

寒冷エネルギーを利用した農産物貯蔵

土 谷 富士夫 *

1. はじめに

農業を支える最も大切なエネルギーは、いうまでもなく太陽エネルギーである。稲作・畑作はもちろん畜産は、太陽エネルギーを利用して行う作物の光合成作用に直接・間接的にも強く依存している。しかし、無料であることからなぜかあまり意識が持たれていない。自然エネルギー以外に耕作、収穫、運搬、貯蔵などに使用されるエネルギーは、一般に石油エネルギーであり、この量をいかに軽減するかが、明日への農業の鍵を握っている¹⁾。

こうした状況のなかで、近年、冬期間の自然冷熱を有効に利用する試みが注目され始めた。自然冷熱エネルギーの代表である雪は、スキーや雪祭りなどのレジャーに使用される以外にも冷熱源として、雪室や集雪冷房システムに利用されている。また、氷を利用した氷室貯蔵は日本書紀にも記載されていることから、歴史的にも古い²⁾。さらに、寒冷な空気はどこにでも存在し自然の流動現象であることから、運搬の必要性はない反面、変動性と遍在性が大きいためなかなか利用されていないのが現状である。それをデメリットとしないためには寒冷環境を十分に認識し、既存の固定観念にこだわらず、寒冷環境の特質の理解と地域社会の要請に積極的に取り組む研究体制が不可欠である。

2. 寒冷エネルギーとは

我が国のエネルギー供給は、1989年において石油が全体の58%を占め、次いで石炭が17%、天然ガス10%という現状である。しかし、この

ような化石エネルギーに対する依存度を減少させるためには、地域エネルギーの利用が必要である³⁾。地域エネルギーとは、地域社会を中心にエネルギーの需要と供給が密接に結びついたものを指し、太陽(熱、光)、風力、海洋、地熱、冷熱、小水力などの自然エネルギーと、バイオマス、廃棄物・廃熱など未利用エネルギーを指している⁴⁾。

寒冷(あるいは冷熱)エネルギーという定義は明白ではないが、氷、雪あるいは凍土などの冷熱源を夏期に取り出し、農産物の貯蔵や建物内の冷房に利用するものである。

その特徴は、他のクリーンエネルギーと同様に、エネルギー危機以来研究が活発に行われてきているが、効率やコストなどから大規模に利用されていない。しかし、小規模や分散型ものは技術開発が進行しており、研究開発中のものも多々ある。

資源としての特徴は、寒地、高地に固有のエネルギーで、その賦存量は豊富である。クリーンであることから環境保全型であるが、地域的に遍在している。さらに、季節あるいは気象変動に大きく左右されやすい。

多くの場合は、水を氷の形で蓄熱しその融解潜熱を利用する。氷の潜熱は80kcal/kgと大きく、短期間(6~1年間)で蓄熱でき、コンパクトでエネルギー密度が推定しやすく、ランニングコストが比較的低いことが知られている⁵⁾。

