

多雪地域の融雪出水特性と気候変動による影響

Characteristics of snow-melting runoff in heavy snow area and influence of climate change

北海道大学工学部環境社会工学科

北海道大学大学院工学研究院

北海道大学大学院工学研究院

北海道大学大学院工学研究院

○学生員

正会員

正会員

フェロー

草薙和(Yamato Kusanagi)

今日出人(Hideto Kon)

久加朋子(Tomoko Kyuka)

清水康行(Yasuyuki Shimizu)

1. 研究背景

北海道のような冬季の積雪が多い地域では、毎年、春先になると雪解けが進み、融雪水が河川に流れ込むことで水位、流量の増加が起こる。このため、北海道では融雪出水による被害が多数発生しており、今日においても融雪出水による災害対策は課題となっている。なかでも、融雪時期に雨が降る Rain-on-snow (ROS) events 場合、とくに大規模な出水に発展しやすいことが知られており、北海道の河川では4月や5月に降雨を伴った融雪により年最高流量を記録する回数が多いと報告されている¹⁾。さらに、近年では2002年1月の石狩川水系望月寒川の氾濫²⁾や、2018年3月の釧路川における氾濫³⁾など厳冬期や融雪初期における降雨に伴う融雪出水の災害も確認されている。

融雪出水特性に影響を与える要因に気温、湿度、降雨量、積雪深、雪の含水率、風速、さらには流域特性などとの関係性があることが指摘されている⁴⁾。これらのうち、道内にて気温と降雨量、積雪深は気候変動の影響により長期的な変化がみられる可能性があるとして札幌管区気象台により報告されている⁵⁾。高強度の降雨の発生頻度の増加や冬日の年間日数の減少などは、今後、道内での厳冬期や融雪時期の融雪出水特性、あるいは大規模な融雪洪水の発生傾向に大きな変化を与える可能性がある現在、道内一級河川（直轄区間）の河川計画では、基本高水のピーク流量の算定には夏季の既往洪水データが用いられているが、今後の融雪出水特性の変化についても留意していく必要があると考えられる。

そこで本研究では、融雪出水特性の変化を河川計画に組み込んでいくための基礎的な知見を把握することを目的とし、まずは長期的な道内における融雪出水特性の変化について検討を行った。具体的には、融雪期（3月～5月）の長期的な総流量および月別流量割合の変化について経年変化の把握を行った。続いて、冬季から融雪時期の降雨(ROS)の発生回数の経年変化を比較し、過去から現在までの動向の変化を把握することで、道北と道東を流れる河川における出水特性の変化傾向について考察した。

2. 融雪時期における流量の変化

2.1 融雪時期の総流量の経年変化

図-1（赤丸）に、北海道の河川の融雪時期の出水特性を調べるために用いた観測地点データの位置を示す。なお、融雪時期は例年、日流量の増加が観測される3月から流量がピークを迎える5月までの3か月間とした。観測点は14地点とし、道北に該当する河川として天塩川、

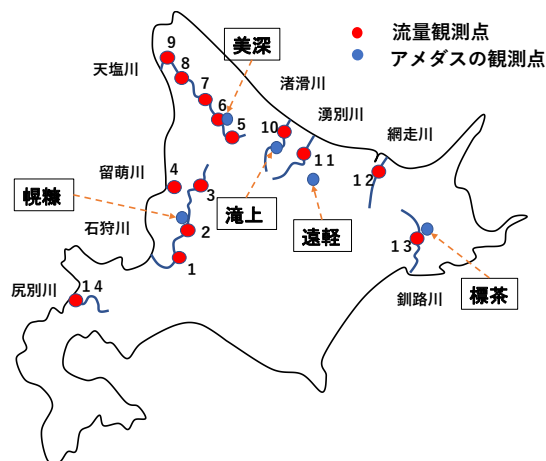


図-1 観測点位置図

1. 石狩大橋（石狩川）, 2. 奈井江大橋（石狩川）
3. 幌加内（雨竜川）, 4. 大和田（留萌川）
5. 名寄大橋（天塩川）, 6. 美深橋（天塩川）
7. 茨内（天塩川）, 8. 誉平（天塩川）
9. 天塩大橋（天塩川）, 10. 上渚滑（渚滑川）
11. 開盛（湧別川）, 12. 美幌（網走川）
13. 標茶（釧路川）, 14. 名駒（尻別川）

