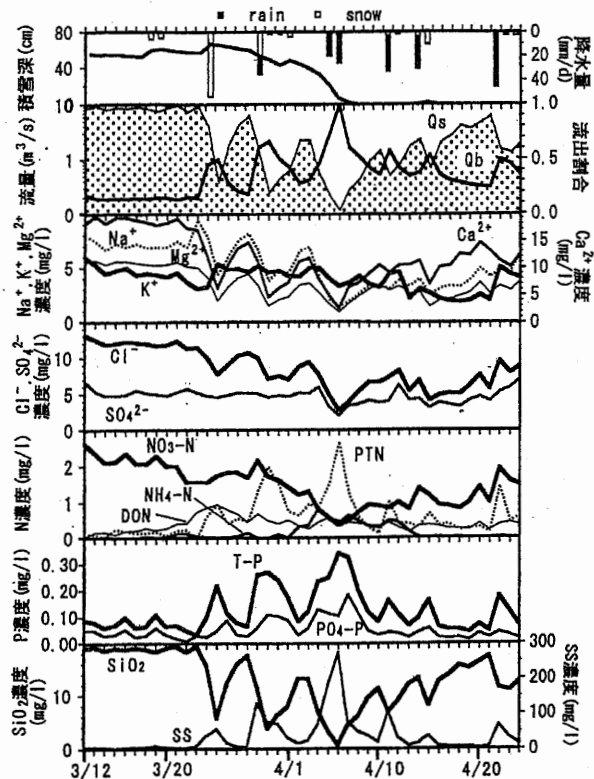


Fig.1 Changes in precipitation, snow depth, discharge and river water quality (2000)

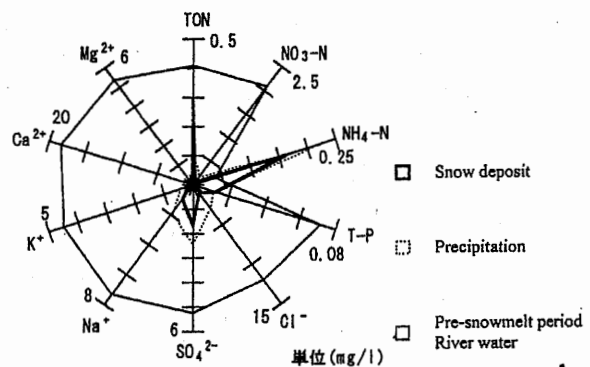


Fig.2 Water quality of snow deposit, precipitation and river in pre-snowmelt period

## 10. 土壤凍結地域における融雪期の河川水質と土地利用

### -農業流域における融雪期の水質環境(VI)-

北海道大学大学院農学研究科 ○鷗木啓二・山本忠男

井上 京・長澤徹明

#### 1. はじめに

浜中地区をはじめとする北海道東部には、大規模酪農地域が展開している。農地開発による土地利用形態の大幅な変化、排水整備による河道の直線化、林地や湿地の減少などは、この地域の水質・水文環境に大きな影響を与えた。筆者らは、これまで当地区を対象として河川調査を行い、土地利用と河川水質の関係について主に夏期平水時の実態を明らかにしてきた(長澤ら, 1995; 井上ら, 1999; 宗岡ら, 2000)。北海道東部は冬期の積雪が少なく、寒さが非常に厳しい小雪寒冷地域であり、冬期間に土壤が凍結する。凍結した土壤は難透水性となり、融雪水の浸入を妨げるため、融雪期の水質・水文状況は夏期とは大きく異なると考えられる。

本報告では、北海道東部大規模酪農流域の浜中地区において融雪期の流域調査を行い、水質・水文状況を把握し、とくに土地利用との関係について検討した。

#### 2. 方法

調査は、浜中地区の大規模酪農地帯に位置する左支姉別川流域(HY流域)、および丸佐二号川流域(MS流域)で実施した(図-1)。両流域とも草地率が非常に高く、土地利用は草地に単一化されている(表-1)。土地利用状況の違いは、MS流域は河川改修が進み直線化され河畔の湿地が少なく、HY流域河川は本川が未改修で河畔に湿地が多く残されていることである。