3. 寒冷エネルギーの賦存量

寒冷エネルギーとしては積雪が最も古くから

* 帯広畜産大学 助教授

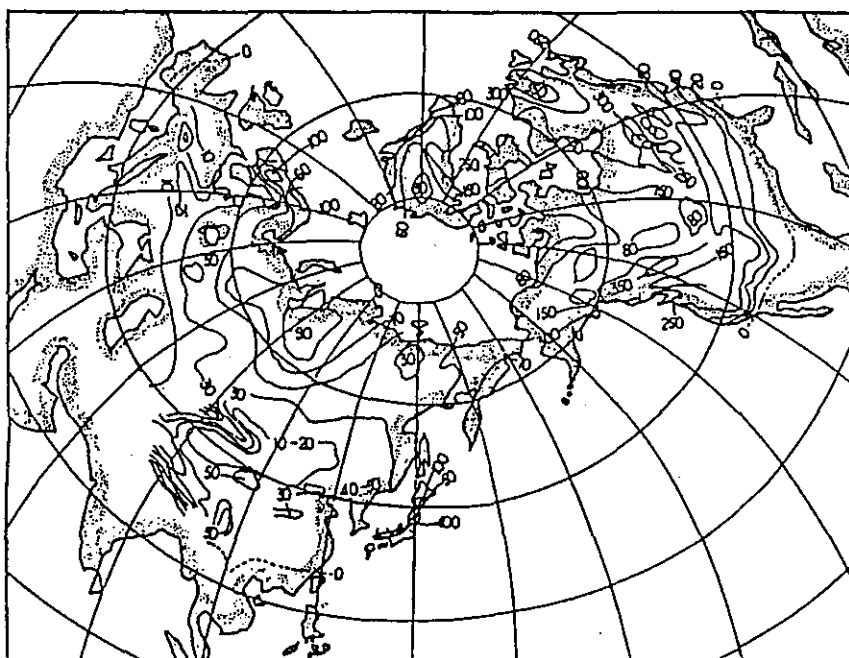


図1 北半球の積雪深分布 (cm)

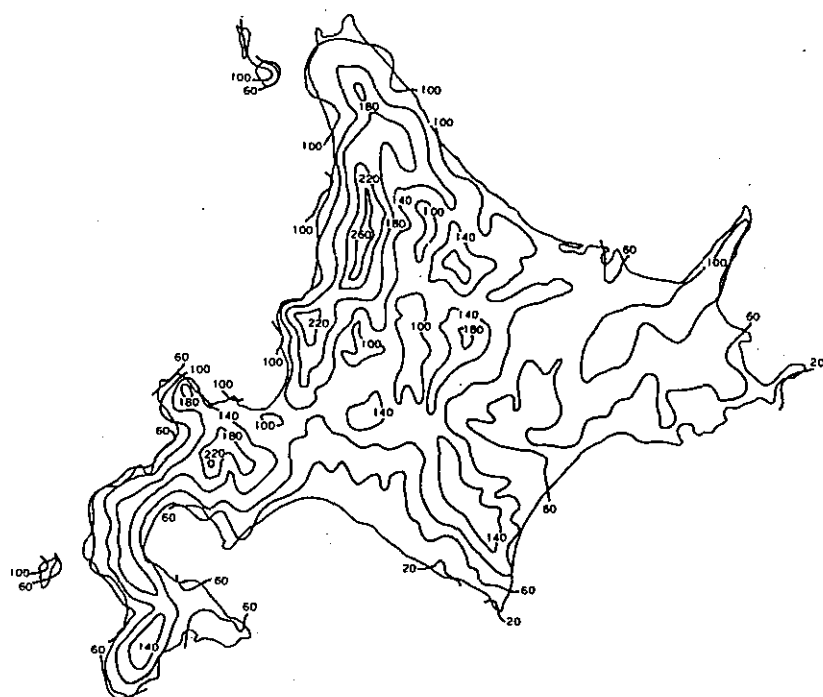


図2 北海道の平均積雪深分布 (cm)

