

冷熱エネルギー、氷を利用した アイスシェルター技術

北海道大学大学院農学研究科 教授

浦野 慎一

一、はじめに

北海道は日本で最も寒冷な地域であり、雪、氷、凍土、冷氣など寒冷気候によって作られる冷熱資源が豊富である。このような冷熱資源は人間生活にとって時にはマイナス要因として作用するが、冷熱を必要としている産業にとってはエネルギーコストを節約できる有力な自然資源になりうる。

一方北海道の農業事情を見ると、年間を通じて農作物の低温貯蔵が可能になれば、物資の流通変化に伴って経済が飛躍的に向上すると思われる例が数多くある。例えば、北海道の米(粳)は現在収穫後翌年の夏までしか貯蔵できず、夏を越えた貯蔵米は急速に味が落ちると言われている。ジャガイモも同様であり、夏までの出荷が限度となっている。これらは全て夏の低温貯蔵が困難であること、また可能であっても冷凍機等の設備投資やそのランニングコストが莫大で採算が取れないこと、などが原因である。

このような状況の中で、北海道の冷熱資源、つまり雪や氷を有効に利用して農産物の長期貯蔵を可能にしたい、と考えるのは自然な発想である。この考え方に基づき、一九八九年に愛別町で氷を利用したジャガイモ低温貯蔵庫、アイスシェルターが建設された。このアイスシェルター技術は直ちに中国で導入され、現在中国では数棟の大型農産物低温貯蔵庫が建設されて普及している。北海道ではなぜか普及が遅れたが、この技術はその後の実験等により、自然冷気を使った製氷技術の向上、貯氷タンクの改良など少しずつではあるが着実に進歩している。一方雪については、一九九五年に沼田町で雪を使った米穀低温貯



浦野 慎一 (うらの しんいち) さん

- 1948年 生まれ
- 1971年 北海道大学理学部地球物理学科卒業
- 1975年 北海道大学大学院農学研究科農業工学専攻修士課程修了
日本大学農獣医学部・助手
- 1979年 北海道大学大学院環境科学研究科・助手
- 1991年 三重大学生物資源学部・助教授
- 1995年 北海道大学農学部・助教授
- 1998年 北海道大学大学院農学研究科・教授
現在に至る

<現在の専門>

農業物理学、農業気象学、農業施設環境学、
生物環境物理学、水文気象学

留乾燥調整施設が建設された。この技術は「北海道ではじまもの扱いをされる雪の有効利用」ということで脚光を浴び、農産物の貯蔵のみならず一般の建物冷房にも利用されるようになってきた。さらに冬期にできる凍土についても、帯広畜産大学でその有効利用の研究が進められている。

このような北海道における冷熱資源の利用状況を背景に、通産省は雪や氷を「冷熱エネルギー」として認定する方針を固め、来年度（平成十四年度）から「冷熱エネルギー」を使った事業を補助金の対象にすべく法的整備を進めている。「冷熱エネルギー」の利用が補助金の対象となれば、農産物の貯蔵施設、マンションや病院等大型ビルの冷房施設などに自然の冷熱資源を導入しやすくなる。その場合、最終的には「質」の高い冷熱資源と「効率」の良い利用技術が求められるようになる。現在北海道では雪の利用が普及しているが、氷の利用についてはあまり知られていない。そこで本稿では、氷の利用に焦点をあて、氷を使ったアイスシエーター技術の概要を紹介する。

二、冷熱エネルギーとして氷を利用する利点

寒冷気候によって作り出される自然の冷熱資源には、冷氣、雪、氷、凍土などがある（表1参照）。このうち冷氣は直接利用できるが、その利用時期は冬期に限られる。これに対し雪、氷、凍土はそれ自体を直接利用するのではなく、それらが融解する時に熱（潜熱）を吸収する性質を利用し、周囲の空気を冷氣に変えてその冷氣を利用するという方法である。つまり、冬期の冷

表1 冷熱資源の種類とその特徴

冷熱エネルギー源	冷熱エネルギー物質 (冷熱資源)	利用方法
寒冷気候	冷気	直接利用
	雪	融解の潜熱を利用
	氷	凍結・融解の潜熱を利用
	凍土	融解の潜熱を利用

熱エネルギーを一旦蓄積し、それを温暖期に冷気に戻して利用するという図式である。したがって、冷熱を小容量でできるだけ多くかつ簡単に蓄積できる物質が冷熱資源として「質」が高いということになる。

ここで、雪、氷、凍土における単位容積当たりの冷熱蓄積量(以下「冷熱密度」と称す)を考えてみる。これらはすべて、その中に含まれている水の凍結潜熱を利用して冷熱の蓄積を行っているから、冷熱密度は含まれている水の量で決まる。雪、氷、凍土の中で水の密度が最も高いのは氷であり、したがって冷熱密度は氷が一番高い。ちなみに氷と雪はすべて水でできているが、氷の密度は水とほぼ同じ 1 t/m^3 であるのに対し、雪の密度は新雪で約 0.1 t/m^3 、除雪された雪が約 0.3 t/m^3 、圧密した雪でもせいぜい 0.5 t/m^3 である。また凍土は、飽和土壌の凍結を考えた場合でも凍土に含まれる水の密度は土壌成分があるため氷より小さい。以上より、冷熱資源としての「質」は氷が最も高いということになる。

