

氷瀑の形成に関する観測

東海林明雄（湖沼雪氷研究所）

1. はじめに

札幌市の星置の滝や平和の滝，それに，茨城県の袋田の滝など，氷瀑を観察する機会があり，その形成機序を知りたいと思った．そこで，手稲山の麓にある，濁川に架かるコンクリートダム堤体にてできる，氷瀑の観測を行った．

今冬の期間中は，水温・気温・湿度のデジタル記録を取った．また，ソーラーパネル発電装置を設置して，この電源で，デジタルビデオカメラを期間中昼夜連続して回し続け，記録を撮った．観測結果の一例であるが，降雪は氷瀑の壁面に波状に付着し，流下する水流と共に凍結するが，更に降雪が続くと，波状模様の波長と振幅が増幅されるかの様に，ついには，大きな‘クラゲ氷’のパターンに成長することが，時系列記録の解析によって解った．

2. 主な観測場所

観測は主に，札幌市手稲区の濁川に架かる，砂防ダム堤体にてできる氷瀑で行った．濁川は標高 50m 地点で，濁川と右濁川に分かれ，上流に人家はない．濁川には，標高 60m 地点に 1号床固工（図4），標高 70m 地点に 2号床固工，標高 80m 地点に 1号砂防堤として，階段状に 3面のダム堤体（仰角 76 度，北東向）が設置されている．ダム堤体は北東向であるが，川筋にあるため，厳冬期日光の直射を受けることは少ない．本報では主に濁川で行った観測結果について報告するが，右濁川に架かる 4面のダム堤体・星置の滝・平和の滝での観測結果についても合わせて報告する．

3. 氷瀑の形成

ダム堤体では，流下する水流束の左右両側から氷ができ始め，次第に流束中央部に及ぶ．図1では，流束の左右両側の濡れ領域から氷ができ始めている．この氷に，水滴が付着し氷

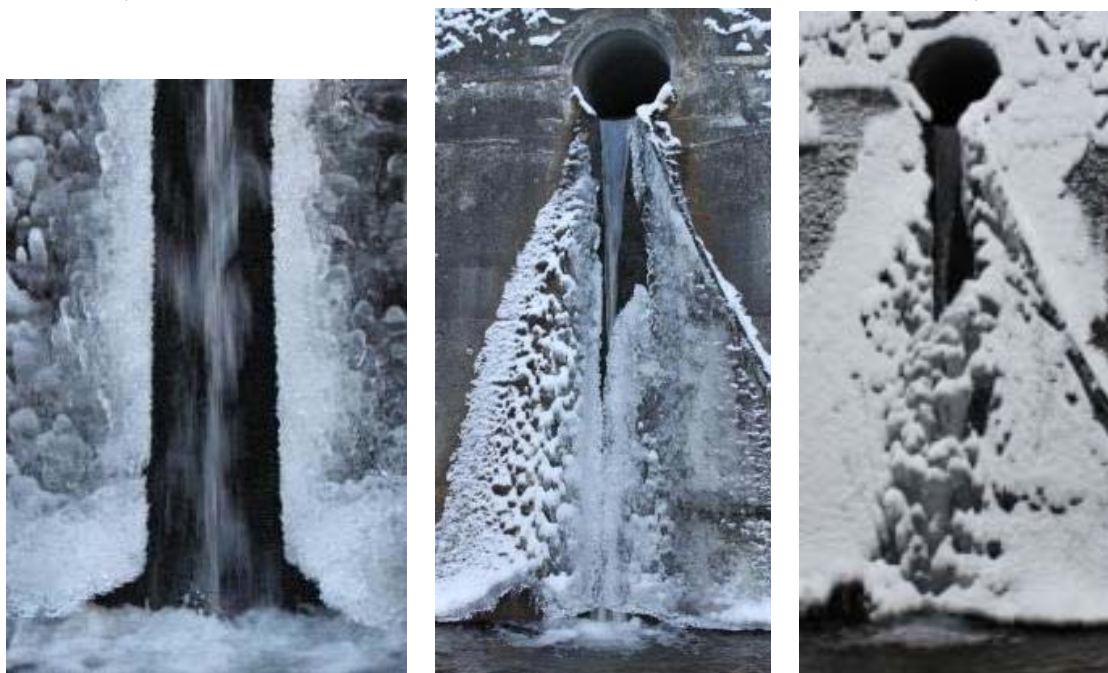


図1 2010年12月17日11時 図2 2010年12月28日14時 図3 2010年12月29日12時

が張り出し、開水面は次第に狭められる。左右両側から氷が張り出して来て、これが出会い合体すると、流下水流（落差 2m）は、形成された氷の裏側の空洞部を流下することになる。このため、表面からは見えなくなる。また、滝壺に落下する水流の音も聞こえなくなる。

