



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ポストハーベスト技術でさらに良くなる北海道米の品質：特集 ここまで来た！北海道米、その無限の可能性
Author(s)	川村, 周三
Citation	農業機械学会北海道支部会報, 44, 145-152
Issue Date	2004
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71299
Type	journal article
File Information	Ka2004-2 Hokkaido rice Publishe.pdf



ポストハーベスト技術でさらに良くなる北海道米の品質

川村周三*

1. はじめに

北海道における米の共同乾燥施設（共乾施設）は，1995年以前は共同乾燥調製施設（粳貯蔵を行わないライスセンター）が中心であった。1995年に食糧管理法が廃止され，新たに「主要食糧の需給及び価格の安定に関する法律（いわゆる新食糧法）」が施行された。その結果，米の商取引が自由になり産地間競争が一段と厳しくなった。

そこで北海道では，大ロットで高品質な米を出荷するために，1996年以後，最新技術を集めた共同乾燥調製貯蔵施設（粳貯蔵を行うカントリーエレベータ）を相次いで建設している。このように急速にカントリーエレベータが普及した背景には，北海道独自の米のポストハーベスト技術（本州以南のカントリーエレベータでは採用されていない新技術）の研究開発とその実用化がある¹⁾。

ここでは，北海道米の品質を向上させる自動品質検査システム，粳精選別技術や玄米の粒厚選別と色彩選別とを組み合わせた選別技術，新米の美味しさを保持する超低温貯蔵技術の開発と普及について述べる。

2. 米の自動自主検査（品質判定）システム²⁻⁹⁾

共乾施設における米の品質測定は，従来から，荷受時や乾燥工程中および出荷時の水分測定が中心である。また，自主検査のために乾燥した粳の粳摺歩留や良玄米歩留の測定，および肉眼による玄米の外観判定なども行われている。

近年，可視光や近赤外光を利用した米の非破壊品質測定技術により，玄米の整粒割合や水分，タンパク質を短時間で簡単に測定することが可能となってきた。その測定精度は図1や図2に示したように，自主検査に使うには十分である。この技術を利用して米の自動自主検査システム（図3）が開発され，北海道の共乾施設に普及している。この自主検査システムにより，その品質（整粒割合が高くタンパク質含量が低い米の品質が良い）をもとに荷受した米を品質ごとに仕分けして，その後の乾燥工程などを行うことが可能となっている。また，この検査技術は，品質により出荷玄米に価格差（プレミアム：奨励金）を付けることにも利用されている。

共乾施設で荷受時に測定した自主検査試料の品質情報を生産者にフィードバックし，これを営農指導に役立てるシステムが整備されつつある。荷受時の米のタンパク質は同一地域同一品種であっても大きなばらつきがある。このタンパク質のばらつきは，水田ごとの土壌の違いと

生産者ごとの栽培技術の違いによるところが大きい。衛星から測定する水田の稲のタンパク質情報，および荷受単位（荷受トラック）ごとの米の整粒割合やタンパク質情報と各水田の土壌情報，生産者の栽培管理情報および気象情報をデータベース化し蓄積することにより，これらの情報を高品質米の生産に利用できる。

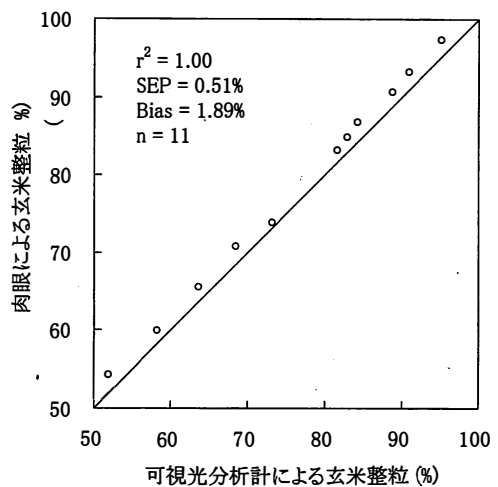


図1 可視光分析計（組成分析計）による玄米整粒の測定精度

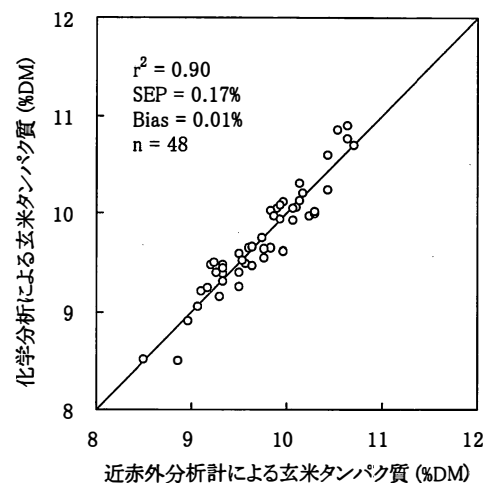


図2 近赤外分析計による玄米タンパク質の測定精度

3. 粳や玄米の選別技術

(1) 貯蔵のための粳精選別システム¹⁰⁻¹³⁾

カントリーエレベータで粳貯蔵を行う場合、貯蔵前の粳の品質が悪いと貯蔵中の品質劣化が促進される可能性が高い。北海道の粳は本州以南の粳に比べて、登熟期間が短く登熟期の気温が低いため、しいなや未熟粒等が多く含まれる。したがって、北海道では貯蔵前の粳精選別がとくに重要となる。

そこで貯蔵前の粳から夾雑物、しいな、未熟粒、脱ぶ粒などを選別除去することを目的に、各種選別機の選別特性について明らかにした。比重選別機を用いて粳の精選別を行うと、整粒、未熟粒、しいな、脱ぶ粒などを分別することが可能であり(図4)、その結果、粳摺歩留や良玄米歩留が高い粳を分別可能である。さらに脂肪酸度の低い米(品質の良い米)と脂肪酸度の高い米(品質の悪い米)の分別も可能であった(図5)。