両流域の最下流点に自動採水器を設置し、2001年3月2日から4月21日にかけて、3時間間隔で4サンプル/1ボトルのコンジット採水を行った。採水地点では積雪調査と土壤凍結深測定を行った。また、圧力式水位計により河川水位を10分間隔で測定し、H-Q式により流量に変換した。水質分析項目はN, P, SS, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SiO<sub>2</sub>である。気象データは厚床アメダスデータを採用した。

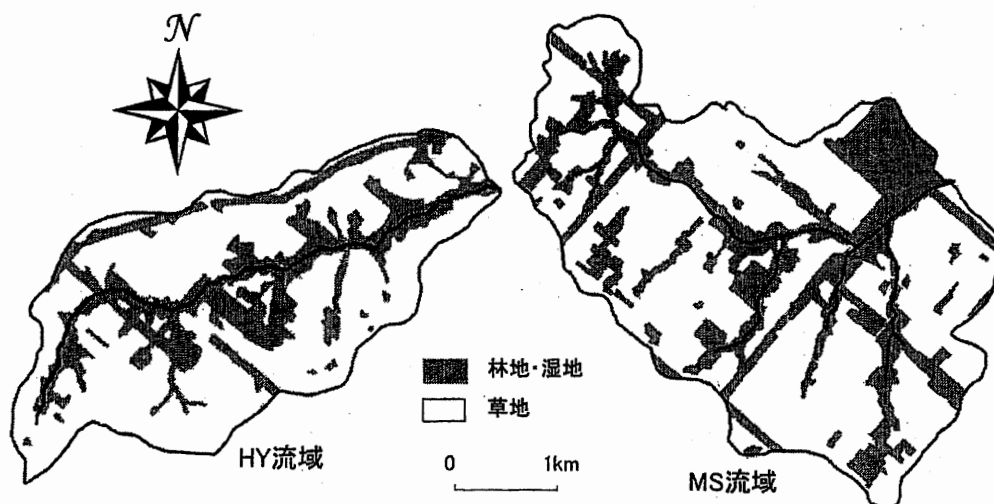


図-1 流域の土地利用状況

表-1 調査流域諸元

流域名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	土地利用(%)		湿地率* (%)	河川改修率** (%)	飼養牛頭数*** (頭)	飼養牛頭数密度 (頭/km <sup>2</sup> )
		林地・湿地等	草地				
HY	8.8	28	72	7	0	952	110
MS	13.4	21	79	0	100	1119	88

\*1/25,000地形図から判読 \*\*本川の改修延長割合 \*\*\*浜中町調べ

### 3. 結果と考察

#### 1) 水文状況

2001年春の水文状況として、積雪深、日降水量、気温、両流域の流量変化を示す(図-2)。調査開始直後の3/4に、暖気による融雪に降雨が加わり、両流域とも調査期間最大の出水となった。その後、3/14まで低温が続き、ほとんど出水はみられない。融雪流出の特徴である流量の日変動は3月中旬から始まる。日変動は4月中旬まで確認できるが、4月初旬以降では流域内の積雪がほとんど無くなっていったことから、凍結土壌の融凍水による変動と考えられる。4/12、4/15の降雨後は日変動が無く、土壌凍結が消失したと思われる。なお、土壌凍結深は調査地点で最大34cmであった。

次に、流出経路の変化状況を解明するために、以下の[1]、[2]式により、SiO<sub>2</sub>をトレーサーとした河川流出の分離を行った(齋藤ら,2000)。分離結果を図-3に示す。

$$Q_t = Q_s + Q_b \quad [1], \quad C_t Q_t = C_s Q_s + C_b Q_b \quad [2]$$

Q: 流量, C: SiO<sub>2</sub>濃度, t: 総流出, s: 直接流出, b: 基底流出, C<sub>t</sub>: 分析値

C<sub>s</sub>: 積雪の平均濃度(0.07mg/l), C<sub>b</sub>: 融雪前の最大濃度(HY: 19.31mg/l, MS: 21.05mg/l)

