



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	近赤外分光法による穀物の品質測定 : (第4報) 近赤外分光法による穀物の品質測定
Author(s)	夏賀, 元康; NATSUGA, Motoyasu
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 22(3), 127-168
Issue Date	1999-08-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/12188
Type	departmental bulletin paper
File Information	22(3)_p127-168.pdf



近赤外分光法による穀物の品質測定*

(第4報) 近赤外分光法による穀物の品質測定

夏 賀 元 康

(北海道大学農学部農産物加工工学教室)

Grain Quality Determination by Near-Infrared Spectroscopy (Part 4) Grain quality determination by near-infrared spectroscopy

Motoyasu NATSUGA

(Laboratory of Agricultural Process Engineering, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo 060, Japan)

I. 近赤外分光法による穀物の品質測定

緒 言

筆者は「近赤外分光法による穀物の品質測定」という総合タイトルのもと、第1報「近赤外分光法の基礎特性」¹⁾では、近赤外分光法の基礎と研究の沿革、近赤外分光法の基礎特性、穀物(米、小麦、大豆)の近赤外スペクトルとその特徴を論じた。次いで第2報「赤外分光法による穀物の成分測定」²⁾では、穀物(米、小麦、大豆)の主要成分である水分、タンパク質、脂質などの測定精度の検討と、測定値の変動要因の解明を行った。さらに第3報「乾燥調製過程における穀物成分の変動と穀物成分の産地間、年度間変動」³⁾では、第2報で確立した測定手法に基づいて、北海道産の米、小麦、大豆の乾燥調製過程における成分分布の変動と、産地間及び年度間変動について明らかにした。本報では、研究の掉尾に当たり、早急な解明が必要とされている穀物品質のいくつかについて、近赤外分光法がどの程度まで有効であるかの検討を行った。取り上げた穀物品質は、小麦に関しては「乾燥過程における小麦の品質の変動」として、デンプンの糊化特性と高水分域での水分測定である。米では、まず「米の品種、産地が品質に与える影響」として、近赤外分光法を利用した食味分析計の精度向上の検討を行った。ついで、「米の乾燥、貯蔵方法が品質に与える影響と品質の

変動の推定」として、貯蔵過程における玄米の品質の変動の測定の検討を行った。

A. 乾燥過程における小麦の品質の変動

1. 目 的

小麦のデンプンの糊化特性は小麦の加工適性を知る上で重要な特性である。数年ごとに繰り返される穂発芽による低アミロ小麦の発生は、生産者、実需者双方にとり常に問題となっており、国内産小麦が敬遠される大きな理由となっている。そのため、耐穂発芽性の高い品種の開発が望まれる一方、生産現場では迅速に小麦デンプンの糊化特性を測定して、品質が劣化する前に収穫する方法の確立が望まれている。

そこで、小麦デンプンの糊化特性の測定法のひとつであるビスコグラムと相関が高い手法、すなわち、少量で迅速測定が可能なラピッドビスコアナライザ⁴⁾によるピーク粘度とブレイクダウンの測定、及び、デンプン分解酵素である α -アミラーゼ活性の測定の2手法を用い、これらの測定値の近赤外分光法による推定の可能性の有無を検討した。

また、低アミロ小麦の発生を未然に防止するためには、刈り取り適期の判断が重要になり、そのための高水分域での精度の良い水分測定器が必要である。近赤外分光法を全粒の穀物の水分測定に用いた例はいくつかある^{2,3)}が、小麦の高水分域での全粒の測定例は少ない。そこで、近赤外分光法を用いて、乾燥過程における小麦の水分測定を行い、近赤外分光法の水分測定器としての可能性を検討した。

*北海道大学博士論文「近赤外分光法による穀物の品質測定に関する研究」(1993)の一部。

2. 実験方法

a. 供試試料

1) 小麦デンプンの糊化特性の推定

小麦デンプンの糊化特性の変動範囲を大きくするため、まず、乾燥調製後の試料を種々の段階に発芽させたものを作成し、実験に供した。試料には1990年北海道産「チホク」、及び「ホロシリ」を用いた。試料は通常の発芽試験の手順にしたがって、アルミ皿に試料を並べ、加水して室温(20~25°C)で1~3日間発芽させた。発芽終了後の試料は酵素を失活させるため、ただちに70°Cのオーブンで水分12%以下まで乾燥した。試料数は、「チホク」が18、「ホロシリ」が20である。乾燥後、UDYサイクロンミルで粉砕し、冷蔵庫に保管した。

