

天然冷熱源の雪・氷利用による 物質低温貯蔵に関する研究

A Study on the Utilization of Snow and Ice as Natural Cold Energy Source for Low-Temperature Storage of Materials

鈴木 哲* 小林俊一** 楽 鵬飛*** 孫 吉*** 張 森*** 秋田谷英次****
Tetsu SUZUKI Syuniti KOBAYASI Pengfei LE Sun JI ZHANG SEN Eiji AKITAYA
和泉 薫** 石井吉之**** 石川信敬**** 対馬勝年***** 早川典生*****
Kaoru IZUMI Yoshiyuki ISHII Nobutaka ISHIKAWA Katutoshi TUSHIMA Norio HAYAKAWA

ABSTRACT: In a food processing plant in Yunotani Village in Niigata Prefecture, natural snow is conserved and its cold energy is utilized. For a whole year, five hundred tons of fresh vegetables are stored under low temperature. In the world, a wide area of cold region exists. The authors contend that in these areas, natural ice can be conserved, and food products can be stored for the whole year. With ice utilization as the prime objective, a field experiment is conducted in Japan's Asahikawa City in Hokkaido and in Heilongjiang Province in China. Results show that even without using electricity, fresh vegetables and food products can be stored under low-temperature storage facilities for the whole year. At present, for application purposes in the real world, an experiment using a 10m × 10m × 3m thick ice is conducted in Harbin City in China.

KEYWORDS: Ice, Ice Conservation, Low-Temperature Storage for Fresh Vegetables, Natural Cold Energy Utilization

1. はじめに

新潟県湯之谷村のある食品加工会社では、現在周年雪を保存し、その冷熱を利用して、年間2000トン・常時500トンの生野菜を1～2℃の低温で貯蔵し、食品加工用に利用している。世界には、日本の雪国に比べ、遙かに広大な季節凍土（冬の冷気で土が凍るけれども、春からの暖気で完全に融けてしまう凍土）地帯（図1）があり、そこには多くの人々が住んでいる。冬期、季節凍土地帯では膨大な量の氷がある。我々は、その氷を保存し、生野菜の貯蔵等に利用できないかと考えて野外実験を行なっている。そこで、はじめに湯之谷村の食品加工会社

の事例について述べ、次に北海道旭川市と中国黒竜江省での氷保存と利用について述べる。尚、北海道旭川市の野外実験は主として鈴木が、中国黒竜江省での野外実験は全員で行なっている。

2. 雪の保存と利用について—新潟県湯之谷村のある食品加工会社の場合—

（1）動機

年間2000トンの生野菜を加工する。しかし生野菜の単価は変動する。例えばニンジンでは秋安く初夏高い。安い時大量に購入し、長期に保存できればと考えていた。56豪雪（1981年）の時、購入

*:新潟大学工学部 Fac. of Eng., Niigata Univ., **:新潟大学積雪地域災害研究センター

Research Institute for Hazards in Snowy Areas, Niigata Univ., ***:中国黒竜江省交通庁 Department of Communications, Heilongjiang Province, China, ****:北海道大学低温科学研究所 Institute of Low Temperature Science, Hokkaido Univ., *****:富山大学理学部 Fac. of Sc., Toyama Univ., *****;長岡技術科学大学建設系 Fac. of Eng., Nagaoka Univ. of Technology

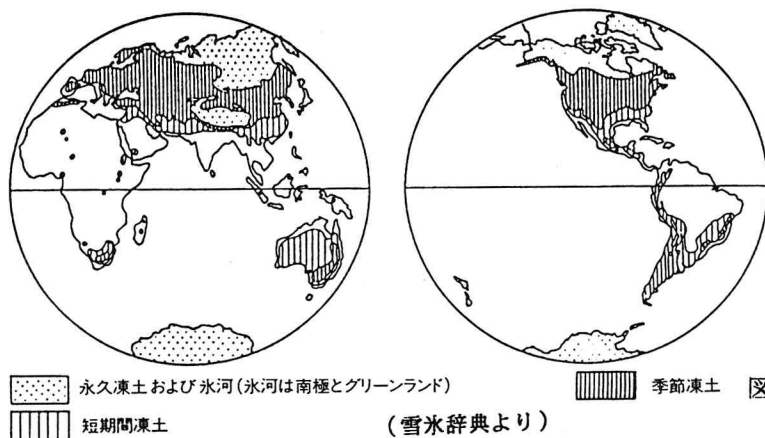


図1：地球上の土の凍結状況(ドストバロフ・クドリヤフツェフ, 1967)

