

北海道大津海岸に打ち上げられた ジュエリーアイスの出現現象に関する現地観測

Field observation of Jewelry ice appearance phenomenon on the Otsu coast in Hokkaido

北見工業大学 ○正員 松浦悠 (Yu Matsuura)
北見工業大学 正員 吉川泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)
福田水文センター 非会員 芳賀聖一 (Seiiti Haga)

1. はじめに

冬期に北海道十勝川河口の大津海岸に打ち上げられる光の反射によって様々な色に輝く無数の氷の塊「ジュエリーアイス」が2012年に十勝毎日新聞で紹介されると、インターネット等のメディアを通じて全国的に注目されるようになり、道内はもとより道外から観光客が大津海岸へ足を運ぶようになった。なお、「ジュエリーアイス」とは、大津海岸がある十勝管内豊頃町出身の写真家が2012年に名付けた言葉である。

大津海岸がある豊頃町では、「ジュエリーアイス」を貴重な観光資源として捉え、2015年からインターネット上でジュエリーアイスの出現情報²⁾を発信しており、年々、日本国内だけでなく海外³⁾からも注目されるようになってきている。一方で、ジュエリーアイスが見られる時期について、豊頃町役場への問い合わせが増えているが、現在、出現現象が十分には解明されていないため、大津海岸に直接足を運び目視によりジュエリーアイスの有無を確認しているのが現状である。

ジュエリーアイスに関する研究は、災害や防災の観点からみると無害であるため従来では社会的要請が低く、研究が実施されてこなかった。2016年3月に策定された第8期北海道総合開発計画⁴⁾では、新たに「食」と「観光」が戦略的産業として位置付けられている。このような状況の中、近年、ジュエリーアイスが観光資源として注目されるようになると、地域ではその出現メカニズムに関する知見を得て、ジュエリーアイスの出現時期を推定する手法の開発が望まれるようになった。

本研究は、ジュエリーアイスに関する基礎的な知見を得て観光資源としての価値を高めるために、出現時期を推定する手法を開発することの第一歩として、現地観測を実施して、ジュエリーアイスの形成とその出現メカニズムの解明を試みた。

2. 現地観測

ジュエリーアイスの出現現象をとらえるために、定点カメラの設置、水位計測、浮子による漂流物の流下調査、大津海岸に堆積した氷の調査を実施した。

2.1 定点カメラ

十勝川と大津海岸周辺において、氷の挙動をとらえる

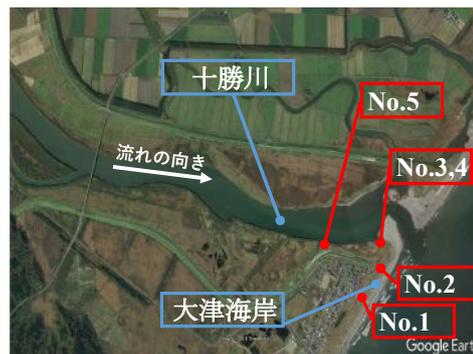


図-1 定点カメラの設置位置図



図-2 十勝川上流に向けたカメラ画像 (No.5)

ために定点カメラ (HYKE カメラ SP2, 株式会社ハイク社製) を設置した。観測期間は、期間①2017年度: 2017年12月11日~2018年3月16日と、期間②2018年度: 2018年12月16日~2018年3月14日とした。設置場所は、大津海岸及び十勝川において図-1に示す5台 (No.1, 2, 3, 4, 5) を4か所の場所に設置した。No.1, 2は大津海岸に向けて設置し、No.3, 4は十勝川河口周辺に向けて設置し、No.5は十勝川上流に向けて設置した。定点カメラの設定は10分毎に動画と静止画を撮影する設定とした。なお、No.5のみIPカメラを用いた。撮影した画像を1時間毎に目視観測を実施した。図-2に示すNo.5については、期間①と期間②ともに機器設置から3月まで全面的に結氷していたため目視観測は実施していない。なお、期間①のNo.5は、河氷が解氷する3月12日以降までは、水位変動による河氷の上昇と下降が確認されている。

