# アンカーアイスの形成と剥離に関する現地観測

Field observation of anchor ice occurrence and disappearance

| 北見工業大学  | ○学生員 | 大村新也 (Shinya Omura)       |
|---------|------|---------------------------|
| 北見工業大学  | 正 員  | 吉川泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa) |
| 寒地土木研究所 | 正 員  | 横山洋 (Hiroshi Yokoyama)    |

### 1. はじめに

気温が零下となる寒冷地の河川では、アンカーアイス と呼ばれる氷が河床に形成される.治水面及び利水面で は、剥離したアンカーアイスが河道内で堆積して急激な 水位上昇を引き起こすアイスジャムや取水口に流入し取 水障害を引き起こすという課題がある.環境面では、無 脊椎動物や魚類の冬期の生息環境を変化させる.既往文 献<sup>1)</sup>では、アンカーアイスによって藻類が輸送される結 氷河川ならではの物質循環が推察されている.

アンカーアイスの形成について、平山らの既往研究<sup>2)</sup> では、流速と水深の条件が重要なパラメータであり、水 深は 0.3mから 0.4mが発生の限界、流速は 0.6m/sec から 0.8m/sec が限界の流速であることを明らかにしている. また、笹本らの既往研究<sup>3)</sup>によると、アンカーアイスが 形成されるフルード数は、0.2から1.2の範囲であること を明らかにしている.しかし一方で、実河川において、 アンカーアイスの形成を連続的に観測した研究や、アン カーアイスの剥離現象を観測した研究は、十分には実施 されていない.また、実河川において、アンカーアイス の形成メカニズムを定式的に検討した研究も十分には実 施されていない.

本研究では、アンカーアイスの形成と剥離の現象を明 らかにするために、過去3年間の現地観測データを用い て、現象の把握を試みた.

#### 2. 現地観測

過去3年間の現地観測は以下の期間と場所で実施した.

#### (1) 湧別川(H27年度)

2015 年 12 月から 2016 年 2 月の期間に、図-1 に示す 北海道紋別市湧別川の河口から 26.7 km(岩見橋下流,以 下 KP26.7)において現地観測を実施した.アンカーアイ スの形成,剥離タイミングの把握のために、カメラ撮影, 水位,水温,地温,水中照度,流速の観測を実施した.

地温(河床温度)の測定は、KP26.7 周辺において、 長径 340 mm,短径 190 mmの粗石を採取し、この粗石の中 心部に円径 40 mm,深さ 130 mmの穴を空けた.この穴に 温度計のセンサー部が粗石の内部となるように設置し、 設置後の穴はゴム栓にて密閉した.水中照度計は KP26.7 より約 4m下流に設置した.水位計,水温計,地 温計は KP26.7 より約 2m下流に設置した.流速計は KP26.7 より約 2m上流に設置した.また,各観測機器は



図-1 観測機器設置場所(湧別川)



図-2 観測機器設置場所(名寄川)

10 分インターバルに設定した.陸上カメラは,河川状況の変化を画像で把握するために,KP26.7 左岸高水敷に設置し,10 分インターバルに設定した.水中カメラは,アンカーアイスの形成と剥離現象を画像で把握するために,KP26.7より約5m上流に設置し,10分インターバルに設定した.

#### (2) 湧別川(H28年度)

2017年1月から2017年2月の期間に、図-1に示した H27年度湧別川の観測場所と同じ場所、同じ観測内容で 現地観測を実施した.だたし、流速については、H28年 度の計11回の流量観測の流速と水位の値を用いて、回 帰直線式を求めて.この回帰直線式に連続水位データを 入力して連続流速データを求めた.

## (3) 名寄川(H29年度)

2017 年 12 月 8 日から 2018 年 3 月 9 日の期間に、図-2 に示す北海道名寄市名寄川の河口から 17.6 km (矢文 橋,以下 KP17.6) において現地観測を実施した.

水位は,既存の上名寄水位観測所の観測データを用いた.流速は,マニング式を用いて求めた. KP17.6 地点に精密水温計,気温計,水中照度計,地温計を設置し,10分インターバルに設定した.なお,地温の観測方法



に関してはH27年度湧別川,H28年度湧別川の観測と 同等である.陸上カメラは、タイムラプスカメラを設置 し、10分インターバルに設定した.水中カメラは、タ イムラプスカメラを矢文橋上流に設置し、1分インター バルに設定した.

#### 3. 現地観測の結果

湧別川(H27年度)の観測結果を図-3に示し、湧別川 (H28年度)の観測結果を図-4に示し、名寄川(H29年 度)の観測結果を図-5に示す.なお、図の下段の「アン カーアイス形成」は、水中カメラ映像からアンカーアイ スが形成されている期間を表しており、「水中カメラ視 界不良」は、水中カメラ自体が氷で覆われて、画像が判 読できない期間を表している.