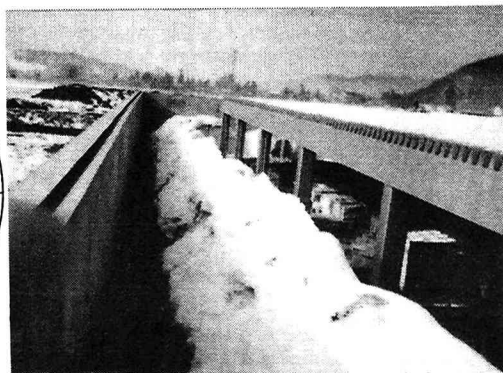


図4：1992年2月の半地下式の雪室。雪室の内側に、前年の冬に詰めた雪がまだ高さ3m余り残っている。

し野積みになっていた50トンのニンジンが、雪の下に埋まり、4月に掘りだしたら、腐っておらず、みずみずしく美味しかったことから、実用化の研究が始まった。

(2) 1985年の公開実験と現在

1985年の冬、雪原に200～300トンのダンボール入り生野菜を並べ、その上に雪を約5メートル積み上げ籾がら等の断熱材を敷き、最外側に太陽光反射用のアルミ蒸着シートを掛け(図2)夏まで保存した。生野菜部分の温度は1～2℃、湿度は97%で不変だった。

1988年、半地下式にした(図3)。雪は周年保存でき、生野菜も電力を全く用いずに周年低温貯蔵している(図4)。

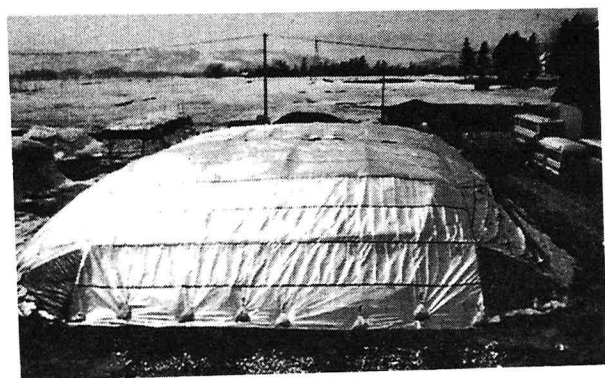


図2：1985年の公開実験時の雪室



図3：1988年建設の半地下式の雪室

3. 北海道旭川市での氷保存と利用実験

(1) 動機

雪の周年保存・利用が可能なら氷も可能と考えた。農林水産省北海道農業試験場の小綿寿志は、1989年札幌市で、冬期霧を吹いて凍らせ、それを繰り返して約1.7mの水を造り、その冷熱をポンプで断熱性倉庫内に循環させ、ジャガイモを10ヶ月間低温貯蔵する実験をおこなった。これには電力、ポンプ、断熱性倉庫、コンピューター等が必要である。そこで、安価で簡便に氷を造り、生野菜等を低温貯蔵する方法を探ろうと考えた。

(2) 目的

電力、ポンプ、断熱性倉庫、コンピューター等なしで、安価で簡便に氷を保存して利用する方法を確立する。

(3) 方法

複数の箱(約4m×4m×高さ3m)の内底と内壁に厚さ約10cmの籾がら層をめぐらし、その内側に防水ビニール袋を置く(図5)。冬期その袋に深さ約10cmの水を入れて凍らせ、これを繰り返して厚さ1.7m程度の氷塊を造る。これらの箱を口状に並べ、一か所出入り用の空所を設ける(図6)。口状の全体にシートを掛けその上に断熱用の籾がら袋等を並べ、最外側に太陽光反射用のアルミ蒸着シートを掛ける(図7)。箱を口状に並べた中央の空所が「断熱性の良い低温貯蔵空間」となり、ここに生野菜等を試験的に低温貯蔵した。