図 1 の開水部分が氷に覆われた後の状態が図 2 の下半部分で、上部はまだ、水流が見えている。これは、12 月 24 日～27 日にかけて比較的低温（平均気温 -4℃）の日が続いたことによる。図 3 は夕方から朝方にかけての降雪（平地降雪深 10cm（气象台札幌のデータ））を受けた後の状態である。このような機序で、氷瀑は、形成されて行く。

4. 瀑布に於ける氷核の形成

激しく流下する水流表面に氷ができ始めるためには、不動の突起などの存在が必要となる。図 4 は、ダム堤体の左右両側に、それぞれ毎秒約 10 ㍓の水流量が流下しているのであるが、その流束の経路では開水路になっていて凍結していない。右下に、縦 2m 横 1m のワイヤーメッシュ（角目 10×10cm、直径 9mm 鋼鉄ワイヤー製）をダム堤体から 6 cm 離して立掛けて設置し、その 1 夜経過後の写真であるが、ワイヤーメッシュ設置 1 日で出来た氷が着氷している。この設置が無ければ、瀑布のこの部分に氷が出来なかったことを、格子網上部の無氷部と比較することで容易に推測できる。



図 4 2010 年 3 月 28 日 10 時（1 号床固工）

また、左側の落下流束部も無氷のままである。このことから、水流表面の不動突起存在の役割が知られる。実際には、コンクリートダム堤体の僅かな突起部や、ダム堤体のコンクリート壁に、僅かに取り付いているコケ類が、その芯になって氷核の形成が起こり、氷の成長が始まる（東海林：2010）。一度生成した氷突起は、気流に晒され、また、自らの昇華蒸発熱で冷えるため、ますます形成が促進される。因みに、気温プラス数度で、つららが成長していることもよく見かけるが、これは、つらら表面からの昇華蒸発熱で、つらら本体がマイナスの温度になっていることを物語っている。

このことから、水流表面の不動突起存在の役割が知られる。実際には、コンクリートダム堤体の僅かな突起部や、ダム堤体のコンクリート壁に、僅かに取り付いているコケ類が、その芯

になって氷核の形成が起こり、氷の成長が始まる（東海林：2010）。一度生成した氷突起は、気流に晒され、また、自らの昇華蒸発熱で冷えるため、ますます形成が促進される。因みに、気温プラス数度で、つららが成長していることもよく見かけるが、これは、つらら表面からの昇華蒸発熱で、つらら本体がマイナスの温度になっていることを物語っている。

5. 氷量の増加

図 5 のような、つららの側方への成長は、流央部に向かったの、氷の覆いの成長速度を早める。図 6 は、氷筈とその下方に伸びるつららである。図 7 では、上方からのつららに沿う



図 5 つららの側方への成長



図 6 氷筈とつらら



図 7 2011 年 3 月 22 日 12 時 つらら・水流・氷筈



図 8 2011 年 3 月 23 日 12 時 つららと氷筈の合体

水流と、下方から伸びる氷筈とが、それぞれ二対見えている。図 8 は図 7 の翌日の写真で、つららと氷筈が繋がって二対とも一体化している。以上のような、様々な過程により、氷瀑の

氷量が増加すると共に、氷の厚さも増して、全体として、簡単には崩落しない、しっかりとした氷瀑に成長して行き、アイスクライミングも可能になる。

6. クラゲ氷

図9は、ダム堤体の中央部に於ける、氷瀑形成初期の氷面で、つららの表面と同じで、不規則な波状の凸凹がある。この氷面への降雪は、波状に積る。その波模様の間隔は、降雪状況によって異なる。大きな雪片、つまり、牡丹雪の時は大きな波状模様になり、その間隔は