この結果を基に粳貯蔵のための最適な粳精選別システムを考案した。この粳精選別システムは、比重選別機を中心に風力選別機とインデントシリンドラ型選別機を組み合わせ構成されている(図6)。このシステムは従来のシステムに比較して単純な構成であり、したがって設備費と運転経費が低コストとなり、同時に夾雑物、しいな、未熟粒、被害粒、脱ぶ粒、碎粒を分別除去し、貯蔵粳の品質と貯蔵後の粳摺歩留とを向上させることが可能である。この粳精選別システムは2000年1月の北海道農業試験会議で「指導参考」となり、北海道のカントリーエレベータの標準的設備として普及している。

(2) 粒厚選別と色彩選別の組み合わせによる玄米選別技術¹⁴⁻¹⁷⁾

米の共乾施設や農家では、粳摺後の玄米の選別は従来から粒厚選別が行われている。この粒厚選別では粒厚の小さい未熟粒や死米などを除き、整粒割合を増やし、玄米の品質を向上させる。粒厚選別を行う際、以前は目幅が1.90mm程度の篩(ふるい)を使用していた。しか

し最近では、品質の良い米を生産するために、目幅を大きくする傾向にある。その結果、現在の標準的な篩の目幅は、「きらら397」では2.00mm、「ほしのゆめ」では1.95mmとなっている。しかし、目幅を2.00mm(または1.95mm)と大きくしても、1等玄米を調製できない場合もあり、そのような時には、さらに大きな目幅で選別する例もある。このように篩の目幅を大きくすると、歩留が低下し、生産者にとって損失が大きくなる。

北海道の最新のカントリーエレベータでは、玄米から異物(小石等)や着色粒を除去するために、粒厚選別の後に色彩選別を行う例が増えている。この場合、粒厚選別の篩の目幅を現行よりも小さくして歩留を上げ、その後で色彩選別により未熟粒、死米、被害粒、着色粒、異物を積極的に取り除くことが適切である。すなわち、高

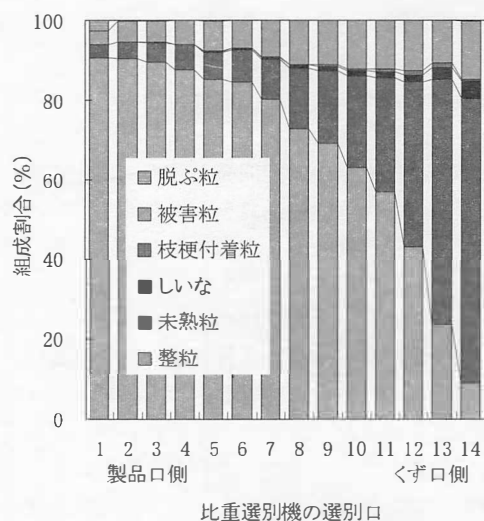


図4 比重選別機の選別口14等分試料の粳組成

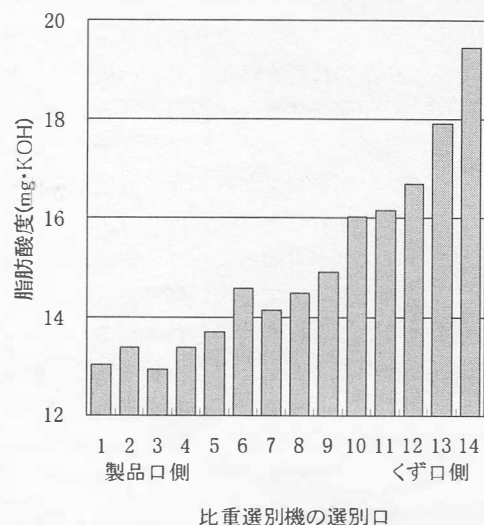


図5 比重選別機の選別口14等分試料の粳摺後玄米の脂肪酸度

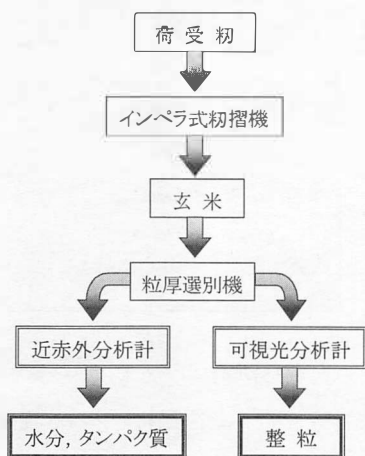


図3 米の自動自主検査システム

品質米（1等米）の調製と歩留の向上とを同時に実現するために、粒厚選別と色彩選別とを組み合わせた新しい玄米選別技術を開発した。

試験用試料を調製するために、「きらら397」では篩の目幅1.80mm，1.90mm，2.00mmで原料玄米をそれぞれ粒厚選別した。さらに粒厚選別後の玄米を色彩選別した。「ほしのゆめ」では篩の目幅1.75mm，1.85mm，1.95mmで原料玄米をそれぞれ粒厚選別し，その後に色彩選別を行った。ここで、「きらら397」では「粒2.00」，「ほしのゆめ」では「粒1.95」が現行の粒厚選別のみを行った玄米である。

試験の結果，現行の粒厚選別の篩の目幅を0.1mm小さくして，「きらら397」では1.90mm，「ほしのゆめ」では1.85mmで選別し，さらにそれを色彩選別することにより次のような結果となった。