(4) 実施と結果

1992年2月中旬より製氷を開始した。暖冬と開始が遅れた為、氷の厚さは約1.1mだった。内

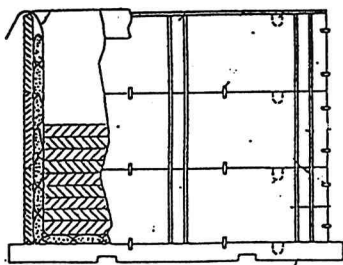


図5：2m×2m×2mの箱。中の防水シート袋の中に10cm位づつ水を入れ氷塊を造る。

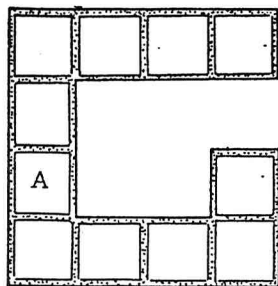


図6：旭川の場合は、11個の箱を上図のように並べた。



図7：氷保存・利用実験施設の外観。直射日光を防ぐ為、黒い遮光ネットを掛けてある。

部空所の中央の地上0.5m地点の温度は、5月では5℃以下だったが、6月になると、次第に上がってきた。そこで、①黒色の農業用遮光ネットをアルミ蒸着シートの上に掛けた、②口状の天井部分の断熱用靱がら袋内の温度が、晴天時の日中に高くなり、夜間でもあまり降下しないので、シート下の高温空気の排気のため、ベンチレーターを付けた。①と②は、共に効果はあったが、酷暑の8月15日には内部空所中央の地上0.5m地点の温度が13℃になったが氷箱近くでは約6℃だった(図8)。当然倉庫内の位置、高さ等で温度分布は異なり、生野菜の種類で貯蔵適温がちがうので、貯蔵位置には注意する必要がある。

大まかにいって、7月17日には、氷は当初に比べて約80%残り、8月10日には約20%残っていた。8月下旬には、全て融解した。8月に入り急速に融解したのは、氷袋内の融けた水を排水しなかった為と考えられる。

北海道は、8月過ぎると急に冷え込む。目標の氷塊の厚さ1.7mがあれば8月を越えいつまで保存できるか、また半地下ならどうか今後実験したい。

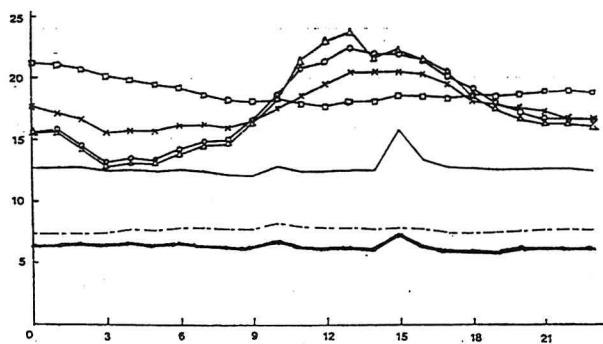


図8：1992年8月15日の温度記録
太黒線は氷塊近く。その上は地温。
その上は庫内中央高さ0.5m。

4. 中国黒竜江省ジャイン(嘉蔭)での氷保存実験(1)はじめに

中国黒竜江省のほとんどは季節凍土地帯で、春になると凍土は融ける。黒竜江省の首都ハルビンの凍土層の深さは約1.7mである。庭に深さ3m程の地下倉庫を持つ農村の家もあり、そこに冬期生野菜を保存しているが、夏は凍土が融け庫温が上がり、生野菜を長期保存はできない。ロシアのハバロフスク市も季節凍土地帯であり、凍土層の深さは約2mである。多くの市民は、各自のガレージの地下に穴を掘り地下倉庫とし、生野菜等を保存しているが、ここも春になり凍土が融けると保存できなくなる。

旭川市の実験では、製氷に不透水性袋を用いたが、季節凍土地帯では冬期外気に触れる面に堅い凍土層ができるので、秋に穴を掘り放置しておけば、穴の底や側壁面に凍土層ができるはずである。それに注水すれば、厚い氷が得られる、と考えた。我々は、中国黒竜江省交通庁と共同で黒竜江省北部のジャイ



