

II-25

河川氷の物理・化学的性状

北海道大学工学部 正員 橋 治国
 正員 原文宏
 正員 佐伯 浩
 東京都水道局 正員 水野克彦

1. 緒言 北国の水環境は、雪や氷を抜きにしては語れない。雪氷は巨大な水資源であり冷熱源である。そればかりか雪氷は、生態学的にさらには人間の文化にまで及ぶ特異的な環境を形作る。しかし雪や氷の性状についての調査や研究は始まったばかりといえる。なぜなら人間活動が雪氷を汚染し始め、徐々にではあるが、環境質にもその影響が認められるようになったからである。「純白」や「無垢」といったイメージに、陰りが見えてきたとあってよい。例えば都市の積雪は大量のゴミを¹⁾、また湖沼の水もかなりの懸濁物質を含んでいる²⁾ことが明らかになり、春の水環境の汚染が心配されるようになった。広域的には、pHの低下など地球レベルの雪氷の汚染も報告されるようになってきている。

今回、筆者らは河川氷に注目し、その氷盤の物理及び化学的な性状を氷層別に調査分析し、周辺環境の水質に及ぼす影響について検討した。特に交通量の多い橋からの浮遊物質等汚染物質の飛散に着目した。

2. 調査方法 2.1 調査対象河川と調査時期

天塩川(幹線流路延長 256km)の天塩大橋(河口から18.7kmに位置する。国道40号線にあり、橋長は300m。上流着平橋平水流量(1967~1992年)³⁾ 116.74 m³/s)で調査を実施した。図1に示すとおり、橋下から上流に向かって 400mの位置まで、7個所を調査地点とした。調査は1993年3月6日15時~18時に行った。この時間帯の天候は曇で気温は -0.2℃、水温は 0.0℃であった。調査時の本地点の流量は、約 50~100 m³/sと推定される。³⁾⁴⁾ なお1~3月の調査地点は完全な結氷状況にあった。

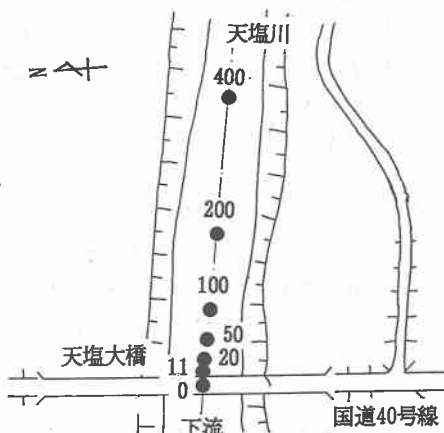


図1 氷盤調査地点 (数字は橋下からの距離(m))

2.2 氷試料の採取方法 河川氷は、電動鋸等を用い、ほぼ 50cmの幅で切りだした。表層の雪は、積雪深を測定後、1m幅で収集した。氷は、性状の異なる層別に区分し、形状等を計測後、ビニール袋に入れ、分析まで冷凍保存した。

2.3 氷試料の前処理と分析項目 氷試料は常温で融解した。氷試料の一部は、pH、電気伝導度(Cond.)、4.3Bx(アルカリ度)を測定後、孔径0.45μmメンブランフィルターでろ過し、保存した。この際、フィルター上の残留物を固形物質含量として測定した。固形物質含量は、氷融解後の一定体積に含まれる懸濁物質含量とし、単位を mg/lで評価した。一般無機成分はろ過試料を用いて分析した。残りの氷試料から、連続遠心分離(18,000rpm)と凍結乾燥によって固形物質を分離した。固形物質については、篩いとレーザーマイクロサイザー(セイシンSK-7000)によって、粒径を区分した。天塩川の河川氷も氷試料と同様に処理した。

3. 結果と考察 3.1 河川氷の結氷状況 表1の調査結果に示したとおり、調査地点の氷盤は、氷厚が 40~73cmで、図2のように性状の異なる層状構造を持つ。雪層は、表層以外の中間層にも認められ

Physical and Chemical Characteristics of River Ice

by Harukuni TACHIBANA, Fumihito HARA, Hiroshi SAEKI and Katsuhiko MIZUNO

た。氷盤は、雪氷層（雪が氷状に固形化した層）によって大半が構成されており、降雪によって形成される割合の高いことがわかる。真氷は、川水と接触する位置でのみ認められた。表2に、氷質別に厚さをまとめた。表層の雪層は2.8cmと薄い、その他の雪および雪氷層の厚さは10cm程度である。下層の真氷は6cmと若干薄い。自然の河川氷は、一枚氷でなく数〜数十cmの層状構造を持ち、底部の真氷以外は雪氷で構成されていることがわかった。簡易的に計測した密度を表1に示したが、雪層の密度は小さく、雪氷、真氷で大きく硬くなる傾向が認められる。