つぎに、実際に乾燥施設に搬入される小麦を用いた実験を行った。試料は、乾燥調製過程における小麦タンパク質分布の推移を調査するために前報⁴⁾A-1で用いた、十勝清水町の西十勝農業センターに搬入された小麦のうちの荷受け時の試料を使用した。品種は「チホク」で、試料数は64である。試料は自主検査装置で乾燥した後、UDYサイクロンミルで粉砕し、冷蔵庫に保管した。

2) 乾燥過程における小麦の水分測定

試料は1991年北海道産「チホク」4点、「ホロシリ」4点、「タクネ」3点を用いた。収穫後、試料は密封して0°Cの冷蔵庫に保管した。

試料は冷蔵庫から出した後、室温に戻し、アルミトレーに薄く広げて、40°Cに設定したオーブンに入れ、20~30分間隔で取り出し、水分の異なる試料を調製した。

b. 近赤外分析

近赤外分析計にはNIRSystems社製NIRS6500にReflectance detector moduleとSpinning sample moduleを取り付けたものを用い、反射モードで測定を行った。測定波長の範囲は400~2,500 nmとし、2 nm間隔で120回スキャンし、平均したものを各試料のスペクトルとした。

小麦の糊化特性の推定は各試料に対して1回の測定を行った。供試試料は冷蔵庫から出した後、室温に戻してから測定を行った。

また、乾燥過程における水分測定において、全粒の試料は試料の充填密度のバラツキによるスペクトルの変動を減らすため、各試料を3回ずつ測定して平均化した。前報⁴⁾ですでに論じたように、穀温は測

定値の大きな変動要因であるので、水分調製後の試料はビニール袋に密閉し、室温に戻してから測定を行った。

c. 水分測定

乾燥過程における小麦の水分は、近赤外のスペクトルを測定後、セルの試料を全量用い、10 g粒-135°C-24 h法により水分を測定し、農業機械学会の基準⁵⁾によって5 g粉砕-105°C-5 h法の値に換算して示した。

d. α -アミラーゼ活性

食糧庁検査課による色素デンプン法⁶⁾によった。供試試料は冷蔵庫から出した後、室温に戻してから測定を行った。測定は以下の手順で行った。

1) 基質液の作成

アミラーゼテスト(第1化学薬品 ネオアミラーゼテスト)1錠を試験管に入れ、pH5.0、0.1Mリン酸緩衝液5 mlを加える。タッチミキサで分散させ、55°Cに設定した恒温水槽の振盪を低速(目盛20)にして振盪しておく。

2) 酵素液の作成

全粒粉8.00 gを共栓付三角フラスコに取り、pH5.0、0.1Mリン酸緩衝液50 mlを加える。振盪機で200 srm、5分間振盪した後、3,000 rpmで5分間遠心分離する。

3) 反応及び測定

酵素液の上澄み1 mlを基質液に加える。正確に10分間反応させた後、0.5 N水酸化ナトリウムを1 ml加え、反応を停止させた後、4,000 rpmで3分間遠心分離する。上澄み液を4 ml取り、1 mlで液体キュベットを共洗いし、残りの3 mlを液体キュベットに入れて分光光度計(日立製作所製101型)により620 nmの吸光度を測定する。

e. ラピッドビスコアナライザ

小麦デンプンの糊化特性は、ブラベンダービスコ・アミログラフによって測定されている。この装置は、外筒回転トーション式粘度計の一種で、小麦粉の懸濁液を自動的に一定速度で加熱または冷却しながら、糊の粘度の変化を自記するものである。小麦デンプンの糊化特性はアミログラフのピーク粘度(最高粘度: MV)とブレイクダウン(BD)によって判定されるが、この方法は試料を65 gと多く必要とすること⁷⁾、ピーク粘度を決定するのに最低45分必要であることなど⁸⁾のため、多量の試料を迅速に測定するには適しておらず、最高粘度やブレイク