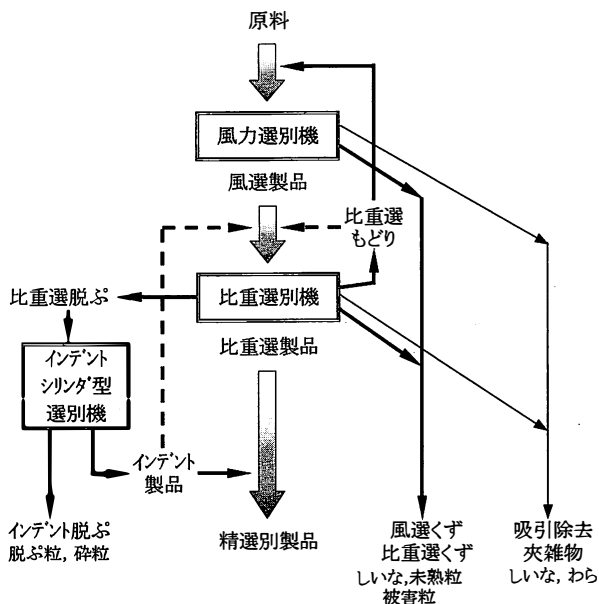


図6 最適な籾精選別システムの流れ図

- 1) 歩留が4～11ポイント増加した（表1）。
- 2) 検査等級が向上し1等となった（表1）。
（2001年北村産「きらら397」は着色粒が0.2%含まれていたため2等となった）
- 3) 整粒割合が0.1～3ポイント増加した（表1）。
- 4) 搗精歩留が0.2～0.3ポイント増加した（図7）。
- 5) 食味試験の総合評価がわずかに向上した（図8）。

以上のように，現行の粒厚選別の篩の目幅を小さくして選別を行い，その玄米を色彩選別することにより，品質の向上と歩留の向上とが同時に可能なことが明らかとなった。この選別技術は2003年1月の北海道農業試験会議で「普及推進」となり，今後の普及が進むと思われる。

4. 冬季の寒冷外気を利用した籾の超低温貯蔵技術の開発と普及¹⁸⁻²⁴⁾

(1) 超低温貯蔵

玄米を－15℃で貯蔵する基礎試験を行い，氷点下での米の貯蔵が低温貯蔵よりさらに高い品質を保持できることを明らかにした。そこで氷点下で米を貯蔵することを，米の新しい貯蔵技術として，超低温貯蔵と呼ぶこととした。超低温貯蔵は従来から行われている低温貯蔵よりも低い温度で米を貯蔵することから名付けた。

ところが，実用規模のサイロや貯蔵庫では外気温度の季節変化があり，米の温度を常に氷点下に保つことは，貯蔵コストを考慮すると，実用的ではないと思われた。そこで，実用レベルにおける米の超低温貯蔵として，「貯蔵期間中の穀温が1ヵ月以上氷点下である貯蔵方式」と定義した。

(2) 北海道における籾貯蔵

北海道では1965年と1971年にカントリーエレベータが2ヵ所に建設された。しかし当時は，1) 貯蔵前の籾の精選別技術が確立されておらず，また2) 貯蔵中のサイロ内空間での結露防止技術が未熟であり，さらに3) 貯蔵後の籾摺りにおいて穀温の低い籾に対応する技術が不十分であった，などの理由により，やがて籾貯蔵を行うことを取りやめた。それ以後，北海道のような寒冷地に

表1 粒厚選別と色彩選別の組合せによる歩留，検査等級，整粒割合の向上

試料	色彩選別の有無	歩留（％）			検査等級			整粒割合（％）		
		粒厚選別の篩の目幅			粒厚選別の篩の目幅			粒厚選別の篩の目幅		
		1.80mm	1.90mm	2.00mm	1.80mm	1.90mm	2.00mm	1.80mm	1.90mm	2.00mm
2001年北村産 きらら397	色選なし	97.3	94.1	84.0	等外	等外	3（中）	73.4	74.9	78.4
	色選あり	88.2	88.2	81.5	1（下）	2（上）	2（上）	80.6	80.8	79.3
2002年北村産 きらら397	色選なし	98.5	95.9	84.5	3（上）	2（下）	2（中）	70.6	72.3	75.8
	色選あり	89.6	89.5	81.9	1（下）	1（下）	1（下）	75.5	75.9	75.9
2002年長沼産 きらら397	色選なし	98.1	92.5	72.3	等外	等外	3（下）	74.0	76.4	81.8
	色選あり	84.9	83.6	67.3	1（中）	1（中）	1（中）	85.6	84.6	85.3
		1.75mm 1.85mm 1.95mm			1.75mm 1.85mm 1.95mm			1.75mm 1.85mm 1.95mm		
		1.75mm	1.85mm	1.95mm	1.75mm	1.85mm	1.95mm	1.75mm	1.85mm	1.95mm
		1.80mm	1.90mm	2.00mm	1.80mm	1.90mm	2.00mm	1.80mm	1.90mm	2.00mm
2001年美唄産 ほしのゆめ	色選なし	97.5	94.1	79.7	3（下）	3（中）	2（中）	68.7	69.8	75.2
	色選あり	85.9	85.6	76.9	1（下）	1（下）	1（下）	77.5	78.1	77.0

においてはカントリーエレベータでの粳貯蔵は不適切であるとされてきた。

一方、1995年に食糧管理法が廃止され、新たに新食糧法が施行された。そこで北海道では、米の乾燥調製貯蔵出荷作業の合理化と均質大ロットでかつ高品質な北海道産銘柄米の確立を目指して大規模なカントリーエレベータの建設に着手した。そして1996年秋に北海道上川郡鷹栖町に、当時としては北海道で唯一のカントリーエレベータ（上川ライスターミナル）が竣工し、本格的な粳貯蔵が開始された。