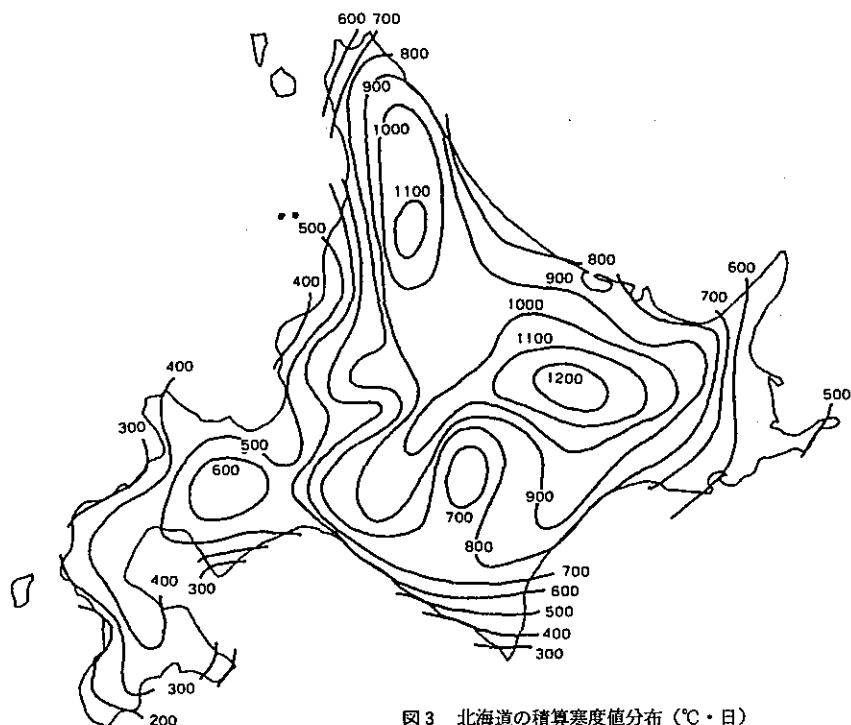


図3 北海道の積算寒度値分布(°C・日)

注目されている。図1に示すように、北半球で積雪深分布をみると、我が国は世界でも有数の積雪地帯であることが分かる。計算によると、我が国の降雪量は900億トンとなり、琵琶湖の湖水の3倍以上になるといわれている²⁾。冬期寒冷といわれる北海道では、図2に示すように最大積雪分布に特徴があり、多雪地帯は西側に分布し東側は比較的少雪であることから、土壌は深くまで凍結する³⁾。

寒さはその場所の最低気温や日平均気温では表現しきれない。寒冷エネルギーの度合いを推測するために積算寒度が使用され、簡単には「マイナスの日平均気温を加算した絶対値」と定義される。図3は北海道の積算寒度の分布状況を示すが、北部と東部にその極値が見られる。しかし、農産物貯蔵を目的に寒さを利用するための有利な条件は、夏期の太陽エネルギーも重要であり、単に冬期の寒冷エネルギーの大きさだけで判断されない。図4は最暖月の平均気温と積算寒度との関係を示す。20°C以上で積算寒度が大きいほど有利な条件と考えられる⁷⁾。

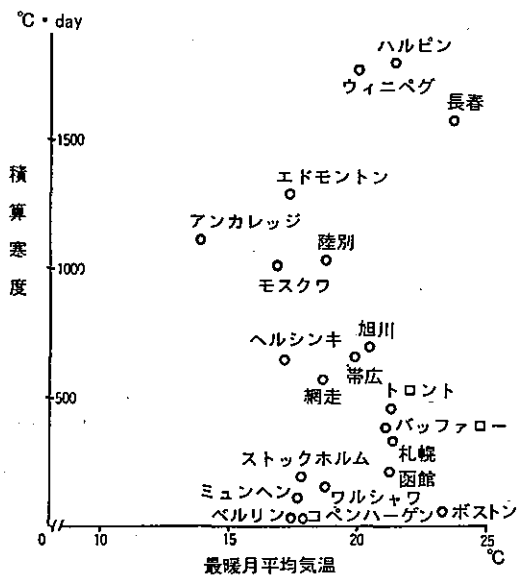


図4 寒冷地域の各都市の最暖月平均気温と積算寒度

4. 氷室システム

1) 冷気直接導入低温貯蔵

寒冷地でのパレイショ貯蔵に冬期の寒気を直接導入し、図5に示すようなシステムで一

部実用化されている⁸⁾。冬期間の貯蔵時に、パレイショの呼吸発熱による庫温の上昇を抑えるため、一定温度以上になった時に冷たい外気を導入するシステムである。パレイショの発芽と呼吸を抑え、デンプンの糖化を防ぐために一定温度を保つことを目的としている。貯蔵庫の断熱と冷氣導入システムが鍵となるが、4月下旬まで貯蔵が可能である。

2) 内部製氷による低温貯蔵

寒冷地で長期貯蔵を目的とし、貯蔵庫内で製氷するシステムである。図6に示すように貯蔵庫内は製氷・貯氷室と貯蔵室に分けられた構造となっている⁹⁾。冬期に気温が 0°C 以下になると、外気が導入され水槽内の水を凍結する。水が氷に変換されるときに発生する潜熱は、厳寒期の貯蔵農産物の凍結を防止し 0°C 付近の一定な温度を保持する。

