

過冷却海水の凍結実験と展示装置の開発

Experiment on Freezing of Supercooling Sea Water and Development of the Apparatus for Display

平松和彦（福山市立大学），桑原尚司（北海道立オホーツク流水科学センター）
高橋修平（北見工業大学大学院），青田昌秋（北海道立オホーツク流水科学センター）
Kazuhiko Hiramatsu, Takashi Kuwahara, Shuhei Takahashi, Masaaki Aota

1. はじめに

過冷却水の凍結実験はこれまで低温室内における演示実験として行われてきたほか、教育の現場でも試験管と寒剤を使う方法でしばしば実施されてきた。この実験は純水や水道水のみならず、紅茶や炭酸水などを使うこともできる。（写真－1）

海水を使って行くと海氷（流氷）の発生を再現する実験となる。食塩と氷で仕込んだ -8°C 前後の寒剤に、海水を入れた試験管を数分間冷却し、氷片を落とすと、海水が凍る瞬間を観察できる。（写真－1）

一方、オホーツク流水科学センターには -20°C の低温室が設置されており、ここがかつて透明水槽に海水を入れ、冷却していく過程で氷晶が生まれてくる瞬間を観察する実験が、子ども対象の「科学実験教室」において実施されていた。

前述の試験管を使う教室実験と低温室での実験を応用発展させて、海水の凍結過程を常温の室内で観察できる展示装置を開発したので、本稿ではその経過を報告する。



写真－1

2. 小型水槽を使用した実験

試験管を使った実験を追試する一方で、市販の亚克力製水槽（ $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ ）に海水を入れて、スターリングエンジンを装備したクーラーで冷却して氷晶を発生させる実験も繰り返した。その結果、震動がない状態で海水は融点以下、 -10°C 前後までは容易に過冷却が保たれることが判明した。過冷却度が小さいほど氷晶の成長速度は遅いので、観察者は長く観察を楽しむことができる。約 -5°C 以下まで冷却した場合は、急速に樹枝状結晶が広がり、これも教育実験としての活用できる。

3. 展示装置の原理と構造

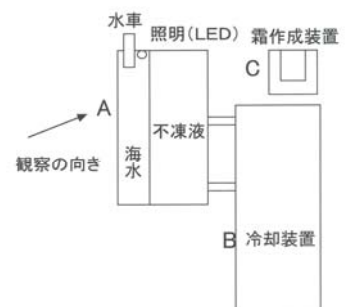
2.1 装置の原理

この装置では低温恒温水（不凍液）循環機で水槽内の海水を冷却し、温度制御することによって、過冷却状態を維持し、観察時に別途準備しておいた霜もしくは氷片を水槽内に落とすことによって過冷却をやぶるきっかけをつくる。その後海水中に氷晶が生成し、2～3分程度をかけて、成長していく。

2.2 装置の構造

本体は海水を入れる亚克力水槽およびその背面の冷却液を入れる水槽（A）、低温恒温水循環機（B）、およびスターリングエンジン搭載の小型冷却機と加湿器からなる霜生成装置（C）の3つの部分からなる。

2.3 海水の冷却方法 海水を亚克力製水槽（ $20\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ ）に入れ、背面と側面からエチレングリコールの不凍液を循環させることで冷却し、海水を -1.8°C 以下



図－1

の過冷却状態において、発生の準備をする。いったん氷晶を発生させた後は、 $+1.0^{\circ}\text{C}$ に設定した不凍液の循環によって氷を完全に融解し、完全に結晶が無くなった後、再び冷却する。

2.4 凍結のきっかけ

装置の天板に附置した霜作成装置から、解説者もしくは観察者自らが霜結晶を取り出して手動で海水面に落下させる。結晶成長のきっかけ作りについては、展示に参加性をもたせるためにも、観察者自身による操作が加わった方が良いと判断したためである。

2.5 観察のための工夫

氷晶が成長していく様子をできるだけ長時間見てもらうために8羽のついた水車を回して強制的に対流を起こす。また、これによって水槽内の温度がほぼ均一になる。観察する面には真空2重ガラスを張り付けて、曇らないよう工夫した。 写真－2



4. 装置の試運転

不凍液の温度を -10°C に設定して循環させ、どのタイミングで氷片を落とすとゆっくりとした成長を見られるかを知るために、海水温度を計測しながら実験を行った。試運転では、さまざまな過冷却温度で氷晶発生を再現すると同時に、融解のためには不凍液を何 $^{\circ}\text{C}$ に設定するのが最適か調べるために実験を行った。

5. 結果

-2.0°C ～ -5.0°C の間で、霜を落として生成を促す実験を行った結果、瞬間的に大きな結晶が成長するのを見せるには過冷却度の大きい -5.0°C 以下、またゆっくりとした成長を見せるには融点に近い -2.0°C 前後が適当であることが判明した。一度凍結した海水は $+1.0^{\circ}\text{C}$ の不凍液で融解したあと再冷却する。その所要時間から見積もると、約40分に1回、開館時間に10回程度は実験を再現できることが分かった。

この装置の完成によって、常温の展示室で氷晶の生成過程を観察できることになった。今回の開発では、過去の経験をもとに冷却方法や最適温度の設定などについて検討を加えた上で、現時点では最良と考えられる方法を採用した。この展示は本年8月から公開される。



写真－3

謝辞 低温室における予備実験では紋別市の小番宗幸氏、藤田雅弘氏による協力を得た。また富山大学の島田亙博士からは貴重なご教示を得た。ここで深く感謝の意を表したい。なおこの研究には日本財団からの助成金の一部を使用した。

参考文献

前野紀一・平松和彦,1999:一瞬で氷をつくる?。月刊化学, 54, 化学同人

平松和彦,2008:過冷却水の凍結実験。RikaTan (『理科の探検』), 2月号, 7-9, 星の環会