日本海側に該当する河川として石狩川、留萌川、雨竜川、尻別川、道東に該当する河川として渚滑川、湧別川、網走川、釧路川を設定した。各河川のデータは、国土交通省水文水質データベースより1978年～2017年の40年間の3月～5月の日流量データを取得した。なお、ここの日流量データとは、1時～24時までの毎時の流量データの平均のことを呼ぶ。

図-2に、各河川の融雪時期の日流量を合計し流域面積で除した、比流量の経年変化を示す。図-2より、道北（図-2-a）、日本海側（図-2-b）、道東（図-2-c）に位置する河川を比較すると、図-2-a, bから積雪の多い道北、日本海側では、年により変動がみられるが、全体として長期的な比流量の変動はみられなかった。一方で、積雪の少ない道東（図-2-c）では、こちらも年によって変動はあるが、全体として徐々に比流量が増加している。これは、道東の河川は流域面積が小さいために流量の変化が大きいためと思われる。

2.2 融雪時期の月別流量割合の経年変化

上述の経年的な融雪時期の総流量の比較では、比較的積雪量の少ない道東地域においてのみ、この時期の総流量が徐々に増加している傾向が認められた。ここでは、各月に着目し、融雪期の総流量に占める各年の3月～5月の流量割合の変化を比較した。月別流量割合は次の式

から求めた.

$$Q_i / \Sigma Q_i \quad (i = 3, 4, 5) \quad \text{式(1)}$$

ここに、 Q_i は各月の総流量、 i は対象の月である.

表-1および表-2に、式(1)にて求めた各年の月別流量の割合を求め、40年間の経年変化の近似曲線の傾きの増減割合を示す. 表-1から、降雪量が多い道北、日本海側の地域では、観測点により変動の大きさに違いがあるものの、総流量に対する月別流量割合を比較すると、3月は増加、4月は減少の傾向があるように認められる. これは、上述の総流量の比較も併せて考えると、道北では3月における融雪量の増加と4月における残存積雪量の減少により、融雪時期の早期化が起こっている可能性が考えられる.

続いて、表-2に示す降雪量の比較的小さい道東の地域を確認すると、変動にばらつきがあり、一定の傾向は確認できなかった. これは道東では年降雪量が少なく、流量に融雪量があまり影響していない可能性が挙げられる.

そこで、上述の日本海側と道北に位置する河川の3月における流量割合の増加について、その傾向を経年的に確認するため、最も増加傾向の大きい大和田に着目し、図-3に幌糠における融雪期の月総流量の割合の経年変化を示した. 縦軸に融雪期の総流量に占める各月の月総流量の割合(%)をとり、経年的に並べ回帰直線をつくることで40年間の変動を見た. 幌糠では、年度によって各月の割合に変動がみられるが、近年になるにつれて、3月の流量の最低流量の割合は微増しているように見られる. また、4月の流量は3月よりも明瞭に減少しているように見受けられる. また、2008年は3月に例年の5月

表-1 道北、日本海側の流量の割合の経年変化

観測点名	3月	4月	5月
石狩大橋	6.60%	-7.50%	-0.30%
奈井江大橋	6.50%	-5%	-1.60%
幌加内	0.60%	-1%	1.70%
大和田	7.30%	-10%	4%
名駒	3.50%	-0.50%	-3%
名寄大橋	4.20%	-7.90%	3.70%
美深橋	1.60%	-3.70%	2.20%
茨内	1.10%	-8%	6.50%
誉平	1%	-5%	3.90%
天塩大橋	1%	-8.80%	5.90%

表-2 道東の流量の割合の経年変化

観測点名	3月	4月	5月
上渚滑	6%	-2.30%	-4%
開盛	3.50%	0.50%	-3.70%
美幌	2.60%	-1.10%	1.60%
標茶	-0.70%	-2.40%	3.10%

に近い規模の流量が観測されている. そこで、次に融雪初期に流量が上昇する要因について、ROSについて把握する.