製氷室から水分が供給されるため、高湿低温で保持され貯蔵物の乾燥が防げるため高い品質の貯蔵が行われる。設備も簡単であり配管系の凍結や腐食による事故が少ない。換気扇の電力とシステム制御のわずかな電力で済み、夏期は $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ の低温を維持できると言われている。

貯蔵庫の製氷・貯氷室が貯蔵容積を占める割合が大きいことと、最近の暖冬傾向が製氷能力を低下させている。

3) 外部製氷による低温貯蔵

このタイプは貯蔵庫内に、製氷室を設置せず図7に示すように貯氷室と貯蔵室に分けられる¹⁰⁾。製氷は外部で行われ、製氷後貯蔵庫に搬入するため、搬入構造と冬期の労働力を必要とする。また、融解後の水の処理問題も生じる。近隣に河川や湖沼などの天然氷が得られる場合、一定の形状で切り出し搬入するが、手間が大きく氷の厚さの年次変動性が高い問題がある。

また、積雪を利用してブロック形成に雪氷変換器を使用する方法が提案されているが、氷より密度が小さく、製造・運搬に石油エネルギーを必要とするためコストの問題が大きい。

5. 雪室システム

積雪下における恒温高湿の保存環境を利用して長期低温貯蔵するもので、雪を断熱材で覆っ

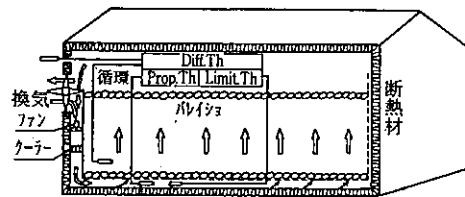


図5 冷氣直接利用の貯蔵庫の概要

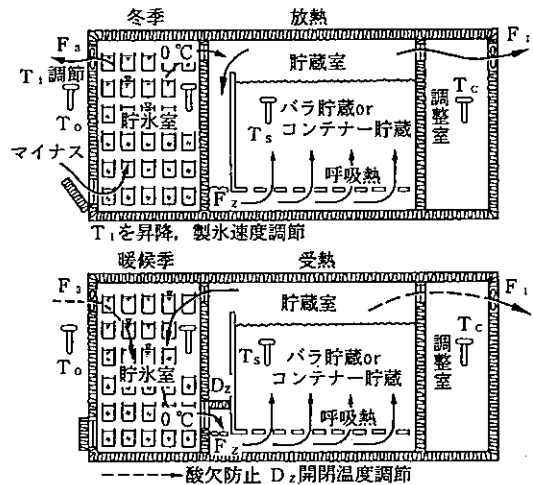


図6 内部製氷型貯蔵庫の概要

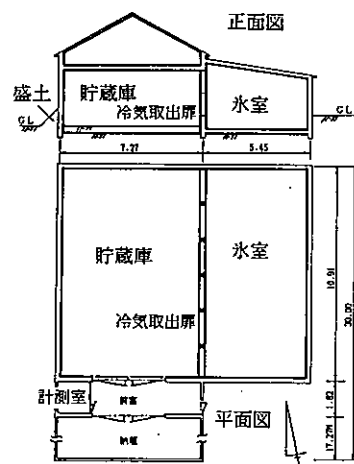


図7 外部製氷型保冷庫の概要

た貯蔵施設である。古くは、野菜をワラニオの中に入れ、その上を天然の雪で覆うことによって貯蔵を行ってきた。毎年同じ時期に降雪が得られるとは限らず、集雪・運搬などの作業が必