ダウンの簡易測定法が求められてきた。ラピッドビスコアライザ（以下、RVA：オーストラリア Newport Scientific Instruments & Engineering 社製）は、このような要請に応じて CSIRO (Commonwealth Scientific & Industry Research Organization) 小麦研究所 (Wheat Research Unit) とオーストラリア・パン研究所 (Bread Research Institute of Australia) によって開発された、小麦デンプンの糊化特性の簡易測定装置であり、アミログラフと同様に小麦粉の懸濁液を加熱または冷却しながら糊の粘度の変化を自記する。試料は 4.5 g、ピーク粘度の測定所要時間は 5 分以内である⁹⁾。測定は以下の手順で行った。

試料を 4.500 g 精秤する。缶に蒸留水 25 ml を入れ、試料を缶に入れてパドル (攪拌羽根) で試料を水中に沈める。缶とパドルを RVA にセットし、測定を開始する。RVA のセットアップは、60°C で 2.0 分間保持、60~94°C まで 1.0 分間で昇温、94°C で 3.7 分間保持とした。なお各ステージの実測時間はそれぞれ 2 分、約 1.5 分、3 分であった。

供試試料は冷蔵庫から出した後、室温に戻してから測定を行った。

表 1 に各化学分析の精度を示した。

3. 結果及び考察

a. 小麦デンプンの糊化特性の推定

1) 発芽処理小麦の RVA のピーク粘度とブレイクダウンの相関

図 1 と 2 に発芽処理をした「チホク」と「ホロシリ」の RVA のピーク粘度とブレイクダウンの相関を示した。ピーク粘度の範囲は 25~445、ブレイクダウンの範囲は 18~295 であった。ピーク粘度とブレイクダウンの相関は「チホク」で $r^2=0.99^{***}$ (危険率 0.1% で有意, 以下同じ), SE (標準誤差: Standard Error) = 7.1, 「ホロシリ」で $r^2=0.98^{***}$, SE = 7.9 と、両者とも極めて相関が高く、また、化学分析の精度と比較しても標準誤差は小さかった。そこで、以下の考察では RVA の測定値はピーク粘度値のみ

表 1 化学分析の精度

Table 1 Precision of chemical analysis

項目	SDD
α -アミラーゼ活性	0.025
RVA ピーク	15

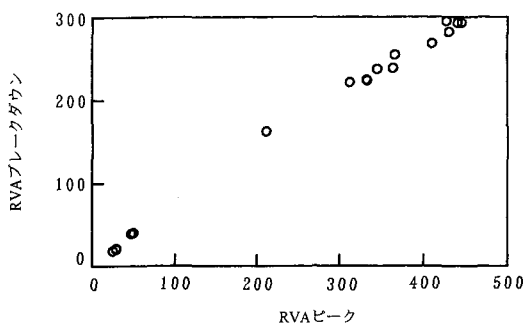


図 1 RVA のピーク粘度とブレイクダウンの相関 (「チホク」 n=18)

Fig. 1 Relationship between Peak and Breakdown of RVA (Chihoku n=18)

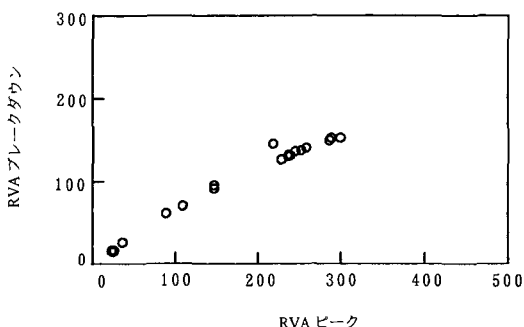


図 2 RVA のピーク粘度とブレイクダウンの相関 (「ホロシリ」 n=20)

Fig. 2 Relationship between Peak and Breakdown of RVA (Horoshiri n=20)