また氷は、冷気を利用して製造できるため、冷熱を人為的に簡単に蓄積できる。したがって、一度融解させて利用した後の水を再び氷にして再利用することが可能である。つまり、最初に貯氷タンクに水を入れておけば、その水を出し入れすることなく、凍結させたり融解させたりするだけで半永久的に(数年に一度は蒸発した分の水の補給が必要であるが)冷熱の利用が可能になる。これは冷熱資源として氷を利用する大きなメリットである。凍土についても、冬期に強制的に土壌を凍結させる実験が行われているが、製造は氷の方がより簡単である。

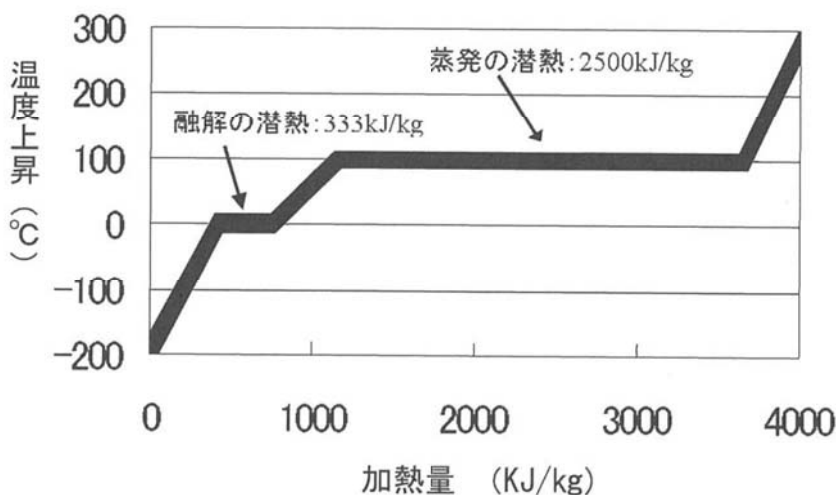


図1 水の相変化と潜熱

0℃で氷が融解するときと100℃で水が蒸発するときは加熱しても温度変化はしない。このように物質が相変化をするときに出入りする熱を潜熱という。

また雪は、除雪するしかない積雪を有効利用するというメリットはあるが、製造不可能であるため、利用するには毎年労力をかけて搬入しなければならないのが難点である。

氷の利用には、人為的に製造できるという利点に関連してもう一つ大きな利点がある。後で詳しく述べるが、氷は融解時に熱を奪って周囲の空気を低温にするという一般的な冷熱利用だけでなく、凍結過程で発生する潜熱で周囲の空気を暖めるといふ利用も可能なのである。これにより、貯氷タンク周辺の空気を夏期に冷却、冬期に暖房して一年中0℃にすることが可能になる。またその空気は水（または氷）と接しているため高湿である。その貯氷タンク周辺の高湿な0℃の空気を貯蔵庫に送り込むことにより、農産物の低温貯蔵にとって理想的な環境を創出することが可能になる。

三、アイスシエルトーの原理

(一) 潜熱とは？

今まで「潜熱」という言葉が何度か出てきたが、潜熱は冷熱エネルギーの利用にとって重要なキーワードであるため、少し詳しく説明しておく。

地球が他の惑星と異なる最大の特徴の一つとして、「水」の存在があげられる。もし水がなければ、地球は夏期には灼熱の大地になり、冬期は極寒になる。また昼夜の温度差も今よりはるかに大きくなる。実際に地球がそうならない理由は、地球の水

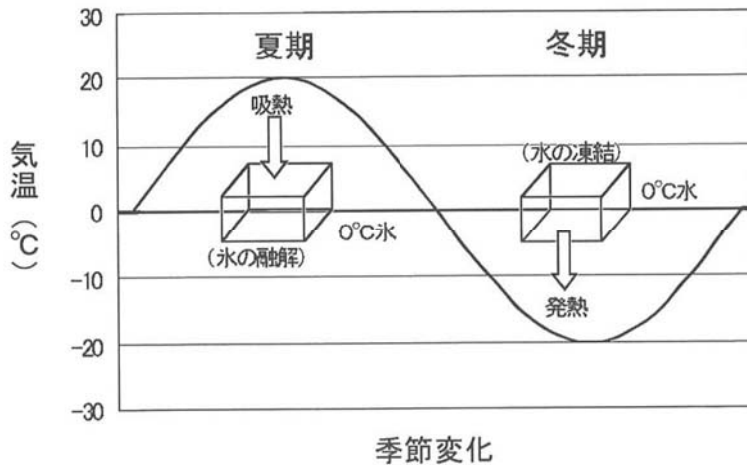


図2 アイスシェルターの原理

夏期は氷が融解するときに空気から融解の潜熱を吸収して周囲の空気を冷やす。また冬季は氷が凍る過程で潜熱を発生し周囲の空気を暖める。こうして1年中周囲の空気を0°Cに保つ。