3. 降雨を伴う融雪の発生頻度の変化

3.1 降雨を伴う融雪 ROS について

研究背景でも述べたように、道内における比較的大規模な融雪出水は降雨を伴う融雪である rain-on-snow flood (ROS) であることが多く、わずかな降雨であっても大

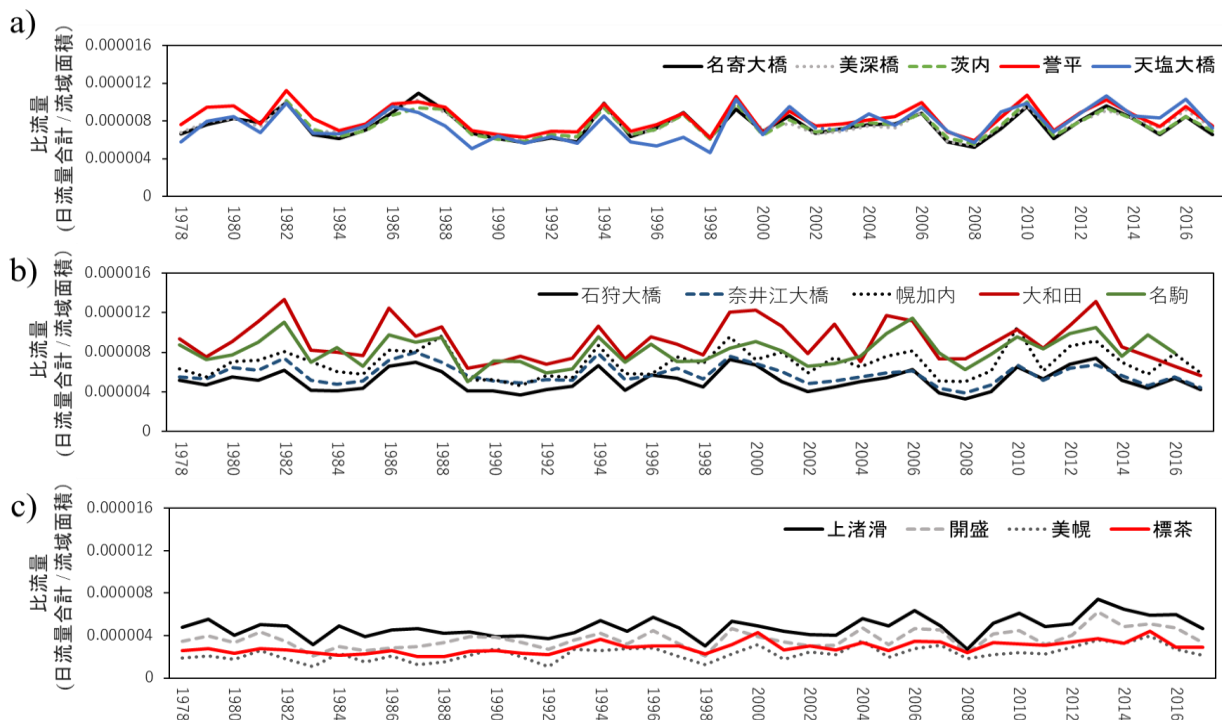


図-2 融雪期の総流量の経年変化 a) 道北(天塩川)の河川 b) 日本海側の河川 c) 道東の河川

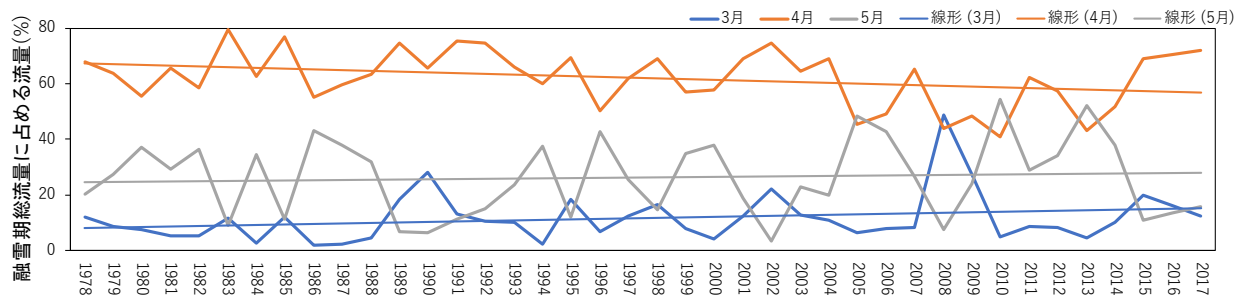


図-3 大和田における融雪期の流量の割合の経年変化

規模な流量の増加をもたらすことが知られている¹⁾。

そこで、次に融雪期の流出特性に影響を与えていると考えられる ROS 現象の地域別の発生頻度について、経年的な変化を把握した。

3.2 ROS の発生回数の経年変化把握

ROS (雪の上に雨が降る現象) の年間発生回数の経年変化を把握するために、気象庁 Japan Meteorological Agency の 5 つの観測点 (日本海側から幌糠と美深, オホーツク海側から遠軽と滝上, 太平洋側から標茶, 図-1 の青丸地点) を対象とした。各観測点の 1983 年~2017 年の 1 月~5 月の各気象データ (降水量, 降雪量, 積雪深) を用い, 次のような ROS の発生条件の整理を行った。

本検討では, ROS の発生条件として, アメダス観測

地点において(1) 日積雪量 1cm 以上が確認されていること, (2) 日降水量 1mm 以上が観測されていること, (3) 日降雪量 0mm であることの 3 項目を用いた。また, 各 ROS イベント時の降雨強度の違いを見るため, 日降雨量を 1~5mm, 5~10mm, 10mm~の 3 段階に区別してデータ整理を行った。

図-4 に, 各観測地点における ROS の発生頻度を経年的に示す。図-4 より, ROS 発生頻度は, 標茶 (道東) と遠軽 (オホーツク) では発生頻度の大きい年があるものの, 経年的な変化は見られなかった。一方で, 幌糠, 美深, 滝上の三地点で近年急激に増加していることが分かる。とくに, 幌糠と美深の 2 地点では ROS の発生頻度の増加に伴って, 高強度の降雨の発生頻度も増加している。