図9：環日本海圏図

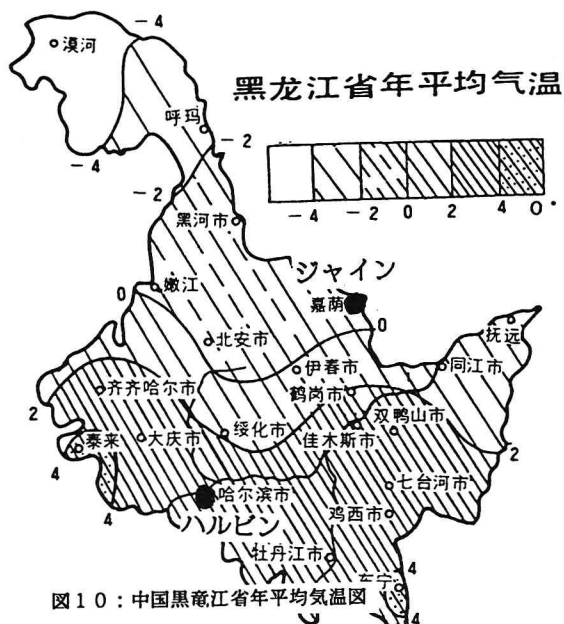


図10：中国黒竜江省年平均気温図

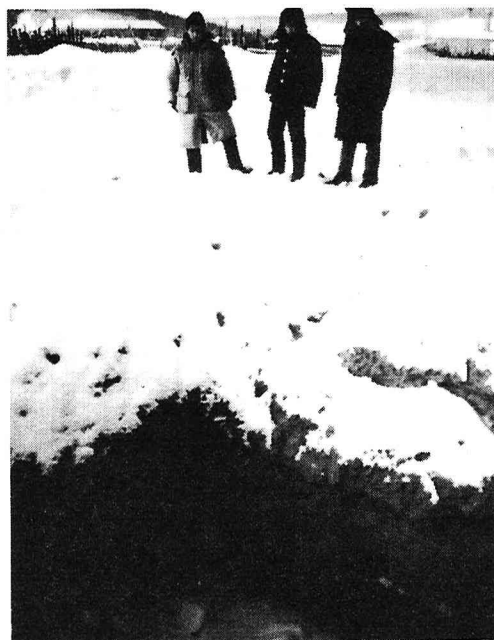


図11：1993年1月、深さ3mの穴。遠くの丘陵はロシア領、その手前白いのが黒竜江。



図12：1993年3月、アルミ蒸着シートを掛ける。

ンで吹雪と涎流水の調査を行っており、貯氷実験は涎流水対策にも関係すると考えて取り組んだ。

(2) 目的

冬期前に季節凍土地帯に穴を掘り、冬期穴の底や側壁面に凍土層ができれば、その中に注水して氷塊ができるか、また氷塊を周年保存できるか、を明らかにする。

(3) 実験地ジャインについて

①位置：ハルビン市北東約450kmの、黒竜江のほとりにあり、対岸はロシア。国境の町である（ほぼE130°21′，N48°51′）（図9）。

②気候：年平均気温は約0℃の季節凍土地帯に属し、凍土層の深さは約2mである（図10）。

(4) 作業工程

1992年12月、4m×4m×深さ3mの穴を掘った。深さ2.8mに地下水面があったので、穴の底面に約0.3mの厚さに石炭灰を敷いた。穴の地表部分四周辺を、約0.5mの土手で囲った（図11）。1993年1月より、穴に注水して、厚さ3mの氷塊を造った。氷塊の下部2mは順調にできたが、その上の部分で、凍土層の隙間に水が漏れたので、黒竜江から氷を運び、それで漏れを防ぎ、更に注水を続けて完成した。完成後、氷塊の表面に断熱用に厚さ約0.2～0.3mの石炭灰袋敷きつめた。同3月10日、土手の上に丸太や樹枝を掛け渡し、その上にもう一層の断熱用の石炭灰袋を敷きつめた。この層には五つの排気筒を設置した。最後に全体にアルミ蒸着シートを掛けた（図12）。

(5) 結果と考察

1993年8月2日、アルミ蒸着シートをめくって氷の厚さを調べた。同年3月10日以後、氷の厚さは35cm減少した（図13）。同年8月2日以後、半月～一カ月の間隔で氷の厚さを調べた結果を図14に示した。同年11月以後は、ほとんど氷は融けていない。1993年3月10日から1994年3