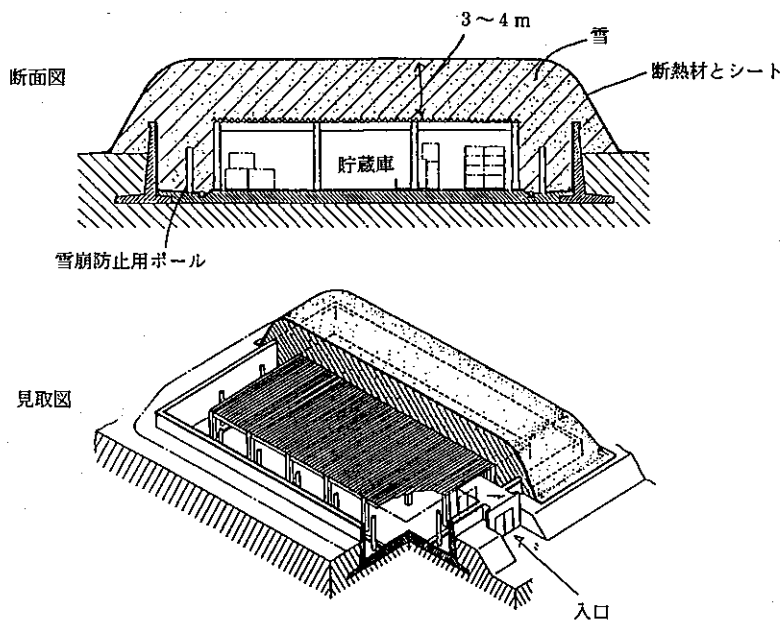


図8 新潟県内の雪中貯蔵施設の概要

要で規模としても限界がある。図8のような雪室は新潟県などで一部実用化されている¹¹⁾。また、集雪の際に積雪に混じって搬入される、泥や塵が貯蔵庫内に残存するため清掃作業が毎年必要である。

6. アイスポンドによる冷熱貯蔵システム

氷室システムの外部製氷に類似してはいるが、貯蔵庫と冷熱源を分離した構造である。図9に示すようにアイスポンドと呼ばれる人工池の中に、水を噴霧して効率的に氷を製造しポンド内に氷を蓄積するシステムである。一冬で1.7~1.8mの厚さの氷層が造られ、春期に屋根部に断熱シートで覆って氷の融解を抑制する¹²⁾。熱交換は、ポンド底部の冷水を取り出し、冷房空調システムを作動させて庫内温度と湿度をコントロールするシステムである。9ヶ月のバレイショの貯蔵に成功しているが、冬期間の噴霧における凍結防止に熱エネルギーが必要であり、積雪による影響で氷密度の低下などが問題になっている。また、毎年ポンド内の水を排除する必要が生じている。

7. アイスシェルによる貯蔵システム

冬期間の寒気を利用し雪氷によるシェル構造を構築し、これを野菜の貯蔵に用いたものである。直径10m、高さ2.2m、厚さ12cm、床面積78.5㎡のドーム状の内部は湿度90%で-2℃から-3℃の一定低温が得られ、75日間程度の貯蔵が可能である¹³⁾。ドームの構築には-10℃以下の寒気が必要であり、3月末に崩壊する問題があり、長期貯蔵には適していない。現在は原酒の貯蔵に使用されている。

8. 寒冷地のトンネル貯蔵

建設コストの安価な廃坑、廃トンネル等の断

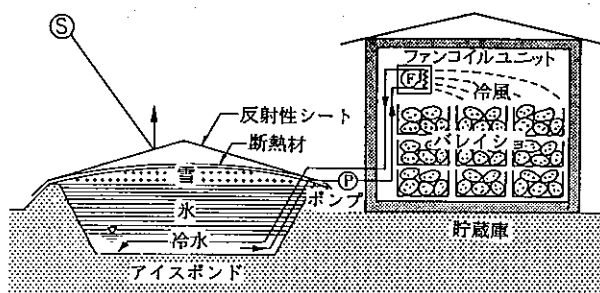


図9 アイスポンドを用いた低温庫の概要

熱性と多湿性を利用した農産物の貯蔵実験が行われている¹⁴⁾。トンネル内の温度は平均的に6~7℃と比較的温が高く、その入り口からの位置による変動性が高い、葉茎類やニンジンの貯蔵では寒気導入もしくはヒートパイプの併用で低温化する必要がある。また、休閑期の農業水利施設を利用した貯蔵は、適正温度の保持と長期貯蔵が困難であることが分かっている。