が個体、液体、気体の状態で存在し、それらが状態変化するとき熱を発生したり吸収したりしているからである。物理学ではこのような物質の状態変化に伴って出入りする熱のことを、「潜熱」と称している。潜熱は物質の状態変化だけに関し、温度変化には関与しない熱である。温度変化に関与する熱、例えば水が1°C変化する時に入力する熱は「顕熱」と称している。

水が液体と気体の間で状態変化（蒸発および凝結）するときの潜熱は約二五〇〇kJ/kg（五九〇kcal/kg）、個体と液体の間で状態変化（凍結および融解）するときの潜熱は約三三五kJ/kg（八〇kcal/kg）である。後者（凍結・融解の潜熱）は前者より小さいが、氷、水、水蒸気が1°C温度変化する時の顕熱（比熱）がそれぞれ二・一一kJ/kg°C、四・一九kJ/kg°C、一・八五kJ/kg°Cであることを考えれば、その量ははるかに大きい。潜熱に関して重要なことは、潜熱を吸収または発生して状態変化している時、その物質の温度は変化しないという点である。したがって、氷が凍結する時も氷が融解する時も、水と氷の共存状態が保たれている場合は、その量の大小に関係なく水または氷の温度は常に0°Cで一定である。

(注) KJ: キロジュール

熱量、仕事、エネルギーの単位で1J=0.2399カロリー

(二) 水の凍結・融解の潜熱を利用するアイスシェルター

氷を利用した「アイスシェルター」は、夏には氷が融解する潜熱を、冬には氷が凍結する潜熱をうまく使って、一年中0°Cの



図3 1989年に愛別町に建設されたアイスシェルター
(貯氷量 160t、ジャガイモ貯蔵量 100t、床面積 253 m²)

空気を作り出すというのが基本的な原理である。つまり夏には、冬に凍結させた氷を融かして周囲の空気から熱を奪い、冬は逆に夏に融かした水を凍らせて周囲の空気に熱を与えるという方法で、氷と水の周辺の空気を常に0℃に保つ、という技術である。ここで重要な点は、貯氷タンクの氷は夏期の融解時も、冬期の凍結時も常に氷と水の共存状態を保っておくということ、つまり、氷を融解させる夏は全部を融解させず、また水を凍結させる冬も全部を凍結させず、その結果一年中氷と水の共存状態を保つ、ということである。そのためには、凍結・融解を行う水の量が適量でなければならない。

アイスシェルターにおける「適量の氷」とは、貯氷室の水が一年中氷と水の共存状態を保ち、常時0℃の空気を必要な空間（貯蔵室や冷房室）に送風できる量である。氷と氷が共存した状態では、どんなに氷が多くても、またどんなに氷が多くてもその温度は0℃であり、またその周囲の空気も0℃になる。その空気を貯蔵室に送ることによって、貯蔵庫内の空気を0℃に保つことができる。これがアイスシェルター技術の基本である。

アイスシェルターは、「エネルギーを使わず、氷を媒体に0℃の安定した冷気を作り出す装置」と考えることができる。これにより、寒冷な気候と必要量の氷があれば、氷の入れ替えなしに送風の電力だけで安定した0℃の貯蔵空間を作ることができる。