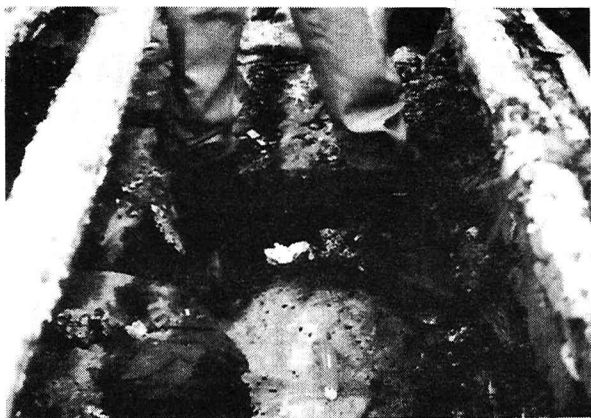


図13：1993年8月、氷塊の厚さは35cmしか減少していなかった。

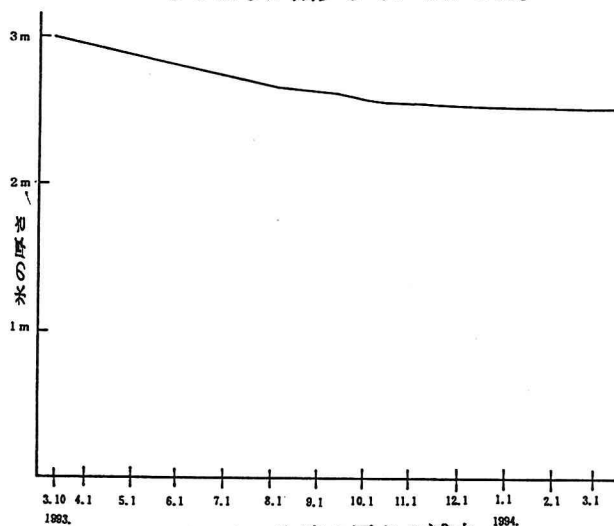


図14：氷塊の厚さの減少

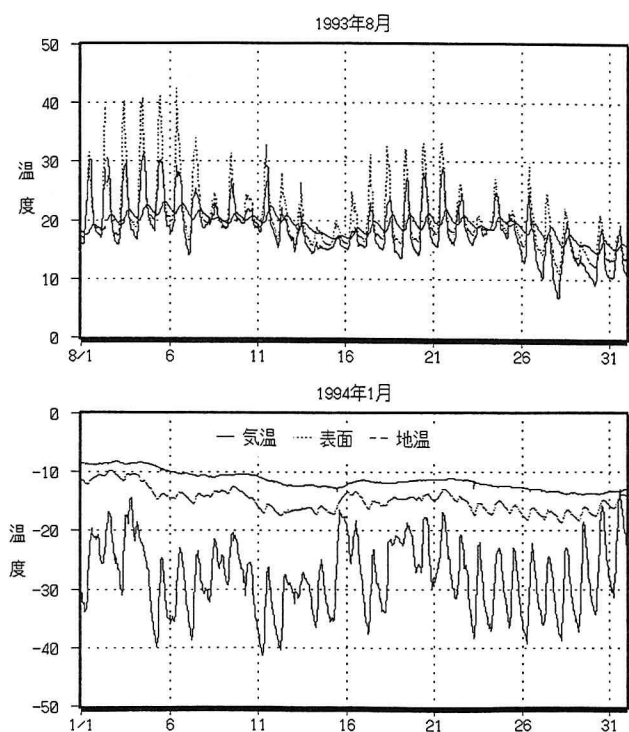


図15：ジャインの月別気温データ

月3日までの丸一年間で、氷の厚さは50.6cm融けた（当初の厚さに対して約17%減）。

11月以後、ほとんど氷は融けていないのは、気温が下がった為と考えられる（図15）。厚さは当初の約17%減だが、体積全体の減少は、細かくは判らない。しかし氷表から観察した限りでは、氷表は平らであり、側壁部分も余り融けていなかった。氷塊は当然「17%」以上融けているはずであるが、17%を大きく超えて減少したとは考えられない。

小さな氷塊は、体積に比べ表面積の割合が大きいので融けやすい。4m×4m×3m=48m³という小さな氷塊で、丸一年間に17%しか融けなかったということから、これより大きな氷塊なら融ける割合は更に小さくなる、と考えられる。以上から、ジャインでは、周年氷塊を保存し、利用できる可能性は極めて高い、と判断できる。