を用いた。

2) 発芽処理小麦の α -アミラーゼ活性と RVA のピーク粘度の相関

図 3 と 4 に発芽処理をした「チホク」と「ホロシリ」の α -アミラーゼ活性と RVA のピーク粘度の相関を示した。いずれも相関はきわめて高く、「チホク」で $r^2=0.96^{***}$ 、「ホロシリ」は $r^2=0.83^{***}$ が得られた。

3) 荷受け小麦の小麦デンプンの糊化特性の変動

図 5 は、各農家から荷受けした小麦の RVA ピーク粘度の分布を示したものである。RVA のピーク粘度値は最高 632、最小 204 と、3 倍以上の開きが見られた。

発芽粒混入率とアミロ値の相関は高い⁹⁾とされており、荷受け時のこのような糊化特性の分布を有する小麦原料がすべて混合されてしまうと、最終製品

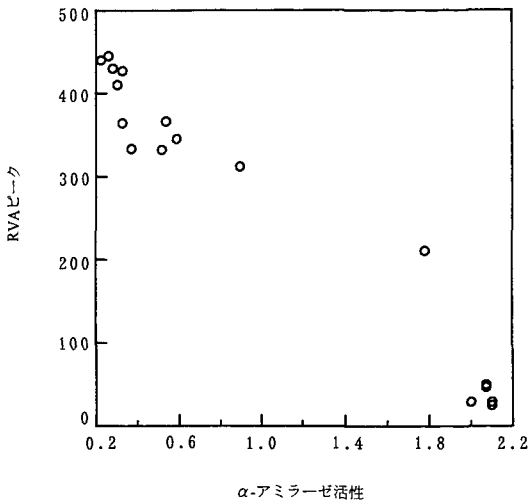


図3 α -アミラーゼ活性とRVAのピーク粘度の相関 (「チホク」 $n=18$)
 Fig. 3 Relationship between α -amylase activity and RVA Peak (Chihoku $n=18$)

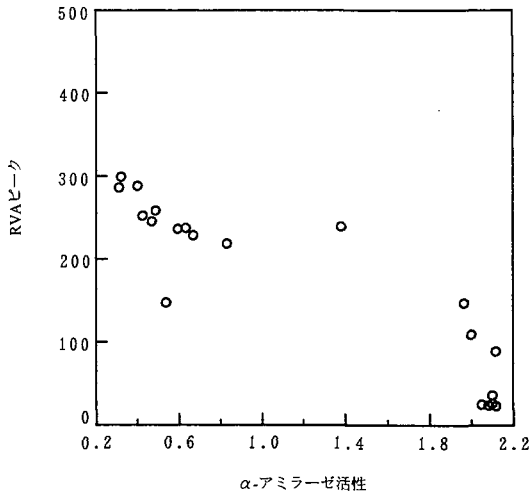


図4 α -アミラーゼ活性とRVAのピーク粘度の相関 (「ホロシリ」 $n=20$)
 Fig. 4 Relationship between α -amylase activity and RVA Peak (Horoshiri $n=20$)

の品質が劣化する可能性が高いことが予想される。これらの仕分けは作業員の目で行っているのが現状であるが、この段階で小麦の糊化特性を測定し、仕分けすることにより高品質の安定した製品を実需者に供給していくことができると考えられる。

4) 全試料によるキャリブレーションの作成と検

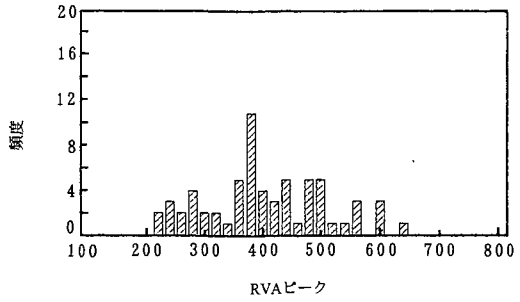


図5 荷受け小麦 (「チホク」) のRVAピークの分布
 Fig. 5 RVA Peak distribution of wheat at receipt (Chihoku)

証

発芽処理をした小麦と荷受け小麦の全試料の吸収スペクトルの2次微分スペクトルを用い、試料を無作為に2分し、一方でキャリブレーションの作成を行い、残りで検証を行った。