3.2 河川氷の固形物質含量 河川氷の層別の固形物質含量は、表層で多く、上から2から3層目からは、100m地点での例外を除くと大差なく10mg/l以下である。表層で供給される固形物質は氷層を形成する一定期間で平均的な含量になるものと推測できる。橋下の表面で350mg/lと特異的に多いが、これは橋からの道路粉塵の供給によりものといえる。100m地点での特異的な例は、雪質でもあり、道路粉塵の局所的な堆積といえる。最下層部の真氷の固形物質含量は1〜2mg/l程度と少なく、水が水中の懸濁物質を分離して氷結することがわかる。

図3に、表層の水（雪）の、図4に表層から10〜20cm層（雪氷）の固形物質含量の橋からの距離と

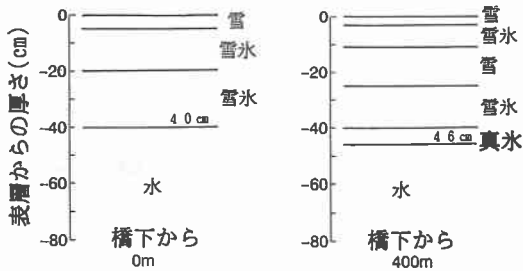


図2 氷盤の断面構造の例

表2 氷盤構成層の厚さ

	試料数 n	平均値 cm	最大値 cm	最小値 cm
雪層	6	2.8	5.0	1.5
表層 氷盤中	4	11.3	16.2	6.0
雪氷層	24	12.3	20.0	4.0
真氷層	2	6.0	6.0	6.0

表1 氷盤の性状

天塩大橋河氷汚染調査(93.3.6、15:35-18:30)
気温 -0.2°C、水温 0.0°C、曇

試料 No.	氷質 m	密度 目安	氷厚 cm	層厚 cm	固形物質 mg/l*	中央粒径値 μm	天塩大橋からの距離	
1	0	水			3.2	41.4		
2	0	雪	0.41	40.0	5.0	342.1	23	
3	0	雪氷	0.83		15.0	353.4	29	
4	0	雪氷	0.83		20.0	24.1	18.6	
5	11	雪氷	0.79	73.0	16.0	6.4		
6	11	雪氷	0.76		14.0	9.3	72.2	
7	11	雪氷	0.67		15.0	8.7	44.4	
8	11	雪氷	0.30		15.0	3.7	55.8	
9	11	雪氷	0.57		13.0	10.4	18.3	
10	20	雪	0.80	53.5	1.5	47.4	14.8	
11	20	雪氷	0.68		12.0	5.8	258.	
12	20	雪氷	0.36		18.0	3.9	46.6	
13	20	雪氷	0.34		9.0	3.8		
14	20	雪氷	0.79		13.0	6.9	63.3	
15	50	雪	0.60	47.5	1.5	86.2		
16	50	雪氷	硬		9.0	5.7		
17	50	雪氷	0.73		8.0	3.5		
18	50	雪氷	0.83		9.0	2.6		
19	50	雪氷	0.86		20.0	4.4		
20	100	雪	0.90	57.0	2.0	24.2	66.3	
21	100	雪氷	硬		8.0	4.1	21.5	
22	100	雪氷	0.60		4.0	6.2		
23	100	雪	0.36		9.0	42.8	13.6	
24	100	雪氷	硬		6.0	5.3		
25	100	雪	0.40		6.0	6.3		
26	100	雪氷	0.63		9.0	2.8		
27	100	雪氷	硬		13.0	6.2	16.1	
28	200	雪	硬	50.5	4.0	11.4		
29	200	雪氷	硬	49.0	10.0	6.1	27.6	
30	200	雪	0.58		16.0	6.1		
31	200	雪氷	硬		17.0	5.6		
32	200	真氷	硬		6.0	2.9	17.8	
33	400	雪	0.74	46.0	3.0	4.5	14	
34	400	雪氷	硬		8.0	3.5	18.9	
35	400	雪	0.60		14.0	1.7		
36	400	雪氷	0.84		15.0	7.0		
37	400	真氷	硬		6.0	1.9	16.7	

