

小樽運河における結氷と氷紋の観察

Observation of freezing and surface patterns on ice cover of the Otaru Canal

大鐘卓哉 (小樽市総合博物館)

Takuya Ohgane

1. はじめに

小樽運河は、多くの観光客が訪れる観光名所のひとつである。小樽運河における結氷現象に対して、観光客や小樽市民が高い関心を示していることに、筆者は注目していた。結氷現象が小樽運河における冬の景観の価値を高める観光資源になりうると、筆者は考えている。

小樽運河における特徴的な結氷現象のひとつに「氷紋」がある。氷紋は、湖や池などの氷の上に現れる紋様で、氷と雪と水が関与して形成される。クモヒトデが触手を伸ばしたような紋様は、放射状氷紋と呼ばれている。放射状氷紋が発生するには、氷板に開いた穴からその下の水が浸みだし、その水が少しずつ氷板上の雪を融かし、水路を形成し拡張する過程を経る。氷紋については、これまでに、東海林¹⁾などによる研究報告や、高橋²⁾による観察報告はあるが、発生機構の全容解明には至っていない。

本研究においては、筆者が 2011 年から 2014 年までのそれぞれの冬において、小樽運河を不定期に観察し、多様な結氷現象と氷紋を確認したので、その概要を報告する。

2. 調査方法

小樽運河の一部である観察対象域は、小樽駅の西 700 m に位置し、幅約 20 m、水深約 2 m で、北側の浅草橋から南側の中央橋までの約 300 m の区間である。対象域の北側は、小樽港と水路でつながっていて、潮汐により海水の流入流出がある。対象域の南側は、オコバチ川の河口部で、冬期においても河川水の流入がある。

観察を行ったのは、2011-2012 年、2012-2013 年と 2013-2014 年における 12 月から翌年の 3 月までの結氷の可能性のある期間であった。観察を行った月日は不定期で断続的であり、1 年目よりも 2 年目、2 年目よりも 3 年目の方がより頻繁に観察を行い、3 年目においては 7 日につき約 5 日の割合で観察した。時刻は主に午前 9 時頃を基本として、状況により正午頃と午後 6 時頃にも観察を行った。観察内容は、目視による結氷の有無、氷の分布や形態と様相で、あわせて、表層水の流れの様子、河川水の流入状況、湧水や湧出ガスの有無などの観察も適宜行った。

3. 結果

観察の結果、対象域において結氷を確認したのは、2011-2012 年の冬期には 13 日、2012-2013 年には 23 日、2013-2014 年には 30 日であった。それぞれ期間における月ごとの結氷を確認した日数を表 1 に示す。

表 1 小樽運河において結氷現象を確認した日数[日]

	12 月	1 月	2 月	3 月	計
2011-2012	1	3	9	0	13
2012-2013	0	10	12	1	23
2013-2014	1	12	11	6	30
計	2	25	32	7	66

結氷を確認した事例のほとんどは、未明に氷点下の気温が継続した朝であった。しかし、氷点下の気温が継続して結氷しない日も多く確認しており、特に12月には、同様の事例をより多くの確認した。それから、朝に結氷を確認した日でも、多くの場合は夕方までに氷がほとんど融けた。しかし稀に、翌日まで氷が融け残る事例を数回確認した。さらに、朝に結氷を確認できなかった場合でも、氷点下の気温を継続したり、多くの降雪があったりした場合には、日中や夕方に結氷を確認した日もあった。

観察した結氷の状態は、気象などの様々な影響を受けるので、多種多様であった。対象域が全面的に結氷する事例もあれば、部分的に結氷した事例もあった。部分的結氷の場合でも、表層水の流れの影響等により、北側寄りや、南側寄りのように多様性が見られた。特徴的な事例として、3つの結氷の事例を示し、その日の気象要素として小樽アメダスにおける気温と9時間積算降水量、小樽港における1時間潮位差を表2に示す³⁾。