(3) 粳の超低温貯蔵技術の開発

① 超低温貯蔵の実用化試験

1996年に上川ライスターミナルが完成した時点では、氷点下で米を貯蔵する技術は実用化されていなかった。その最大の理由は、米を氷点下で貯蔵するためには冷却装置の設備費や運転経費がかかると予想されたためである。ところが、北海道のような寒冷地では冬季の自然の冷気を米の冷却に利用することができるため、超低温貯蔵が実用的に可能であると考えた。

すなわち、北海道のような寒冷地の特徴を最大限に生かした低コスト省エネルギーで高品質な粳貯蔵を行う新技

術を確立することを目的に、上川ライスターミナルの建設に合わせて1996年から1998年に超低温貯蔵を実用化するための実証試験を行った。さらに新たに建設された雨竜町ライスコンビナートで1999年から2000年にかけて再度実証試験を行い、その有効性を確認した。

② 貯蔵条件

上川ライスターミナルのサイロを用いて、きらら397の粳378tを貯蔵した。貯蔵期間は1997年11月から1998年8月までの約9ヵ月間であった。1998年2月2日から2月10日の間に、 -5°C 以下の外気を断続的に延べ113時間サイロへ通風した。

雨竜町ライスコンビナートでは、きらら397の粳500tとほしのゆめの粳494tをそれぞれサイロに貯蔵した。貯蔵期間は1999年11月下旬から2000年7月中旬までの約8ヵ月間であった。2000年1月20日から2000年1月27日の間に、 -7°C 以下の外気を断続的に延べ91時間サイロへ通風した。サイロへの通風は2基同時におこなった。

いずれの貯蔵試験においても、サイロ貯蔵と並行して比較対照のために -5°C 貯蔵（冷凍庫）、低温貯蔵（サイロの近隣にある低温倉庫）、室温貯蔵（大学の実験室）の3条件でそれぞれ約20kgの粳を貯蔵した。

③ 貯蔵中の温度

図9に1997年から1998年の貯蔵中の粳温度を示した。貯蔵中の外気温度は、最低で -21°C まで低下した。日最低気温が氷点下であったのは、11月下旬から4月上旬にかけての5ヵ月あまりであった。

11月から2月にかけてサイロ内壁付近の粳の穀温は、自然放冷により低下した。しかし、サイロ中心部の粳の穀温は貯蔵開始時とほぼ同じであった。2月上旬にサイロ内へ外気を通風することによって、サイロ内すべての粳の穀温が氷点下になった。最低穀温は、2月上旬に内壁付近が約 -7°C であった。サイロ中心部の粳の穀温は、7月中旬まで氷点下であった。サイロ内すべての粳の穀温が氷点下であった期間は、2月上旬から3月下旬にかけての約1.5ヵ月間であった。すなわち、自然の寒冷外気を米の冷却に利用することにより実用的に超低温貯蔵（氷点下での米の貯蔵）が可能であることが実証された。

対照貯蔵の室温貯蔵では穀温は概ね 15°C 以上であり、7月上旬には約 25°C にまで上昇した。低温貯蔵の穀温は最低で -1°C 程度であり、夏季に庫内温度が高くなると冷却装置が作動して、穀温は 12°C 程度に保たれた。貯蔵中の平均穀温は、サイロ貯蔵のサイロ中心部が 0.7°C 、内壁付近が 3.5°C 、 -5°C 貯蔵が -5.1°C 、低温貯蔵が 5.0°C 、室温貯蔵が 18.6°C であった。

④ 粳の比熱と熱伝導率

水分16%程度の粳の比熱は $1.5\sim 2.0\text{kJ/kg/K}$ である。これは木材の 1.3kJ/kg/K やコンクリートの 0.8kJ/kg/K 、鉄の 0.5kJ/kg/K などと比較して大きい。そのため、粳はいったん冷却されると粳そのものが保冷材の役割を果

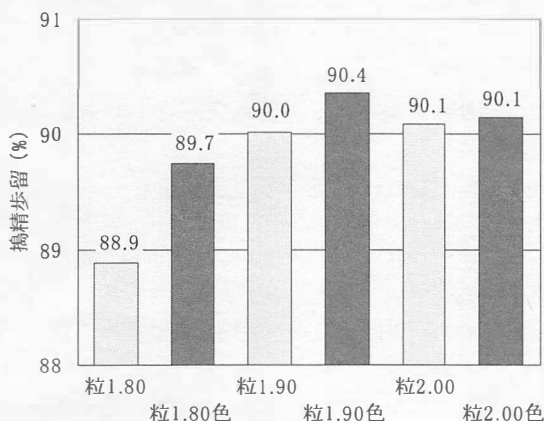


図7 搗精歩留 (2001年北村産きらら397)

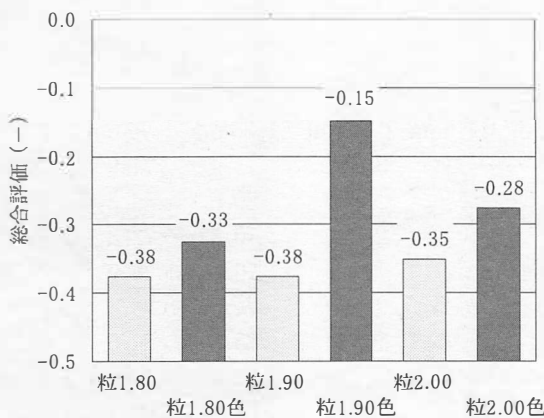


図8 食味試験の総合評価 (2001年北村産きらら397)