キャリブレーションの作成は重回帰分析とPLS (Partial Least Squares) 重回帰分析の両者で行った。重回帰分析によるキャリブレーションの作成は以下の手順によった。すなわち、まず、2次微分スペクトルの各波長と α -アミラーゼ活性、RVAピーク粘度との相関分析を行い、相関プロット (波長をX軸に、相関係数をY軸にとったもの)を作成した。つぎに、この相関プロットから負の相関を示すピークのうちの、できるだけなだらかなものを抽出した。これは、鋭敏なピークはノイズの可能性があるのである。こうして抽出した波長を第1波長にして、変数増加法で第2、第3、第4波長を決定した。

選択した第1波長は、 α -アミラーゼ活性では1,652, 1,834, 1,888, 2,026, 2,236 nmであり、RVAピーク粘度では1,490, 1,610, 1,956 nmであった。 α -アミラーゼ活性、RVAピーク粘度とも、小麦デンプンの糊化特性の測定を行っているので、選択した波長はデンプンのみの場合の吸収波長と一致するのが望ましいが、第1報¹⁰⁾表8のデンプンの吸収波長にはいずれの波長も相当しなかった。これは、これら糊化特性に関するパラメータ測定が特定の成分のみに関連するものではないことを示しているものと考えられる。

図6と7に α -アミラーゼ活性とRVAピーク粘度のそれぞれの相関プロットを示した。

α -アミラーゼ活性のキャリブレーションの結果を表2に、また、RVAピーク粘度のキャリブレーション

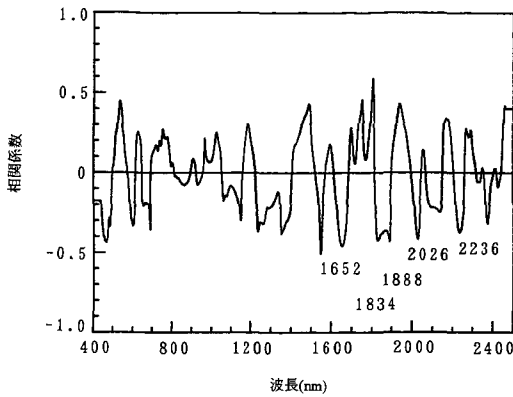


図6 2次微分スペクトルによる α -アミラーゼ活性の相関プロット

Fig. 6 Correlation plot for α -amylase activity using 2nd derivative spectra

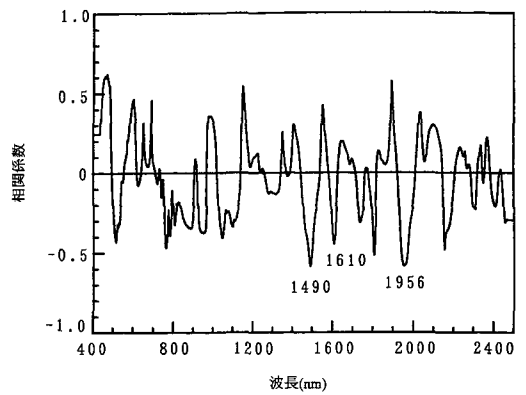


図7 2次微分スペクトルによるRVAピーク粘度の相関プロット

Fig. 7 Correlation plot for RVA Peak using 2nd derivative spectra

ションの結果を表3に示した。図8は α -アミラーゼ活性の1,834 nmと470, 570 nmの3波長によるキャリブレーションを、図9はRVAピーク粘度の1,490, 470, 570 nmの3波長によるキャリブレーションを示したものである。

α -アミラーゼ活性のキャリブレーションでは、1,834 nmと470, 570 nmの3波長によるキャリブレーションが検証の結果と併せて良かったと考えられるが、SEC (キャリブレーションの標準誤差：

Standard Error of Calibration)=0.33は化学分析のSDD (Standard Deviation of the Difference)=0.025と比較すると満足できる水準ではなかった。第2報¹¹⁾で論じたように、小麦の成分測定において、水分のキャリブレーションのSECはSDDの2~4倍程度、タンパク質のキャリブレーションのSECはSDDの1~1.5倍程度であり、これらと比較すると α -アミラーゼ活性の推定精度はかなり劣っていた。これはRVAピーク粘度のキャリブ

