

木村賢人・吉村妃里・白井良直・恵美竜太・佐藤恭祐（帯畜大）  
岩間裕樹（北大農院）

## 1. はじめに

北海道では雪氷・凍土が持つ冷熱エネルギーの効率よい利用システムが検討され、現在各地で実用化に向けた実証実験が行われている。その一例として、自然氷を利用したアイスシェルターシステム（以下、アイスシェルター）がある。アイスシェルターで使用される自然氷は、貯氷室と呼ばれる部屋で製造と保管が行われる。これによって貯氷室内は一年を通じて低温、さらに水由来の低温空気であるため高湿度環境となる。この空気を隣接する部屋に送風することで、ほとんど電力を使用することなく安定的な低温環境が創出できる。また、この室内環境は農産物の長期貯蔵に最適であるため、農産物貯蔵庫への利用が特に期待されている。しかし、このシステムを利用するためには、冬期の自然冷気のみで計画量の氷を効率よく製造できる技術の確立が必要である。

本研究は、この問題を解決するための基礎資料を得ることを目的に、貯氷室内の製氷環境について検討した。そのため、貯氷室で温度と風速の多点観測を行った。その結果から、貯氷室内の温度と風速分布を明らかにし、さらに製氷の効率性に影響を与える冷気の流れについて考察した。

## 2. 研究方法

### 2.1. 施設の概要

観測対象の貯蔵庫は北海道清水町にある。貯蔵庫の大きさは  $12.6\text{m} \times 63.0\text{m} \times 4.9\text{m}$  で、貯蔵室と貯氷室に加え、作業室など5つの部屋からなる。図1は、貯蔵室と貯氷室の平面図である。貯氷室には  $1.0\text{m} \times 1.7\text{m} \times 0.65\text{m}$ （縦×横×高さ）の大きさのタンクが3～5段積み重ねた状態で123個ある。さらに、高さ約4.0mの位置に7つの通気口を設置した。冬期は貯氷室内に自然冷気を導入するため、北側と西側および東側の通気口を解放した。自然冷気は、ファンのある北側の2つの通気口から強制的に導入され、西側および東側の通気口から排気された。なお、各通気口は外気温が  $0^\circ\text{C}$  以上になると自動的に閉められ、北側のファンも停止するように制御された。

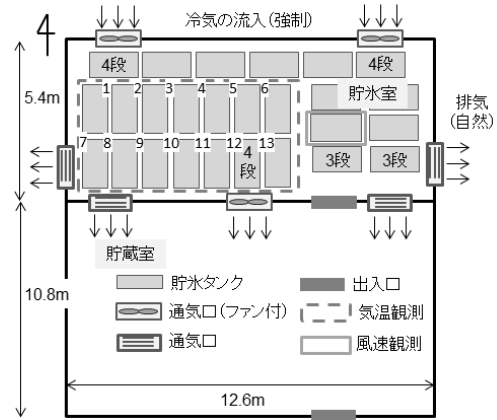


図1. 貯氷室と貯蔵室の概要図。なお、点線と実線の四角で囲まれた場所で、温度と風速をそれぞれ観測した。

### 2.2. 観測方法

貯氷室内の温度観測と風速観測は、2011年12月から貯氷室において、図1内の点線と実線で囲まれた場所でそれぞれ行った。温度観測は地点1～13の貯氷タンク側面に、それぞれ床から0.35m、2.05m、3.80mの位置に1点ずつ温度計（T型熱電対）を設置し行った。一方、風速観測は5段に積み重ねられた各貯氷タンクの上面（水面）中央部に風量計（D6F-W01A1、オムロン社）を一つずつ設置し行った。なお、温度と風速の測定間隔は、それぞれ1分と1秒とした。

## 3. 結果と考察

### 3.1. 貯氷室内の温度分布

図2は、図1に示す地点1、4、6において、12月1日から3月31日までに観測された  $0^\circ\text{C}$  未満の気温の積算過程をそれぞれ示したものである。図に示すように、  $0^\circ\text{C}$  未満の気温の積算過程は、地点や高さによって異なっていた。すなわち、観測期間中の貯氷室内の温度分布は一様ではなく、水平および鉛直方向において不均一であった。