両流域とも土壌が凍結しているため、融雪水はほとんど土壌に浸入せず、表面流去水として河川に流出する。そのため、流量増加の大部分は直接流出(Q<sub>s</sub>)の増加によるものとなる。3月下旬の出水では、HY流域で86%、MS流域で93%が直接流出であった。3/4の降雨を伴った出水は、採水データが欠落しており詳細は不明だが、流域の状態や出水規模を考慮すると、同程度の流況であったと推測できる。両流域の流出状況の違いは、MS流域河川では出水後速やかに直接流出割合が減少するの

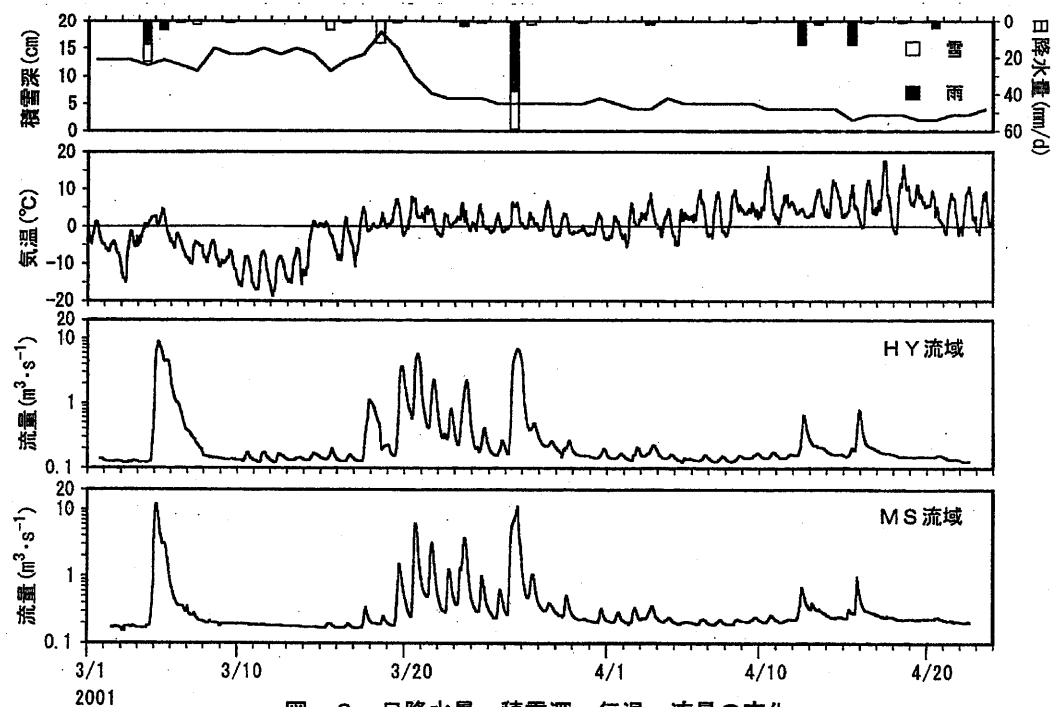


図-2 日降水量、積雪深、気温、流量の変化



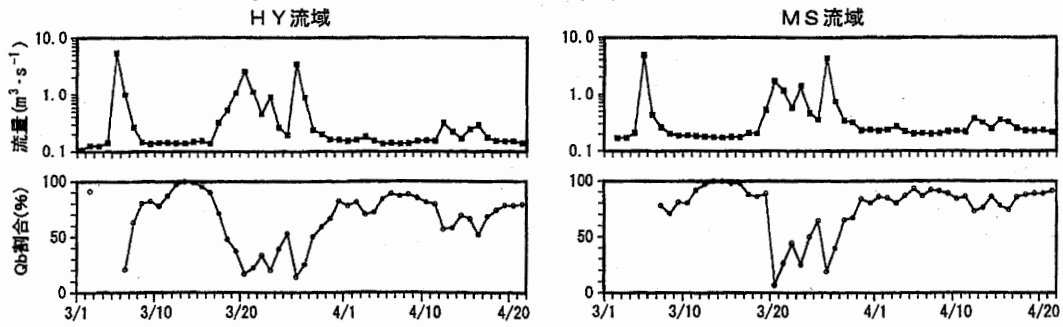


図-3 流量と基底流出割合の変化状況 (日平均値)

