

II - 2

晶氷発生における実験的研究

岩手大学 工学部 学生員 ○富田興・寺田浩一郎

正員 笹本誠・堺茂樹・平山健一

1. はじめに

雪氷域、中でも北海道の内陸部などの寒さの厳しい地域では冬季に河川の結氷がみられる。河川水温は、9月中旬頃から徐々に下がり始め、12月中旬には結氷点に近づく。また結氷河川では気温の低下に伴い、水温が0℃以下でも凍らず水の状態である過冷却状態になる。

この過冷却状態が破れるとアンカーアイスの形成やアイスジャムの発生の原因となる晶氷（フラジルアイス）が発生すると報告されている。この晶氷は流下するにつれて、互いに付着してフロック状となり、浮力を得て水面上昇していき、パンケーキアイスやフラジルスラッシュなどに発達する。そしてこれらは短期間の全面結氷やアイスダムによる流れの阻害、流積がせばめられることによる水位上昇の原因となることが報告されており晶氷の発生を予測し制御することは非常に重要な位置を占めている。

本研究では晶氷、アンカーアイスの発生予測の基礎資料とするため、冷凍庫内で人工的に晶氷を発生させその発生条件について水温、温度冷却速度、温度上昇速度等をパラメータとして導出することで未知な点が多い晶氷の形成メカニズムを把握することを目的としている。

2. 実験装置及び実験方法

実験は低温実験室（最低水温-20℃）を用いて行った。実験装置概観及びビーカ内の水の動きを図-1に示す。本年度は今まで実験してきた蒸留水のほか、冬期に観測を行っている北海道の天塩川水系仁宇布川の河川水、アンカーアイスが観測されたと報告されている岩手県の米代川水系米代川の河川水を用いることで蒸留水の実験結果が実際の河川結氷に適應できるかを検討するとともに2種類の河川水を用いる事で水質の相違が晶氷発生に影響するのかを調べた。水質については、化学分析を行っているが、濁度、溶解物質は結氷に影響を与えるものと推定される。これらを入れる容器には図-1のような1000ccの発泡スチロール製ビーカを用いた。ビーカ寸法は内径106.00mm、深さ151.00mmである。

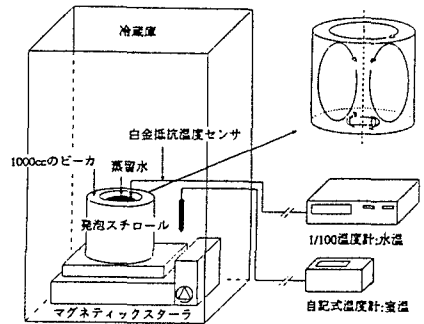


図-1 実験装置及びビーカ内の水の動き

容器には図-1のような1000ccの発泡スチロール製ビーカを用いた。ビーカ寸法は内径106.00mm、深さ151.00mmである。

ビーカ内の流れの発生にはマグネティックスターラを用いた。スターラの回転数は目盛り1が最小で目盛り10が最大である。目盛りの読みを流速に直すために各々の読みについて小型プロペラ式流速計でビーカの半径方向（半径5.3cm）について縁から中心に向かって1cmおきにデータを取り、容器内の平均流速を求め代表流速とした。温度の測定には白金抵抗温度センサを用い、室温は自記式温度記録計、水温は1/100℃温度計に接続して測定した。

本実験は、晶氷発生の過程、及び条件を調べるために流速、室温をパラメータにして水温の経時変化、水温冷却速度、水温上昇速度、最低水温を検討した。実験は冷凍庫内室温を-20℃、-10℃、-5℃スターラの回転数を2から9まで変化させている。晶氷の発生は目視によって確認した。

3. 実験結果及び考察

水が外気によって冷却されるとき水温の時間変化を図-2に示す。実線が晶氷発生時のもの、破線は

晶氷が発生しなかった時のものである。実線から晶氷の発生がみられるときには水温は低下して0℃に到達した後も過冷却状態でありさらに低下し、ある温度（最低水温）に達し、晶氷が発生するとその潜熱の放出により水温は急に上昇をし、0℃に漸近し安定水温に達していることがわかる。これは晶氷がビーカ全体にわたり瞬時に大量発生することによる潜熱の一斉放出による影響であると思われる。発生した晶氷は、浮遊したりビーカ縁部に付着し粗度を増加させ、氷板を張りやすい状態にする。晶氷発生後の水温が0℃付近に漸近するのは発生した晶氷により水表面に氷板が発達するが、結水面での熱損失とが平衡状態にあるためと思われる。一方、非発生時に水の過冷却は生じない。流水全体が過冷却する前に水面に結氷板が形成されるためである。