図-3,4,5 において、どの観測結果からも言えることは、 アンカーアイス形成時の条件として、気温、水温、地温、 水中照度が低下する夜間であることが挙げられる.アン カーアイス剥離時の条件として、気温、水温、地温、水 中照度が上昇する日中であることが挙げられる.

(1) アンカーアイスの形成

アンカーアイスの形成をより詳細に見るために,水中 カメラが氷に覆われておらず,アンカーアイスの形成と 剥離が画像で捉えられている期間を抽出した. 湧別川 (H27 年度)を図-6 に示し,湧別川(H28 年度)を図-7 に示し,名寄川(H29 年度)を図-8 に示す.

湧別川(H27 年度)の図-6より,日照が無くなり,水 温・地温が低下する夜間にアンカーアイスが度々形成さ れた.特に,図には示していないが気温が約-10℃以下 の条件で,水温が平均 0.04℃,地温が平均-0.005℃で形 成されている.また,大きな石の隙間や小さな石の表面 にアンカーアイスが形成され,流速が約 0.5 m<sup>3</sup>/s 以下に



なるとアンカーアイスがカメラを覆ってしまう. さらに, 1月8日12:00頃では、日射があるにも関わらず、アン カーアイスが形成されている. これは地温が低いまま推 移していることが要因と推測される. 一方で、湧別川 (H28年度)の図-7より、気温が約10℃以下で、地温 が高い場合には、アンカーアイスが形成されていない. 名寄川(H29年度)の図-8より、日射がない夜間にアン カーアイスが形成されている. 一方で、地温はプラスに なっており、湧別川における形成条件とは異なる. 水中 カメラ画像をみると、アンカーアイス形成箇所は、大き な石には形成されず、大きな石の隙間や小さな石の表面 に形成されている. 本観測では、大きな石の温度を測定





しており,これらの小さな石の温度は測定していないが, 本観測より,大きな石よりも小さな石の温度の方が低い と推測される.

過去3年間の現地観測の結果より、日射がある場合で も地温が低い場合にはアンカーアイスが形成されること から、地温の低下がアンカーアイスの形成に大きな影響 を与えていると推察される.

#### (2) アンカーアイスの剥離

湧別川(H27年度)の図-6より,日射があり地温,水 温が上昇する日中にアンカーアイスの剥離が起こること が分かる.特に,剥離時の地温は平均 0.033℃であった. 石の表面から剥離し,続いて石の隙間の剥離がみられた. また,1月8日12:00頃では日射があったにも関わらず アンカーアイスの剥離がみられなかった.これは地温が 低いまま推移していることが要因と推測される.湧別川 (H28年度)の図-7より,水中照度の上昇に加え,地温, 水温ともに上昇した時期に,アンカーアイスの剥離がみ

られる. 名寄川(H29年度)の図-8より,水中照度,地 温,水温が上昇する日中に,アンカーアイスの剥離がみ られる.

日照の上昇の影響を受けて地温が上昇し、アンカーア

イスが剥離したと推察される.また、日射の影響を受け て水温が上昇した場合でも地温の上昇がない場合は、ア ンカーアイスは剥離しない.剥離条件としても地温は重 要な値であることが分かった.

## 4. アンカーアイスの形成に関する考察

本現地観測結果から、アンカーアイスの形成には、水 中照度、地温、水温が影響を与えていることが分かった. ここでは、水中照度、地温を考慮していない次式に示す Shen<sup>4)</sup>らのアンカーアイス形成式を用いて、アンカーア イスの厚さを計算し、アンカーアイス形成に関する検討 を行った.

$$\frac{dh_a}{dt} = \frac{1}{1 - \lambda_a} \left( \bar{\gamma} C_v + \frac{\phi_{wi}}{\rho_i L_i} \right)$$
(1)  
$$\phi_{wi} = C_{wi} \frac{U_w^{0.8}}{h_w^{0.2}} (T_i - T_w)$$
(2)

 $h_a[m]: アンカーアイスの厚さ, <math>\bar{\gamma}[m/s]: \overline{\gamma}$ ンカーアイス の増加係数で,本計算モデルでは,簡便のため,上流か ら流下してくる流水中の晶氷がアンカーアイスとなる現 象は無視して 0 を与えた.  $C_v[$ 無次元]:流水中の晶氷濃度,  $C_{wi}[ws^{0.8}/\mathbb{C}m^{2.6}]:1622, U_w[m/s]:流速, h_w[m]:水深,$  $<math>\rho_i[kg/m]: N$ の密度であり-10 $\mathbb{C}$ の値<sup>5)</sup>の917.4,  $L_i[J/kg]: N$ の潜熱 3.336×10<sup>5</sup>,  $\lambda_a[$ 無次元]:晶氷の空隙率 0.4,  $U_w[m/s]: 断面平均流速, h_w[m]: 断面平均水深, T_i[\mathbb{C}]:$ 水の表面温度で 0.0 を与えた.  $T_w[^{\circ}C]:$ 水温. 本計算モデ ルでは,水温が 0 $\mathbb{C}$ よりも高い場合は,アンカーアイス は形成されないと仮定して $dh_a/dt = 0$ とした.