表2 チホク小麦の α -アミラーゼ活性のキャリブレーション一覧
Table 2 Calibration list for α -amylase activity of wheat (Chihoku)

スペクトル	方法	波長(nm)				キャリブレーション		検証		
		1	2	3	4	SEC	r ²	Bias	SEP	r ²
2次微分	選択	1,652	466			0.37	0.51	-0.16	0.57	0.11
		1,652	466	476		0.34	0.60	-0.14	0.58	0.12
		1,652	466	576	1,800	0.31	0.67	-0.11	0.54	0.23
		1,834	470			0.39	0.46	-0.13	0.48	0.26
		1,834	470	570		0.33	0.61	-0.08	0.49	0.24
		1,834	470	570	922	0.29	0.71	-0.02	0.49	0.31
		1,888	528			0.39	0.46	-0.14	0.50	0.23
		1,888	528	1,806		0.34	0.60	-0.19	0.51	0.17
		1,888	528	1,806	916	0.33	0.62	-0.20	0.50	0.21
		2,026	528			0.38	0.46	-0.16	0.54	0.16
		2,026	528	1,806		0.34	0.60	-0.20	0.53	0.13
		2,026	528	1,806	484	0.33	0.62	-0.22	0.56	0.08
		2,236	466			0.40	0.42	-0.15	0.51	0.15
		2,236	466	574		0.34	0.58	-0.16	0.55	0.13
2,236	466	574	1,800	0.32	0.65	-0.14	0.52	0.18		
PLS					0.30	0.70	-0.17	0.57	0.21	

表3 チホク小麦のRVAピーク粘度のキャリブレーション一覧
 Table 3 Calibration list for RVA peak viscosity of wheat (Chihoku)

スペクトル 方法	波長(nm)				キャリブレーション		検証		
	1	2	3	4	SEC	r ²	Bias	SEP	r ²
2次微分 選択	1,490	470			101	0.49	62	119	0.22
	1,490	470	570		83	0.66	49	116	0.25
	1,490	470	570	1,798	70	0.76	51	114	0.28
	1,610	536			109	0.40	68	131	0.06
	1,610	536	1,148		93	0.58	54	155	0.00
	1,610	536	1,148	762	81	0.68	43	154	0.00
	1,956	1,806			101	0.48	28	120	0.18
	1,956	1,806	488		89	0.61	67	151	0.01
	1,956	1,806	488	654	70	0.76	47	140	0.07
PLS					74	0.75	61	119	0.27

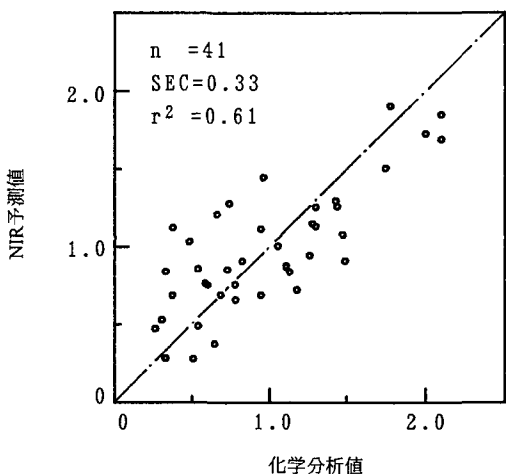


図8 α-アミラーゼ活性のキャリブレーション (1,834, 470, 570 nm)

Fig. 8 Calibration for α-amylase activity (1,834, 470, 570nm)

レーションでも同様で、1,490, 470, 570 nmの3波長によるキャリブレーションのSEC=83で、化学分析のSDD=15と比較して満足できる水準ではなかった。

第1報¹⁰⁾、第2報¹¹⁾で論じたように、小麦の主な成分の測定では、水分の1,940 nm、タンパク質の2,180 nmのように、成分と直接関連する波長を主波長にして重回帰分析を行えば精度の良いキャリブレーションが作成できる。しかし、小麦デンプンの糊化特性に関するパラメータであるα-アミラーゼ活性、RVAピーク粘度の推定では、2次微分スペクトルの相関プロットから得られた第1波長は、デンプンの

