

## 2021/22年冬期の春採湖の結氷観測

牛塚 貴博\*・亀田 貴雄\*

### 1. はじめに

1985年以降、春採湖ではその冬に湖面全体が初めて2日間結氷した時の初日を全面結氷日、湖面全体から氷がなくなった日を全面解氷日として、釧路市立博物館の学芸員の方々によって記録されています。1985年から2023年の期間では平均すると全面結氷日は12月14日であり、全面解氷日は4月10日でした。ほとんどの年で全面結氷日は12月中、全面解氷日は4月中に観測されています。38年間の中で全面結氷日が11月だったのは1985/86年から1987/88年までの3年間だけでした。1月だったのは2009/10年だけでした。一方、全面解氷日は1990年3月31日と2008年3月28日の記録以外は4月に観測されました。

全面結氷日、全面解氷日のデータと釧路地方気象台の気象データとの関係を調べたところ、全面結氷日は12月平均気温と、全面解氷日は3月平均気温と関係がありました。この関係と気象データを用いて観測開始以前まで結氷状況を推定すると、1910年以降、結氷期間は8.6days/100yrのペースで減少していることが推定できました(牛塚ら, 2021)。

このように春採湖の結氷は気象の影響を敏感に受けて変化していることから、全面結氷日や全面解氷日は目に見える冬の気候変動の指標といえます。これは例えば、春の気象の指標として桜の開花日を用いることや秋の気象の指標として紅葉が始まる日を用いることに相当します。湖の結氷観測は一部の湖でしか実施されていません。この点では、釧路市立博物館が観測している春採湖の結氷データは非常に貴重なデータです。

一方、春採湖の結氷や解氷がどこからどのように始まり、どの程度の期間で完了するのかという結氷過程や解氷過程は全面結氷日と全面解氷日のデータだけではわかりません。私たちは春採湖の結氷過程と解氷過程を2021/2022年にインターバルカメラで撮影することで調べました。ここでは結果を報告します。

### 2. 観測方法と使用データ

図1にインターバルカメラの設置位置と撮影方向、図2にインターバルカメラの設置状況を示します。カメラは釧路市立博物館の非常階段(図2a)と湖岸の木(図2b)の2箇所に設置しました。設置期間は2021年11月から2022年5月までとし、撮影間隔は15分としました。カメラはどちらも湖の南側に向けました。インターバルカメラ画像の他に欧州宇宙機関(European Space Agency)が運用する人工衛星Sentinel-2によって撮影された人工衛星画像を使用しました。



図1 インターバルカメラの設置位置。丸で設置位置を示し、矢印で撮影方向を示す。(地理院地図webで取得した地図を加工した)

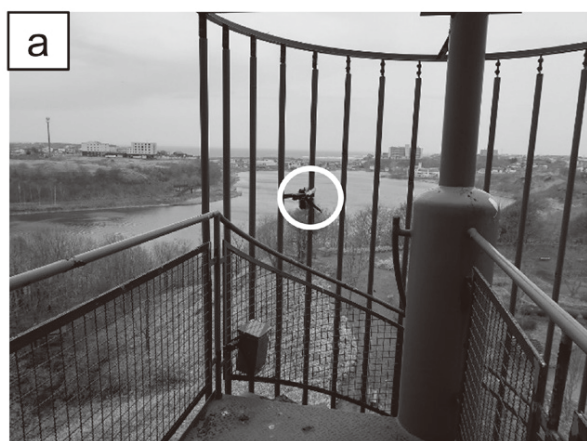


図2 インターバルカメラと温度計の設置状況。(a) 釧路市立博物館の非常階段。(b) 湖岸の木。

\*北見工業大学

### 3. 2021/22年の結氷過程と解氷過程

#### 3. 1. 結氷過程

観測の結果、インターバルカメラの撮影範囲内の湖面では2021年12月17日に結氷が始まり、12月19日に撮影範囲内の湖面全体が結氷したことがわかりました。釧路市立博物館で観測された全面結氷日は12月20日だったため、19日の時点ではインターバル画像で確認できない地点に結氷していない部分があったと考えています。

図3-1～3-6に2021年12月17日から2021年12月19日までのインターバル画像を示します。2021年12月16日までは画面内の湖面は結氷しませんでした。一方、2021年12月17日の画像(図3-1, 3-2)では画面上部の結氷部(1)と画面右側の結氷部(2)で結氷が始まっている様子が確認できます。このとき、結氷部(1)は氷の上に白い積雪があることが確認できますが、結氷部(2)には白い積雪は確認できません。これは、結氷部(1)には結氷上に積もった積雪が乾いた白い状態で存在しており、結氷部(2)では積雪が水を含んで色が暗くなった、もしくは積雪が融解したことを反映していると考えられます。

図3-3, 3-4に2021年12月18日の画像を示します。結氷部(1)、(2)のどちらについても結氷面と開水面の境界が明瞭に区別できます。この理由として、結氷面と開水

面の境界部分の水が波の影響などで周囲とは違う表面状態になっていることで周囲の結氷面や水面と違って見えていることが考えられます。

図3-5, 3-6に2021年12月19日の画像を示します。前日の図3-3, 3-4と比較して結氷面が広がり、撮影範囲内の湖面は全面が結氷しているように見えます。一方、よく観察すると開水面にも見えるため結氷しているか判別が難しい部分もあります。図4に同月19日16:15の画像を示します。湖水上に多数の鳥が乗っていることが確認できます。鳥の乗っている部分は鳥の体重で壊れない程度の厚さに湖面が結氷していると考えられるため、鳥の位置で結氷状態を判別することができます。この時間帯の複数の画像で鳥の位置を確認すると、画面内の湖面のいたるところに鳥が乗っており、結氷しているかどうかの判別が難しい箇所にも鳥がいたことがわかりました。このことから、画像の範囲内の湖面は全て結氷していたと考えられます。