四、愛別町の事例ージャガイモ低温貯蔵庫ー

アイスシェルターの原型は、北海道大学農学部元教授・堂腰

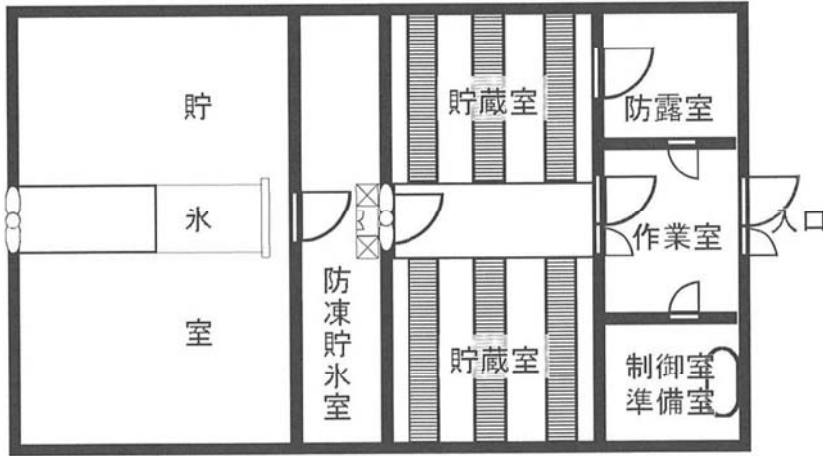


図4 アイスシエルトアの平面図
貯氷室、防凍貯氷室、貯蔵室、出荷調整室等からなる。

純氏の考案により一九八九年に愛別町に建設されたジャガイモ低温貯蔵庫である。

北海道におけるジャガイモ貯蔵の歴史を簡単に振り返ってみると、一九六〇年頃の貯蔵は、貯蔵庫内の結露、結露に伴うジャガイモの腐敗、温度管理不備による早期発芽など数多くの問題を抱えていた。そのような状況の中で堂腰純元教授は、建物の断熱施工と冷気の導入・送風を組み合わせさせた貯蔵庫を提案し、その貯蔵庫が一九六九年に京極町農協に導入された。これによりそれまでの問題点が改善され、良質なジャガイモ貯蔵が可能になった。しかしその貯蔵庫による貯蔵はせいぜい翌年の六月頃までが限度で、夏期の七、八月を超えて貯蔵するのは困難であった。これは自然の冷気を直接利用するという技術の、当然なる限界であった。そこで考案されたのがアイスシエルトア技術である。愛別町に導入されたアイスシエルトアは実験的要素が含まれており、無駄な設計や問題点もいくつかあるが、冷気という自然の冷熱資源をそのまま利用するのではなく、「氷を使って冷気を創造する」という技術的要素が加わったものであり、その価値は高い。

愛別町のアイスシエルトアは、約一六〇トンの氷で約一〇〇トンのジャガイモを貯蔵する低温貯蔵庫である。総床面積は二五三㎡で、野菜貯蔵室、貯氷室、防凍貯氷室、および出荷調整室からなり、そのうち貯氷室と防凍貯氷室で半分近い面積を占めている。

貯氷室には水が入った約一〇〇トンの農業用プラスチックコンテナ（貯氷タンク）が積み重ねて収納されており、この水が

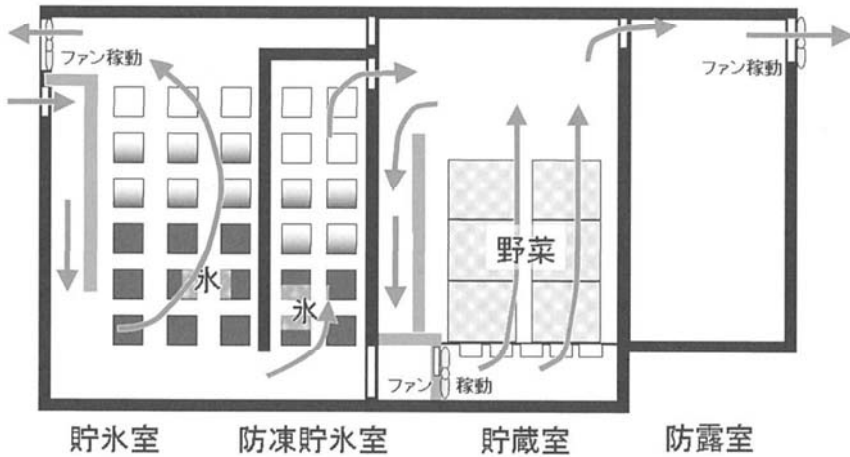


図5 外気が氷点下の場合における冬の空気循環

凍結・融解を繰り返すようになってくる。防凍貯氷室にも同様に貯氷タンクが収納されているが、この部屋の役割は、冬期に貯氷室の水が完全に凍った時でもここだけは水と氷の共存状態が維持できるように、技術的安全性を考慮したものである。貯氷室の上部には入気孔と排気孔が、また貯氷室と貯蔵室および貯氷室と防凍貯氷室の間には通気孔（上部と下部）が設けられている。貯蔵室の床はスノコになっており、貯氷室の空気が下部通気孔からスノコを通して農産物に送風される。また貯蔵室を通過した空気の一部が排気孔から排出され、残りの空気は上部通気孔から再び貯氷室（夏期）または防凍貯氷室（冬期）へ戻るようになってくる。空気の循環方法は夏期と冬期で異なり、また防凍貯氷室があるため複雑であるが、送風の要点は、貯氷室では貯氷コンテナの間隙を夏期は上から下へ、冬期は下から上へ空気を送ること、貯蔵室ではスノコを通じて下から上へ送風すること、夏期も冬期も外気の導入を怠らず最小限の換気を行うこと、の三点である。このアイスシエルターでは上記のような空気循環がサーモスタットを使って自動的に行われている。

愛別町ではアイスシエルター内外の気温・湿度を連続記録している。それによると貯氷室の温度は一年中 0°C であり、また貯蔵室は、外気がマイナス 2.5°C 以下の厳寒期でも 2°C 、 3.0°C 以上の真夏でも 3°C から 4°C に保たれている。貯蔵室の温度が 0°C より若干高めなのは、ジャガイモの呼吸熱と送風機モーターによる発熱が原因と考えられている。なお湿度は冬期が約 80% 、夏期が 95% 以上であり、冬期が若干低めではあるが