水温は次式の簡易水温計算式のより求めた.

$$T_{w} = \frac{T_{a}}{1+\gamma} + \frac{\gamma T_{w}}{1+\gamma}$$
(3)  
$$\gamma = \frac{h_{w} \rho_{w} C_{p}}{h_{wa} \Delta t}$$
(4)

 $T_a[\mathbb{C}]$ :気温,  $T_w[\mathbb{C}]$ :Δt前の水温,  $\Delta t[sec]$ :計算の時間ス テップ,本研究では10分を与えた.  $h_w[m]$ :水深,  $\rho_w[kg$ m]:水の密度で1000.0を与えた.  $C_p[J/(kg\mathbb{C})]$ :水の比熱で 4200.0 を与えた.  $h_{wa}[Wm\mathbb{C}]$ :大気と水との熱交換係数 で 20.0 を与えた.

アンカーアイスの計算結果を, 湧別川(H27 年度)を 図-9,12 に示し, 湧別川(H28 年度)を図-10,13 に示し, 名寄川(H29 年度)を図-11,14 に示す.

湧別川(H27 年度)の図-9,12 より、 $h_a/t$ の計算値は、 アンカーアイスの形成、剥離は概ね再現しているが、  $h_a$ の計算値では剥離を再現できていない、湧別川(H28 年度)の図-10,13 より、 $h_a/t$ の計算値、 $h_a$ の計算値とも にアンカーアイスの形成、剥離を再現できていない、名 寄川(H29 年度)の図-11,14 より、 $h_a/t$ の計算値は、ア ンカーアイスの形成、剥離を概ね再現できている。さら に、 $h_a$ の計算値もアンカーアイスの形成、剥離と一致 している。

本検討では、簡易水温計算式を用いて気温から水温を



図-11 アンガーティスの厚さの計算値 名寄川(H29 年度)の観測結果

求め、アンカーアイスの厚さを計算した. 観測値と一致 する河川と一致しない河川が現れる結果となった. 今後, 現地観測により明らかとなったアンカーアイスの形成と 剥離の現象で重要な地温を考慮することで、形成と剥離 の現象の再現性が高くなると推察できる.

## 5. まとめ

本研究により,以下の事が明らかとなった.アンカー アイスの形成時の条件として,水温,地温,水中照度が 低下する夜間であることが挙げられる.剥離時の条件と して,水温,地温,水中照度が上昇する日中であること が挙げられる.また,日射の影響を受けて水温が上昇し た場合でも,地温の上昇がない場合は剥離しない.

アンカーアイスの形成に関する計算式の検討を行った. 入力値は気温,水深,流速のみである. h<sub>a</sub>/tとh<sub>a</sub>の計算 値は,観測値と一致する河川としない河川が現れた.ア ンカーアイスの形成条件,剥離条件ともに水温と比べて 水中照度,地温も重要であることが現地観測と計算式か ら推察されているため,これらの値を計算式に組み込む ことで,アンカーアイスの形成と剥離現象を精度よく再 現できると推察される.

**謝辞**:本研究の現地観測は,福田水文センターのご協力を頂いた.記して謝意を表します.



# 参考文献

- 1) 橋場雅弘,吉川泰弘,伊藤丹,黒田保孝:アンカー アイスの平面分布と含有物質に関する現地観測,水 工学論文集,第58巻,pp.1279-1284,2014.
- 平山健一,佐藤志貴,寺田浩一郎,笹本誠,堺茂樹, 滝口大樹:アンカーアイスの発生に関する現地観測, 第12回寒地技術シンポジウム,pp.499-504, 1996.
- 3) 笹本誠,牛渡久雄,平山健一,劉暁東,寺田浩一郎, 斉藤智彦:流水中でのアンカーアイスの付着状況に 関する研究,第16回寒地技術シンポジウム,pp.74-80, 2000.
- Shen H.T., Wang D.S., Wasantha Lai A.M. : Numerical Simulation of River Ice Processes, Journal of Cold Regions Engineering, ASCE9(3), pp.107-118, 1995.
- 5) 雪と氷の事典, 日本雪氷学会, 朝倉書店, pp.91, pp.103-105, pp.241, 2002.
- 吉川泰弘,渡邊康玄,早川博,平井康幸:結氷河川 における解氷現象と実用的な氷板厚計算式の開発, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.1, pp.21-34, 2012.