十勝川河口周辺に向けたNo.3, 4では、流下している

河水を対象として、氷の流れ方向と1時間毎の画像に占める氷の割合を-6から6までの範囲で判定した。プラスマイナスは流れの向きを表し、プラスの場合は海へと流れ、マイナスの場合は川の上流へと流れる。画像の面積に対して氷の面積が多く占める場合は6と判定した。なお、個々の氷の大きさは考慮していない。一例を図-3に示す。期間①2017年度において、結氷と水面の境界部はNo.4で確認されたため、河氷の破壊と流下をNo.4で目視観測し、その下流のNo.3では流下を目視観測した。2月に十勝川の結氷範囲は最大となり、結氷と水面の境界部はNo.3で確認され、この箇所で潮汐による破壊が確認された。期間②2018年度において、No.4では観測開始時から全面結氷していた。結氷と水面の境界部はNo.3で確認された。河氷の破壊と流下はNo.3で確認されたが、期間①に比べて、その回数は少ない結果であった。結氷範囲が最大となったのは2月であり、その範囲は期間①に比べて河口に近い状況であった。期間②は期間①に比べて結氷する範囲が広い結果であった。

大津海岸に向けたNo.1, 2では、堆積した氷(ジュエリーアイス)を対象として、輸送方向と1時間毎の画像に占める氷の割合を-9から9までの範囲で判定した。プラスマイナスは輸送の向きを表し、プラスの場合は海から海岸へ輸送され、マイナスの場合は海岸から海へ輸送される。画像の面積に対して氷の面積が多く占める場合は9と判定した。なお、個々の氷の大きさは考慮していない。一例を図-4に示す。期間①2017年度において、No.2のカメラでは2017年内は氷の堆積がみられなかったが、年が明けて2018年に氷の体積がみられた。さらに、1月23日から1月24日、3月2日には多量の氷の堆積が確認された。期間②2018年度は、期間①に比べて氷の堆積が少なかった。No.1とNo.2の氷の堆積の割合を図-5, 6に示す。これら図より、河口に近い方が氷の堆積が多く確認されていることがわかる。

2.2 潮位と水位

現地観測により、十勝川 KP8.6 右岸(上流)と十勝川 KP2.4 右岸(下流)の2か所に水位計を設置して水位データを取得した。KPとは河口からの距離 km の値である。図-7に2018年1月の上流水位、下流水位、十勝予測潮位を示す。なお、上流水位は下げ潮により水位計が空気中に出現したため水位低下時のデータは欠測している。図-7から十勝川の水位は潮位と関係していることがわかる。

2.3 浮子, GPSによる観測

十勝川から浮子, GPSを投入し、大津海岸に堆積するかどうかの観測を実施した。2017年11月1日に十勝川河口橋から10個、十勝川河口から10個投入したところ十勝川河口橋から落とした1個が右岸側河口付近に流れ着いた。2017年12月11日に十勝川河口から10個投入したところ、8個が右岸の海岸に流れ着いた。さらに2018年1月15日にGPSを河口の中心付近から流して輸送経路を追跡した。GPS投入後に沖へ南東方向に流れて行き投入3時間後以降に追跡不可となった。大津海岸に



a)上流に向けたカメラ No.4 b)河口に向けたカメラ No.3
図-3 十勝川河口周辺に向けたカメラ画像
(氷の割合は3として判定)



a)河口に近いカメラ No.2 b)河口から離れたカメラ No.1
図-4 大津海岸に向けたカメラ画像
(氷の割合は6として判定)

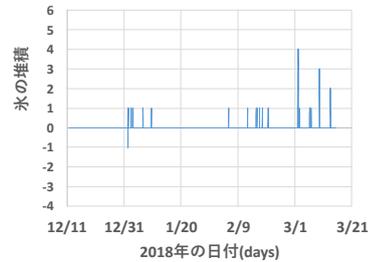


図-5 河口から離れたカメラ No.1の氷の堆積
(期間①2017年度)



図-6 河口に近いカメラ No.2の氷の堆積
(期間①2017年度)