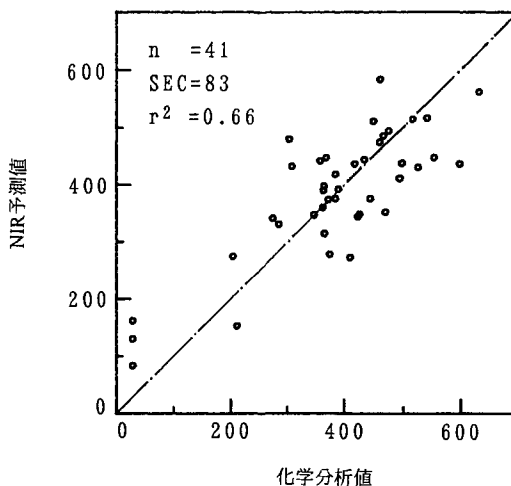


図9 RVAピークのキャリブレーション (1,490, 470, 570 nm)

Fig. 9 Calibration for α-amylase activity (1,490, 470, 570nm)

の吸収波長と一致しなかった。これは、すでに論じたように、これら糊化特性に関するパラメータ測定が特定の成分のみに関連するものではないことを示しているものと考えられる。

以上を考慮すると、α-アミラーゼ活性、RVAピーク粘度のどちらにしても、近赤外分光法による推定値だけでは小麦の糊化特性による区分は困難であると考えられる。しかし、本研究で得られた精度でも極めて大まかな区分には使用可能と思われる。

すでに論じたように、α-アミラーゼ活性測定はRVAピーク粘度の測定により精度良く推定できる。RVAの測定はα-アミラーゼ活性のように化

学薬品を使用せず、また、自動化されていて再現性も良く、作業者の熟練を要しない測定法である。そこで、まず、迅速かつ非破壊な測定法である近赤外分光法により、疑わしい小麦と良好な小麦に2分し、その後疑わしい小麦のみをRVAによる糊化特性の直接測定にかけて糊化特性の劣る小麦を選別する、2段階選別法を採用すれば、荷受け段階における精度が良く、迅速な選別が可能になるものと考えられる。

b. 乾燥過程における小麦の水分測定

図10は、「チホク」小麦の粒の原スペクトル（吸収スペクトル）とその2次微分スペクトルを示したものである。原スペクトル及び2次微分スペクトルにはいくつかの吸収バンドが見られるが、このうちの1,460 nm付近と1,932 nm付近の吸収バンドは第1報¹⁰⁾図13で示したように水の吸収バンドである。また、990 nm付近の吸収バンドも第1報¹⁰⁾表8から水の吸収バンドであると考えられる。

つぎに、「チホク」小麦の2次微分スペクトルと水分の相関プロットを図11に示した。第2報¹¹⁾で、小麦全粒粉の水分の主波長は1,940 nmであると論じたが、図11に見られるように、全粒の測定では1,940 nm付近には高い相関を示すピークは見られず、波長の短い部分にいくつかのピークが見られた。このうちの大きなピークは、波長の短い方から968, 1,154, 1,342, 1,410 nmの4つであった。これは「ホロシリ」、「タクネ」でも全く同様の結果であった。このうち、水の吸収バンドに一致するのは968 nmと1,410 nmの2波長であった。

そこで、これら4波長をそれぞれ第1波長にして、

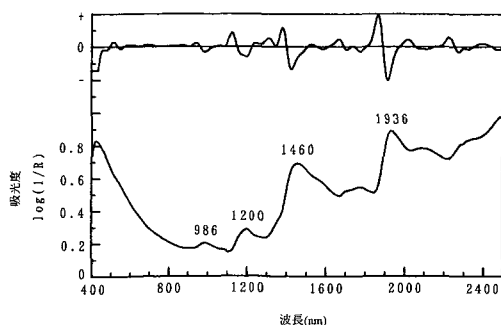


図10 小麦(「チホク」)全粒の原スペクトル(下)とその2次微分スペクトル(上)

Fig. 10 Spectrum of wheat(Chihoku) whole grain (lower) and its 2nd derivative spectra