#### 3. 2. 氷紋の発達過程

湖水の穴や亀裂から湖水上の積雪に水が流出して湖水上の積雪に水がしみ込むことによって形成される種々の模様は氷紋と呼ばれます(東海林, 2014)。観測期間中も結氷初期に氷紋が発生しました。

全面結氷日である2021年12月20日夜から21日朝にかけて



図3 インターバルカメラによる写真。図3-1, 3, 5は博物館のカメラ、図3-2, 4, 6, 7, 8, 9は湖岸のカメラで撮影した。

降雪があり、湖面は積雪で覆われました。図3-7、3-8に12月21、22日の画像を示します。21日8:00まで湖面が積雪で白くなった状況が続きますが、21日の8:15以降、湖面の一部に氷紋が形成され始めます。図3-7から図3-8への変化からわかるように、氷紋は時間の経過とともに徐々に大きくなりました。その後、湖面は積雪に覆われては氷紋が再発生することを繰り返しました。

図3-9に示す12月24日の画像には湖を横断する線状の模様が見えます。これは湖水に亀裂が発生し、その部分から湖水が湖面に流出して形成されたと考えられます。氷の亀裂は気温の寒暖差によって発生します(東海林, 2021)。

### 3. 3. 解氷過程

図5に2022年4月6日の画像を示します。気温の上昇によって融解が進むことで氷は徐々に薄くなり、図4に示すように細かく割れることで一気に融解が進みます。これらの氷は海で見られる流水のように時間の経過とともに流動していることがわかりました。4月6日10:30には撮影範囲の水がすべて割れて流動できる状態になり、4月7日の夕方には湖面全体から氷がなくなりました。4月7日は釧路市立博物館の観測でも全面解氷日と記録されています。

### 3. 4. 人工衛星画像との比較

図6に2021年12月20日のSentinel-1による人工衛星画像を示します。現地で撮影したインターバルカメラ画像からわかる結氷状況を人工衛星画像ではどの程度観察することができるのかを調べました。12月20日は全面結氷日なので実際には湖面全体が結氷していますが、衛星画像の黒い部分が透明な氷の結氷面なのか開水面なのかを区別することはできません。一方、湖の北部と南端部には白い部分があります。これは乾いた積雪よりも色が暗いため、降雪に水がしみ込んだスラッシュか、スラッシュが凍結した雪ごおりだと考えられます。湖の北部には白い部分が広く分布している一方、湖南部の白い部分は小さいことがわかります。通常、開水面に落ちた降雪粒子は融解して水になるため、白い部分は降雪時に湖面が開水面ではなく結氷面だったと考えられます。インターバルカメラに写った降雪粒子と釧路地方気象台の気象データから、17日の朝と夜にそれぞれ降雪があったことがわかりました。

つまり、17日の夜以前に図6の白い湖面は結氷しており、湖の北側が南側より早く結氷していたことが推定できます。渡辺(1955)と山代(2014)は、例年、春採湖の結氷が湖の北側から始まることを報告していることから、2021/22年の結氷過程は北側から結氷するという点で例年と同様だったと考えられます。

## 4. まとめ

春採湖の結氷過程と解氷過程をインターバルカメラ画像と衛星画像を用いて調べることで、2021/22年冬季の結氷過程、氷紋の形成過程、解氷過程がわかりました。

結氷期の春採湖には冬独特の美しさがあります。春採湖の結氷という釧路市民の皆様にとっては身近な現象でも、詳しく調べてみると面白い点が多々あります。本報告の内容もご参考に冬の春採湖にもぜひ注目してみてください。



図4 2021年12月19日の鳥が乗った湖面。



図5 2022年4月6日の湖面。

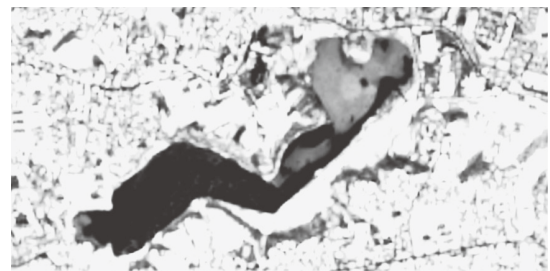


図6 2021年12月20日のSentinel-2による人工衛星画像 (Copernicus Sentinel data 2022 processed by Sentinel Hub)

## 謝辞

春採湖の結氷に関するデータは釧路市立博物館の学芸員の皆様(山代淳一氏、野本和宏氏、貞國利夫氏、加藤ゆき恵氏)が観測したデータです。インターバルカメラの設置について釧路市立博物館と釧路市都市整備部公園緑地課から許可をいただきました。記して感謝いたします。

## 参考文献

- 東海林明雄(2021): 御神渡りの発生と成長発達について. 雪氷, 83(4), 403-296.
- 東海林明雄(2014): 結氷した湖面などに形成される氷紋: 放射状氷紋, 同心円氷紋, 懸濁氷紋の生成過程. 雪氷, 76(5), 355-363.
- 渡辺善八(1955): 冬の春採湖について(研究発表). 博物館新聞, 釧路市立博物館, 37, 98.
- 山代淳一(2014): 春採湖と30年. 釧路市立博物館館報, 414, 11.
- 牛塚貴博, 亀田貴雄, 吉川泰弘, 野本和宏, 貞國利夫, 加藤ゆき恵, 山代淳一(2021): 北海道釧路市の春採湖の結氷と気象データの関係. 雪氷研究大会(2021・千葉-オンライン)講演要旨集, 131.