* 融解水中の含量として測定

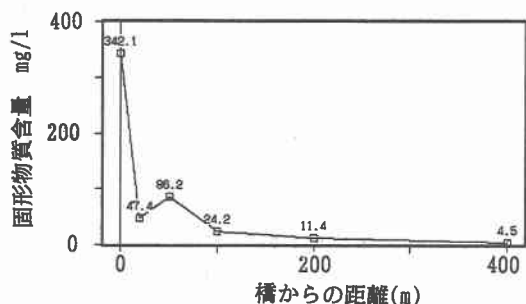


図3 固形物質含量と橋からの距離 (表層、雪)

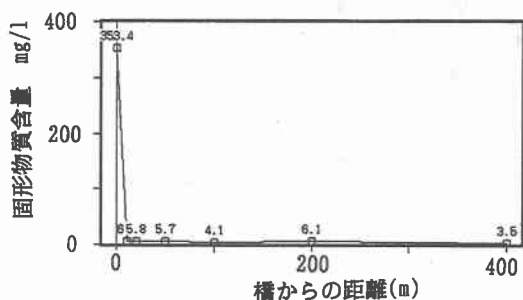


図4 固形物質含量と橋からの距離 (10~20cm層、雪水)

の関係を示した。橋下の表層および 10~20cm層で固形物質が著しい高含量であるが、離れるに従って急激に減少する。10~20cm層では、11m地点で10mg/l以下となり、徐々に低含量になる傾向が認められる。道路から発生する粉塵が橋近傍の水を著しく汚染すること、汚染の程度は低い風に乗った粉塵がかなり遠方まで飛散して水質に影響を及ぼしていることがわかった。

表3に、水盤を構成する水質別に、固形物質含有量をまとめた。上記の知見を参考に、全データについて橋下 0m地点のデータ、雪質については表層のデータを除いてまとめた。水盤の主要な構成層である雪水の固形物質含量が約5mg/l程度で、雪より幾分小さく、真水よりかなり高含量であることが数値としても確認できる。

3.3 固形物質の粒径分布と中央粒径値 表1に示したとおり、中央粒径値からは、測定した 20試料の固形物質の多くは、63 μ m以下のシルト質に分類されるものである。また中央粒径値は、橋から離れるに従って小さくなる傾向が認められる。400m 離れると測定した 3試料とも 20 μ m以下となった。微細粒子が遠方に飛散しやすいことが原因といえる。このことは図5に示す 10~20cm層の粒度分布からも明らかである。橋下 (0m) では、道路粉塵と思われる粒径の大きな固形物質の割合が高いが、離れるに従って中央粒径値が小さくなり、分布幅も狭く正規分布するようになる。20m地点で細砂に分類される大きな粒径値 (268.2 μ m) が観測されたが、図5の粒度分布に明らかなように砂粒の混入したことが明らかである。しかしその原因はわからない。

表3 水盤の固形物質含量

水質	試料数	平均値 mg/l	最大値 mg/l	最小値 mg/l
雪	4	14.2	42.8	1.7
雪水	22	5.6	10.4	2.7
真水	2	2.4	2.9	1.9

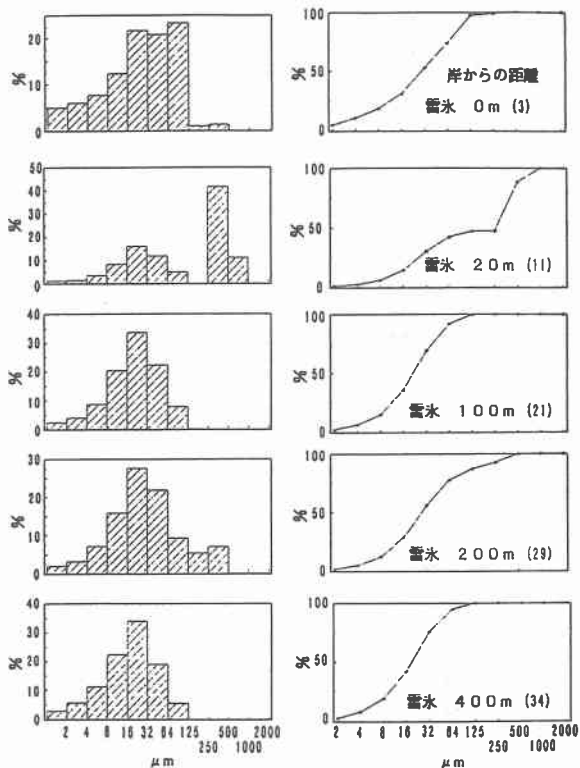


図5 固形物質の粒度分布

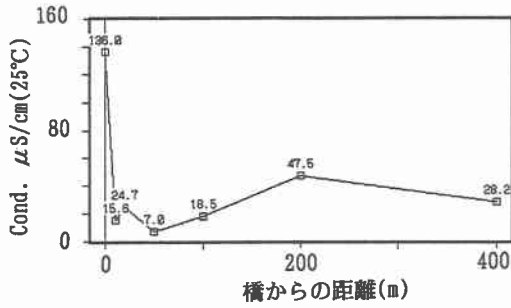


図6 電気伝導度と橋からの距離
(表層、雪)