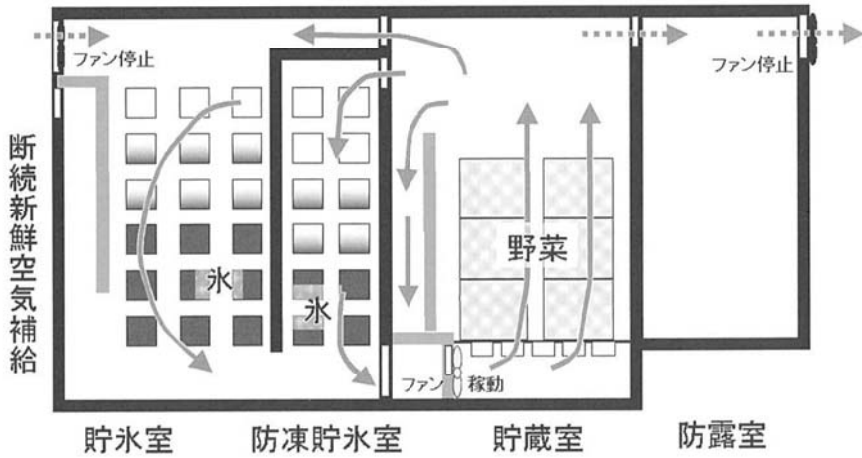


図6 外気が高温の場合における夏期の空気循環

農産物の貯蔵に必要な高湿が維持されている。

五、帯広の事例

―アイスシエルターを使った冷房実験―

アイスシエルターは氷の凍結と融解を利用するため、一年中稼働させて初めてその機能と利点が100%発揮される。しかしその利用範囲を広げるため、アイスシエルターを冷房に利用できないかという実験が、科学技術振興事業団の一九九九年度RSP事業補助金（研究成果育成型育成試験）を得て帯広で実施された。実験は、①まず貯氷専用のサイロ型円筒アイスシエルター（直径六・一m、高さ三・六m）を建設し、その中に貯氷タンク（二五〇^{リットル}のタンクを二〇〇個）を数センチの隙間を作って積み重ね、約四八^{リットル}の水を貯蔵する、②それを冬期にすべて凍結させ、冷房が必要な七月まで密閉して保存する、③七月中旬から八月末までの冷房時期に、アイスシエルターから〇℃の空気を取り出し、それを外気と混合させて室内に供給するという手順で行った。測定項目は、貯氷タンクの水温およびアイスシエルター内外の気温、混合空気の気温と冷房室内の気温分布、ファンの稼働時間と送風量などである。

二〇〇〇年二月五日に貯氷タンクに水を入れ、アイスシエルターの下部入気孔（四箇所）と上部排気孔（一個所）を開放して製氷を開始した結果、貯氷タンクの水は下部から凍り始め、二九日間で上部まで完全に凍結した。凍結期間の日平均外気温はマイナス五℃からマイナス一〇℃であったが、上部排気孔からは生暖かい空気が勢いよく排出されており、アイスシエル



アイスシェルター上部の排気孔（冬期の製氷時期に排気孔として使われ、その後は密閉される）



図7 2000年に帯広市に建設された冷房用アイスシェルター
(直径6.1m、高さ3.6m、貯氷量48t、壁の断熱材150mm)

ターの内部で凍結に伴う潜熱発生により自然対流が生じているのが確認された。これにより貯氷タンクをタワー型に積み重ねれば、強制送風することなく潜熱発生による自然対流で急速製氷が可能であることがわかった。農産物貯蔵庫では半年かけてゆっくり凍結させることが重要であるが、このような冷房目的のアイスシェルターでは急速製氷が必要になる。

三月中旬に入気孔と排気孔を全て密閉し、七月まで氷の保管を行った。アイスシェルターの壁は一五〇mm厚の発泡ポリスチレン断熱材が吹き付けられ、床も一〇〇mm厚の断熱材が使われていたが、それでも三月から七月までの氷の消耗は大きく、氷四八トのうち三分の一以上の潜熱が壁からの熱伝導で損失していた。

七月中旬から八月末まで二〇四㎡の室内を一日約三時間冷房した結果、冷房に使用した氷消費量は七・五トであった。これは総量のわずか一六％であり、このアイスシェルターではもつと大面積の室内の、あるいはもつと長期間の冷房が可能であることがわかった。またこの冷房では低湿度の空気が室内へ供給されるため、温度低下に加えてより快適な冷房効果が得られることがわかった。これは、アイスシェルターを通過して除湿された〇℃の絶対湿度の低い（相対湿度は高い）空気が外気との混合を経て室内へ供給される、換気冷房だからである。

この実験で行ったアイスシェルターによる換気冷房は、夏までの氷の貯蔵効率、建設費等の問題がクリアできれば、今後病院など空気の質が重視される公共施設の冷房に導入が可能と思われる。