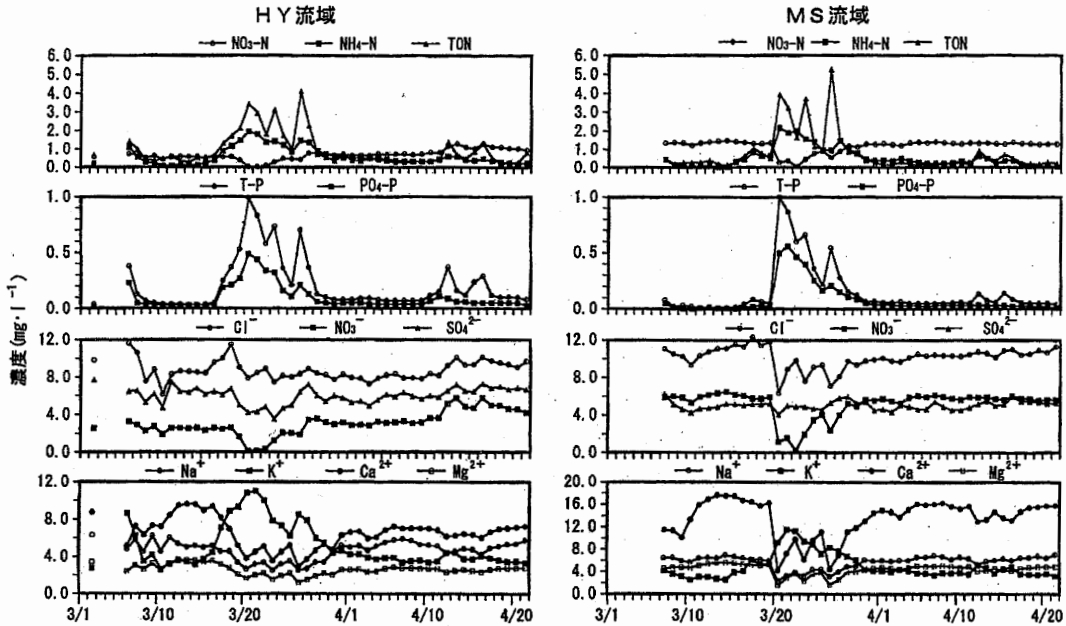


図-4 河川水質の変化状況 (日平均値)

に対し、HY流域河川では直接流出割合の減少が遅いことである。これは、MS流域がHY流域に比べ排水整備水準が高いことに起因すると考えられる。

## 2) 水質変化状況

図-4に河川水質の変化状況を示す。融雪融凍期間(～4/11)の流量増加時に濃度上昇する成分と低下する成分が確認できる。濃度上昇する水質成分は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TON(有機態窒素)、P、Kである。これらの成分は家畜糞尿に大量に含まれることから、酪農が影響していると考えられる。北海道では冬期間、発生した家畜糞尿を草地に還元できないため、堆肥盤や畜舎周辺等の一次貯留施設からの汚水の流出、草地での堆肥の野積み、不適切な糞尿散布などが一部にみられる。これら地表面に大量に存在している物質が、融雪期の表面流去水に伴って河川に流出していると思われる。そのため、これらの水質項目と $Q_s$ 割合変化の位相は近似する。濃度が低下する成分は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、MS流域の $\text{Cl}^-$ であり、いずれも融雪水の希釈による。ただし、 $\text{SO}_4^{2-}$ とHY流域の $\text{Cl}^-$ は変動幅が小さく、一定の傾向を示さなかった。

## 3) 融雪期の河川水質と土地利用

1996年に調査した両流域の平水時水質と、今回の融雪期水質を比較する(表-2)。家畜糞尿流出が環境に影響する項目として富栄養化物質(N、P、K)に注目した。飼養頭数密度すなわち単位面積当たり汚濁負荷発生量はHY流域の方が高いが、平水時の $\text{NO}_3\text{-N}$ はHY流域の方が低濃度である。その理

由としては、河畔の湿地での脱窒が考えられる。また、平水時にHY流域のNH<sub>4</sub>-NやP成分が比較的高濃度を示す原因は、河川や排水路近くに存在する畜舎や堆肥盤、パドック等からの直接的な家畜糞尿の流入が考えられる。その他、林帯の有無や規模、排水路の位置も河川水質に影響するとしている(井上ら, 2000)。