そこで, 次に幌糠と美深の ROS 現象の発生回数と発

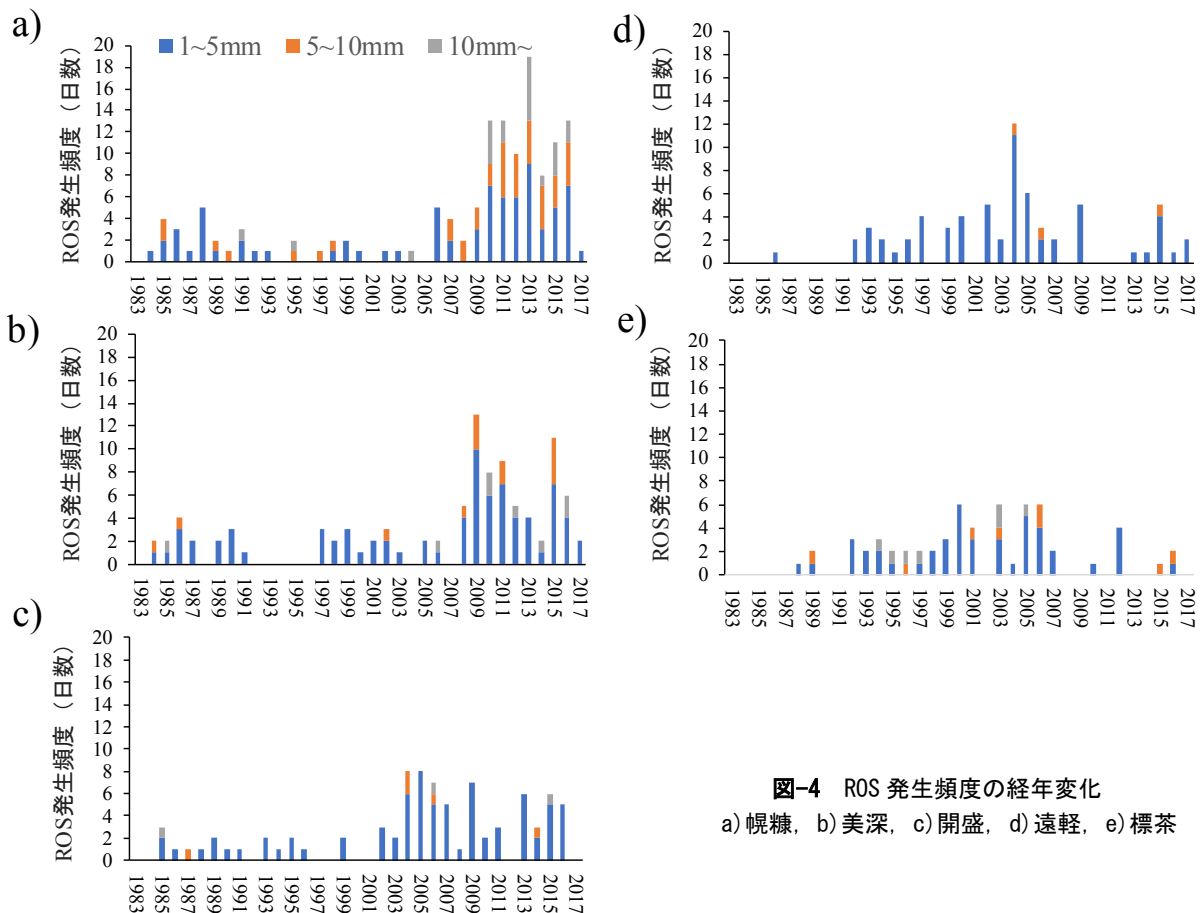


図-4 ROS 発生頻度の経年変化

a) 幌糠, b) 美深, c) 開盛, d) 遠軽, e) 標茶

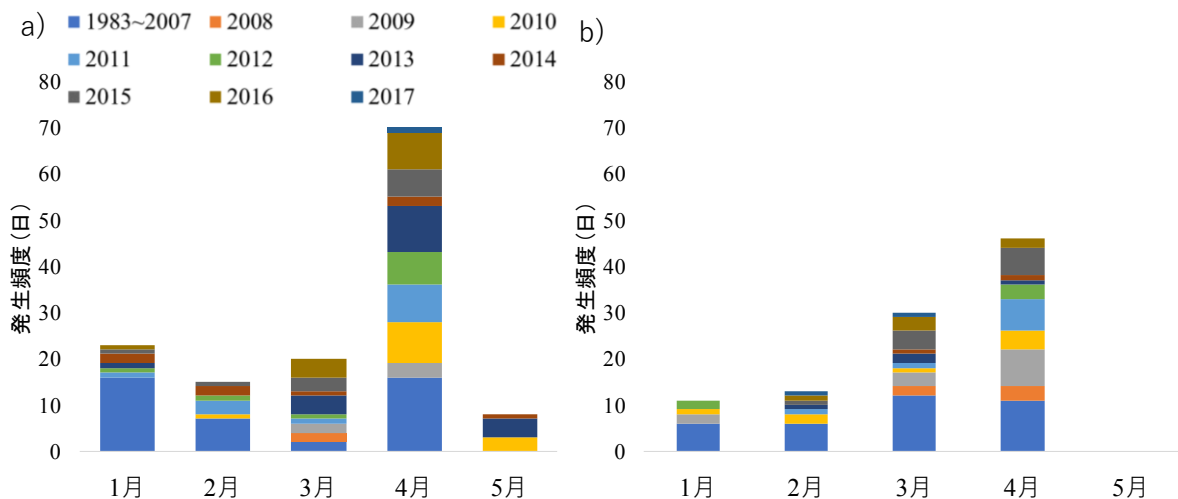


図-5 月別のROS発生頻度とその発生年 a)幌糠, b)美深

生した年を月別にまとめた(図-5)。このグラフから、幌糠と美深の両観測点ともに、近年(棒グラフ下部の青色以外)では、3月と4月のROS発生頻度が増加してきていることが分かる。この結果と、表-1で示した融雪期における3月の流量の割合の増加を考慮すると、道北、日本海側では、3月のROSの増加が融雪量の増加を促進させ積雪量の減少をもたらし、融雪期の総流量に占める流量の割合の増加につながった一要因になっていると推察される。一方で、4月はROSの発生頻度が増加しているにも関わらず、総流量に占める4月の流量の割合が減少傾向を示すという3月とは反対の結果が得られた。その原因としては、3月のROS等によって積雪層の融解時期が早まり、4月になると既に積雪量が少なく、降雨の影響が3月に比べて比較的小さくなっているなどの要因が考えられる。今後、積雪量の変化などを考慮した解析が課題である。

なお、今回まとめたデータは雪の上に雨が降る現象ROSが発生しているかどうか調べたものである。積雪層はある程度降水を貯留する効果があるため、ROSの発生頻度自体が河川の流量増加と直接的に結びつくわけではない。ただし、少なくとも天塩川や留萌川などの道北地域では2005年ごろから積雪上に降雨が降り、3月の流量の割合が増え始めていることがデータから見受けられるため、今後、道北地域ほど融雪と流出特性の変化について追跡していくことが重要と考えられる。

5. 結論

本研究の結論は以下のとおりである。

- 1) 北海道における融雪期の総流量の経年変化は、日本海側では大きな変動は見られず、オホーツク海側では増加傾向があることが確認できた。オホーツク海側の河川の流域面積は比較的小さく、流量の変動が大きいと思われる。
