

平成 24 年度施行

道産農産物長期貯蔵品質等調査業務

報 告 書

平成 24 年 10 月

株式会社 ブコーシャ

平成 24 年 10 月 1 日

北海道知事 高橋 はるみ 様

株式会社 ズコーシャ

本社 北海道帯広市西 18 条北 1 丁目 17 番地

TEL (0155)33-4400 FAX (0155)33-4401

本業務は、「道産農産物長期貯蔵品質等調査業務」と称し、雪氷冷熱を利用した貯蔵施設に道産馬鈴しょを貯蔵し、併せてその品質データ、貯蔵条件データ(温度・湿度)を収集・整理することで、食料安定供給に向けた取り組みの推進に資することを目的として実施したものであります。

業務完了に伴い御報告致します。

管理技術者：保井 聖一

担当技術者：土谷 富士夫

担当技術者：広永 行亮

担当技術者：塩飽 宏輔

## 目 次

1. 業務概要	1
2. 馬鈴しょ貯蔵試験	4
2-1. 貯蔵施設の概要	4
2-2. 品質に関する項目	5
(1) 調査内容と方法	5
(2) 調査結果	8
2-3. 貯蔵条件に関する項目	19
(1) 調査内容と方法	19
(2) 調査結果	19
2-4. 貯蔵試験総括	23
3. 貯蔵施設に関する情報収集整理	30
3-1. 北海道における雪氷冷熱を利用した貯蔵施設の導入	30
3-2. 雪氷冷熱を利用した貯蔵施設の事例調査	32
(1) 雪を利用した雪氷利用低温貯蔵庫	32
(2) 氷を利用した雪氷利用低温貯蔵庫	34
(3) 凍土を利用した雪氷利用低温貯蔵庫	37
3-3. 雪氷冷熱を利用した貯蔵施設の経済性評価	40
(1) 雪氷冷熱を利用した貯蔵施設のモデル	40
(2) 貯蔵施設の経済性評価	41
4. まとめと雪氷冷熱利用に向けた課題	44
4-1. 現地調査まとめ	44
4-2. 雪氷冷熱利用に向けた課題	46

引用文献

## 参 考 資 料

1. 写真帳
2. 品質調査結果(色相および彩度)
3. 業務計画書
4. 打合せ簿
5. ISO/マネジメントシステム登録証

## 1. 業務概要

- (1)業務名 : 道産農産物長期貯蔵品質等調査業務
- (2)業務位置 : 北海道帯広市(図 1-1)
- (3)業務期間 : 平成 24 年 5 月 23 日～10 月 1 日
- (4)業務目的 : 現在、日本の食料自給率はおおよそ 40%と、先進諸国の中でも低い水準となっている。加えて、今後大きな災害が発生した場合の「事前の備え」の重要性が国民の間に広く認識されている。一方、北海道はその高い土地生産性や技術力を活かし、食料自給率は 190%と、高い水準を示している。また、広大な土地と豊富な自然エネルギー資源を有しており、国内の食料事情を改善する上で、高い優位性を備えていると言える。これらのことから、北海道では平成 24 年 3 月に「北海道食料備蓄基地構想」を策定したところである。
- この業務は、北海道内に豊富に存在する雪氷冷熱を活用した道産農産物の貯蔵に関する調査を実施し、貯蔵された農産物の品質と貯蔵条件に関する知見を蓄積することにより、食料安定供給に向けた取組の推進に資することを目的とする。
- (5)業務内容 : 実施した業務の内容を表 1-1 に示す。

表 1-1 業務の設計数量と実施数量

作業項目	細目	設計数量	実施数量
1. 品質に関する項目	でんぷん価	6月1日から8月31日の調査期間中、雪氷貯蔵区、電気冷蔵区、常温区の3試験区にて月2回以上実施	7回(6/4-5、6/14-15、7/3-4、7/17-18、7/30-31、8/16、8/30) ※常温区については試料のくされ状況が進行したため、第4回調査後に廃棄
	糖度		
	外観の状況(萌芽、くされ状況)		
	減耗率		
	含水率		
	彩度・明度		
	官能(食味)試験	2回(貯蔵開始時および終了時)	2回(6/6、8/31)
2. 貯蔵条件に関する項目	貯蔵施設内の温度および湿度調査	6月1日から8月31日の調査期間中、雪氷貯蔵区、電気冷蔵区にて実施	毎日計測を実施 常温区についても試料廃棄前まで計測
	外気温および湿度調査		
3. 成果品作成	貯蔵施設に関する情報収集整理	一式	一式
	調査報告書の作成	一式	一式

(6)発注者 : 北海道農政部

札幌市中央区北 3 条西 6 丁目

監督員 農政課政策調整グループ 山根 敏史 主査

(7)受注者 : 株式会社 ズコーシャ

帯広市西 18 条北 1 丁目 17 番地

代表取締役社長 関本 裕至

管理技術者 保井 聖一



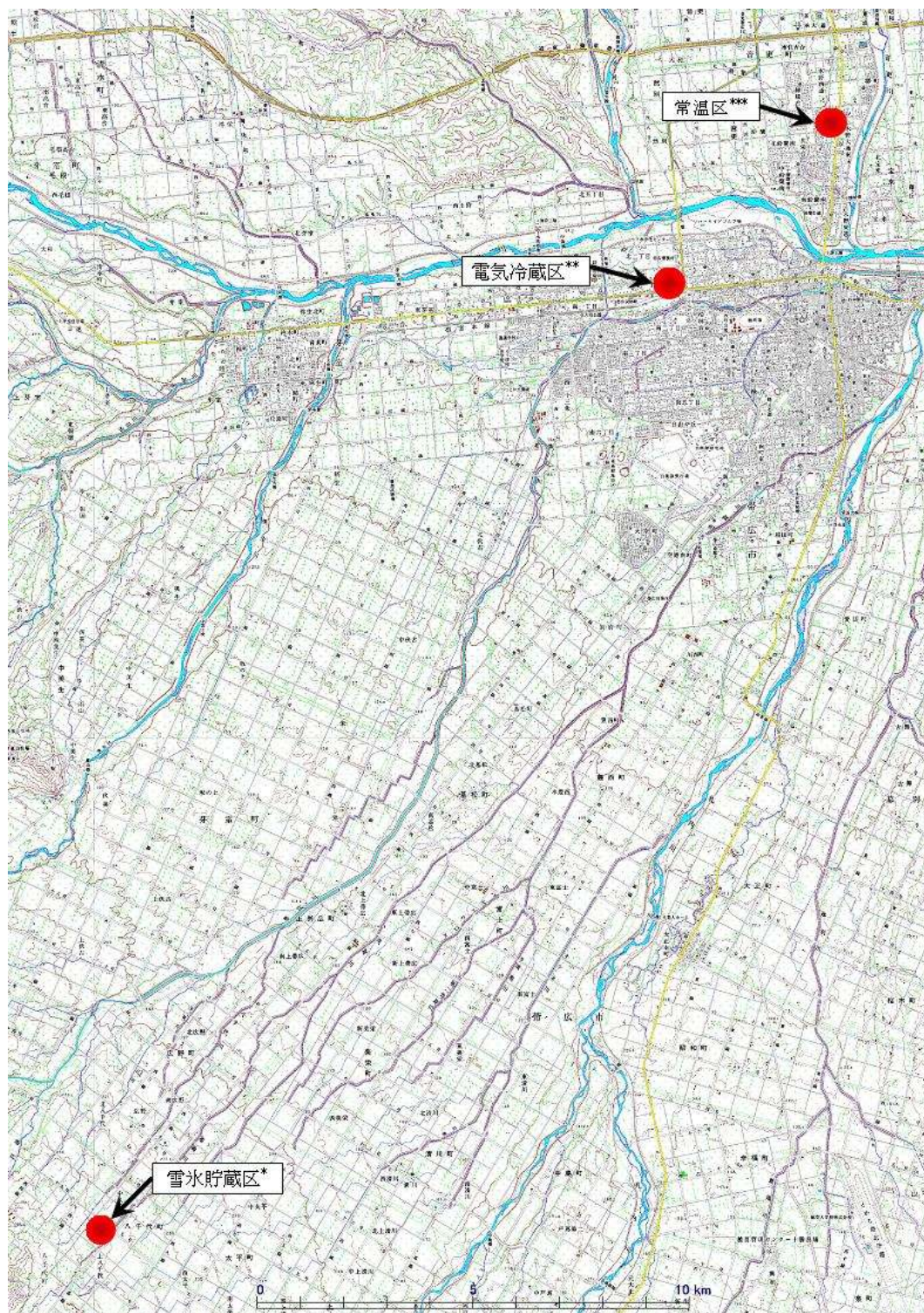


図 1-1 業務位置図

- \* 雪氷冷熱を利用した施設を用いる試験区
- \*\* 電気冷蔵施設を用いる試験区
- \*\*\* 室温貯蔵する試験区



## 2. 馬鈴しょ貯蔵試験

前年度産の道産馬鈴しょは通常5月中には大方の出荷を終え、8月下旬以降に順次、次年度産の入庫が開始される。本業務では、雪氷冷熱を利用した貯蔵施設において前年度産馬鈴しょの貯蔵を延長し、その品質変化の挙動を調査した。

### 2-1. 貯蔵施設の概要

本調査では、馬鈴しょ貯蔵試験を実施する際の試験区として、雪氷冷熱を利用した貯蔵庫(雪氷貯蔵区)、電気冷蔵庫を用いる試験区(電気冷蔵区)および常温貯蔵する試験区(常温区)の3試験区を設定し、それぞれ同様の調査を実施した。

雪氷貯蔵区としては、帯広市八千代町に位置する有限会社テクノファームの敷地内において大型実用化施設として建設された「ヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫」を選定した(写真 2-1-1)。貯蔵室面積は109m<sup>2</sup>で、農産物の貯蔵を用途として使用されており、馬鈴しょの貯蔵実績も有している。また、この施設には馬鈴しょ貯蔵開始時に行う予冷のための冷凍機も設置されている。

過去のデータ(平成23年6月～平成24年5月)によると、貯蔵庫内の平均温度は4.7℃、平均湿度は98.9%であり、調査実施期間である6月1日～9月1日にかけても温度を3～8℃、湿度を95%以上に維持可能である。



写真 2-1-1 雪氷貯蔵区として選定した貯蔵施設(左：外観、右：貯蔵室)

電気冷蔵区としては、弊社の所有する大型電気冷蔵庫を使用した。貯蔵期間中は馬鈴しょの貯蔵に適するよう、温度を5℃、湿度を95%前後に設定して稼働させた。

常温区としては、弊社の所有する大型倉庫を使用した。倉庫内は空調機能を有しておらず、庫内温度および湿度は直接外気の影響を受けることとなる。



## 2-2. 品質に関する項目

貯蔵中の馬鈴しょ品質の変化を把握するため、上述した3つの試験区において、平成24年6月1日～8月31日の期間中、品質に関する複数の項目について全7回の調査を実施した。調査した項目は、でんぷん価、糖度、外観、減耗率、含水率、彩度・明度、食味の7項目である。なお、常温区のみ、試料の品質劣化が著しく貯蔵継続が困難となったため、調査は第4回までとして試料を廃棄した。

調査に供試する試料は、生食用馬鈴しょの主要品種である「メイクイン」および「男爵」の2品種とした。

### (1) 調査内容と方法

#### ① でんぷん価

でんぷん価とはいも類等でんぷん質に富む食物中のでんぷん含量を重量パーセントで示した数値であり、馬鈴しょの食味や調理・加工適性に影響を及ぼすものである。

でんぷん価は「 $214.5 \times (\text{比重} - 1.05) + 7.5$ 」の式から算出可能となっている。したがって、でんぷん価の調査にあたっては、まず2kg程度の試料について空中重量を測定し、その後写真2-2-1に示すように、特定の容器中で水中重量を量って試料の比重を求めた。得られた比重の値を上記の式に当てはめ、でんぷん価を算出した。



写真 2-2-1 でんぷん価調査状況

#### ② 糖度

糖度とは食物が含有するショ糖の質量パーセント濃度のことであり、一般に甘みの指標として用いられる。

糖度は試料の皮を除去して可食部を細かく裁断した後、搾って得た抽出液を ATAGO 社製のデジタル糖度計 PR-101  $\alpha$  に滴下して測定した(写真 2-2-2)。



写真 2-2-2 糖度測定状況

### ③外観の状況(萌芽、くされ状況等)

調査期間中における試料外観の変化を把握するため、計7回実施した調査毎に各試験区および品種の内、中庸な個体を複数抽出して外観状況を目視確認した上、写真撮影して試料の保存状態を記録した。なお、外観の評価は萌芽状況およびくされ状況(老化塊茎特有のシワ、カビ、腐敗等の発生)に着目して行った。

### ④減耗率

一般に、貯蔵期間中における重量の減耗率が5%を上回ると、その馬鈴しょは商品価値を失うと言われている(土谷ら, 2009)。

第1回調査時に一定量の試料を任意のコンテナに入れて重量を測定しておき、その後の調査時毎に試料を入れたコンテナの重量を再度測定して減耗率を算出した(写真2-2-3)。



写真 2-2-3 減耗率測定状況

#### ⑤含水率

野菜は一般的に 80～90%程度の水分を含有している。また、その品質低下の一要因として、呼吸作用および蒸散作用による水分の損失が挙げられることから、含水率の低下は商品価値の低下を招くことになる(大久保, 1982)。

含水率は、試料を細かく裁断した後、恒温器を用いた常圧乾燥法によって試料を加熱し、加熱前後の試料重量を測定して算出した(写真 2-2-4)。



写真 2-2-4 含水率測定状況

#### ⑥彩度・明度

貯蔵期間の延長によって馬鈴しょ品質が変化した場合、可食部である塊茎内部にも色彩の変化が生じる可能性がある。物質の色彩は色合い(色相)、明るさ(明度)、あざやかさ(彩度)の三属性によって表現される。そこで、試料を半分に切断して断面を写真記録した後、MINOLTA 社製の色彩色差計 CR-300 を用いてその断面の色調を測定し、視覚的变化を数値化した(写真 2-2-5)。