たす。また、籾の熱伝導率は $0.07\sim 0.10\text{W/m/K}$ である。これは鉄の 80W/m/K やコンクリートの 1W/m/K などと比較して小さく、木材の 0.15W/m/K やポリスチレンの 0.1W/m/K 、グラスウールの 0.04W/m/K などと同程度の熱伝導率である。そのため、籾そのものが断熱材の性質を持つ。

このように比熱が大きくて熱伝導率が低いという籾の物理特性により、いったん氷点下にて冷却された籾の穀温がそのまま夏季まで低く保たれ、実用規模のサイロ貯蔵において超低温貯蔵が可能となった。

⑤ サイロ内の温度差が品質に与える影響

図9に示したように、冬季の寒冷外気の通風によりサイロ全体の穀温は氷点下となり、その後は籾を静置するだけで、サイロ中心部の穀温は7月中旬まで氷点下に保たれた。しかしサイロ内壁付近の穀温は、3月下旬までは氷点下に保たれるが、その後は外気温の影響により徐々に上昇し、7月中旬には 20°C 近くとなった。このサイロ内壁付近の穀温上昇が籾の品質に悪影響を与えている懸念があった。そこで、貯蔵終了直前にサイロ内各部から試料を採取し、品質を測定した。試料はサイロ中心部とサイロの東西南北の内壁から約15cm内側の位置で、籾堆積表面から深さ0.1m、0.5m、1.0m、2.0m、4.0mの位置の籾をそれぞれ採取した。

サイロ内各部から採取した試料の発芽率を図10に示した。発芽率は稲の種子としての生命力を測定した値であり、米の鮮度を示す指標ともなる。発芽率が高いと新米と同様な品質の良い状態であることを示す。発芽率はいずれの試料も高く、平均で98.3%であり、新米と同様な発芽率であった。

脂肪酸度は米の脂質が酵素リパーゼにより加水分解されて生成する遊離脂肪酸の量を測定した値である。米の主成分の中でデンプンやタンパク質に比較して脂質の加水分解が最も早く進み脂肪酸が増加するため、脂肪酸度



図9 貯蔵中の籾温度の変化と平均籾温度

が品質劣化の指標として広く用いられている。脂肪酸度は、いずれの試料も品質上問題となるような大きな増加はなく、平均で 13.2mg.KOH であった(図11)。

サイロ内壁付近の穀温は、貯蔵終了時の7月下旬では 20°C 程度であるが、冬季は約3ヵ月間氷点下であり、貯蔵期間中の内壁付近の平均穀温は 3.5°C と低かった。その結果、サイロ内壁付近の籾の大きな品質劣化はなかったと考えられる。

⑥ 貯蔵前後の品質

貯蔵後の発芽率は -5°C 貯蔵が最も高く、次にサイロ貯蔵と低温貯蔵が高く、いずれも貯蔵前の発芽率とほぼ同じく90%以上であった。一方、室温貯蔵の発芽率は大きく低下し、10%となった(図12)。

脂肪酸度は貯蔵後にいずれも増加したが、 -5°C 貯蔵が最も増加が抑制されており、次にサイロ貯蔵、低温貯蔵と増加が大きく、室温貯蔵の増加が著しかった(図13)。

一般に、貯蔵により古米化が進むと米飯の硬さが増加し、粘りが減少する。したがって、テクスチュログラム特性の硬さ/粘り比が低いほど貯蔵状態が良いと判断される。図14から貯蔵温度が低いほど硬さ/粘り比が低く、古米化が抑制されることが分かった。

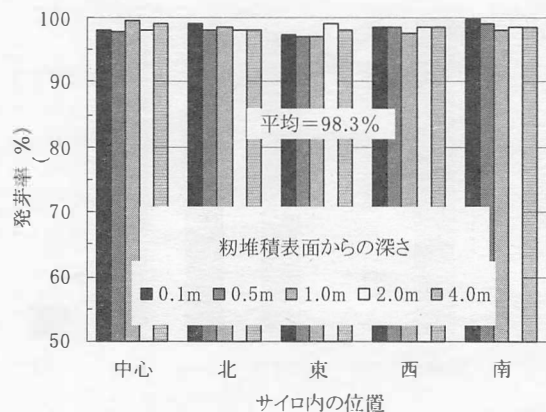


図10 貯蔵終了直前に採取したサイロ内各部試料の発芽率

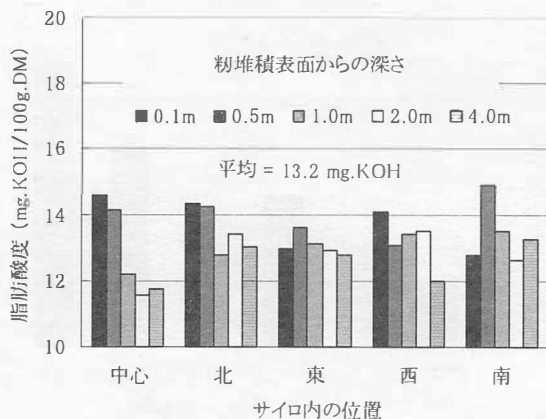


図11 貯蔵終了直前に採取したサイロ内各部試料の脂肪酸度

食味試験の総合評価は、貯蔵前に比較してサイロ貯蔵と -5°C 貯蔵でわずかに良くなり、室温貯蔵では総合評価が大きく低下した(図15)。通常、米の食味が貯蔵後に良くなることはない。この試験でサイロ貯蔵と -5°C 貯蔵の総合評価が貯蔵前に比べて、わずかながらも良くなったのは以下の理由による。