- 2) 融雪期の総流量に占める3~5月の各月の総流量の割合は、日本海側では3月の増加傾向、4月には減少傾向

にある。道東の地域では各観測点で変動にばらつきがあり傾向は把握できなかった。積雪の比較的少ない道東では融雪による流量への影響が小さく、融雪量があまり影響していない可能性が挙げられる。

3) ROSの発生頻度の経年的な変化は日本海側では大きな増加傾向がみられた。また、近年になるほどROS発生時の降雨強度も増加する傾向が認められた。

4) 日本海側でのROSの発生頻度は4月に多く、近年では3月の発生頻度も多いといえる。

5) 3月のROSの発生頻度の増加は3月の融雪量の増加、融雪の早期化につながり、日本海側では(2)のような融雪期の割合の変化が起きたと推察される。一方で、4月のROSが依然として多いにもかかわらず、流量の割合の減少が見込まれるのは、4月に残存している積雪量の減少により、降雨の影響が3月に比べ小さくなっているなどの要因が考えられる。

6. 謝辞

本研究では、一般財団法人 石狩川振興財団、国土交通省北海道開発局にご協力をいただいた。謝意をここに示す。

5. 参考文献

- 1) 境隆雄, 藤間聡: 北海道河川の融雪出水の特性について, 室蘭工業大学研究報告. 理工編, 7巻, pp859-870, 1972-09-15
- 2) 北海道新聞: 低気圧大荒れ*札幌で住宅浸水, 2002.
- 3) 北海道新聞: 釧路川標茶 水位 22.79メートル*大雨時, 戦後2番目, 2018.
- 4) Würzer, S.: Influence of Initial Snowpack Properties on Runoff Formation during Rain-on-Snow Events, American Meteorological Society, pp. 1801-1804, 2016.
- 5) 気象庁 札幌管区气象台: 北海道の気候変化【第2版】これまでの120年とこれからの予測, 2017.