写真 2-2-5 彩度・明度測定状況

### ⑦官能(食味)試験

各試験区の試料を皮むきして茹で上げ、官能試験に供試した。試験は20名以上を対象とし、外観、味覚、香味に関するアンケート調査を実施した(写真 2-2-6)。試食の評価基準には、市販されている馬鈴しょを「普通」とした5段階評価を用いた。なお、官能試験は貯蔵開始時と終了時の計2回実施した。また、常温区については第4回の調査後に試料を破棄したため、2回目の官能試験は雪氷貯蔵区と電気冷蔵区のみで実施した。調査対象人数は1回目が23名、2回目が21名である。



写真 2-2-6 官能(食味)試験実施状況

## (2) 調査結果

### ①でんぷん価

図 2-2-1 に第1回から第7回までの各試験区におけるでんぷん価の推移を示す。

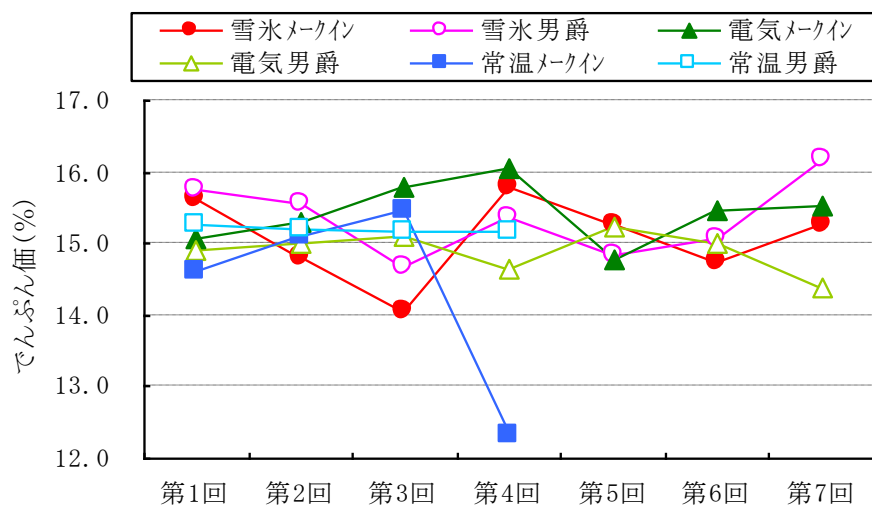


図 2-2-1 調査期間中におけるでんぷん価の推移

どの試験区および品種に関しても貯蔵期間中のでんぷん価は貯蔵開始時と比較して±1%程度で推移しており、大きな変化は見られなかった。ただし、常温区のメイクインについては第4回調査時にでんぷん価が大きく低下したが、これは試料のくされ状況が進行したために異常な数値を示したと考えられる。

一般に、道産のメイクインおよび男爵のでんぷん価は14~16%程度とされている。また、土谷ら(2009)によると、秋に収穫後の馬鈴しょ(メイクインおよび男爵)を凍土利用型低温貯蔵庫に貯蔵した場合、翌年7月末日までそのでんぷん価は15%前後で推移することが示されている。したがって、本調査結果から、雪氷冷熱を利用した貯蔵庫において道産馬鈴しょの貯蔵期間を延長した場合でも、でんぷん価に大きな影響は及ぼさないと考えられる。また、雪氷貯蔵区と電気冷蔵区とを比較した場合、でんぷん価に大きな差は見られなかった。このことから、でんぷん価については、雪氷冷熱を利用して貯蔵しても、電気冷蔵庫を用いて貯蔵した場合と比較して品質に差は生じないことが示された。

## ②糖度

図2-2-2に第1回から第7回までの各試験区における糖度の推移を示す。

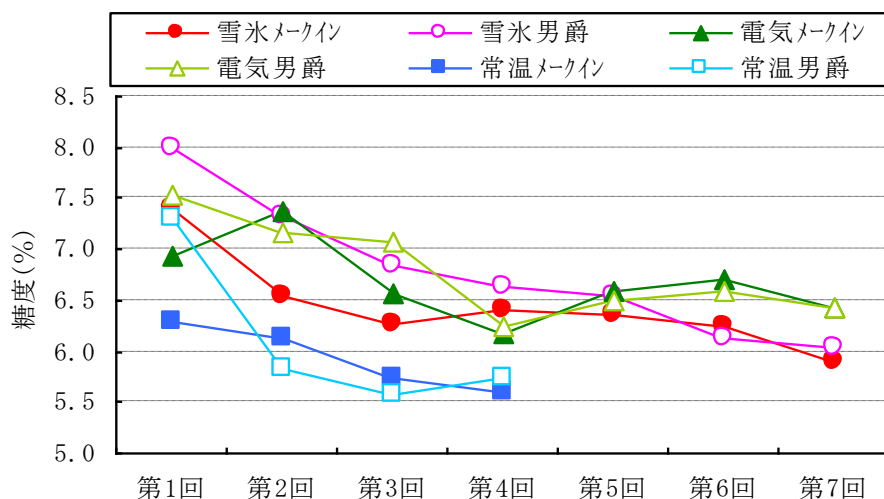


図2-2-2 調査期間中における糖度の推移

糖度については調査期間中、多少上下に変動するが、どの試験区および品種でも貯蔵期間が長くなるにつれて徐々に低下する傾向にあった。

通常、馬鈴しょは2~4℃の低温で貯蔵すると、糖含量が増加する性質を持っている。一方、土谷ら(2009)は、秋に収穫後の馬鈴しょ(メイクインおよび男爵)を凍土利用型



低温貯蔵庫に貯蔵した場合、試料中の還元糖(ブドウ糖や果糖)含量は貯蔵開始から 3 カ月間程度は増加し続けるが、その後は貯蔵を延長しても徐々に低下する傾向にあることを示している。また、(独)農業・食品産業技術総合研究機構 HP においても、メークインや男爵を低温貯蔵(※庫内温度 4℃)した場合、ブドウ糖と果糖の増加は貯蔵開始後 2 カ月~3 カ月、ショ糖の増加は貯蔵開始後 1 カ月程度経過した時点で鈍化し、その後、糖含量は変わらないかもしくは低下する傾向にあることが示されている。

以上のことを踏まえると、本調査では既に 7~9 カ月程度低温貯蔵している馬鈴しょを供試して貯蔵試験を実施したことから、貯蔵開始時点で試料中の糖含量は増加のピークを過ぎていたことが予想される。したがって、本調査結果は、一般的に見られる、貯蔵期間が長くなった場合に糖含量が漸減する現象と同様のものであると考えられる。

また、試験区間の比較をした場合、雪氷貯蔵区と電気冷蔵区では貯蔵期間中における糖度の推移に大きな違いが見られなかった。よって、糖度については、雪氷冷熱を利用して馬鈴しょを貯蔵した場合でも、電気冷蔵する場合と同等の品質を維持できることが示された。一方、常温区では貯蔵期間が長くなるにつれて、他 2 試験区よりも糖度の低下が大きかった。

一般に、野菜の呼吸作用は低温で抑制されるが、高温によって呼吸速度が上昇すると、糖を含む体内成分の分解が進むと言われている(大久保, 1982)。このことから、常温区では他の試験区よりも貯蔵温度が高かったために試料の呼吸作用が活発になり、糖の分解が進むことで糖度が低下したと考えられる。

### ③外観

図 2-2-3~4 に第 1 回から第 7 回までの各試験区における試料外観の変遷を示す。

なお、図中には各調査時に撮影した試料の写真およびその外観状況の概略を記載した。また、常温区の第 5 回調査時の欄には、廃棄直前に撮影した試料の様子を示した。



	第1回(6/5)	第2回(6/15)	第3回(7/3)	第4回(7/17)	第5回(7/30)	第6回(8/16)	第7回(8/30)
雪氷貯蔵区-メークイン	 萌芽、くされは無し	 若干の萌芽有り、くされは無し	 若干の萌芽有り、若干のシワ有り 一部カビ有り	 萌芽有り、若干のシワ有り 一部カビ有り	 萌芽が伸長、若干のシワ有り 一部カビ有り	 萌芽が伸長、若干のシワ有り 一部カビ有り	 萌芽が伸長、シワ有り 一部カビ有り
電気冷蔵区-メークイン	 萌芽、くされは無し	 若干の萌芽有り、くされは無し	 若干の萌芽有り、若干のシワ有り	 若干の萌芽有り、若干のシワ有り	 萌芽有り、若干のシワ有り 一部カビ有り	 萌芽が伸長、若干のシワ有り 一部カビ有り	 萌芽が伸長、若干のシワ有り 一部カビ有り
常温区-メークイン	 萌芽、くされは無し	 萌芽有り、くされは無し	 萌芽が伸長、シワ有り	 萌芽が伸長、シワ有り	 萌芽が伸長、シワ有り		

図 2-2-3 調査期間中における試料外観の変遷(メークイン)





	第1回(6/5)	第2回(6/15)	第3回(7/3)	第4回(7/17)	第5回(7/30)	第6回(8/16)	第7回(8/30)
雪水貯蔵区-男爵							
	萌芽・くされは無し	萌芽・くされは無し	萌芽・くされは無し	萌芽・くされは無し	若干の萌芽有り、くされは無し	萌芽有り、くされは無し	萌芽が伸長、若干のシワ有り
電気冷蔵区-男爵							
	萌芽・くされは無し	萌芽・くされは無し	萌芽・くされは無し	萌芽・くされは無し	萌芽・くされは無し	萌芽・くされは無し	若干の萌芽有り、若干のシワ有り
常温区-男爵							
	萌芽・くされは無し	若干の萌芽有り、くされは無し	萌芽有り、若干のシワ有り	萌芽有り、シワ有り	萌芽が伸長、シワ有り		

図 2-2-4 調査期間中における試料外観の変遷(男爵)

以下に、各試験区における試料外観の変遷について概要を述べる。

1) 雪氷貯蔵区-マークイン

貯蔵開始から約 2 週間後(第 2 回調査時)に萌芽が確認され、約 2 か月経過後(第 5 回調査時)には萌芽は約 5cm 程度に伸長した。また、約 1 カ月経過後(第 3 回調査時)には試料表面に老化塊茎特有のシワがわずかに確認され、このシワは貯蔵終了時には試料表面の広範囲に広がっていた。加えて、第 3 回調査時以降、試料の一部にカビが発生していた。

2) 電気冷蔵区-マークイン

雪氷貯蔵区と同様に、第 2 回調査時から萌芽が確認された。その後の試料外観の変遷については雪氷貯蔵区とほぼ同様であったが、萌芽伸長は雪氷貯蔵区よりも抑制されている傾向にあった。また、貯蔵終了時においても試料表面のシワは比較的少ない状態であった。

3) 常温区-マークイン

第 2 回調査時から萌芽の伸長が確認された。その後萌芽は伸長を続け、第 3 回調査時には長さ約 5cm 程度に達した。また、試料表面の大部分に広がるシワも確認された。貯蔵開始から約 2 カ月半後(第 4 回調査時)にはシワが深くなり、第 5 回調査時にはくされ状況が進行していたため、常温区における品質調査の実施は第 4 回までとした。

4) 雪氷貯蔵区-男爵

第 4 回調査時まで外観に変化はなかったが、第 5 回調査時に萌芽が確認された。この萌芽は貯蔵終了時には約 5cm 程度に伸長しており、試料表面にも若干のシワが見られた。

5) 電気冷蔵区-男爵

第 6 回調査時まで外観に変化は見られず、貯蔵終了時にのみ、若干の萌芽とシワが確認された。

6) 常温区-男爵

第 2 回調査時に萌芽が確認され、第 5 回調査時には約 5cm 程度に伸長していた。また、第 3 回調査時以降、試料表面にシワが広がり、第 5 回調査時にはくされ状況が進行していたため、「常温区-マークイン」と同様に品質調査の実施は第 4 回までとした。

以上の結果から、今回の貯蔵条件では、電気冷蔵区の方が雪氷貯蔵区よりも外観の劣化が抑制される傾向にあることが示された。また、マークインについては、いずれ



の試験区においても萌芽の伸長が確認されたことから、貯蔵期間を延長する場合、出荷時には摘芽作業が必要になると考えられる。

#### ④減耗率

図 2-2-5 に第 2 回から第 7 回までの各試験区における減耗率の推移を示す。

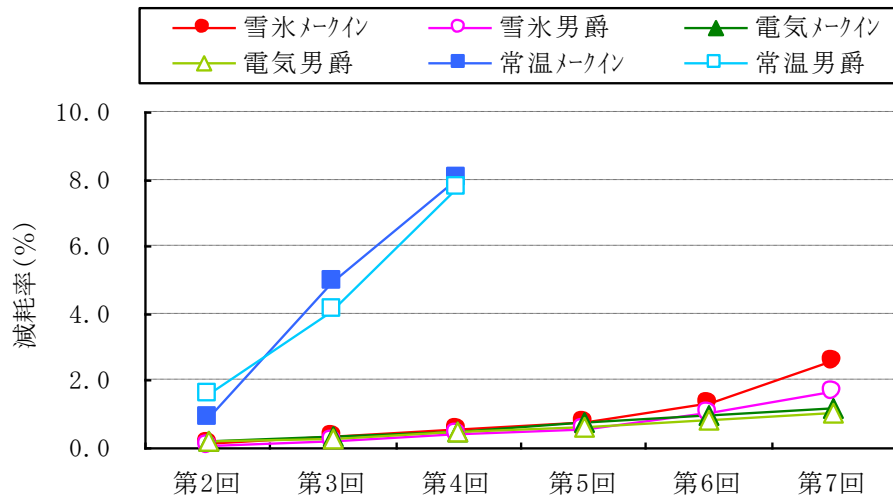


図 2-2-5 調査期間中における減耗率の推移

雪氷貯蔵区と電気冷蔵区では、どちらの品種でも第 5 回調査時まで減耗率は 1%以下であった。貯蔵終了時の減耗率は、雪氷貯蔵区のメイクインで 2.62%、男爵では 1.69%であり、電気冷蔵区のメイクインは 1.20%、男爵では 1.02%であった。よって、電気冷蔵区の方が雪氷貯蔵区よりも減耗率が低く抑えられた。常温区では、第 2 回調査時以降、他の 2 試験区と比較して急激に減耗率が増大した。質量減少による経済的損失や外観の劣化が進むため、重量減耗率の上限値はおよそ 5%とされているが、常温区では第 4 回調査時には両品種ともこの値を上回っていた。また、品種の傾向として、貯蔵終了時にはどの試験区においてもメイクインが男爵の値を上回っていた。