5. 中国黒竜江省ハルビン市での氷保存・利用実験（1）はじめに

ジャインの実験から、黒竜江省での氷塊保存・利用の可能性が高いことが判ったので、実用化にむけた実験をハルビン市で始めることとなった。ハルビンの気温はジャインに比べやや高いが、①実験の管理がしやすい、②利用実験にも都合がよい、③日本からの共同研究にも都合がよい、等から決まった。

（2）実験地

ハルビン市街地から車で20分のハルビン市南岡地区で、中国黒竜江省交通庁所有地。15m離れて幹線国道102号（ハルビン⇄北京）が通る。地下水位が低く、水位の心配はない。

（3）ハルビンの気温

ジャインより、年平均気温は3℃高い。氷塊の融け方はやや高いはずで、大きい氷塊を造る必要がある。

（4）氷庫

1994年3月に、10m×10m×厚さ3m（300m³）の氷塊を造った（図16）。短時間に造る為、松花江から氷を運び、それに注水して固めた。氷塊の体積は、ジャインの6倍である。

（5）貯蔵庫

1994年6月に氷庫に並べて、10m×6m×深さ3mの貯蔵庫を造り、生野菜等を試験的に格納する予定である（図17）。



図16：ハルビンにおける氷塊保存・利用実用化実験地。地中に、10m×10m×厚さ3mの氷塊が造られている。6月に氷庫に連続して生野菜等の貯蔵庫（10m×6m×3m）が造られる。右手の道路は、幹線国道102号《ハルビン⇄北京》

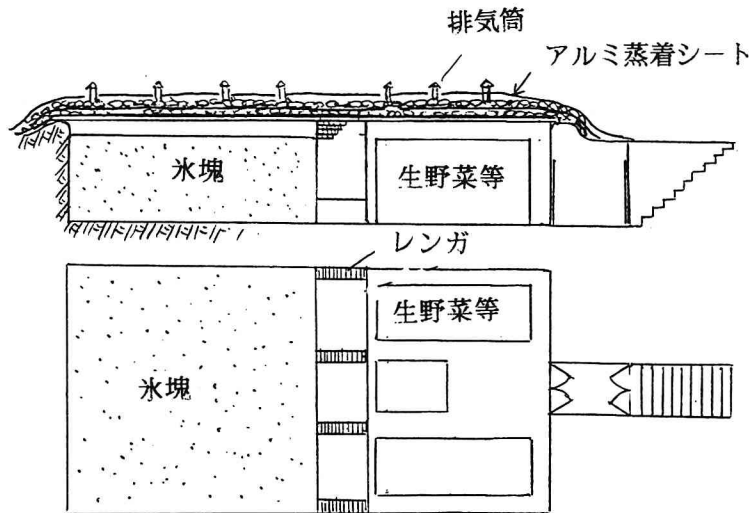


図17：ハルビンにおける氷塊保存・利用実用化実験施設

6. おわりに

世界には広大な季節凍土地帯がある。天然の冷熱源である氷の簡便な利用ができれば、と思う。安価で、ランニングコストもかからず、経済的であり、季節凍土地帯の生産や生活を豊かにするだけでなく、電力や化石燃料を使わないことから、環境汚染防止・地球温暖化防止・地球環境保全にも役立つ。またこのような技術は「持続可能な」技術であり、太陽

が存在する限り持続できる技術である。今後も実用化にむけ、研究を続けたいと考えている。

おわりに、本実験を進めるにあたり、旭川市民や農協の職員の皆さんや、中国黒竜江省交通庁趙陽庁長官の皆さん、中国黒竜江省交通庁趙陽庁長官の皆さんの暖かいご協力をいただいたことに感謝し、御礼を申し上げます。また、中国での実験では、文部省の国際学術研究のご援助をいただいたことを記し、御礼を申し上げます。

文献

Kowata, H., Y. Sato, M. Nara, and S. Katayama (1989) "Ice Pond System for Application of Winter Coldness to Storage Cooling", Proceedings of the Eleventh International Congress on Agricultural Engineering, 2309-2316, 1989, Dublin.

Tetsu, S., (1992) "Use of a Cold Energy Element in a Low Temperature Storage System", Proceedings of Second International Congress on Snow Engineering (Special Report 92-27), 333-339, 1992, Santa Barbara.