融雪期の水質は、流量増加時に濃度上昇するTON, NH<sub>4</sub>-N, T-P, PO<sub>4</sub>-P, K<sup>+</sup>が平水時より高濃度を示す。これは先ほど述べたように、地表面経路での家畜糞尿の流出を示唆するものである。ここで、平水時と融雪期の水質を図示すると、融雪期には両流域の水質濃度比率が小さくなっていることがわかる(図-5)。これは、平水時にみられた濃度低下要因や上昇要因の差が、融雪期では小さいことを示す。つまり、土壌が凍結しているため、土壌による捕捉機能がほとんど発揮せず、草地や堆肥盤等の負荷発生源から流出した物質は、河川からの距離に関係なく流達すると考えられる。

表-2 平水時と融雪期の平均濃度の比較 (流量加重平均値)

	流域名	比流量 (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	T-N (mg·l <sup>-1</sup> )	TON (mg·l <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (mg·l <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N (mg·l <sup>-1</sup> )	T-P (mg·l <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> -P (mg·l <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (mg·l <sup>-1</sup> )
平水時	HY	0.015	1.11	0.33	0.50	0.26	0.15	0.08	3.18
	MS	0.019	1.67	0.40	1.16	0.09	0.06	0.03	3.23
融雪期	HY	0.050	4.11	2.42	0.41	1.27	0.53	0.24	7.92
	MS	0.036	4.40	2.55	0.80	1.05	0.42	0.22	7.28

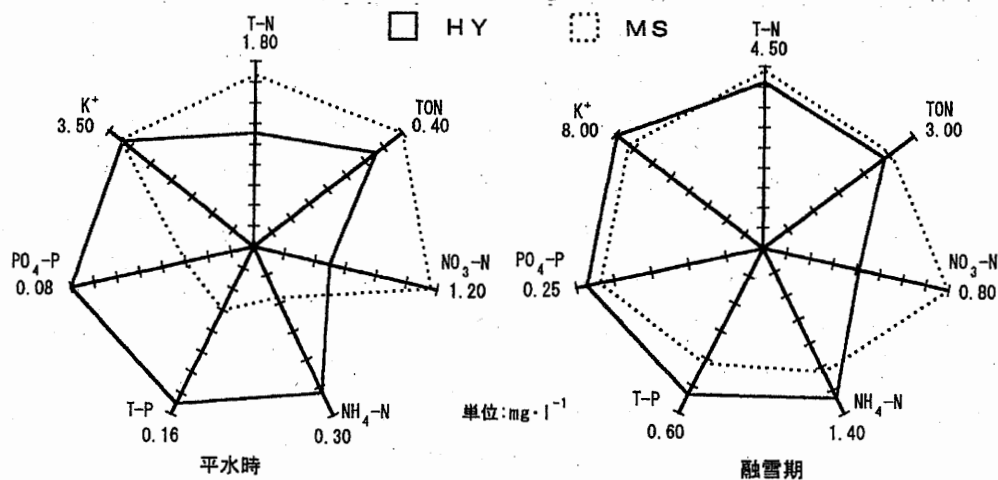


図-5 平水時と融雪期の河川水質

#### 4. おわりに

融雪期の河川水質調査を行った北海道東部酪農流域は、土壌凍結のため流量増加の大部分は直接流出であり、表面流去水に伴い、家畜糞尿成分が河川に流出している状況が確認された。融雪期における酪農流域の水質環境を保全するには、家畜糞尿を貯留施設から流出させないこと、草地への施用は適切に行うこと、などが重要である。

本報告は浜中町霧多布湿原研究助成ならびに文部省科学研究費の補助を受けて実施した研究成果の一部である。また、現地調査、水質分析にあたり多大のご協力を頂いた土地改良学研究室専攻生の関係各位に謝意を表す。

#### 引用文献

- 長澤徹明他(1995):北海道東部の大規模酪農流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
- 井上京他(1999):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(67-2), pp. 85-92
- 宗岡寿美他(2000):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. 217-220
- 齋藤麻美子他(2000):河川水質による融雪流出の検討, 第49回農業土木学会北海道支部研究発表会講演集, pp. 92-95