以上のように、本調査の貯蔵期間である 6 月 1 日から 8 月 31 日まで、雪氷貯蔵区および電気冷蔵区における減耗率は、十分に低い数値で推移した。しかし通常、道産馬鈴しょの収穫は 8 月～10 月に行われ、収穫後は順次予冷のために貯蔵庫へと搬入される。したがって、本調査で供試した試料は、前年度に収穫された後、およそ 8 カ月間程度低温で貯蔵されたものである。このことから、今回の調査結果のみでは、本来の貯蔵開始時(前年度秋)からの減耗率は不明である。一方、土谷ら(2009)は、秋に収穫後の馬鈴しょ(メイクインおよび男爵)を凍土利用型低温貯蔵庫に貯蔵した場合(※庫

内温度は常時 5℃以下、湿度 90%前後)、貯蔵期間 220 日の時点での減耗率は、メイクインで 2.2%、男爵では 1.4%であったと報告している。これと今回の調査結果を併せて考えると、秋に収穫した馬鈴しょを翌年 8 月末まで雪氷冷熱を利用した貯蔵庫にて貯蔵した場合の減耗率は、メイクインでおよそ 4.8%、男爵でおよそ 3.1%になると推定される(図 2-2-6)。また、仮に電気冷蔵区にも土谷らの数値を反映させると、メイクインでおよそ 3.4%、男爵ではおよそ 2.4%となり、どちらの試験区で貯蔵を延長した場合でも、馬鈴しょの商品価値は失われないと考えられる。

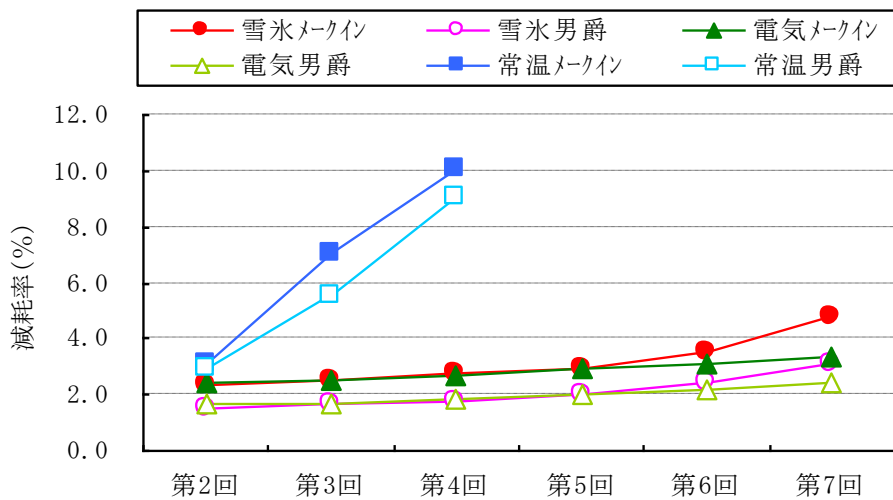


図 2-2-6 本来の貯蔵期間も加味した減耗率の推移(推定)

⑤含水率

図 2-2-7 に第 1 回から第 7 回までの各試験区における含水率の推移を示す。

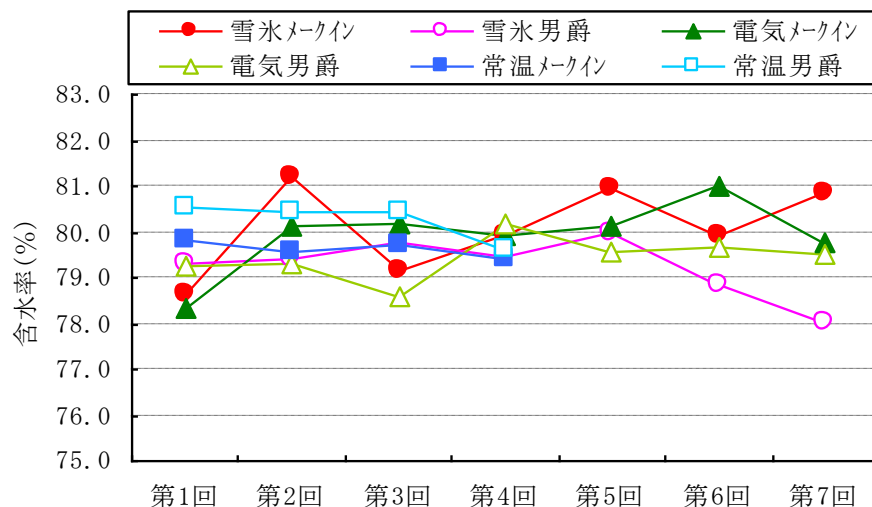


図 2-2-7 調査期間中における含水率の推移

含水率については調査時毎に数値が上下するものの、どの試験区および品種でも貯蔵開始時と終了時を比較して数値が大きく変化することはなかった。したがって、いずれの試験区においても、試料の呼吸および蒸散作用による水分の損失はほとんど生じていないと判断できる。本調査結果から、上述した減耗率の増加は含水率に起因するものではないと考えられる。

#### ⑥彩度・明度

本調査では、数値化した試料断面の色調をL\*a\*b\*表色系によって記載する。L\*は明度を、a\*とb\*は色相と彩度を決定する単位である。図2-2-8に第1回から第7回までの各試験区における試料断面の明度(L\*)の推移を示す。この値が低いほど、試料断面が暗い色であることを示しており、視覚的な品質が劣化していることを表わす。

なお、色相と彩度については、全7回の調査にわたって試験区や貯蔵期間との関係性が見られなかったため、結果のみを参考資料として巻末に添付する。また、調査時に写真記録した試料断面の様子については、巻末の写真帳に記載する。

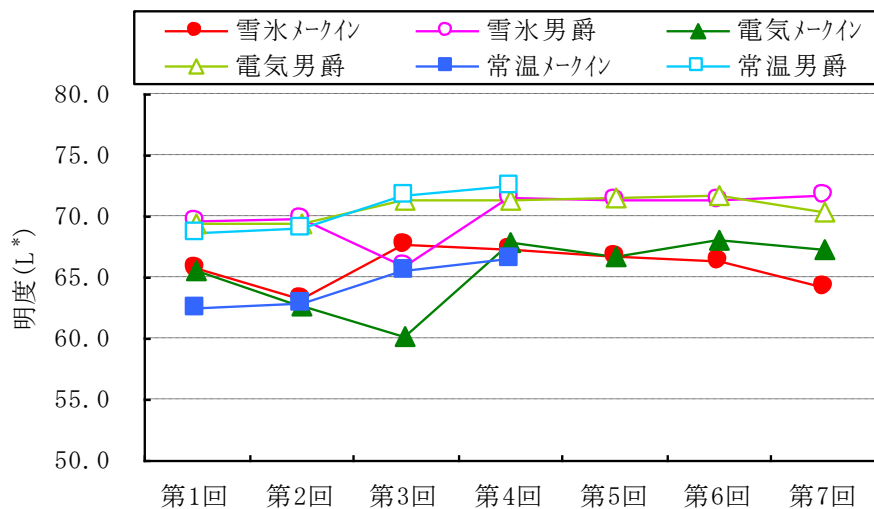


図 2-2-8 調査期間中における試料断面の明度(L\*)の推移

明度の数値は、どの試験区においても貯蔵開始時と比較して終了時で大きく低下することはなかった。また、上述したように、試験区の違いや貯蔵期間による色相および彩度の変化は確認されなかった。以上のことから、6月以降に貯蔵を延長した場合、いずれの試験区でも試料内部の視覚的な品質劣化は生じないものと考えられる。



⑦官能(食味)試験

図 2-2-9 に官能試験の結果を示す。結果は市販の馬鈴しょを「普通=3」として、味覚、外観、香味など計 6 項目について 5 段階評価したものである。なお、それぞれの数値は、貯蔵開始時では 23 名、終了時では 21 名を対象としたアンケート調査結果の平均値を示している。

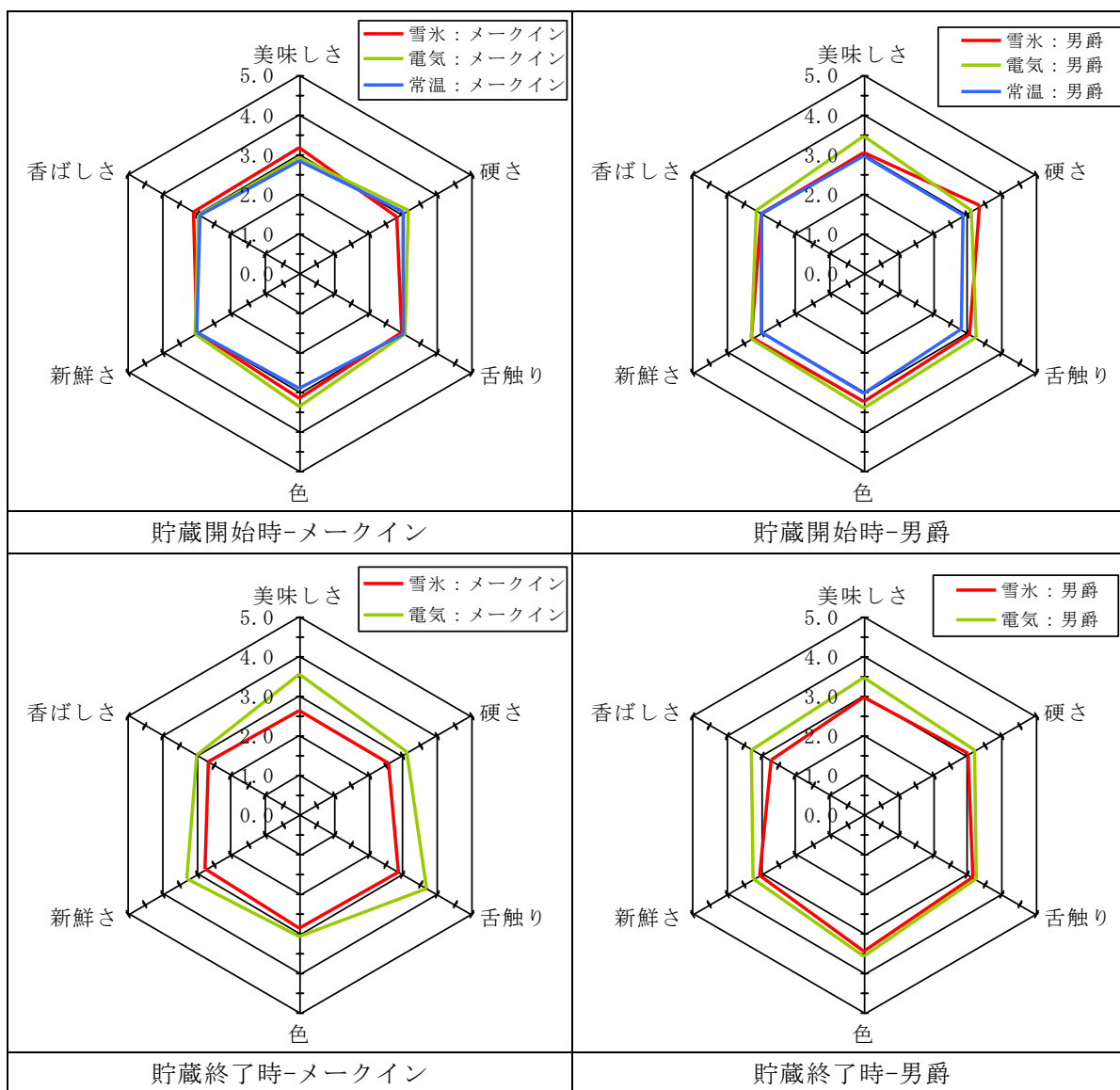


図 2-2-9 官能試験結果(上段：貯蔵開始時、下段：貯蔵終了時、左：マークイン、右：男爵)

貯蔵開始時の試験ではどの試験区および品種でも、食味に関する各項目に大きな差はなく、また、評価も市販の馬鈴しょと同等の「3」に近かった。

貯蔵終了時の試験では、雪氷貯蔵区のマークインが市販のものと比較して同等か、やや劣る食味であるとの回答が多かった。一方、電気冷蔵区のマークインは市販のも

のより食味がやや優れているとの回答が多かった。男爵の食味に関しては、どちらの試験区でも市販のものと同様か、やや優れているという結果となった。本調査結果から、雪氷冷熱を利用した貯蔵施設を用いて馬鈴しょの低温貯蔵を延長しても、市販のものと比較して食味は劣化しないことが示された。

また、一般に馬鈴しょは低温貯蔵することで甘みが増すと言われているが、今回の調査からはそれを反映するような結果は得られなかった。これについては既に述べたように、馬鈴しょは収穫後の貯蔵開始からおよそ3カ月が経過した時点で甘みの元である糖含量の増加がピークを迎えるなど、貯蔵期間が長くなっても食味に関する大きな成分変化が起こりにくいためだと考えられる。このことが本調査において貯蔵開始時と終了時の食味に大きな差が生じなかった理由だと推測できる。

## 2-3. 貯蔵条件に関する項目

通常、貯蔵中に見られる野菜類の品質変化には、貯蔵庫内の温度および湿度が大きく影響する。よって、本調査では貯蔵試験に際して設定した各試験区において、その貯蔵庫内温度および湿度を計測した。また、各試験区の外気についても温度および湿度のデータを取得し、外気が庫内温度および湿度に及ぼす影響についても検討した。