また、地点ごとに積算過程の推移を見ると、大きく3つのパターンに分けることができる。すなわち、北側のファンからの冷気を直接受ける地点（地点1、

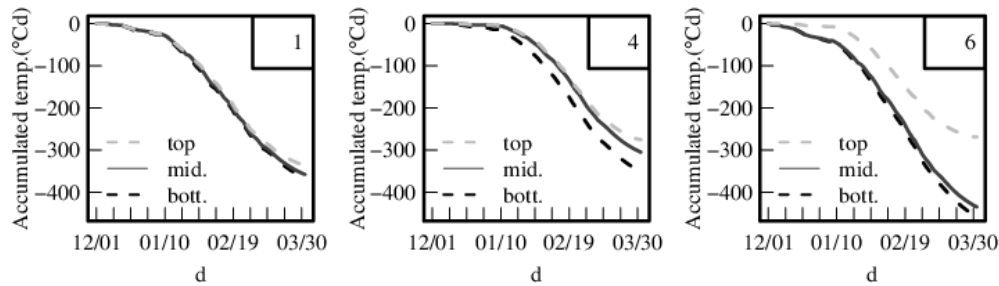


図2. 図1内の地点1、4、6の各高さにおいて観測された気温のうち0°C未満となった値のみを積算し、その推移を示したもの。グラフ内の右上の番号は、図1内の地点1、4、6に対応する。

2、7、8) 逆に冷気の影響を直接受けにくい地点(地点3、4、5、9、10、11) その他の地点(地点6、12、13)である。冷気の影響を直接受ける地点では、通気口から導入された冷気が各高さの貯氷タンク周辺に流入したため、高さの違いによる積算温度の違いはほとんどなかった。一方、冷気の影響を受けにくい地点では、下部に冷気が滞留し、これによって下段の製氷が他の地点により効率よく行われたと考えられる。さらに、製氷に伴って放出される潜熱が上昇流となり、中、上段を気温の低下を抑えるため、高さの違いによる積算温度の差が顕著になった。その他の地点については、明確に分類できなかった。ただし、西側に広く空いたスペースがあるため、これが冷気の流れに影響したと考えられる。

### 3.2. 貯氷室内の風速分布

表1は、5つの貯氷タンク上面中央部で観測した風速を相対度数で示したものである。表に示すように最上段の貯氷タンク上面では、風速は弱いものの、風による冷気の流れが観測された。一方、その他の4つの貯氷タンク上面においては、風速がほとんど観測されなかった。そのため、風による冷気の流れ

がほとんどなかったと考えられる。このことから、貯氷タンクが積み重ねられ、さらにタンク同士が隣接しあっている地点では、冷気が流れにくい環境にあることが明らかになった。

### 3.3. 貯氷室内に導入された冷気の流れ

貯氷室内で行った気温および風速観測の結果、それぞれが地点や高さによって異なる分布を示すことがわかった(図2、表1)。これらの観測結果から貯氷室内の冷気の流れについて示したのが図3である。図に示すように、風速観測の結果から貯氷タンクが室内に密に設置されたため、最上段の貯氷タンク上面以外は、風による冷気の流れがほとんどなかった。一方、気温観測の結果から、通気口から導入される冷気は、下方に滞留することがわかった。これによって水の凍結が促された。さらに、放出される潜熱が上昇流となり中、上段の気温の低下を抑えられたと思われる。これによって、室内の温度分布を複雑になった。以上のことから、貯氷室の設計においては風速や気温の複雑な分布を考慮した設計が求められる。

表1. 各貯氷タンク上面中央部で観測された風速の相対度数

	5(最上段)	4	3	2	1(最下段)
	%	%	%	%	%
0≤w<0.1	56.69	99.85	99.86	100	99.99
0.1≤w<0.2	22.48	0.15	0.14	0	0.01
0.2≤w<0.3	10.76	0	0	0	0
0.3≤w<0.4	5.52	0	0	0	0
0.4≤w<0.5	2.74	0	0	0	0
0.5≤w<0.6	1.18	0	0	0	0
0.6≤w<0.7	0.44	0	0	0	0
0.7≤w<0.8	0.14	0	0	0	0
0.8≤w<0.9	0.04	0	0	0	0
0.9≤w<1	0.01	0	0	0	0
合計	100	100	100	100	100

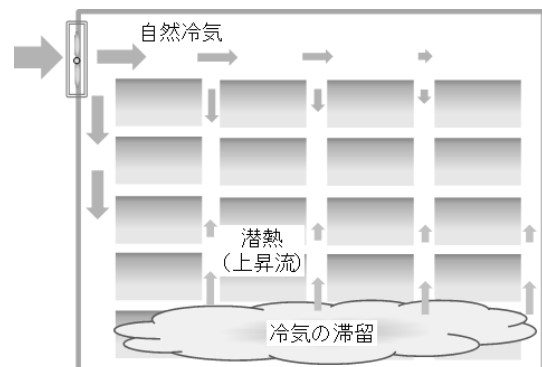


図3. 温度および風速観測の結果から考察した貯氷室内の冷気および潜熱の流れ