9. ヒートパイプによる凍土低温貯蔵システム

ヒートパイプは、1963年米国で命名された伝熱素子で、優れた伝熱性と速い熱応答性を持ち、温度差のみで作動するメンテナンスを要しない数々の利点を持っている¹⁵⁾。このシステムで使用されたヒートパイプの構造を図10に示す。両端に温度差がある密閉容器に封じ込まれた液体が、高温部の下端で加熱され、蒸気となって上端の低温部に熱を運び、凝集されて液体となって重力またはウィックによって高温部に戻る。この操作が繰り返され、高温部から低温部へ熱がくみ出される。使用する作動液の種類は温度範囲によって異なり、フロン、アンモニアなどが低温領域で使用されている。

この人工凍土システムは、ヒートパイプを使用して冬季の寒冷エネルギーを低温部として土壌中から熱を奪い、内部の土壌水分を凍結させて凍土を構築して、寒冷エネルギーを蓄熱するものである。

図11に1987年に帯広畜産大学で建設されたモデルプラントの構造を示す¹⁶⁾。内部に農産物の貯蔵が行われ、野菜の長期貯蔵や生花の短期貯蔵が良好である結果を得ている。また、図12に貯蔵庫内の室温、湿度、地盤およびパイプの温度変化を示す。土壌は凍結状態を維持し、永久凍土が構築される。表1に過去4年間の経年変化を示すが、冬期の気象環境が変化しても安定した貯蔵環境を示すことが分かる¹⁷⁾。

10. おわりに

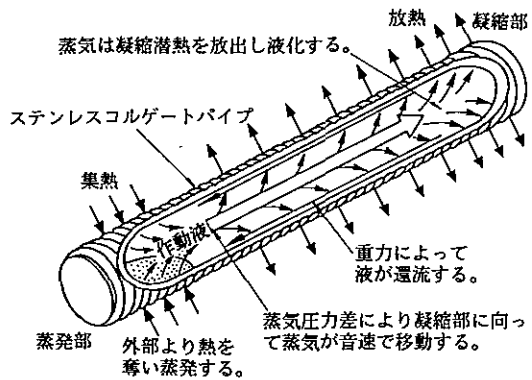


図10 ヒートパイプの作動原理と構造

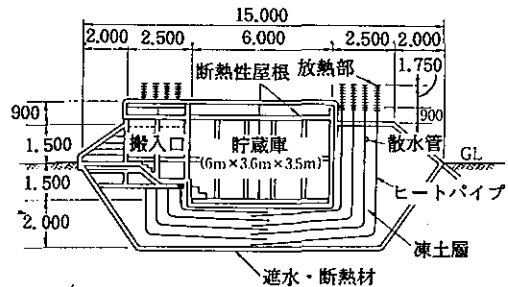


図11 永久凍土低温貯蔵庫の構造

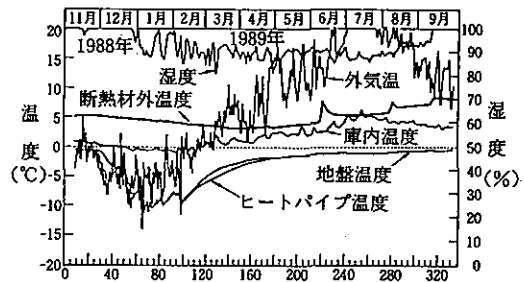


図12 貯蔵庫の室温、湿度、地盤およびパイプの温度変化

表1 4ヶ年の自然環境と低温貯蔵システムの年平均温度および湿度

年 次	平均気温 (℃)	積算寒度 (℃・日)	積算温度 (℃・日)	庫内 温度	湿度 (%)	底部 温度	地盤 温度	パイプ 温度	外側 地温
1987-88	4.7	962	2682	1.5	82	-3.9	-1.8	-3.2	6.4
1988-89	6.1	546	2872	1.6	93	-2.6	-1.4	-2.3	5.1
1989-90	6.4	857	3297	1.9	92	-3.2	-1.9	-2.9	5.3
1990-91	7.2	575	3166	1.4	85	-2.5	-1.2	-1.9	5.7