### (1) 調査内容と方法

調査期間中(平成 24 年 6 月 1 日～8 月 31 日)、試験区として設定した各貯蔵庫内に Onset 社製データロガー-HOBO Pro V2 を設置し、温度および湿度をインターバル 1 時間で自動計測した(写真 2-3-1)。また、雪氷貯蔵庫については貯蔵庫外にもロガーを設置し、外気の温度および湿度も計測した。得られた結果を 1 日ごとの平均値に換算し、各試験区の外気温および湿度と比較した。



写真 2-3-1 データロガー(上)とデータ回収用ケーブル(下)

### (2) 調査結果

#### ① 雪氷貯蔵区

図 2-3-1 に調査期間中の雪氷貯蔵区における貯蔵庫内温度および湿度の推移を示す。なお、図中には貯蔵施設外気を計測したデータおよびアメダス帯広観測所の平年値(※ 1981～2010 年の旬別平均値)も記載する。

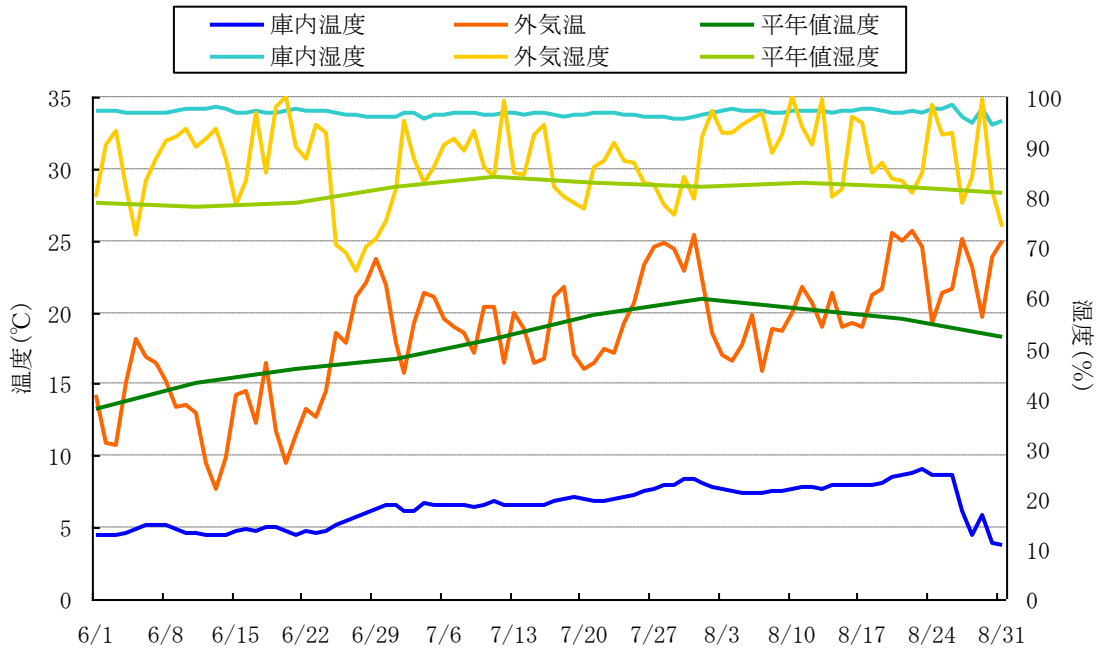


図 2-3-1 調査期間中の雪氷貯蔵区における庫内温度および湿度の推移

雪氷貯蔵区の貯蔵庫内温度は、調査開始当初 5℃程度を維持していた。しかし、6月下旬に見られた外気温の急激な上昇とともに庫内温度もおおよそ 6.5℃まで上昇した。庫内温度はその後 1 か月間 6℃から 7℃を維持していたが、7月末の外気温上昇によって再び上昇し、8℃に達した。8月 27 日には今年度産馬鈴しょの予冷を行うために貯蔵庫内の冷凍機が稼働し始めたことにより急激に低下しているが、その直前の庫内温度は 9℃となっていた。一方、貯蔵庫内湿度は外気の影響を大きく受けることなく、調査期間中おおよそ 94%～98%の値を維持していた。

調査結果より、貯蔵庫の外気温が平年値を上回った際には、それに伴って庫内温度も上昇することが示唆された。今回の調査期間中においては、6月下旬、7月下旬、8月下旬に外気温が平年値を 5℃以上上回る状況が確認された。これにより、庫内温度が最大 9℃まで上昇したと考えられる。一方、湿度については外気の影響をほぼ受けないことが分かった。

## ②電気冷蔵区

図 2-3-2 に調査期間中の電気冷蔵区における貯蔵庫内温度および湿度の推移を示す。なお、図中には貯蔵施設外気のデータとして、アメダス帯広観測所における今年の数値およびアメダス帯広観測所の平年値(※1981～2010 年の旬別平均値)も記載する。

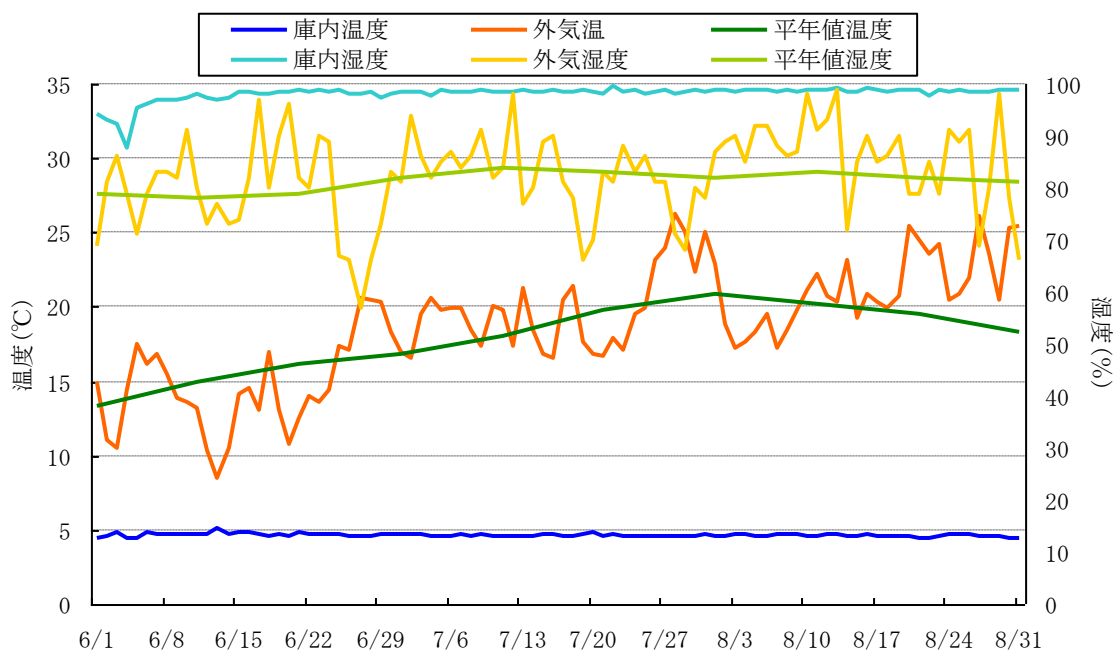


図 2-3-2 調査期間中の電気冷蔵区における庫内温度および湿度の推移

電気冷蔵区の貯蔵庫内温度は、外気温の変動に関わらず、調査開始時から終了時まで 5°C程度を維持していた。

貯蔵庫内湿度については、調査開始直後に 87.6%まで低下したが、これは貯蔵庫の扉開放によるものと考えられる。その他は外気の影響を大きく受けることなく、調査期間中はおよそ 98~99%の値を維持していた。

### ③常温区

図 2-3-3 に調査期間中の常温区における貯蔵庫内温度および湿度の推移を示す。なお、図中には貯蔵施設外気のデータとして、アメダス帯広観測所における今年の数値およびアメダス帯広観測所の平年値(※1981~2010年の旬別平均値)も記載する。また、当試験区では調査期間中(7月30日)に試料を破棄したため、貯蔵条件調査の実施も7月末日までとした。

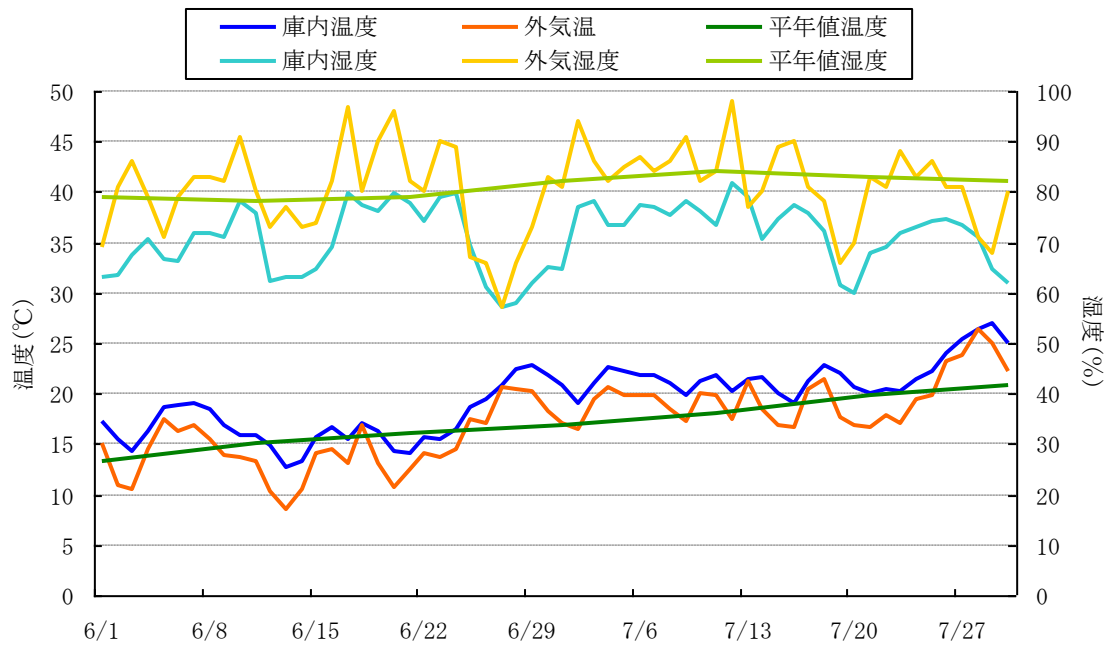


図 2-3-3 調査期間中の常温区における庫内温度および湿度の推移

常温区の貯蔵庫内温度は外気温の変動に伴って上下していることに加えて、調査期間中、外気温をおよそ1~4℃上回っていた。また、調査期間中の日平均庫内温度は最低で12.7℃、最高で26.9℃であった。

貯蔵庫内湿度については、温度と同じく外気の湿度に伴って推移しており、調査期間中は外気湿度を5~15%程度下回っていた。また、調査期間中の日平均庫内湿度は最低で57.0%、最高で81.9%であった。



## 2-4. 貯蔵試験総括

今回実施した貯蔵試験では、雪氷冷熱を利用した貯蔵区を用いた試験区(雪氷貯蔵区)、電気冷蔵庫を用いた試験区(電気冷蔵区)、常温貯蔵する試験区(常温区)の3試験区を設定した。設定した各試験区において道産馬鈴しょの生食用品種2種(メイクイン、男爵)を貯蔵し、平成24年6月1日～8月31日の期間中、品質の経時変化を調査するとともに貯蔵庫内外の温度および湿度を計測した。

本試験から得られた結果を以下に総括する。

### 【品質に関する項目】

貯蔵期間中の品質変化を把握するため、設定した3試験区において、でんぷん価、糖度、外観、減耗率、含水率、彩度・明度、官能(食味)の7項目に関する調査を実施した。なお、官能(食味)試験については貯蔵開始時と終了時の2回、それ以外の項目については調査回数を全7回としたが、常温区については他の2試験区よりも試料の劣化が著しかったために第4回調査後に試料を廃棄した。よって、常温区の官能(食味)試験実施は貯蔵開始時のみである。

調査した7項目の内、でんぷん価、含水率、彩度・明度、食味については調査期間中に顕著な変化はなく、加えて試験区間にも明確な差は認められなかった。したがって、これらの項目については雪氷冷熱を利用した貯蔵庫を用いて前年度産馬鈴しょの貯蔵を延長した場合でも、品質に大きな変化は生じないと考えられる。また、電気冷蔵により貯蔵を延長させた場合と比較しても、遜色ない品質を維持できることが分かった。

貯蔵期間中、経時変化および試験区間差のあった項目は、糖度、外観、減耗率の3項目であった。以下に各項目の調査結果概要を述べる。

糖度については、いずれの試験区においても貯蔵開始時より終了時で低い数値となった。これは、本調査で供試した試料においては、既に低温貯蔵による糖含量の増加がピークを過ぎていたことに起因すると考えられた。また、雪氷貯蔵区と電気冷蔵区を比較した場合に試験区間差は認められないが、常温区では他の2試験区よりも糖度が大きく低下した。

外観については、全ての試験区および品種で経時変化があった。特に常温区については他2試験区よりも試料外観の劣化が著しかった。貯蔵開始から1か月半経過後には萌芽が伸長し、老化塊茎特有のシワが試料表面全体に及ぶほどとなった。ただし、これについては品種間差も存在し、男爵の方がメイクインよりも外観の劣化程度が抑

制される傾向にあった。また、低温貯蔵を延長した雪氷貯蔵区と電気冷蔵区を比較すると、貯蔵期間が長くなるにつれて雪氷貯蔵区で外観の劣化がより早く進行した。

減耗率については、常温区が他 2 試験区と比較して顕著に大きくなる傾向にあり、貯蔵開始から 1 カ月半が経過した時点で、経済的な損失および外観劣化の目安から商品価値を失うとされる水準(5%)に達していた。雪氷貯蔵区と電気冷蔵区を比較した場合、貯蔵終了時には雪氷貯蔵区の方が高い数値を示していたが、どちらの試験区でも減耗率上限値である 5%には至っていなかった。