食味試験は、滋賀県産の日本晴を基準米として相対比較法で行う。貯蔵前の食味試験で基準米とした日本晴を冷蔵庫($3^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$)に玄米で貯蔵し、貯蔵後の基準米とした。基準米も貯蔵中に品質が低下する。サイロ貯蔵と -5°C 貯蔵では貯蔵中の平均温度が冷蔵庫よりも低く、かつ初貯蔵であったため、貯蔵中の品質低下が基準米よりも抑制された。その結果、貯蔵後の総合評価が貯蔵前よりも相対的に良くなった。これは超低温貯蔵による食味の相対的向上である。

⑦ 米の最適な貯蔵温度

図16に、米の貯蔵中の平均温度と貯蔵後品質との関係を表す概念図を示した。米は稲の種子として貯蔵中も生きている。米を低温で貯蔵すると米自身の生理活性や酵素活性が抑制され、貯蔵中の品質劣化も抑えられ、新米に近い食味を保持できる。また、基礎実験により乾燥後

の米は -80°C まで冷却しても凍結しないことを確かめた。したがって、米は凍らないので貯蔵中の温度は低ければ低いほど、米の高品質保持が可能である。

温暖地での米の貯蔵は、低温貯蔵であっても貯蔵中平均温度は 10°C 以上となる場合が多い。したがって、温暖地で貯蔵した米に比べて寒冷地で超低温貯蔵した米は、春から夏にかけて品質の低下がわずかであり、相対的に食味が向上する。

(4) 冬季の寒冷外気を利用した初超低温貯蔵技術の特徴

米は凍らないので、その貯蔵温度は低ければ低いほど良い。しかしながら、米の温度を低下させるために冷却設備と電気エネルギーを使うと貯蔵コストが増加するために、実用的には望ましくない。一方、北海道のような寒冷地では、冬季の寒冷外気という自然低温エネルギーを利用することにより米を冷却することが可能である。

この貯蔵技術は、冷却設備や冷却のための電気エネルギーを必要としない。そのうえ、貯蔵温度が低いため米の品質保持効果大きい。すなわち、これは北海道のような寒冷地の自然環境を有効に利用し、低コスト省エネルギーで高品質米を供給する貯蔵技術である。わが国の米の

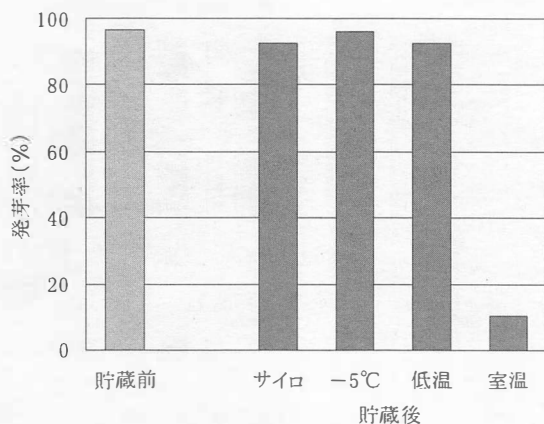


図12 貯蔵前後の発芽率

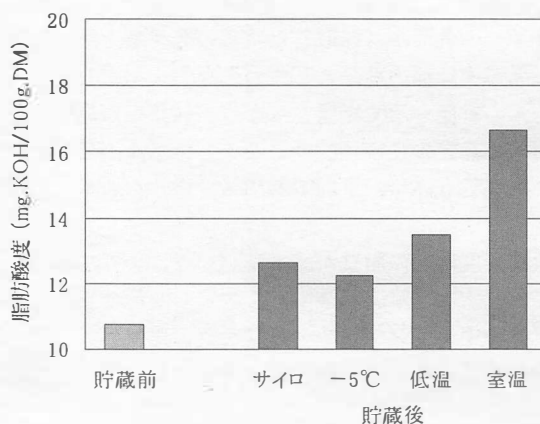


図13 貯蔵前後の脂肪酸度

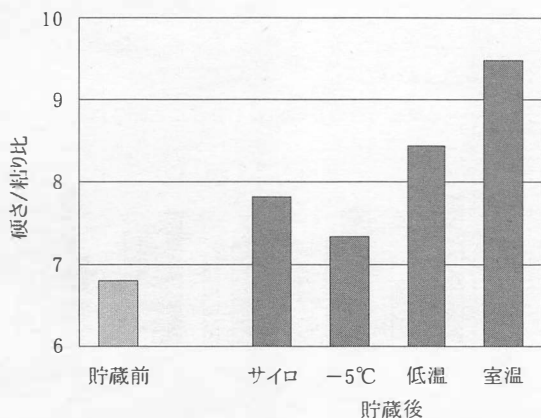


図14 貯蔵前後のテクスチャグラム特性

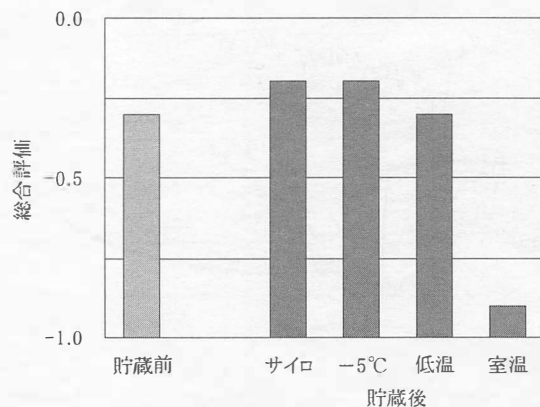


図15 貯蔵前後の食味試験の総合評価

主産地は北海道，東北，北陸地域である。これらの地域は冬季の気温が氷点下となることが多い。このような地域は米の貯蔵に最適な自然環境である

(5) 超低温貯蔵技術の普及

冬季の寒冷外気を利用した籾の超低温貯蔵技術は2000年1月の北海道農業試験会議で「指導参考」となった。北海道における籾貯蔵可能な施設の普及の状況を図17に示した。籾貯蔵施設は26ヵ所となり，その籾貯蔵能力は2003年に11万5千tとなった。