寒冷エネルギーを利用することは、クリーンなエネルギーであることが最も強調されるべきことである。しかし、コストの低減が大きな課題であることから、化石燃料との併用も避ける

れない。貯蔵庫の建設コストが低廉であっても、農産物の品質の問題は大きく、また貯蔵の期間も重要である。さらに、寒冷エネルギーを使用する際に、労働力コスト、ランニングコストあるいは耐久年数などの総合的判断も必要である。また、地震などの災害に対する強度、システムの安全性なども今後重要な課題となると思われる。

いずれにしても、寒冷エネルギーを利用した貯蔵システムの研究や開発は、地域特性を十分に考慮して創造性を発揮することにより、今後の発展が期待できる。

引用文献

- (1) 農林水産省大臣官房技術審査官室監修：明日の農業技術，地球社，pp. 21-64 (1980)
- (2) 国土庁地方振興局：平成3年度利雪による地方振興への活用方策に関する調査報告書，pp. 1-2 (1991)
- (3) 新エネルギー財団：十勝地区地域エネルギー等有効利用基礎調査，pp. 1-20 (1993)
- (4) 通商産業省北海道通商産業局編：明日の北海道を拓く地域エネルギー戦略，通商産業調査会，p. 18 (1991)
- (5) 片山秀策：クリーンエネルギーと農業（その2）—太陽エネルギーと寒冷エネルギーの利用，農業土木学会誌，60巻7号，pp. 45-51 (1992)
- (6) 北海道大学放送教育委員会編：大いなる島—北海道の自然史，北海道大学図書刊行会，pp. 31-36，(1991)
- (7) 北海道大学放送教育委員会編：低温とくらし，北海道大学図書刊行会，pp. 1-6 (1985)
- (8) 堂腰純：馬鈴薯貯蔵施設と構造，農業施設，4巻2号，pp. 20-33 (1970)
- (9) 堂腰純：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講演論文集，pp. 417-422 (1986)
- (10) 川本周郎・媚山政良・橋本良明：冬期冷熱の貯蓄および利用システム「氷室計画」の概要，寒地技術シンポジウム講演論文集，pp. 423-433 (1986)
- (11) 東北電力応用技術研究所：雪利用による野菜等貯蔵技術の実態調査，東北電力㈱，pp. 146-161 (1992)
- (12) 小綿寿志・佐藤義和ら：アイスボンド貯蔵システムの実用化試験，寒地技術シンポジウム講演論文集，pp. 43-48 (1992)
- (13) 中尾信一・粉川牧：アイスシェルによる冬期間野菜氷温貯蔵実験，寒地技術シンポジウム講演論文集，pp. 403-408 (1986)
- (14) 石橋憲一・弘中和憲：寒冷地における農産物のトンネル貯蔵，農業施設，23巻1号，pp. 7-13 (1992)
- (15) 池田義雄ほか：ユーザのためのヒートパイプ応用，学献社，pp. 3-60 (1981)
- (16) 土谷富士夫・了戒公利：ヒートパイプを利用した人工永久凍土による低温貯蔵庫，農業土木学会誌，58巻9号，pp. 881-886 (1990)
- (17) 土谷富士夫・了戒公利・望月正孝：ヒートパイプを使用した人工永久凍土低温貯蔵庫の経年変化，第5回寒地環境工学合同シンポジウム講演論文集，pp. 77-84 (1992)
(平成5年10月14日 原稿受理)

|||||||筆者紹介|||||||

土 谷 富士夫(つちや ふじお) 氏

帯広畜産大学・畜産環境科学科・土地資源利用学講座
助教授 農学博士
昭和21年(1946)北海道帯広市に生まれる
昭和45年(1970)北海道大学・農学部・農業工学科卒業，昭和46年帯広畜産大学助手，昭和59年同講師，昭和61年同助教授，昭和62年カナダ・アルバート大学・工学部留学，現在に至る。
農業土木学，土質工学，雪氷学を専門とし，主として農地の排水，土の凍結・凍上に関する研究を行っている。