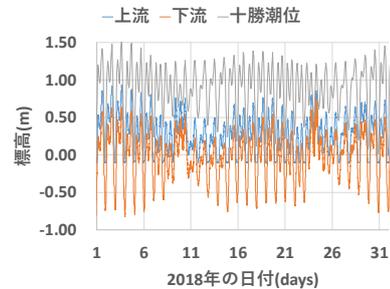


図-7 潮位と水位の時系列データ

海岸に流れ着く条件として、風向に着目し投入から3時間後までの10分ごとの風向の数の割合で整理すると、氷が堆積する条件として北からの風向が挙がった。

2.4 氷堆積調査

大津海岸に打ち上げられた氷を対象に、十勝川河口から汐見橋の区間において、約50m間隔でGPSにより氷の位置座標の計測とサイズの計測を実施した。図-8に期間①2017年度、期間②2018年度の氷の位置座標を示す。図から、期間②2018年度は期間①2017年度よりも堆積範囲が河口中心に移動している。図-9にUAVによる十勝川河口砂州の画像を示す。UAV撮影から河口砂州が発達していることがわかる。また、結氷範囲も河口砂州が発達したほうが結氷の先端が河口に近づく。氷の位置座標とUAV画像から、十勝川河口砂州の発達により、氷の堆積範囲が変化したことが推察される。氷のサイズ計測結果は、河口に近いほど大きなサイズの氷が堆積している結果であった。

本観測より、河口砂州の移動により氷の堆積範囲が移動し、河口砂州により河口が狭くなり潮汐の影響が小さくなるため十勝川河口の氷の形成と破壊に影響を与えている可能性が推察された。

3. ジュエリーアイスの出現現象の推定

大津海岸に堆積した氷、ジュエリーアイスの出現メカニズムを明らかにするために、現地観測結果を踏まえて、「形成」、「破壊」、「輸送」、「体積」の4つの現象に区分して検討を行った。

3.1 形成：

気象データから河氷厚を計算する次式を用いて、実測値と計算値の比較を行い、本式の適用性を検討した。対象地点は、十勝川河口から約20km地点の茂岩水位観測所である。

$$h_i = h'_i - \left(\frac{65.2}{10^5}\right) \alpha \frac{T_a}{h'_i} - \left(\frac{48.8}{10^2}\right) \beta^{4/5} T_w h_w^{1/3} \quad (1)$$

h_i [m]：河氷厚、 h'_i [m]： Δt 前の河氷厚、 T_a [°C]：気温、 T_w [°C]：水温、 h_w [m]：水深、 α 、 β は、地点固有の係数である。図-10に、茂岩水位観測所の河氷厚の実測値と計算値を示す。平均絶対誤差は6cmであった。本検討から、十勝川の河氷の厚さを気象データから推定可能であることが分かった。

3.2 破壊：

河氷の破壊は、十勝川 KP2.4 右岸の水位変動により氷に曲げ応力が働き破壊されると仮定した。図-7より十勝川水位と潮位は相関性が推察されるため水位のみで検討することとした。十勝川河口周辺に向けたカメラ No.3, 4において、水位変動と氷の流下状況、気温を期間①は図-11に期間②は図-12に示す。これらの図より、気温の上昇時に河氷が破壊されて流下していることが分かる。

表-1 浮子投入後の風速と堆積結果

期間	結果	北	北東	東	南東	南	南西	西	北西
2017年11月1日 11:30~14:30	1/10	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%
2017年12月11日 16:00~19:00	8/10	21%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	79%
2018年1月15日 14:00~17:00	0/10	0%	0%	0%	0%	74%	5%	0%	21%



図-8 大津海岸に堆積した氷の位置座標 (青色：2017年度，赤色：2018年度)