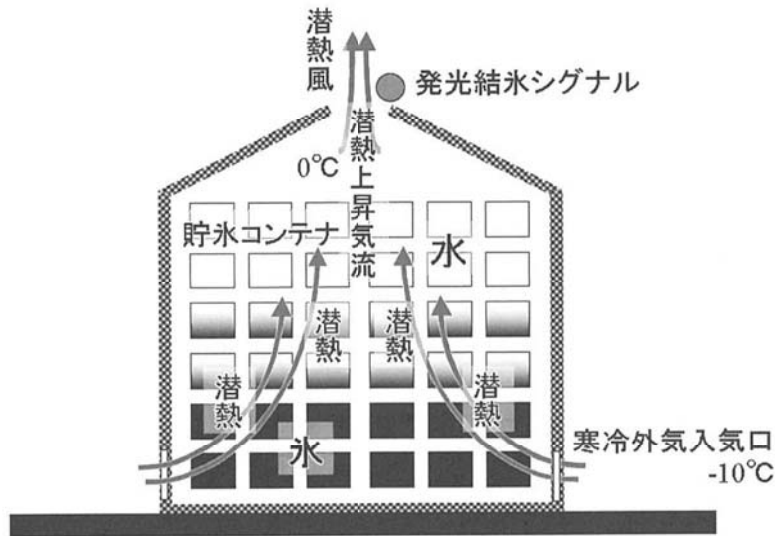


図8 アイスシェルターの製氷システム

貯水タンクの水が凍る時に凍結の潜熱を発生するため内部に自然対流が生じ、送風機なしに下部4箇所の入気孔から氷点下の冷気が入り、上部の排気孔からほぼ0°Cの空気が排出される。

六、アイスシェルター設計の要点

(一) 「適量の水」の計算

アイスシェルターの水(氷)量は、ひと夏で全部融けてしまわない量を基準にするとよい。つまり、農産物からの発熱量 Q_p 、貯蔵庫の壁から入ってくる熱量 Q_w 、送風によって氷が空気から吸収する熱量 Q_v (導入外気と庫内循環空気を0°Cに下げる熱量)を計算して必要な氷の量を求め、その量の水を貯蔵庫の貯氷室に入れればよい。

必要かつ適量の水(氷)の計算式は、

$$W = (Q_p + Q_w + Q_v) \times 24 \times D / \lambda \quad (1)$$

但し、 W : 水量 (kg)、 Q_p : 農産物の発熱量 (kJ/h)

Q_w : 壁からの熱流入 (= $A \times K \times \Delta T$) (kJ/h)

A : 壁面積 (m^2)、 K : 壁の熱貫流率 (kJ/ $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$)

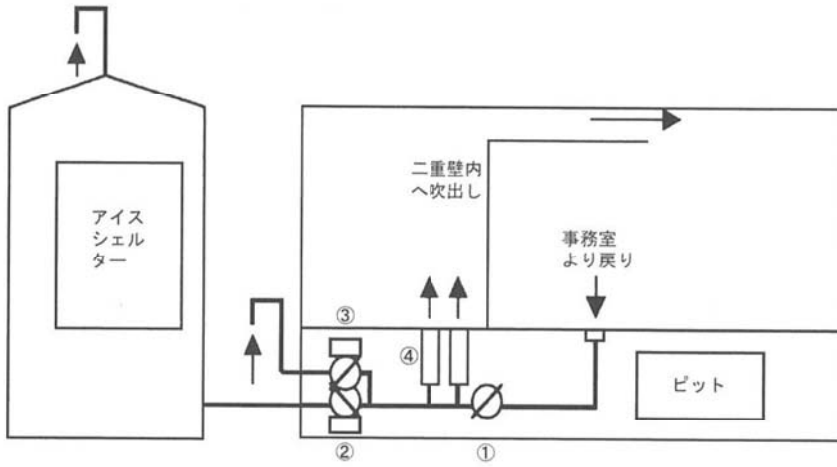
ΔT : 夏期の外気と庫内の平均温度差 ($^\circ C$)

Q_v : 送風による熱交換量 (kJ/h)

24 : 一日の時間 (h)、 D : 夏期の貯蔵日数

λ : 氷の融解潜熱 (= 335 kJ/kg)

となる。一例であるが、おおむねジャガイモ150kgの貯蔵庫(外壁面積約790 m^2)で約150kgの水(氷)になる。外壁面積のわずかな増加で貯蔵空間は倍になるから、この必要水量は単純に貯蔵量には比例しない。つまり、貯蔵庫の規模が大きくなればなるほど必要な水量は相対的に少なくて済む。したがって、アイスシェルターは規模が大きくなればなるほど氷の利用効率が高くなるというスケールメリットがある。



①風量調節派ダンパ、②③空気混合ダンパ、④ファン

図9 冷房実験の模式図

アイスシェルターから出てきた0℃の空気が外気と混合されて室内へ供給される。

(二) 貯氷タンク

水を貯氷室に隙間なく満杯にしてもアイスシェルターの機能は発揮されない。貯氷室の水は、冬期に冷気を通して凍りやすいこと、また夏期に高温空気を通して融けやすいことが肝要である。つまり、水（氷）と空気の熱交換が効率よくできる水の配置が必要である。そのためには、小型の平たい水槽を何枚も重ねて水と空気の接触面積を大きくする必要がある。現在アイスシェルターでは、約二五〇^{リットル}（二〇〇×七〇〇×二二〇^{mm}）のスチール製貯氷タンクに、凍結時の膨張を考慮して二〇〇^{リットル}から二四〇^{リットル}の水を入れて、それを積み重ねて貯氷している。この貯氷タンクに下から氷点下の空気を送風すれば、凍結時に発生する潜熱で自然対流が生じ、効率よく氷が作れることが帯広の冷房実験で確認されている。この貯氷タンクについては、材質、形状、価格、安全性、メンテナンス等の面でまだ検討すべき点が残されているが、徐々に改良されつつある。