第1の事例として、対象域が全面結氷した2012年1月30日の様相を図1に示す。氷板は、厚さが数cmで、波浪の影響により割れ目が生じ、大きさは5m程度であった。氷板は、前日に降った雪の一部が凍結した白い氷で形成されていて、縁は隣接する氷板との衝突によりまくれ上がっていた。第2の事例として、対象域の中央部で、2割ほどの領域において雪が水面に浮いた状態であった2013年1月13日の様相を図2に示す。これは、水面が凍ったのではなく、朝方に降った雪が融けずに残っていて、水雪状態となった事例である。第3の事例として、薄氷が全面結氷した2013年1月24日の様相を図3に示す。氷板は、厚さが1cm程度で、対象域全体を割れ目なく覆っていた。前夜から早朝にかけての降雪はなかったので、氷は透明であった。

氷紋を観察したのは、2012年に1回、2013年に6回、2014年に2回、計9回であった。氷紋を観察した日の小樽アメダスにおける



図1 割れ目を伴った氷板の全面結氷
2012年1月30日午前8時43分



図2 雪が水面に浮いた状態
2013年1月13日午前8時40分



図3 透明な薄氷による全面結氷
2013年1月24日午前9時23分

表2 結氷を確認した代表的な日の気温、降水量と潮位差³⁾

年/月/日	時	気温 [°C]	降水量 [mm]	潮位差 [cm]
2012/01/30	0	-6.2	8.5	-3
	9	-5.6	0.0	0
2013/01/13	0	-4.6	0.0	4
	9	-3.9	6.0	-13
2013/01/24	0	-6.0	-	1
	9	-5.7	-	-4

気温と 6 時間積算降水量，小樽港における 1 時間潮位差を表 3 に示す³⁾．放射状氷紋が顕著に見られた 3 つの事例について，以下に概要を述べる．

第 1 の事例として 2012 年 2 月 18 日の様相を図 4 に示す．午前 9 時前の観察では，対象域全面が結氷し，氷板の厚さは数 cm で，その上に朝方の降雪による雪が全面に数 cm 積もっていた．対象域の 1 割において水が浸みている，そこに直径数十 cm の放射状氷紋が数十個あった．午後 1 時過ぎには，水が浸みた領域は 6 割までに拡張し，放射状氷紋は百数十個に増え，一部の氷紋の大きさは直径 50 cm を超えるほどに拡大した．

第 2 の事例として 2013 年 1 月 10 日の様相を図 5 に示す．午前 9 時過ぎの観察では，対象域の 9 割が結氷し，朝方の降雪により氷板上の積雪深は約 1 cm で，大部分は水が浸みっていた．放射状氷紋は，全体で千個以上あり，直径が 1 m を超える大きな放射状氷紋も数十個確認した．午後 1 時には，融解が進んだことにより放射状の紋様は崩れ，中心部の穴は拡大した．

第 3 の事例として 2014 年 2 月 8 日の様相を図 6 に示す．午前 9 時前の観察では，対象域の 9 割が結氷し，割れ目があり，厚さ数 cm の様々な大きさの氷板が多数あった．氷板の上には前夜から降った雪が積もり，全体的に水が浸みた状態であった．一部の氷板には直径数十 cm の放射状氷紋が密接して発生し，その数は数えきれないほどであった．正午過ぎには，氷紋の大きさや数に大きな変化はなかったが，中心部の穴が融解により朝よりも拡大した．午後 5 時頃には，対象域に氷板はなかった．

表 3 氷紋を確認した日の気温，降水量と潮位差³⁾

年/月/日	時	気温 [°C]	降水量 [mm]	潮位差 [cm]
2012/02/18	3	-11.4	-	-3
	9	-7.6	1.5	2
2013/01/10	3	-8.7	0.0	-3
	9	-7.4	1.5	0
2013/02/07	3	-9.4	-	-3
	10	-3.9	0.0	7
2013/02/22	3	-5.8	0.0	-3
	9	-4.6	0.0	0
2013/02/23	3	-5.8	0.0	-1
	9	-4.7	1.5	-1
2013/02/24	3	-8.3	0.0	-1
	9	-5.4	1.5	0
2013/02/25	3	-7.2	1.5	-1
	9	-4.3	-	-2
2014/02/07	3	-9.3	0.0	-2
	6	-8.4	0.0	2
2014/02/08	3	-9.1	0.5	-2
	9	-8.7	0.0	0