a)期間①2017年度(1/31) b)期間②2018年度(2/7)
図-9 十勝川河口砂州のUAV画像

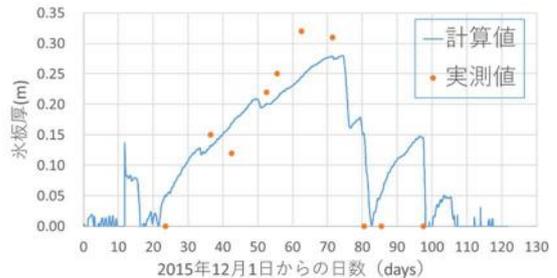


図-10 茂岩水位観測所の河氷厚の実測値と計算値

3.3 輸送：

大津海岸に向けたカメラ No.1, 2において、水位変動と氷の堆積を期間①は図-13に期間②は図-14に示す。

図-14において水位上昇時に氷が堆積している。図-12においても水位上昇時に河氷が破壊されている。一方で、図-14で新たな氷の堆積がみられない場合にも図-12では河氷は破壊されている。要因として、この期間は潮位が低いいため、十勝川から海への流れが速く、破壊された河氷が沖へと流れてしまうと推察できる。

図-13では水位の1つ目のピーク時に氷が堆積していない。要因として、風向が南向きの風が中心であったため十勝川左岸側へ輸送されてしまい、水位が上昇していても右岸側には堆積できなかったと推察できる。

3.4 堆積：

図-13, 14 から、水位が高いときに大津海岸に氷が堆積していることが分かる。図-14 から、水位は2つのピークを持ち、その後水位が低くなる。2つ目のピーク後の水位が低くなる場合は、破壊された氷は海岸に打ち上りにくくなると推察できる。水位が高い場合に氷は堆積しやすい。また、図-7から潮位が高いときに氷が堆積しているのが分かる。

4. まとめ

本観測により、ジュエリーアイスの出現減少として、潮汐変動の小さい小潮時において気温の低下により河水が形成される。潮位が上昇することで水位も上昇して河水が破壊される。このとき気温が高い方が破壊されやすい。破壊された河水は海域へと流れる。北風、東風が吹くことにより河水は大津海岸に近づく。潮位が高いときに河水は陸から離れずに堆積する。堆積した河水はジュエリーアイスとなる。という現象が推察された。

今回の現地観測から得たジュエリーアイスの出現現象のデータをもとに今後、ジュエリーアイス出現手法が開発されれば、発生メカニズムの学術的な解説や発生時期に関する質の高い情報が得られ、全国や世界から観光客が北海道に足を運びきっかけとなり、地域振興や地域産業の発展が期待できる。

謝辞：本研究は、WNI 気象文化創造センター「気象文化大賞」助成を受けて実施した。豊頃町の鏑木政洋様、越後秀顕様には現地状況に関する情報提供を頂いた。北海道開発局帯広開発建設部より資料提供のご協力を頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 北海道新聞, 2017年2月19日道東版
- 2) 豊頃町の新絶景ジュエリーアイス, <http://www.toyokoro.jp/jewelryice/> (閲覧日: 2019年12月5日)
- 3) The New York Times, Ice That Sparkles Like Diamonds Washes Onto Japanese Shores, <https://www.nytimes.com/2017/01/30/science/jewel-ice-tokachi-river-hokkaido-japan.html> (閲覧日: 2019年12月5日)
- 4) 国土交通省北海道開発局, 北海道総合開発計画について, <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ki/keikaku/u23dsn0000000fqs.html> (閲覧日: 2019年12月5日)

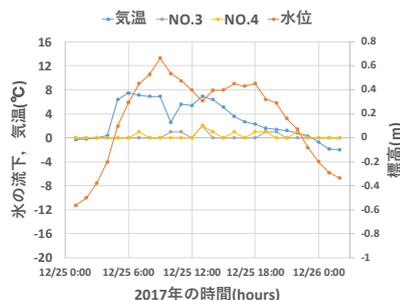


図-11 水位変動と氷の流下状況, 気温 (期間①2017年度)

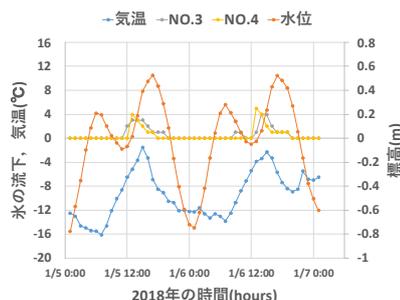


図-12 水位変動と氷の流下状況, 気温 (期間②2018年度)



図-13 水位変動と氷の堆積 (期間①2017年度)



図-14 水位変動と氷の堆積 (期間②2018年度)