図9 2010年12月28日15時
波状氷面
(2号床固工ダム堤体、
中央部、縦2m横1.5m)



図10 2011年1月1日15時
波状積雪
(図9の後、12月29日に
10cmの降雪)



図11 2011年1月5日13時
クラゲ氷の芽発生
(図10後、日降雪3cm
3回、1cm1回)



図12 2011年1月7日15時
クラゲ氷の成長
(図11の後、日降雪20cm
1回、5cm1回)



図13 2011年1月14日11時
顕著なクラゲ氷に成長
(図12の後、毎日平均
8cm(3~14cm)の降雪)



図14 2011年1月11日(図4の
ダム堤体中央上部に出来た、大き
く成長した、典型的なクラゲ氷、
頭部直径約25cm)

広がる。また、繰り返し起こる降雪の度ごとに波状模様の合併が起こり、あたかも、波の合成で、その波長と振幅が増幅されるかの様に、大きな、波状模様で成長して行く。2号床固工ダム堤体中央部の、同一箇所の時系列記録が、図9～図13(縦2m、横1.5m)である。凍結し降雪があり‘クラゲ氷’の芽が発生し、それが次第に、大きく顕著な‘クラゲ氷’へと成長している。

降雪後、瀑布氷の穴などから溢流があると、溢流水は、波状に積もった積雪下面を濡らし、これが板状に凍結し、その下面から、つららを成長させる。これを、正面から眺めると、図 14 のように、浮いているクラゲのように見える。円くて白い積雪部は、クラゲの頭であり、その下面の氷板部から下方に伸びるつららは、クラゲの腕として見えてくる。このような氷を“クラゲ氷”と呼ぶことにした。図 14 は、典型的なクラゲ氷のパターンで、図 17 は、クラゲ氷の典型的な



図 15 2011 年 1 月 29 日(図 4 のダム堤体右上部のクラゲ氷を側方から)



図 16 2011 年 2 月 9 日 (図 4 のダム堤体中央上部のクラゲ氷 2 個を真上から、頭部直径 50cm と 55cm)



図 17 2011 年 1 月 11 日、典型的なクラゲ氷の群生(図 4 のダム堤体右上部)

群集である。このクラゲ氷は、適当量の溢流水と降雪の供給の継続とで、次第に大きく成長して行く。氷瀑形成への降雪の影響の過程は、降雪の繰り返しと共に、波状に積もった、積雪の波長と振幅が増幅されるかの様に、次第に大きなクラゲ氷の形成へと収れんして行くものであると言うことが解明された。

このようなクラゲ氷のパターンは、2010 年 3 月の写真記録でも、同様に記録されていた。また、札幌市の星置の滝や平和の滝でも、同様に形成されていることが解った。従って、クラゲ氷は、その形成原理からしても、降雪地域の氷瀑の形成時、ごく一般的に形成されているものであることが解った。

7. ま と め (河川氷瀑の形成機構)

- (1) 流下する水流束の左右両側の湿り領域表面から、氷の生成が始まり流中央部に向かう。
- (2) 瀑布表面の凸凹や、コケ類・藻類を土台にして生えた植物の突起部などを芯にして、氷の生成が始まる。
- (3) つらら状の成長と、これの側方への成長。また、水滴による、氷筈状の成長と、これの側方への成長が、それぞれ起こり、氷瀑の覆いの形成を促進する。
- (4) 氷厚の増加による既存水路の縮小は、溢流部を生じ、氷瀑の厚さの増加を促進する。
- (5) 降雪は、氷壁へ波状に付着し、氷瀑の形成に寄与する。降雪回数と、多量の降雪の度ごとに、波模様の波長と振幅が増幅されるかの様に、大きな波模様となり、ついには、大きな‘クラゲ氷’のパターンを形成する。
- (6) 河川の上流部から流下し、または、滝の上部から滝壺に、落下した氷片が集積して、これが土台となって、滝の下部から上部に向かって、瀑布の氷が成長する場合がある。
- (7) 長期的には、流水量の増減や、融解時の崩落などが繰り返され、複雑な過程を経ながら、氷瀑はその厚さを増して行く。

8. 引用文献

東海林明雄, 2010: 河川における“氷瀑”の形成過程について (1). 雪氷研究大会 (2010・仙台) 講演要旨集, 149pp