5. 北海道米，その無限の可能性

北海道の豊かな自然と広い大地，そして，そこから産み出される新鮮で美味しい農畜産物。消費者は北海道の農畜産物に良いイメージを抱いている。ところが，北海道の農畜産物の中で品質評価の低い唯一のものが米であった。これは，北海道が寒冷地であるために本州産の米に比較して品質が劣っていたためであった。

しかしながら，北海道において生産される米は，近年その品質が大きく向上しつつある。その主な理由として，

- 1) 「きらら397」や「ほしのゆめ」，「ななつぼし」に代表される良食味品種の改良
- 2) 適切な栽培管理技術の向上
- 3) ポストハーベスト技術の向上

の三点が挙げられる。その結果，日本穀物検定協会が毎年公開する米の食味ランキングにおいても，きらら397やほしのゆめは，毎年Aランクとされている³⁵⁾。

今後の更なる品種改良，栽培管理技術の向上，ポストハーベスト技術の向上により北海道米の品質が一層向上し，消費者からの評価がますます高まることが期待される。

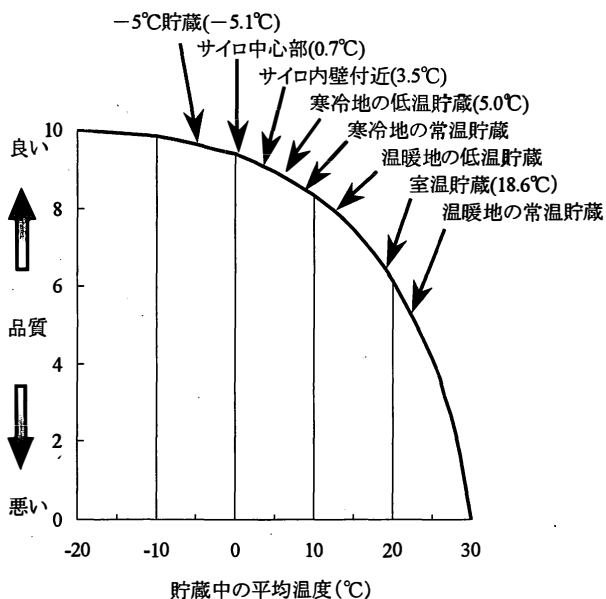


図16 米の貯蔵中の平均温度と貯蔵後品質との関係(概念図)

引用文献

- 1) 川村周三：北海道における米のポストハーベスト技術に関する研究，農機北支報，42，1-7，2002。
- 2) Kawamura, S., M. Natsuga and K. Itoh : Visible and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy for Rice Taste Evaluation. (米の食味評価のための可視近赤外反射分光法) *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*, 40(6), 1755-1759, 1997.
- 3) Kawamura, S., M. Natsuga and K. Itoh : Visible and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy for Determining Physicochemical Properties of Rice. (米の物理化学特性測定のための可視近赤外反射分光法) *1998 ASAE Annual International Meeting, Orlando, Florida USA*, Paper No. 983063, 1-9, 1998.
- 4) 川村周三，沼田典夫，伊藤和彦：可視光を用いた米の組成分析計の測定精度，農機北支報，39，39-45，1999。
- 5) 川村周三：穀物品質測定技術の発展と新技術を利用した穀物共同乾燥調製施設の将来展望，1999年度農業施設学会大会30周年記念大会シンポジウム「穀物関連施設の新技术の歩みと将来展望」，194-198，1999。
- 6) Kawamura, S., M. Natsuga and K. Itoh : Determination of Undried Rough Rice Constituent Content Using Near-Infrared Transmission Spectroscopy. (近赤外透過分光法による生籾成分の測定) *Transactions of the ASAE*, 42(3), 813-818, 1999.
- 7) 川村周三，竹倉憲弘，小河健伸，伊藤和彦：同一地域で生産された「きらら397」の成分分布，農機北支報，40，7-11，2000。
- 8) 川村周三，竹倉憲弘，伊藤和彦：近赤外透過型分析計による米の成分測定の精度とその改善，農機誌，64(1)，120-126，2002。
- 9) Kawamura, S., M. Natsuga K. Takekura and K. Itoh : Development of an Automatic Rice-Quality Inspection System. (米の自動品質検査システムの開発) *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier Science, 40, 115-126, 2003.
- 10) 沼田典夫，川村周三，伊藤和彦：比重選別機別機による籾の精選別特性，農機北支報，38，15-19，1998。
- 11) 沼田典夫，川村周三，竹倉憲弘，樋元淳一，伊藤和