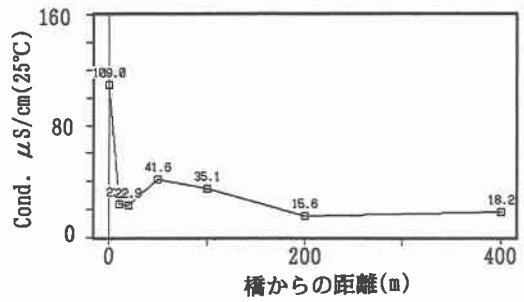


図7 固形物質含量と橋からの距離
(10~20cm層、雪水)

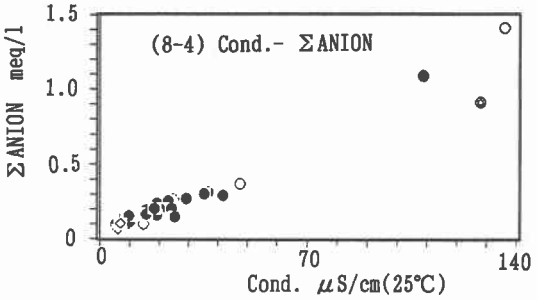
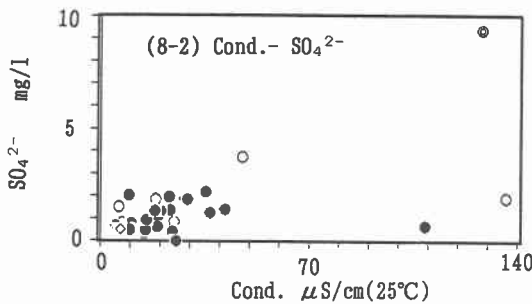
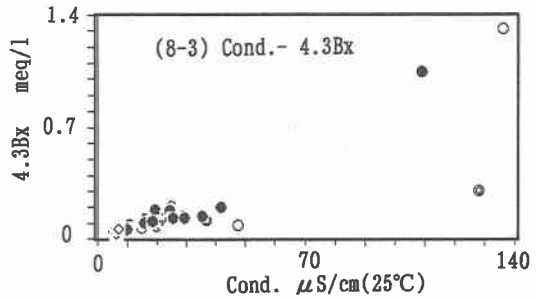
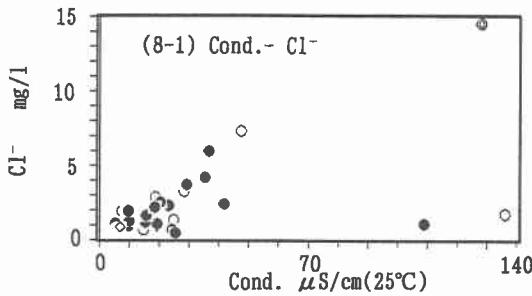


図8 電気伝導度と陰イオン濃度の関係
(○:雪、●:雪水、◎:天塩川水)

3.4 河川水の化学組成 図6に、表層の水(雪)の、図7に表層から10~20cm層(雪水)の電気伝導度の橋からの距離との関係を示した。固形物質と同じように、溶存成分についても道路からの汚染物質の飛散の影響が認められる。図8-1~3に電気伝導度とCl⁻、SO₄²⁻、4.3Bxとの関係を示したが、水(◎)に対し氷盤中の4.3Bxの割合が高いこと、汚染が著しい橋下の雪(○)と雪水(●)が特異な組成であることがわかる。すなわち氷盤は多くの物質を溶存している水とは異なる化学組成であり、汚染が著しい氷盤には炭酸塩と思われる異質な物質の混入が認められる。なお図8-4で示されるように、電気伝導度は、総陰イオン濃度(当量濃度)との相関性が高く、溶存イオンの目安になることが明らかである。

表4に氷盤の化学組成を氷質別に、上記の特性を考慮してまとめた。汚染の著しい氷盤では、電気伝導度が100μS/cmを越えること、それが4.3Bxで代表されることわかる。また雪や雪水は、電気伝導度の平均値