(三) 送風の要点

農産物は生き物であるから貯蔵庫の中でも呼吸をしている。したがって呼吸量に相当する空気の供給、すなわち送風が必要である（概算でジャガイモの場合は毎分〇・五^{m³}/t、籾は毎分〇・一^{m³}/t）。但しその空気は必ずしも外気（新鮮空気）である必要はない。夏期に高温な外気を多量に送風すると氷は短時間で融けてしまう。したがって夏期の送風は、送風後の空気（貯蔵室を通過した空気、〇℃より若干高温）を全部排せせず、

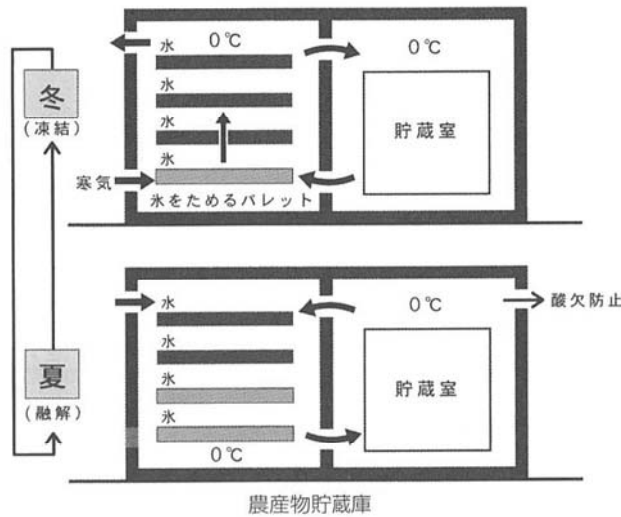


図10 アイスシェルターを使った農産物貯蔵庫の基本型
規模が大きくなれば貯氷室のスペースは相対的に小さくなる。

その大部分を再び貯氷室に戻し、その途中で若干の外気と混合させて貯氷空間を循環させ、その空気を再び0°Cにして貯蔵室に送風する、というシステムを作ることが肝要である。そうすれば、氷の融解を遅らせることができ、必要水量を少なくすることができ。

一方冬期は、呼吸のためだけでなく貯氷室の水を凍らせるため外気の導入が必要である。しかし大量に導入すると急速に凍結が進むため、やはり外気と循環空気の混合が必要である。初期のアイスシェルター(愛別町)は、効率よく凍結させることを第一に考えて積極的に外気を導入するシステムになっていた。それで、水の完全凍結を防ぐため、貯氷室と貯蔵室の間に水と氷を共存させる「防凍貯氷室」を設けていたが、空気の循環を適切に行えばこの「防凍貯氷室」の必要性はなくなる。

(四) 建物の断熱施工

アイスシェルターでは、水の潜熱の無駄な損失を防ぐため、建物からの熱損失(または受熱)をできるだけ少なくする必要がある。したがって、壁や床は断熱材を使って熱抵抗を大きくする必要がある。断熱が不十分だと、(1)式の熱貫流率Kが大きくなる(熱抵抗が小さくなる)ため Q_w が大きくなる。そうするとそれだけ氷の量も多く必要になる。また、壁や天井付近に温度むらができるため、貯蔵する農産物の品質にも影響する。またアイスシェルターは高湿の空気を貯蔵室に送っているため、冬期は天井・壁に結露が生じる危険性がある。このような事態を避けるため、建物は十分な断熱施工が必要である。

七、今後の方向—アイスシエルトーを使った

米(粃)の長期貯蔵—

氷を使ったアイスシエルトーは、建物の冷房など今後様々な方面での利用が考えられる。しかし、アイスシエルトーの特徴を最大限に生かした利用法は、農産物の長期貯蔵と思われる。

ここで、アイスシエルトーの特徴を整理すると次のようになる。ここで、アイスシエルトーの特徴を整理すると次のようになる。ここで、アイスシエルトーの特徴を整理すると次のようになる。

◆寒気候を利用して水を凍結・融解させるだけで、安定した0℃の冷気を一年中発生できる。冷凍機ではこのような安定冷気を発生することはできない。

◆発生する0℃の冷気は低温かつ高湿で、農産物の貯蔵に最適である。

◆使用エネルギーは送風機の僅かな電力だけであり、極めて省エネルギーである。

◆水の入れ替えなしに何年間も稼動する半永久システムであり、労力は不要である。

◆規模が大きくなればなるほど貯氷室の大きさは相対的に小さくてすむ。つまり、スケールメリットがあり、大規模施設に適している。

これらの特徴は、アイスシエルトーが農産物の長期貯蔵に極めて適していることを示している。ここではその一例として米(粃)を取り上げ、アイスシエルトーを米(粃)の長期貯蔵に利用するメリットを考えてみる。