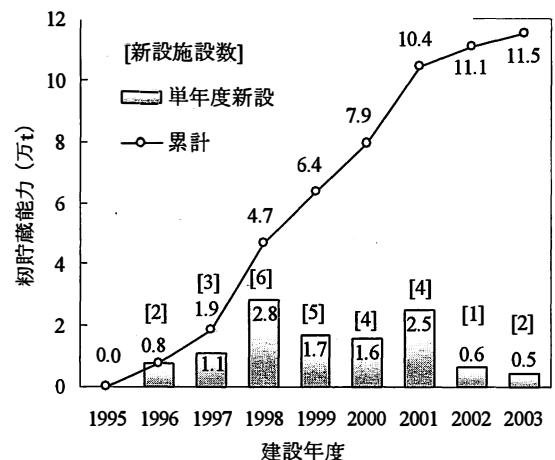


図17 北海道における籾貯蔵施設の普及

- 彦：揺動選別機による粳の精選別特性，農機北支報，39，35-38，1999.
- 12) 北海道における新規粳貯蔵技術の確立－貯蔵のための粳精選システムおよび寒冷気候を利用した超低温貯蔵による米の高品質保持技術－，北海道農業施設特別号，1-72，2000.
 - 13) 北海道における粳調製貯蔵技術（バラ粳調製・貯蔵技術の確立），北海道農業試験会議資料，1-90，2000.
 - 14) 川村周三：着色米発生に威力発揮の色彩選別機－特徴と性能－，ニューカントリー，47(8)，44-46，2000.
 - 15) 粒厚選別と色彩選別の組み合わせによる玄米品質および歩留向上技術，北海道農業試験会議資料，1-13，2003.
 - 16) 川村周三：品質向上！歩留向上！粒厚と色彩による1等米選別技術，ニューカントリー，50(4)，52-53，2003.
 - 17) 竹倉憲弘：粒厚と色彩による玄米選別技術－高品質米の調製と歩留向上を同時に実現－，機械化農業，2003年8月号，2003.
 - 18) 川村周三：北海道の冬の冷氣を利用した超低温貯蔵米で消費者にアピールを－北海道は「米穀の備蓄」基地としても最適な自然環境－，ニューカントリー，42(9)，73-75，1995.
 - 19) 川村周三，夏賀元康，河野慎一，谷口健雄，藤倉潤治：北海道産米の品質向上を目指して－ポストハーベストテクノロジーの新しい試みとその応用－，農機北支報，36，65-71，1996.
 - 20) Kawamura, S., M. Natsuga, S. Kouno and K. Itoh : Super-low Temperature Storage for Preserving Rice Quality. (米の品質保持のための超低温貯蔵), *Proceedings of the Joint International Conference on Agricultural Engineering & Technology*, Dhaka, Bangladesh, Volume III, 820-824, 1997.
 - 21) Kawamura, S., K. Takekura, N. Numata, T. Ogawa and K. Itoh : Rice Storage below Ice Point Using Natural Coldness to Preserve Its Quality. (自然冷氣を利用した氷点下の貯蔵による米の品質保持), *1999 ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting*, Toronto, Ontario Canada, Paper No. 996044, 1-10, 1999.
 - 22) Kawamura, S., K. Takekura, T. Ogawa and K. Itoh : Long Term Storage of Rough Rice at Temperatures below Ice Point. (氷点下における粳の長期貯蔵), *2000 ASAE Annual International Meeting*, Milwaukee, Wisconsin USA, Paper No. 006041, 1-6, 2000.
 - 23) 川村周三：超低温貯蔵で新米のおいしさ長期保存，現代農業，79(12)，126-130，2000.
 - 24) Kawamura, S., K. Takekura and K. Itoh : Development of On-farm Storage Technique for Rice at Temperature below Ice Point Using Ambient Naturally Cold Air in Winter. (冬季寒冷外気を利用した米の氷点下貯蔵技術の開発) *2001 ASAE Annual International Meeting*, Sacramento, California USA, Paper No. 016114, 1-10, 2001.
 - 25) Kawamura, S., Takekura, K. and Itoh, K. : Rice Storage Controlled at Temperature below Ice Point for Preserving High Quality. (高品質保持のための米の氷点下貯蔵) *Proceedings of the 3rd IFAC/CIGR Workshop on Control Application in Post-harvest and Processing Technology*, Tokyo, Japan, 101-106, 2001.
 - 26) 北海道における新規粳貯蔵技術の確立と普及－寒冷気候を利用した粳の超低温貯蔵，カントリーエレベータの稼動運営状況の調査－，北海道農業施設特別号，1-66，2002.
 - 27) 竹倉憲弘，川村周三，伊藤和彦：寒冷地における粳貯蔵技術の確立（第1報）－カントリーエレベータでの自然放冷による粳貯蔵－，農機誌，65(4)，57-64，2003.
 - 28) 竹倉憲弘，川村周三，伊藤和彦：寒冷地における粳貯蔵技術の確立（第2報）－カントリーエレベータでの冬季通風冷却による超低温貯蔵－，農機誌，65(4)，65-70，2003.
 - 29) 竹倉憲弘，川村周三，伊藤和彦：寒冷地における粳貯蔵技術の確立（第3報）－カントリーエレベータで貯蔵した粳の品質－，農機誌，65(5)，40-47，2003.
 - 30) 竹倉憲弘，川村周三，伊藤和彦：寒冷地における粳貯蔵技術の確立（第4報）－貯蔵中の粳の穀温差が品質に与える影響－，農機誌，65(5)，48-54，2003.
 - 31) 川村周三：米は凍らない－冬季の寒冷外気を利用した粳の超低温貯蔵技術の開発と普及，冷凍，78(911)，46-51，2003.
 - 32) 川村周三：氷点下の温度を用いた米の長期高品質貯蔵技術の開発，科学研究費補助金研究成果報告書（課題番号13660252），1-78，2004.
 - 33) 川村周三，小河健伸，藤川清三，竹倉憲弘，伊藤和彦：水分が異なる粳の凍結温度および凍結傷害，低温生物工学会誌，49(2)，97-102，2003.
 - 34) 川村周三，竹倉憲弘，小河健伸，伊藤和彦：冬季の寒冷外気を利用した粳の超低温貯蔵技術の開発と普及，低温生物工学会誌，49(2)，119-124，2003.
 - 35) 米の食味ランキン（平成14年産），財団法人日本穀物検定協会，1-28，2003.