図 4 対象域全体に発生した氷紋
2012 年 2 月 18 日午後 0 時 23 分



図 5 直径約 1 m の大きな放射状氷紋
2013 年 1 月 10 日午前 9 時 47 分



図 6 直径十数 cm の小さな放射状氷紋
2014 年 2 月 8 日午後 0 時 29 分

4. 考察

一般に、層厚の薄い水塊であれば、気温が氷点下になると短時間で結氷するが、池などの深さのある水塊では短時間で結氷しない。表層水の水温変化に対して、下層の水や領域外からの水の流出入が影響を与えるためである。冬期の小樽運河を観察したことで、結氷に影響を与える要素についての知見が深まったので考察する。

対象域は、潮汐による海水の流出入が頻繁なので、全層的に塩分濃度が高く、表層水の水温は流入する海水温の変化に大きく影響を受ける。小樽港における海水温は、12月よりも3月の方が低いので、対象域における結氷の可能性は、12月よりも3月の方が高いと考えられる。この傾向を考慮した観察を行ったことで、2014年の3月には、他の2年の3月よりも多い6回の結氷を確認できた。

対象域には、同程度の閉塞水塊よりも結氷しにくい、もしくは氷が融解しやすい傾向がある。潮汐により海水が流入すると、海水が温かい効果と、流入による攪拌の効果で、表層水の水温が上昇するためだと考えられる。実際に、小樽港における潮位上昇時間帯に、対象域の表層水が大きく流動していることを筆者は目視により観察しており、朝に確認した氷板が数時間で融けてしまった事例を複数回確認した。また、とても寒冷だった朝でも、潮位上昇時間帯には結氷しないことも確認した。

一方で、対象域には、同程度の閉塞水塊よりも結氷しやすい傾向もある。塩分濃度の高い対象域の水塊の上に、淡水である河川水が流入することで、塩分濃度の低い表層水を形成する。気温の影響を受け対流混合する表層水が薄いと、気温低下に伴い短時間で水面が結氷温度を下回り、凍結するためだと考えられる。実際に、潮位低減時間帯には表層水が攪拌されないことを目視により観察していて、気温が十分に低い状況であれば結氷を確認できた。さらに、降ってきた雪が水面で融けないのも、この薄く短時間で水温が低下する表層水の存在によると考えられる。

氷紋の事例を検証した結果、発生する過程の共通点を見いだした。それは、気温が十分に低くなる未明が潮位低減時間帯であり、さらに結氷中もしくは結氷後に降雪があり、そうして氷板の上に雪が存在している状況で、その後に潮位上昇時間帯を迎え、氷板が融解するという過程である。ただ、氷紋が発生するための中心の穴が、最初にどのような機構で形成するかは、明らかになっていない⁴⁾。さらには、氷紋の大きさに影響を与える要因についても不明である。

小樽運河において、多種多様な結氷現象と氷紋を観察した。多様である要因は、気温、風、雪などの気象要素以外にも、海水温、潮汐、波浪、河川水流入などの多くの要素であり、それらが複合的に関与している。本研究を通して見出した傾向を基に、結氷や氷紋発生の事前予測について、一定程度の可能性を見出すことができた。今後、対象域における水温や塩分濃度の変化を測定することで、さらなる結氷現象の研究が進展するであろう。そうなれば、多様な結氷や氷紋の発生をより正確に事前予測できるようになり、多くの人々に対して雪氷への関心を高めることが期待できる。

【参考・引用文献】

- 1) 東海林明雄, 1973, 放射状模様氷面の生成機構 I, 雪氷, **35**, 4, 173-179.
- 2) 高橋喜平, 1980, 氷紋, 雪と氷の造形, 朝日新聞社, 90-95.
- 3) 気象庁, <http://www.data.kishou.go.jp/>
- 4) 大鐘卓哉, 2014, 小樽運河における氷紋, 小樽市総合博物館紀要, **27**, 1-6.