以上の 3 項目に関する調査結果から、雪氷冷熱を利用して馬鈴しょ(メイクイン、男爵)の貯蔵を 8 月末まで延長した場合、糖含量や外観といった品質は劣化するものの、商品としての価値は十分に維持可能であることが分かった。また、電気冷蔵によって貯蔵を延長した場合と比較しても、これらの品質に大きな差はないことが示された。

#### 【貯蔵条件に関する項目】

本調査では、調査期間中の貯蔵条件を把握するため、各試験区における貯蔵庫内外の温度および湿度を計測した。

雪氷貯蔵区においては、貯蔵開始当初は庫内温度 5℃程度、湿度 95%以上を維持していた。調査期間中、外気温が平年値を大きく上回る状況が数回確認され、それに伴って庫内温度も上昇して最大で 9℃に達した。一方、湿度は貯蔵期間中 95%を保っていた。

電気冷蔵区については外気の変動に影響されることなく、庫内温度 5℃、湿度 98%程度を維持した。

常温区の庫内温度および湿度は外気とほぼ同様に推移し、調査期間中の日平均庫内温度は最低で 12.7℃、最高で 26.9℃、日平均庫内湿度は最低で 57.0%、最高で 81.9%であった。

#### 【品質と貯蔵条件の関連性】

一般に、野菜類は貯蔵温度が高くなると呼吸作用(成分減耗および水分の生成)・蒸散作用(生成された水分の蒸発)・微生物作用(腐敗菌の繁殖)が活発化し、体内の水分および養分の消費が高くなることで品質が低下する(大久保 1982)。これらの生物的生理作用は低温により抑制されるため、貯蔵庫内は低温に保つ必要がある。また、野菜類は体内の水分が 5%失われると鮮度が低下して商品価値がなくなると言われているため、貯蔵庫内の湿度を高く維持しなければならない。したがって、貯蔵の適正条件

は野菜の種類によって異なるが、大多数の品目では最適な貯蔵温度は 0℃付近、湿度は 90～95%となっている(表 2-4-1)。表より、馬鈴しょは貯蔵条件を 4～8℃、湿度 95～98%に保つことで長期間貯蔵可能であることが分かる。

表 2-4-1 野菜の品目別貯蔵適正条件((独)農業・食品産業技術総合研究機構 HP より改変)

品目名	貯蔵最適温度(℃)	適正湿度(%)	貯蔵限界	品目名	貯蔵最適温度(℃)	適正湿度(%)	貯蔵限界
アスパラガス	2.5	95～100	2～3週	トマト(完熟)	8～10	85～90	1～3週
オオバ(青シソ)	8	100	2週	トマト(緑熟)	10～13	90～95	2～5週
オクラ	7～10	90～95	7～10日	ナス	10～12	90～95	1～2週
カブ	0	98～100	4月	ニラ	0	95～100	1週
カボチャ	12～15	50～70	2～3月	ニンジン	0	98～100	3～6月
カリフラワー	0	95～98	3～4週	ニンニク	-1～0	65～70	6～7月
キャベツ(早生)	0	98～100	3～6週	ネギ	0～2	95～100	10日
キャベツ(秋冬)	0	98～100	5～6月	ハクサイ	0	95～100	2～3月
キュウリ	10～12	85～90	10～14日	バレイショ(未熟)	10～15	90～95	10～14日
サツマイモ	13～15	85～95	4～7月	バレイショ(完熟)	4～8	95～98	5～10月
サトイモ	7～10	85～90	4月	パセリ	0	95～100	1～2月
サヤインゲン	4～7	95	7～10日	ピーマン	7～10	95～98	2～3週
サヤエンドウ	0	90～98	1～2週	ブロッコリー	0	95～100	10～14日
ショウガ	13	65	6月	ホウレンソウ	0	95～100	10～14日
セルリー	0	98～100	1～2月	メロン	2～5	95	2～3週
ダイコン	0～1	95～100	4月	ヤマイモ	2～5	70～80	2～3週
ダケノコ	0		30日	レタス	0	98～100	2～3週
タマネギ	0	65～70	1～8月	レンコン	0	98～100	1.5月

このように、野菜類の鮮度維持には貯蔵時の温度と湿度が大きく影響する。したがって、本調査結果に見られた試験区間の品質に関する違いは、貯蔵条件の違いを反映していると推察できる。

ここで、各試験区における温度および湿度の変化と、貯蔵期間中に変化のあった品質関連項目の推移を図 2-4-1～2 に示す。

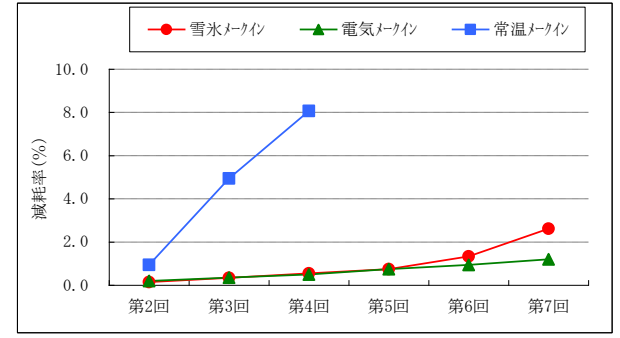
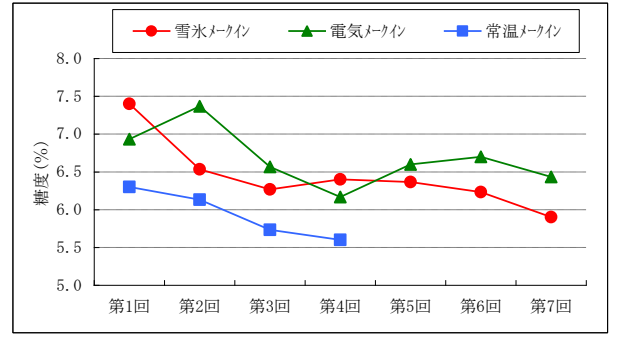
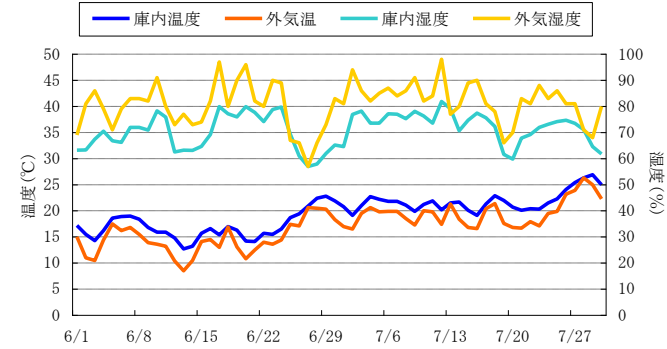
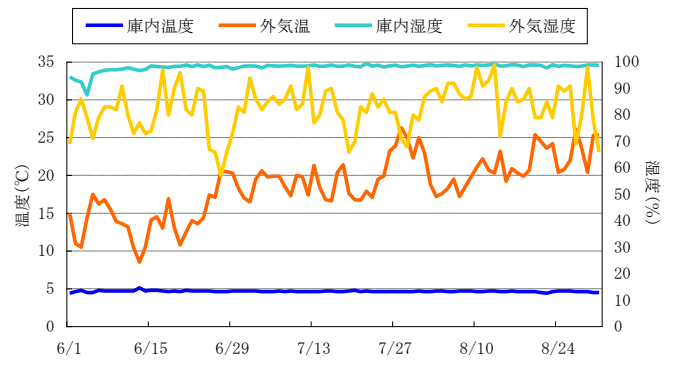
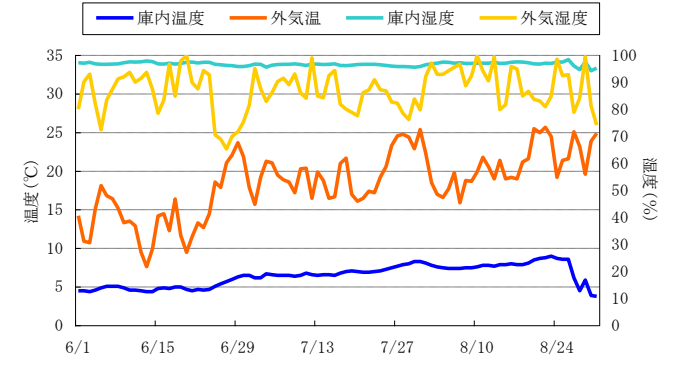
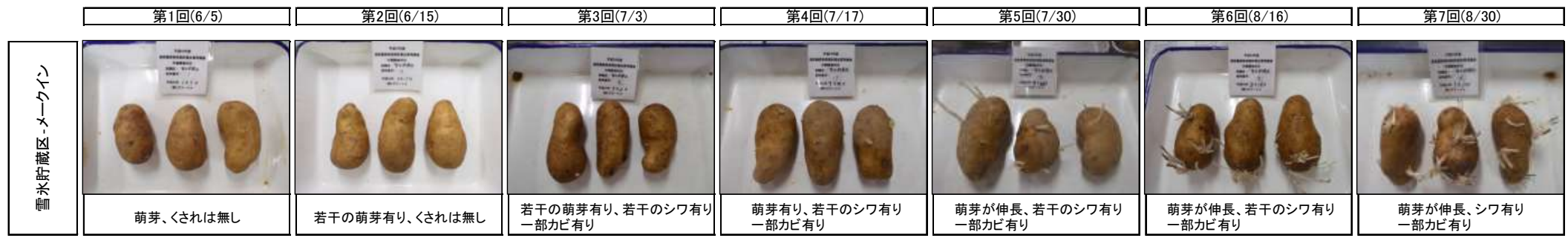


図 2-4-1 調査期間中における品質の変化と貯蔵条件の推移(メークイン)

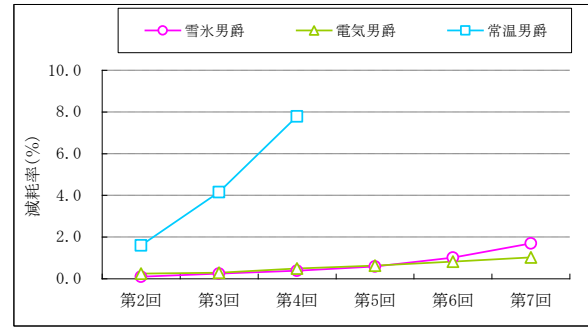
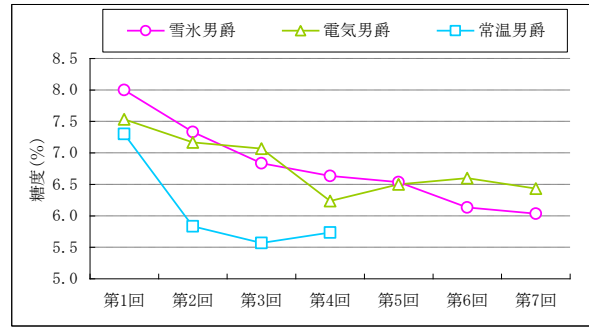
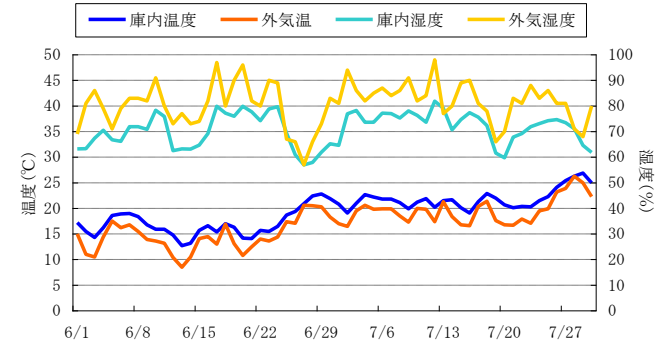
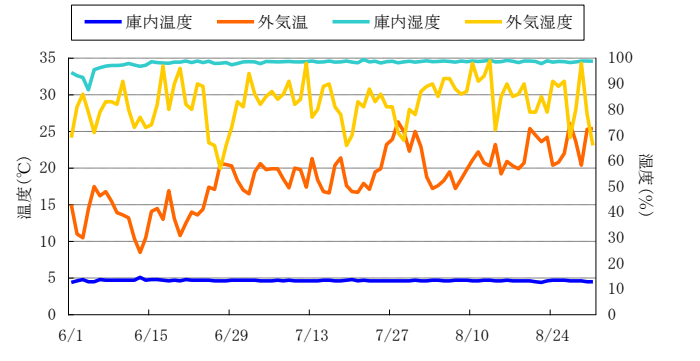
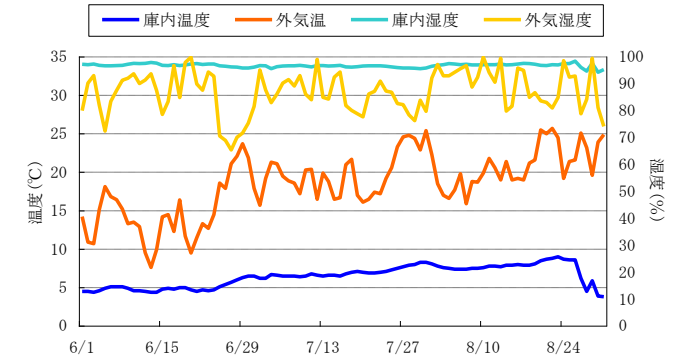
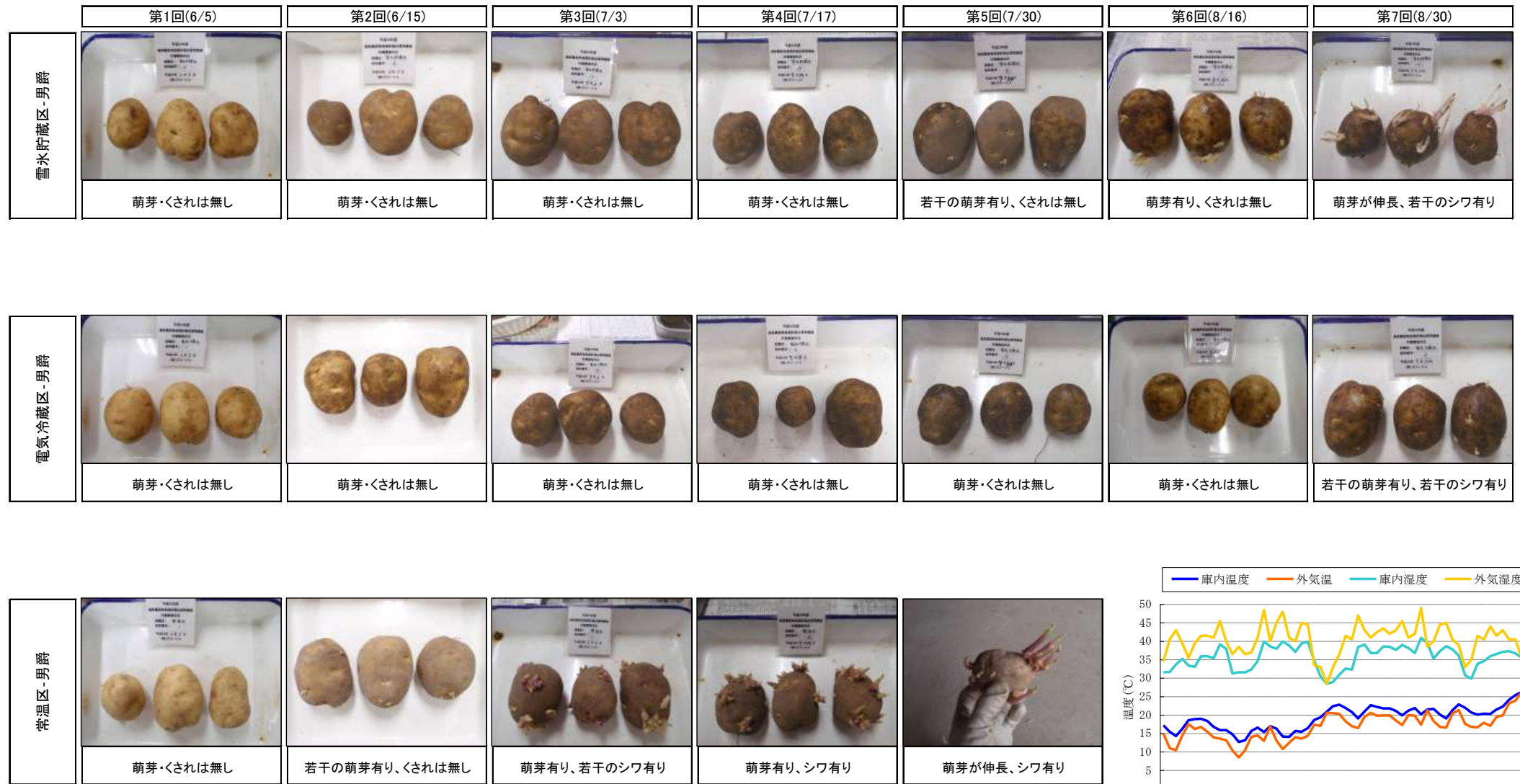