蒸留水と河川水の最低水温のヒストグラムを図-3に示す。ここで最低水温とは最大過冷却水温を表している。この図より蒸留水の方が過冷却の度合いが大きい傾向がみられる。これは晶氷の核となる河川水の濁度が過冷却を破れやすくしているためと考察される。

流速と水温冷却速度の関係を図-4に示す。ここで水温冷却速度とは水温の時間による低下の割合を表している。河川水も蒸留水も室内温度の低下、そして流速の増大に伴い水温冷却速度が増している。そのため水温の冷却は室温つまり外気と流速つまり乱れの強さに依存することがわかる。また河川水と蒸留水とでは蒸留水の方が冷却されやすい傾向がみられる。河川水の冷却においては明確な差はみられなかった。

晶氷の発生限界を図-5、6に示す。この実験結果からは晶氷の発生限界は蒸留水で0.18m/sec以上の流速。河川水では-5℃で0.18m/sec、-10℃で0.25m/sec、-20℃で0.33m/sec以上の流速が晶氷発生の遷移領域になるという結果が得られた。晶氷が発生しない場合は前述のように水表面の結氷により水温が0℃に漸近し過冷却がおこらなかった。河川水と蒸留水において発生限界に差がでるのは前述した蒸留水の方が冷却されやすいため過冷却が盛んに行われるためではないかと思う。

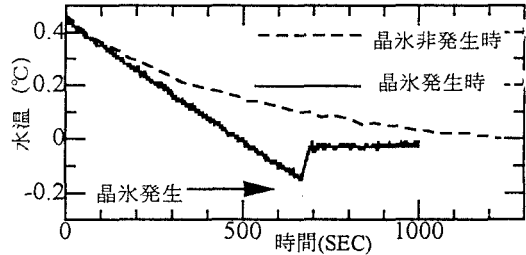


図-2 水温の経時変化

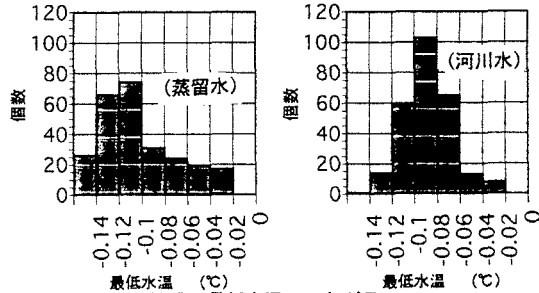


図-3 最低水温ヒストグラム

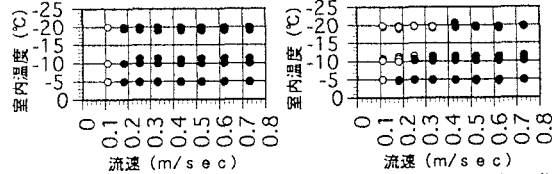


図-5 晶氷の発生限界(蒸留水) 図-6 晶氷の発生限界(河川水)

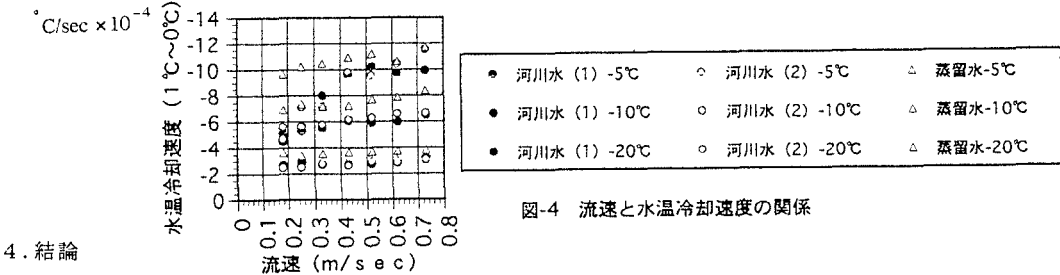


図-4 流速と水温冷却速度の関係

4. 結論

水温の冷却は蒸留水においても河川水においても外気と乱れに依存する
河川水より蒸留水の方が過冷却の度合、水温冷却の度合いが大きい