表4 氷盤の化学組成

水質	Cond. μS/cm	pH	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	4.3Bx meq/l
水	128.0	6.9	14.5	9.4	0.306
雪 (橋下表層)	136.0	7.3	1.8	1.9	1.319
雪氷 (橋下 5-20cm)	109.0	7.5	1.1	0.7	1.046
雪氷 (橋下 20-40cm)	19.0	6.2	1.0	1.1	0.187
雪 (表層)	平均	25.2	6.2	3.3	0.116
橋下を除く	最大	47.5	6.5	7.3	0.208
n=5	最小	7.0	5.8	1.4	0.055
雪 (氷盤中)	平均	12.1	5.8	1.5	0.058
n=4	最大	19.6	6.0	2.2	0.085
	最小	6.3	5.7	0.7	0.030
雪氷	平均	18.9	6.0	1.9	0.110
橋下を除く	最大	41.6	6.5	6.0	0.200
n=22	最小	5.2	5.3	0.5	0.047
真水	平均	6.6	5.7	0.8	0.047
n=2	最大	7.0	5.8	0.8	0.064
	最小	6.2	5.7	0.7	0.030

が 10~20μS/cm、さらに真水では 10μS/cm以下と低いこと、Cl⁻やSO₄²⁻イオンは、汚染氷盤も含め、河川水より著しく低濃度であることがわかる。陰イオンの組成 (当量比) を表5に示したが、前述のとおり、一般に氷盤の組成は水と異なり4.3Bxの陰イオンに占める割合の高いこと、汚染氷盤では90%にも達することがわかる。

4. 結論 天塩川の結氷期に、河川水の物理的および化学的性状を調査した。そして氷盤の性状についての基礎的なデータと、その一般的な組成を明らかにすることができた。主な結論を以下のよう

氷盤の物理的性状について

- 氷盤は、主に雪氷からなり数~数十cmの層状構造を持つ。真水は氷盤下部にのみ認められる。
- 固形物質は、汚染の影響のみられる橋下地点で高含量であるが、離れるに従って減少し、雪氷では約5mg/l程度となる。真氷は、1~2mg/lで極めて低含量である。表層に堆積している雪は、氷盤に比較して高含量で短期的な汚染の影響を受け易い。
- 固形物質の中央粒径値は、シルト質以下の大きさで、橋から離れるに従って小さくなる。橋下では、砂質分が多い。

氷盤の化学的性状について

- 氷盤は、Cl⁻やSO₄²⁻イオン濃度や割合が低いなど、水体と組成の異なることが明らかとなった。
- 一般無機成分についても固形物質同様に汚染の影響が認められ、橋下ではアルカリ度が著しく高い。

表5 氷盤の陰イオン組成

水質	Cl ⁻ %	SO ₄ ²⁻ %	4.3Bx %
水	45.0	21.4	33.6
雪 (橋下表層)	3.6	2.8	93.6
雪氷 (橋下 5-20cm)	2.9	1.3	95.9
雪氷 (橋下 20-40cm)	11.7	9.2	79.0
雪 (表層) 平均	37.4	14.7	47.9
雪 (氷盤中) 平均	34.9	17.4	47.7
雪氷 平均	28.4	11.1	60.5
真氷 平均	28.5	14.1	57.3

身近な河川や湖沼の水質についての調査は、始まったばかりといえる。本調査でも、道路粉塵などで話題になる固形物質のみならず一般的な化学成分についても周囲の環境の影響が観察された。今後は水環境への具体的な影響を考慮した詳細な調査の実施が必要となろう。

謝辞 本調査を実施するにあたり、北海道大学工学部土木工学科港湾工学講座および衛生工学科水質工学講座の研究生、学生諸氏には多大な協力をいただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- (1) Harukuni Tachibana, Mimi Nameki, Fumihiro Hara and Hiroshi Saeki Pollution of Fallen Snow in Urban Areas, Proceeding of International Conference on Development and Commercial Utilization of Technologies in Polar Regions, p249-260, 1994
- (2) 橋 治国、水野克彦、佐伯 浩、山下俊彦、石井次郎 「自然水中の固形物質について」第6回オホーツク海と流水に関する国際シンポジウム講演要旨集、p102-106、1991
- (3) 建設省河川局 流量年表（平成4年）、日本河川協会、1994
- (4) 原文宏、高橋良正、佐伯 浩、山口 甲 天塩川のBreak-up現象の現地観測、寒地技術論文・報告集、Vol.10、p456-461、1994