図 2-4-2 調査期間中における品質の変化と貯蔵条件の推移(男爵)



図 2-4-1~2 より、雪氷貯蔵区では電気冷蔵区よりも萌芽の伸長や試料の萎びが早い。加えて減耗率のグラフより、貯蔵期間後半になると雪氷貯蔵区では電気冷蔵区よりも数値が高くなっている。また、貯蔵条件のグラフより、電気冷蔵区では全貯蔵期間を通して庫内温度が 5℃程度に維持されているが、雪氷貯蔵区の庫内温度は徐々に上昇し、貯蔵終了直前の 8 月下旬には 9℃に達していることが分かる。一方、どちらの試験区でも湿度は 95%以上に維持されている。したがって、雪氷貯蔵区と電気冷蔵区の品質劣化速度の差は、庫内温度の差を反映していると判断できる。すなわち、雪氷貯蔵区では 6 月下旬以降、電気冷蔵区よりも庫内温度が高く推移したために試料の呼吸作用が活発化し、重量の減耗や外観の劣化が電気冷蔵区よりも進んだものと考えられる。常温区では他 2 試験区よりも庫内温度が明らかに高く推移したため、急激な減耗率の上昇、外観の劣化が進んだと思われる。

図 2-4-3 に示すように、道産馬鈴しょの流通量は端境期と呼ばれる 5 月～8 月の間に激減する。

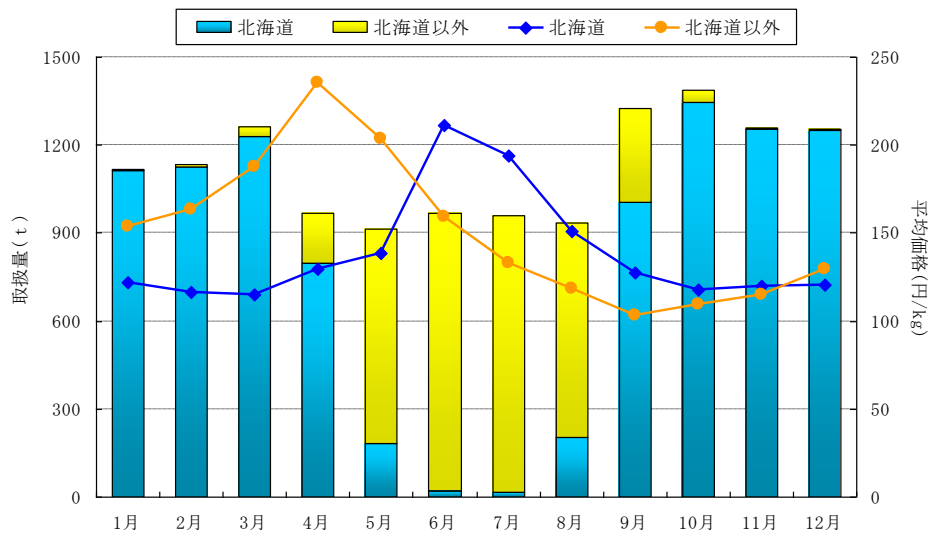


図 2-4-3 メークインの取扱量と単価(※東京中央卸売市場統計年報 (H19~23) より作成)

本調査結果から、雪氷冷熱を利用した場合でも商品価値を失わずに馬鈴しょの貯蔵を端境期まで延長することが可能なことが示された。しかしながら、今回の貯蔵条件調査より、貯蔵庫内の温度は夏期の気温上昇とともに徐々に上がっていくことも分かった。したがって、電気冷蔵庫を利用した場合と同等の鮮度を維持するには、庫内温度が上昇した際に人為的に温度を低下させるための冷凍機を併設する等、温度調節機能を備えたハイブリッド型の導入も検討することが重要である。



また、上述したように、低温貯蔵による馬鈴しょの品質変化(糖含量の上昇等)は貯蔵後約3カ月でピークを迎える。そのため、雪氷冷熱を利用して貯蔵した馬鈴しょの品質変化を正しく把握するには、収穫後、貯蔵が始まる9月頃から翌年8月末にかけて継続的なモニタリングを行う必要があると考えられる。

### 3. 貯蔵施設に関する情報収集整理

#### 3-1. 北海道における雪氷冷熱を利用した貯蔵施設の導入

雪氷冷熱エネルギー資源は大きく雪、氷、凍土の3種に分類することができるが、寒冷地である北海道にはこれらの冷熱資源が豊富に存在している。このことから、近年、雪氷冷熱エネルギーを積極的に有効利用していく試みが各地で行われている(図3-1-1)。



図3-1-1 雪氷冷熱エネルギー活用施設の導入状況

出典：北海道経済産業局「Cool Energy 5(雪氷熱エネルギー活用事例集5)」

北海道はその土地面積が広大であるため、地域によって気象条件が大きく異なるという特徴を持つ(図-3-1-2、※青色が濃くなるほど累計積雪深および積算寒度が大きくなることを示す)。よって、地域ごとの気象条件を考慮して、利用する冷熱エネルギー資源を検討する必要がある。具体的には、累計積雪深の大きい多雪地帯である日本海側では雪を利用し、冷え込みが厳しく積算寒度の大きい道東・道北地方では氷を利用すると効率的である。また、堆雪は地面に対して断熱効果を発揮するため、少雪寒冷地帯では冬期に地盤の凍結が進行する。このことから、寒冷で降雪の少ない道東内陸部においては、凍土の利用も有効であると考えられる。

農業分野においてもこれら冷熱エネルギー利用の方策は検討されており、これまで雪や氷、凍土を冷熱資源や保温材として有効活用し、農産物の貯蔵や生育抑制を行う取り組みがなされてきた。

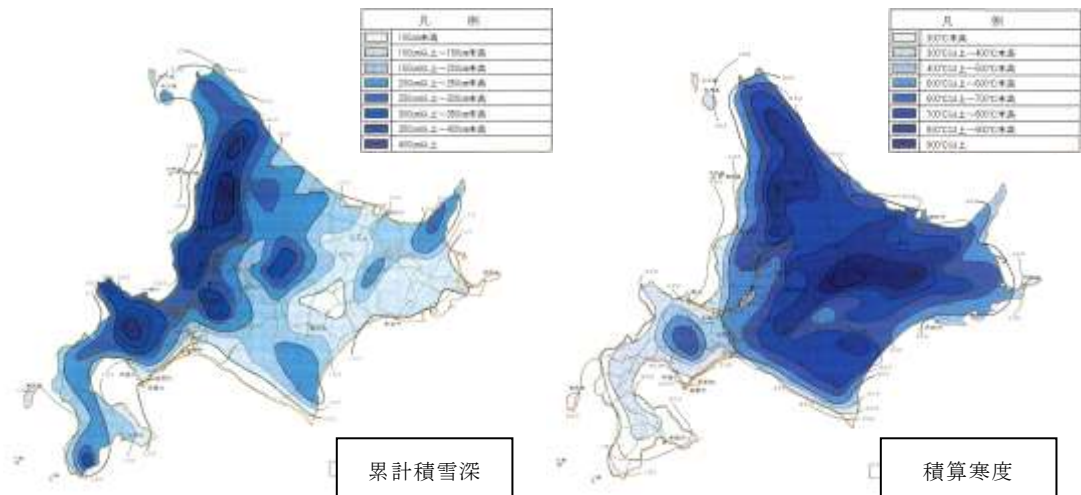


図 3-1-2 北海道内の累計積雪深分布図(左)と積算寒度分布図(右)

出典：(独)土木研究所寒地土木研究所 HP

### 3-2. 雪氷冷熱を利用した貯蔵施設の事例調査

現在、十勝管内で稼働している「雪・氷・凍土」の各種冷熱を利用した貯蔵施設に関する聞き取り調査を実施し、その概要や運用方法等を整理した。聞き取りによる事例調査から明らかとなった各貯蔵施設の稼働状況等を以下に述べる。

#### (1) 雪を利用した雪氷利用低温貯蔵庫 ～JA うらほろ雪氷貯蔵庫(雪室)～

##### 【施設概要】

雪室貯蔵庫建設の背景をみると、浦幌町では平成14年頃にJAと利雪研究会共同で、農協予冷庫を利用し実績を積んできた。馬鈴しょ用1tコンテナに雪を詰めて72tの貯雪を搬入し、予冷庫内で10t～130tの馬鈴しょ貯蔵を行ってきた。予冷庫が老朽化したので、平成22年に町の新産業創造事業等の助成を受けて、新たに「うらほろ雪氷貯蔵庫」を建設した。

- 所在地 浦幌町西町 JA うらほろ敷地
- 完成年度 平成22年1月に新設
- 総工費 1億3300万円
- 施設 農産物貯蔵庫 床面積482m<sup>2</sup>、高さ10m、貯蔵部面積 230m<sup>2</sup>、補助冷凍機を使用し1～3℃に保冷
- 農産物貯蔵量 馬鈴しょ「男爵」320t、「北海こがね」貯蔵量は不明  
販売先 札幌・帯広・青森・宮城
- 貯雪量 1tコンテナに雪を詰め両側に210tの雪 2月下旬に搬入
- 室温 上下の温度差が3℃以上になると、庫内空気を攪拌し5℃以下に保冷し、湿度は85%、庫内5℃以上になるとエアコンが作動する(6月以降補助)。

##### 【施設運営】

JA うらほろの敷地内に設置され、平成22年1月には雪室貯蔵庫を新設して運用を開始した。

雪室貯蔵庫内への雪の搬入は2月より開始し、敷地内の雪を除雪した際に固めておいたものを除雪機等で農作物用コンテナ(約1t容量)に詰めて搬入しているが、雪の保存性を考慮して汚れた雪が混入しないようにしている。搬入する雪の量は馬鈴しょの予定貯蔵量や呼吸熱等から算出している。

馬鈴しょの貯蔵は3月より開始しており、通常は雪氷の冷熱や寒冷期の外気導入によって運転しているが、庫内上部と下部の温度差が3℃以上になると攪拌ファンが作動し、温度が5℃以上に達するとエアコンが作動するよう設定している。貯蔵施設の電気は照明とクーラーなど空調機器のみで使用しており、電力消費量は低く抑えられている。

#### 【農産物貯蔵】

雪室貯蔵庫ではそのほとんどを馬鈴しょの貯蔵に利用しており、馬鈴しょ以外の農産物については一時的な保管や試験的な貯蔵しか行っていない。庫内は常に温度3℃、湿度85%程度に保たれ、馬鈴しょの発芽を抑制している。貯蔵されている馬鈴しょは男爵と北海こがねの2品種で、次年度産が出回る7月までの出荷分となっている。