現在の米(粃)貯蔵は、一五℃以下の温度で貯蔵されている。貯蔵温度は低温であるほどよいとされているが、冷凍機を使っ

た貯蔵でも夏期の温度は10℃前後が普通である。このような温度では貯蔵期間はせいぜい一、二年であり、四年、五年の期間を考えた長期貯蔵は困難である。米(粃)の長期貯蔵で重要なことは、貯蔵米の温度を出来るだけ低温に、かつ一定に保つことである。どの程度の低温で長期貯蔵が可能か、という点についてはまだ正確な答えは出ていないが、0℃で貯蔵できれば食味を落とさずに長期貯蔵ができる、というのが現在の一般的な見解である。アイスシエルトーは一年を通じて0℃の空気を発生できるから、長期にわたって米(粃)を0℃付近の低温で貯蔵することができる。また米(粃)の長期貯蔵には高湿の空気が必要とされるが、アイスシエルトーならそれも可能である。

このように、アイスシエルトーを使えば三、四年という米(粃)の長期貯蔵が可能になる。もしかしたら五年、一〇年の貯蔵も可能になるかも知れない。しかもそれがエネルギーをほとんど使わずに実現できるのだからメリットは大きい。アイスシエルトーを導入すると、貯氷室の建設費が加わるため建物の初期投資は若干高くつくが、冷凍機導入の設備費およびそのランニングコスト等と比較すると、トータルコストでははるかに有利である。またアイスシエルトーは、規模が大きいほど貯氷量が相対的に小さくてすむというスケールメリットがあるため、大型貯蔵庫になればなるほど建設費が相対的に安くなる。

このように、アイスシエルトーは農産物、特に穀物の長期貯蔵庫としての利用が最も効果的と思われる。またこの貯蔵法は、北海道の冷熱エネルギーを利用した省エネ技術であり、極めて有力である。アイスシエルトーが米(粃)の長期貯蔵庫に導入

されれば、北海道で米（粳）の高品質・長期貯蔵が可能になり、日本の食糧の長期備蓄にも道が開ける。またそれにより北海道の産業・経済の発展も期待できる。

八、おわりに

北海道では、雪氷など冷熱資源を有効利用しようという試みが各地で見られるようになってきた。来年度からは、これら冷熱資源を「冷熱エネルギー」として利用する事業に補助金が出るようになる。そうすれば、「冷熱エネルギー」の利用がますます活発になると予想される。冷熱資源の利用はその用途によって様々な価値があるが、最終的には資源の「質」（取り扱い安さや冷熱密度）とその「利用効率」が重要になる。著者は、本文でも述べたように、冷熱資源の中で最も質が高いのは氷であり、その冷熱エネルギーを最も効率よく利用する方法のひとつが、農産物の長期貯蔵だと考えている。

現在、北海道における冷熱資源の利用状況を見ると、雪の利用が最も多く、氷の利用は遅れている。また、技術者の中でも雪の利用は知っているが氷の利用は知らないという人が多い。本稿により、氷の良さを理解していただき、今後の冷熱エネルギー利用の参考していただければ幸いです。

【参考文献・資料】

堂腰純：「自然氷を用いた野菜の長期貯蔵」、寒地技術シンポジウム一九八五講演論文集、372・377、一九八五

堂腰純・佐々木昌克：「自然氷の潜熱エネルギー利用に関する研究」、寒地技術シンポジウム一九八六、一九八七論文報告集、417・422、27・30、一九八六、一九八七

北海道立中央農業試験場：「北海道産米の貯蔵法に関する試験」、北海道農業試験会議資料、30p、一九九〇

北海道立中央農業試験場：「良食味維持のための米貯蔵・流通技術の開発」、北海道農業試験会議資料、19p、一九九四

堂腰純：「アイスシエルト（連載一〜六）、ニューカントリー四四巻一〇号〜四五巻三三号、一九九七〜一九九八

李里特：「自然冷源を利用する青果物鮮度保持に関する研究」、東京国際見本市講演会資料、一九九八

堂腰純：「アイスシエルト続編（連載一〜二）、ニューカントリー四五巻一〇号、一一号、一九九八

堂腰純・李里特：「自然氷を用いた野菜の長期貯蔵」、第一四回寒地技術シンポジウム・寒地技術論文報告集vol.14、259・266、一九九八

大規模長期食糧備蓄基地構想推進協議会

：「自然冷熱エネルギーを利用した農産物貯蔵技術―冷熱エネルギー利用調査―」、170p、一九九八

堂腰純 土谷紀明：「自然氷の潜熱上昇気流とその特性（省エネタワーアイスシエルトと換気冷房）」、第一六回寒地技術シンポジウム・寒地技術論文報告集vol.16、479・486、二〇〇〇

堂腰純：「氷と水だけの省エネ施設・アイスシエルト」、現代の農業、vol.11、120・125、二〇〇〇

アイスシエルト実用化研究会：「アイスシエルト技術―科学技術振興事業団RSP事業（研究成果育成型）育成試験課題―」、アイスシエルト実用化研究会発行、32p、二〇〇一

堂腰純：「寒冷地における自然氷の潜熱利用に関する研究」、雪国環境研究（青森大学雪国環境研究所）、第七号、3・14、二〇〇一