#### 【雪室貯蔵システムの利点】

敷地内の除雪で固くなった雪を2月に除雪機などでコンテナに詰め、4カ所の扉を使用して貯雪する。貯蔵庫のエアコン、照明等の電気料、除雪車の燃料費、人件費を計算していないが、コストは電気冷蔵の10分の1との説明である。馬鈴しょの品種は「男爵」、「北海こがね」の2種で、販売先は主として帯広市内(スーパー、学校給食)および札幌、東北で、用途は一般食用とコロッケなどの加工品に利用される。2004年に「雪室馬鈴しょ」として商標登録済みである。糖分含量が増すので徐々に評価が上がってきている。

#### 【雪室貯蔵システムの問題点と課題】

雪室は貯蔵野菜の空間と貯雪空間がほぼ等しいことから、建設費が割高になる。また、2月末に敷地内の雪搬入作業が生じる。貯雪部の容量が大きいので、大型貯蔵庫の建設には向かない。馬鈴しょは3月に搬入することから、収穫後は各農家で保管しているのが実情である。貯蔵馬鈴しょの糖分増加により「甘み」が増す付加価値があるが、価格に反映させられていない。

関東や関西などの消費地へは輸送日数や費用の問題がある。食味の良さや端境期での出荷など市場での評価や需要は増しているが、価格、販売面での対応も厳しい。また、馬鈴しょだけでの雪室利用は採算性が悪く、不作なども重なるとメリットが得られていない。雪室など自然エネルギーを利用した貯蔵施設の有効性などをアピールし、商品や付加価値に対する理解や採算性を高めていけるような取り組みを近隣地域や北

海道と共同で実施していく必要があると考えられる。

前述したように、雪室貯蔵庫では貯蔵部分と同程度の貯雪部分が必要なため、建物の大型化に対応するのが難しく、建物の効率性としては不利である。雪の効率的な保管方法や貯蔵部分のみの増床など、同一面積での作物貯蔵量の増加や多品種の農作物貯蔵にも対応できるような施設の検討が必要である。

	
<p>貯蔵庫外観</p>	<p>貯蔵中の馬鈴しょ</p>
	
<p>貯蔵庫内部の状況①</p>	<p>貯蔵庫内部の状況②</p>

写真 3-2-1 JA うらほろ雪室貯蔵庫の状況

## (2) 氷を利用した雪氷利用低温貯蔵庫 ～鹿追氷室貯蔵庫～

### 【施設概要】

氷室貯蔵庫運営の背景をみると、鹿追町では 3300 万円を投じて貯蔵庫を建設し、平成元年から 7 年まで氷室貯蔵庫の機能と馬鈴しょ糖化調査を行ってきた。平成 6～13 年まで町内普及を目的に町民利用を受け入れ実施した。平成 8～12 年までは付加価値が認められなかったため、独自の販売路線の開拓と地元青果業者と連携した。平成 13 年からは、氷室貯蔵庫管理組合を設立し運営を移管した。組合員 15 名で構成されており、企業・団体が 8 名、個人 7 名からなる。



- 所在地 鹿追町柏ヶ丘 2 番地 15
- 完成年度 平成元年に新設
- 総工費 3,317 万円
- 施設 鹿追氷室管理組合馬鈴しょ貯蔵庫 床面積 156m<sup>2</sup>、高さ 15m、貯蔵部面積 90m<sup>2</sup>、貯蔵庫側面の約 100t の氷を使用し 1～3℃に保冷
- 農産物貯蔵量 馬鈴しょ「メイクイン」と「北あかり」を 80t、販売先は帯広市場・札幌市場・地元鹿追町
- 製氷方法 地下水を使用し敷地内で雪混じりの氷を散水によって製造する。氷製造にはコンパネ代、ビニールシート代と燃料費等で 50 万円を毎年出費する。氷は 1 月から作り始め、2 月中旬に貯蔵庫内に 7 時間かけて搬入する。
- 室温 上下の温度差がないので、庫内空気を攪拌する必要がない。庫内温度の調整は貯氷庫と貯蔵庫の間にある仕切り壁の開放で行う。湿度は 90～95%、庫内温度は 1～3℃程度に保たれる。馬鈴しょの搬入は、各農家で表皮を十分乾燥させた後、10 月に行う。

#### 【施設運営】

氷の製作は例年 1 月より開始されて 20 日～1 カ月間程度で完成し、出来た氷は 2 月中旬に貯蔵庫へ搬入される。氷は雪と水(地下水)を混ぜて製造し(雪だけでは溶けやすく、水だけでは硬くなって貯蔵する際に不都合なため)、出来上がった氷はチェーンソーで氷柱状に切り出してから搬入作業を行う。貯蔵された氷は通常 12 月頃まで保存可能である。

氷室全体のランニングコストは氷の製造費(資材、燃料代等を合わせ約 50 万円)がそのほとんどを占め、換気や照明などの電気代は基本料金の範囲内で済んでおり、低コストで運用できている。

#### 【農産物貯蔵】

貯蔵される農産物は主に馬鈴しょであり、品種はメイクインと北あかりが中心となっている。氷室にて貯蔵することによりでんぷん価が下がり糖度が上がって甘みが増すため、「氷室じゃがいも」として帯広や札幌方面に生食用として出荷し

ている。付加価値をつけるために毎年5月1日から出荷を開始し、端境期を考慮し7月頃をターゲットにしている。なお、甘さのピークがあるため長く貯蔵しすぎないように調整しながら出荷している。また、庫内環境は夏場でも温度4℃、湿度95%前後の状態に保たれており、氷室に貯蔵することで発芽を抑えることができ、店頭などでの保存性の点で有利になっている。

#### 【氷室貯蔵システムの利点】

敷地内の地下水で適度に雪を混ぜながら散水し、1月から2月中旬まで1人で散水する。チェーンソーを使用し0.9×1.8×0.45mの氷盤を造り、フォークリフトやパワーショベルで貯蔵庫内に7時間かけて搬入する。保冷期間は空調機や換気扇を一切使用しないのでランニングコストはゼロである。「甘さ」にピークがあるので付加価値を付けて5月から出荷するため、それまで作業がない。電気を一切使用しないので(照明は除く)大停電などの災害時に強い。

#### 【氷室貯蔵システムの問題点と課題】

氷室は野菜の貯蔵空間外に貯氷空間が必要なことから、建設費が割高になる。寒冷環境の中で散水による製氷作業があり、製氷のために50万円程度の費用を必要とする。2月中旬に敷地内の氷搬入作業が生じる。貯氷部の容量が大きいので、大型貯蔵庫の建設には向かない。貯蔵馬鈴しょの糖分増加により「甘み」が増す付加価値があるが、価格に反映させられない。「氷室じゃがいも」では商標登録はできない。

従来品の馬鈴しょとの違いが消費者や販売店に認知されておらず、価格や販売面での優位性が得られていない状況である。食味の向上や日持ちの良さなど氷室貯蔵のメリットについて理解を求め、需要の掘り起こし、販路の拡大に繋げていく取り組みが求められている。また、電気代や環境負荷が少ないなど氷室貯蔵庫の利点を活かしつつ、冷却効率の向上、氷の製造や搬入にかかる労力の低減などが実現できるよう貯蔵庫の構造や設置場所を検討し、施設の大型化、導入費用削減への対応を図っていく必要がある。

	
<p>貯蔵庫外観</p>	<p>貯蔵中の馬鈴しょ</p>
	
<p>貯蔵庫内部の状況①</p>	<p>貯蔵庫内部の状況②</p>

写真 3-2-2 鹿追氷室貯蔵庫の状況

### (3) 凍土を利用した雪氷利用低温貯蔵庫 ～八千代ヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫～

#### 【施設概要】

ヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫は、1987年帯広畜産大学に建設された人工永久凍土低温貯蔵モデルプラントが最初の事例である。ロシア、アラスカに天然の永久凍土貯蔵庫があるが、ヒートパイプを利用した低温貯蔵庫は世界初である。

貯蔵庫の機能調査に加え、馬鈴しょなど野菜の保存性調査を行ってきた。ヒートパイプが20m<sup>2</sup>の貯蔵庫に216本使用されており、貯蔵庫の壁は永久凍土化し、庫温は4℃以下で年間を通じて野菜(イモ類)が貯蔵可能であることが判明した。馬鈴しょの貯蔵は新ジャガが収穫される前までで良いので、ヒートパイプの数を少なくすることでコストダウン可能であることが分かり、八千代地区での実用貯蔵庫建設が実施された。

運営者の有限会社テクノファームは農業生産法人である。2003年に創設された株式会社ズコーシャの関連会社であり、馬鈴しょ、ながいも、小豆などを50haの農地で生産している。

- 所在地 帯広市八千代町基線 176-1
- 完成年度 平成 18 年 11 月に新設
- 総工費 1,700 万円(ヒートパイプは除く)  
ヒートパイプ 81 本 810 万円、予冷用冷凍機 7.9kW, 50 万円
- 施設 有限会社テクノファーム 馬鈴しょ貯蔵庫  
敷地面積 200m<sup>2</sup> 貯蔵庫床面積 109m<sup>2</sup>、高さ 4m  
貯蔵庫側面の凍土厚さ 3m
- 農産物貯蔵量 馬鈴しょ「メイクイン」と「北あかり」を 70t、販売先は新潟県、奈良県、東京市場
- 室温 庫内温度は冬期 2℃で維持され、5 月頃は 4℃、最暖月の 8 月に 8℃となる。貯蔵庫の壁から冷気と湿度が伝達される。庫内の空気攪拌用にサーキュレータが 2 台天井に設置されているが、ほとんど使用してない。馬鈴しょは最暖月 8 月末の収穫後、すぐに搬入するので予冷が必要となるため、小型冷凍機を作動させて、庫内温度を 4℃に維持する

#### 【施設運営】

冷熱源となる凍土は冬期間に自動的に形成される。積算寒度 800℃・日で 1 本当たりのヒートパイプ周囲に 1m 厚の凍土が造られる。

8 月末に収穫直後の馬鈴しょが貯蔵される際、予冷のために小型冷凍機を作動させるが、その使用期間はおよそ 2 カ月と短期的であるため、ランニングコストは非常に小さく抑えられている

#### 【農産物貯蔵】

貯蔵庫では自社で生産した馬鈴しょ品種のメイクインと北あかりを貯蔵している。その販売先は新潟県、奈良県、東京市場であり、ネット販売も行っている。

#### 【凍土低温貯蔵システムの利点】

ヒートパイプは地温より外気が低下すると自動的に機能し、3 月末まで凍土を造成し、外気が上昇すると自動的に機能停止する。冷熱源を造るための作業はなく、ランニングコストはゼロである。貯蔵庫の構造は耐震性が高く大震災

でも安定である。氷室や雪室と異なり、冷熱源の部屋がないので、空間すべて貯蔵に使用できる。現在、馬鈴しょは6月初旬までにすべて出荷してしまうので、次年度産の搬入が始まるまでは保冷や空調機を一切使用しない。

**【凍土低温貯蔵システムの問題点と課題】**

ヒートパイプの数で庫内温度が決定されるので、あらかじめ貯蔵野菜の種類と量及び貯蔵期間を決定しなければならない。ヒートパイプは現在市販されていないので、製造に3カ月を要する。現在4mのヒートパイプ1本の価格は10万円程度となっている。ただし、量産されれば6割程度の価格に落ち着くと考えられる。壁に凍土が形成されるので、凍上への対策として鉄骨構造を丈夫にする必要がある。高温時に搬入作業が生じると、小型の予冷用冷凍機を作動させる必要がある。ただし、使用期間が2カ月程度であるので消費電力は極めて少ない。



写真 3-2-3 八千代ヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫

### 3-3. 雪氷冷熱を利用した貯蔵施設の経済性評価

雪氷冷熱を利用した貯蔵施設の経済性を評価するために、「雪氷冷熱を利用した貯蔵施設の事例調査」で対象にした施設の聞き取り調査結果を参考に各種貯蔵施設のモデルを形成し、電気冷房を利用した貯蔵施設との経済性比較を行った。

#### (1) 雪氷冷熱を利用した貯蔵施設のモデル

前述したように、北海道における雪氷冷熱エネルギー資源は大きく雪、氷、凍土の3種に分類することができる。そのため、これらのエネルギー資源を活用した施設をモデル化し、電気冷房型施設と比較するための基礎資料とした。モデルとした各種貯蔵施設のイメージを図3-3-1に示す。

各施設の特徴は以下の通りである。

##### ①氷利用型

貯氷庫内に冷気を導入して製氷もしくは氷を直接搬入し、氷の冷熱を利用して貯蔵庫内の冷却を行う。貯氷庫内の氷密度は高く、狭い面積に多量の冷熱エネルギーを蓄えることができる。積算寒度が大きい地域に適した貯蔵施設であると考えられる。

##### ②雪利用型

貯雪庫内に雪を直接搬入し、雪の冷熱を利用して貯蔵庫内の冷却を行う。冷却方式は氷利用型と同様であるが、密度が低いことから氷利用型に比べ大容量の貯雪庫が必要となる。累計積雪深が大きい地域に適した貯蔵施設である。

##### ③凍土利用型

ヒートパイプを用いて冬期の外気に地中熱を放出して周辺を凍土化し、貯蔵庫内の冷却を行う。累計積雪深が小さく、積算寒度が大きい地域に適した施設であると考えられる。

##### ④電気冷房型

冷凍機を使用して貯蔵庫内の冷却を行う一般的な貯蔵施設であり、雪氷冷熱を利用した施設の対照となるものである。



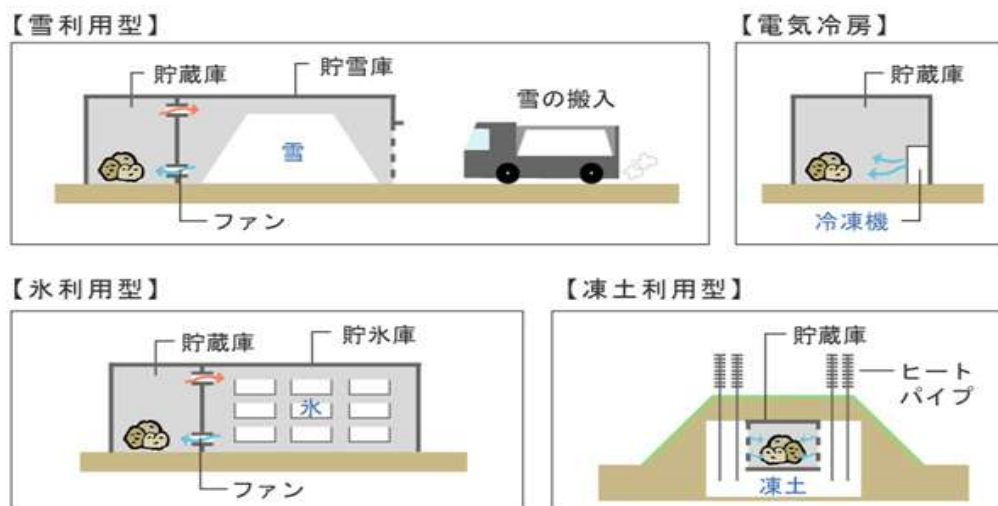


図 3-3-1 各貯蔵方式の概要模式図

表 3-3-1 には各貯蔵方式のモデル施設に関する概要の比較を示す。

設備面積は、自然冷熱併用型農作物貯蔵システム(社団法人日本冷凍空調設備工業連合会, 2006)に示されている電気冷房型の標準タイプ 120m<sup>2</sup> を基準とし、各貯蔵施設ともこの設備面積に合わせた。凍土利用型の設備面積については、ほぼ同じ規模の面積を有する帯広市八千代のヒートパイプ型実用凍土低温貯蔵庫の事例を引用した。この施設は、本調査の馬鈴しょ貯蔵試験に利用したものである。

氷利用型および雪利用型における利用雪氷等量は、道内で同規模の面積を有する施設の事例を引用した。氷利用型は網走市の自然氷利用長期野菜貯蔵施設であり、利用雪氷量は 68t である。雪利用型はこれらと同規模の事例がないことから、美唄市の米穀冷温貯蔵施設(4, 450m<sup>2</sup>)の事例を同等規模に換算して引用した。設備面積 120m<sup>2</sup> に換算した場合の利用雪氷量は 97t である。

表 3-3-1 各貯蔵方式によるモデル施設の比較

項目	氷利用型	雪利用型	凍土利用型	電気冷房型
設備面積 [m <sup>2</sup> ]	120	120	109	120
利用雪氷等量 [t]	68	97	—	—

## (2) 貯蔵施設の経済性評価

まず、イニシャルコストを試算するために、道内の馬鈴しょ電気冷房型貯蔵庫の事例(貯蔵設備面積 500m<sup>2</sup>) から施設工事単価 230 千円/m<sup>2</sup> (建築工事、設備工事一式を含む) を求め、これを参考値とした。

電気冷房型、氷利用型および雪利用型の3タイプについては、貯蔵庫の建築工事（上屋、断熱工事等）は共通と考え、氷利用型と雪利用型のみ貯蔵スペースに隣接した雪氷保存施設（貯氷庫あるいは貯雪庫）を整備することとした。なお、上述したように氷利用型と雪利用型では雪氷の密度が異なるため、必要とする貯氷（雪）庫の面積も異なると考えられる。これについては、「3-2. 雪氷冷熱を利用した貯蔵施設の事例調査」で述べた事例調査の結果より、農産物貯蔵設備面積に対する貯氷（雪）庫面積の割合を氷利用型では0.73倍、雪利用型では1.09倍とした。よって、氷利用型の貯氷庫面積は $120 \times 0.73 \div 88\text{m}^2$ 、雪利用型の貯雪庫面積は $120 \times 1.09 \div 131\text{m}^2$ となる。

以上のことから、各施設の概算工事費（イニシャルコスト）は以下のとおり算出される。

①電気冷房型

農産物貯蔵設備  $120\text{m}^2 \times 230$  千円 = 27,600 千円

②氷利用型

農産物貯蔵設備  $120\text{m}^2 \times 230$  千円 = 27,600 千円

貯氷庫  $88\text{m}^2 \times 42$  千円 = 3,696 千円

排水施設 2,000 千円

合計 27,600 千円 + 3,696 千円 + 2,000 千円 = 33,296 千円

③雪利用型

農産物貯蔵設備  $120\text{m}^2 \times 230$  千円 = 27,600 千円

貯雪庫  $131\text{m}^2 \times 83$  千円 = 10,873 千円

排水施設 2,000 千円

合計 27,600 千円 + 10,873 千円 + 2,000 千円 = 40,473 千円

なお、凍土利用型のイニシャルコストについては、ほぼ同じ規模の面積を有する帯広市八千代のヒートパイプ型実用凍土低温貯蔵庫のものを引用した。本施設のイニシャルコストは、次のように算出される。

④凍土利用型

農産物貯蔵設備 17,000 千円

ヒートパイプ設置 10,500 千円（ヒートパイプ 81 本  $\times$  100 千円、設置費）

予冷用冷凍機工事費 2,000 千円（機械本体 50 万円、電気工事費）

合計 17,000 千円 + 10,500 千円 + 2,000 千円 = 29,500 千円

電気冷房型のランニングコストは、自然冷熱併用型農作物貯蔵システム(社団法人日本冷凍空調設備工業連合会, 2006)に示されている標準モデルの値を引用した。氷利用型および雪利用型のランニングコストについては、前述のモデル施設(氷利用型:網走市の自然氷利用長期野菜貯蔵施設、雪利用型:美唄市の米穀冷温貯蔵施設)の事例に見られる数値を引用した。ただし、雪利用施設については大規模(ランニングコスト17,710千円/年)であることから、設備面積を120m<sup>2</sup>に換算して示した。

表3-3-2に、これら各貯蔵方式のイニシャルコストおよびランニングコストをまとめて示す。

イニシャルコストは、雪利用型>氷利用型>凍土利用型>電気冷房型であり、雪氷冷熱利用型が電気冷房型よりも高かった。これは、雪利用型および氷利用型においては農産物貯蔵設備の他に雪氷保存施設や排水施設の整備が必要であり、凍土利用型においてはヒートパイプ設置費および予冷用冷凍機工事費が加わるためである。

年間のランニングコストは、電気冷房型>雪利用型>氷利用型>凍土利用型の順であった。凍土利用型および氷利用型の施設は電気冷房型に比べランニングコストを大幅に抑えることができ、特に凍土利用型ではイニシャルコストを含めても、長期間の運用においてコスト的な優位性があることが認められる。これは、氷利用型および雪利用型では毎年雪氷の生成や運搬作業が発生するのに対し、凍土利用型ではその作業が全くないためであると考えられる。雪利用型については、密度の低い雪を大量に貯雪庫へと搬入する作業が必要であり運搬費等の費用が発生していることから、氷利用型、凍土利用型と比較してランニングコストが高い結果となった。

表 3-3-2 各貯蔵方式によるモデル施設のコストの比較

項目	氷利用型	雪利用型	凍土利用型	電気冷房型
イニシャルコスト [千円]	33,296	40,473	29,500	27,600
ランニングコスト [千円/年]	108	477	10	899

※雪利用型は120m<sup>2</sup>あたりの費用で算出

## 4. まとめと雪氷冷熱利用に向けた課題

### 4-1. 現地調査まとめ

本業務では雪氷冷熱を利用した貯蔵庫、電気冷蔵庫および常温の貯蔵庫において馬鈴しょを貯蔵し、貯蔵中の馬鈴しょ品質変化と貯蔵条件(温度および湿度)の推移を調査した。加えて、十勝管内に見られる雪氷冷熱貯蔵施設の事例調査を行い、雪氷冷熱利用の利点と問題点を示した。さらに、雪氷冷熱の利用形態(雪、氷、凍土)別にモデルを想定し、雪氷冷熱貯蔵施設の経済性を評価した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ①雪氷冷熱貯蔵施設において前年度産馬鈴しょの貯蔵を翌年8月末まで延長した場合にも、でんぷん価、含水率、彩度・明度、食味といった品質は大きく変化しないことが分かった。一方、糖度は貯蔵期間の延長とともに徐々に低下する傾向にあった。また、貯蔵期間が長くなるほど外観が劣化すること、さらに減耗率が高くなることが示された。なお、これらの品質変化は馬鈴しょの商品価値を損なうほどのものではなかった。
- ②電気冷蔵庫内の温度および湿度は調査期間中一定であったが、雪氷冷熱貯蔵施設では外気温の影響を受けて貯蔵庫内の温度が徐々に上昇した。
- ③上記①で述べた品質変化は、貯蔵庫内の温度条件に影響を受けて生じたものだと判断できた。つまり、今回使用した雪氷冷熱貯蔵庫では、夏期の外気温上昇に伴う庫内温度の上昇により、貯蔵物の呼吸速度が増大してその成分減耗が進んだと考えられた。また、この夏期に見られる庫内温度の上昇を人為的に抑制することで、さらなる鮮度保持が可能であることを述べた。
- ④雪氷冷熱貯蔵施設の事例調査結果より、冷熱利用形態(雪、氷、凍土)に関わらず、その利点にはランニングコストの安さおよび地震等の災害に対する耐性が高いことが挙げられた。一方、問題点としては第一にインシヤルコストの高さが挙げられた。雪および氷利用型では貯雪(氷)部の容量が大きいこと、凍土利用型では凍土造成に利用するヒートパイプの価格が高いことがその要因となっている。また、他にも貯蔵による付加価値を価格に反映できないという現状が問題点として挙げられた。こ

れについては、雪氷冷熱利用による貯蔵のメリットについて消費者の認識を深める、販路拡大に向けた取り組みを行うなどの課題が残されている。

- ⑤各種貯蔵施設の経済性を評価したところ、イニシャルコストは、雪利用型＞氷利用型＞凍土利用型＞電気冷房型であり、雪氷冷熱利用型が電気冷房型よりもコスト高であると試算された。年間のランニングコストは、電気冷房型＞雪利用型＞氷利用型＞凍土利用型の順であった。これらの結果から、凍土利用型および氷利用型の施設は電気冷房型に比べランニングコストを大幅に抑えることができ、特に凍土利用型ではイニシャルコストを含めても、長期間の運用においてコスト的な優位性があることが認められた。

## 4-2. 雪氷冷熱利用に向けた今後の課題

本業務における馬鈴しょ貯蔵試験の結果から、雪氷冷熱を利用した施設は電気冷蔵を用いた施設と同様に、夏期において農産物の品質が高度に維持されることが示された。また、貯蔵施設の経済性評価から、雪氷冷熱を利用した貯蔵施設は電気冷房型貯蔵施設に比べ、コスト的な優位性を示すことができた。

しかしながら、雪氷冷熱貯蔵施設の経済性については、全般的にランニングコストの面で大きなメリットがある反面、貯氷(雪)庫整備等のインシヤルコストが高く、初期設備に多大な投資が必要となっているのが現状である。雪氷冷熱貯蔵施設は電気冷房型貯蔵施設と比較してランニングコストは4割程度割安となるものの、インシヤルコストは2倍程度割高であり、トータルコストでは1~5割程度割高となるという試算もある(十勝雪氷エネルギー利用推進協議会, 2004)。

一方、本州方面における農産物の時期別の価格変動や市場性の詳細が把握されておらず、雪氷熱利用による農産物の広域的な流通可能性が不明瞭であるという問題もある。また、雪氷冷熱利用による付加価値が認められた場合の具体的な販路開拓、並びに広域に流通させた場合の経済効果の提示が求められている。

現在、道内の雪氷冷熱貯蔵庫に貯蔵されている品目としては、米、馬鈴しょ、小豆、アスパラガス、ながいも、にんじん等があり、加えてしいたけ栽培やホッケの冷風乾燥に利用している例がある(北海道経済産業局, 2012)。例えば、十勝地域では、ながいも、ごぼうなどの根菜類を雪氷冷熱利用により貯蔵し、付加価値を付けて広域に流通させている。今後の販路拡大や経済性向上のためには、このような地域の特産物等にも目を向け、高価格で流通できるような品目の貯蔵を検討する必要がある。

そのためには、雪氷冷熱を利用した長期貯蔵に適した品目の選抜、並びに道内農産物の商品価値を実証するための品質評価手法の確立も必要である。

以上のことから、雪氷冷熱利用に向けた課題については、以下のようにまとめることができる。

- ①地域特性に応じた経済的な貯蔵システムの開発
- ②道産農産物および雪氷貯蔵農産物の市場流通の把握
- ③多品目の農産物を対象とした雪氷冷熱による長期貯蔵可能性の検討
- ④付加価値の向上、地域ブランド化、品質評価手法の確立
- ⑤雪氷貯蔵農産物のPRおよび販路開拓のモデル化
- ⑥雪氷貯蔵農産物による社会経済効果の検証



## 引用文献

土木研究所寒地土木研究所：累計積雪深，積算寒度分布図

[http://www2.ceri.go.jp/fubuki\\_manual\\_old110331/pdf/19202.pdf](http://www2.ceri.go.jp/fubuki_manual_old110331/pdf/19202.pdf)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構(2001)：ばれいしょ塊茎の低温貯蔵における糖変動様式，試験研究成果

<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/harc/2001/cryo01-11.html>

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構：野菜の最適貯蔵条件，野菜茶業研究所ホームページ(2012年9月現在)

<http://www.naro.affrc.go.jp/vegetea/joho/vegetables/keep/018190.html>

北海道経済産業局：Cool Energy 5(雪氷熱エネルギー活用事例集5)，pp. 9-38

大久保増太郎(1982)：「商品としての野菜」 大久保増太郎編『野菜の鮮度保持』，pp. 25-30，養賢堂，東京

社団法人日本冷凍空調設備工業連合会(2006)：自然冷熱併用型農作物貯蔵システム，冷凍空調設備，pp. 14-17

十勝雪氷エネルギー利用推進協議会(2002)：十勝における雪氷冷熱エネルギー利用に関する調査報告書 pp. 36-40

土谷富士夫ら(2009)：人工永久凍土低温貯蔵庫の開発とその経時変化に対する研究，pp. 113-118, 136-137