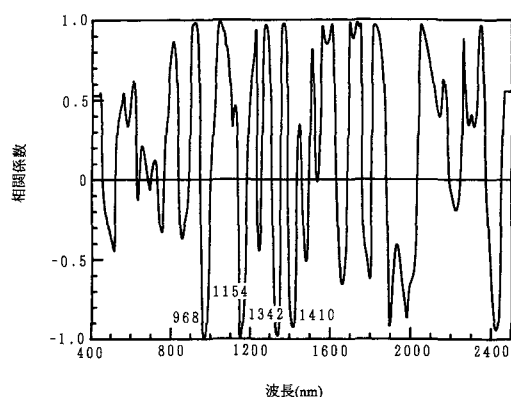


図11 2次微分スペクトルによる水分の相関プロット
Fig. 11 Correlation plot for moisture using 2nd derivative spectra

変数増加法を用いてキャリブレーションの作成と検証を行った。キャリブレーションは、まず、各品種ごとに、繰り返し測定 of 個々の試料のスペクトルを用いて作成、検証を行った。表4に結果をまとめた。

「ホロシリ」では、1,410 nmを第1波長にした4波長のキャリブレーションがいちばん良く、SEC=0.32, SEP(予測の標準誤差: Standard Error of Prediction)=0.33であった。

「チホク」では、1,342 nmと1,410 nmを第1波長にした4波長のキャリブレーションが優れており、SEC=0.43, SEP=0.47であった。

「タクネ」では、968 nmを第1波長にした4波長のキャリブレーションが優れており、SEC=0.51, SEP=0.63であった。

つぎに、繰り返し測定の効果を検討するため、繰り返し測定を行ったスペクトルを平均したスペクトルを用いてキャリブレーションの作成と検証を行った。キャリブレーションは各品種及び全試料で作成、検証した。なお、全試料のキャリブレーションは、水の吸収バンドに相当する968 nmと1,410 nmを第1波長にしたものを検討した。表5に水分の化学測定の繰り返し精度をまとめた。水分の化学測定の精度はSDD=0.20~0.38であった。また、キャリブレーションの作成と検証の結果を表6に示した。

「ホロシリ」では、個々のスペクトルを用いた場合と同様、1,410 nmを第1波長にした4波長のキャリブレーションが優れており、SEC=0.19, SEP=0.29だった。

「チホク」では、968 nmを第1波長にした3波長の

表4 平均する前のスペクトルを用いたキャリブレーション一覧
Table 4 Calibration list without averaging

品種	波長 (nm)				キャリブレーション		検証			範囲 (%)
	1	2	3	4	SEC	r ²	Bias	SEP	r ²	
ホロシリ	968	1,558			0.40	0.99	-0.10	0.41	0.99	10.56-25.82
	968	1,558	1,894		0.35	0.99	-0.11	0.41	0.99	
	968	1,558	1,894	700	0.33	0.99	-0.13	0.38	0.99	
	1,154	966			0.42	0.99	-0.09	0.37	0.99	
	1,154	966	1,896		0.37	0.99	-0.10	0.36	0.99	
	1,154	966	1,896	1,564	0.33	0.99	-0.11	0.35	0.99	
	1,342	968			0.48	0.99	-0.07	0.45	0.99	
	1,342	968	1,560		0.38	0.99	-0.09	0.44	0.99	
	1,342	968	1,560	1,896	0.35	0.99	-0.11	0.41	0.99	
	1,410	1,144			0.41	0.99	-0.09	0.39	0.99	
	1,410	1,144	968		0.34	0.99	-0.09	0.34	0.99	
	1,410	1,144	968	1,076	0.32	1.00	-0.08	0.33	0.99	
チホク	968	1,224			0.53	0.99	-0.04	0.54	0.99	10.65-31.47
	968	1,224	2,260		0.47	0.99	0.00	0.50	0.99	
	968	1,224	2,260	448	0.46	0.99	0.00	0.50	0.99	
	1,154	964			0.59	0.99	-0.06	0.59	0.99	
	1,154	964	2,054		0.47	0.99	-0.05	0.51	0.99	
	1,154	964	2,054	2,262	0.44	0.99	-0.02	0.47	0.99	
	1,342	964			0.56	0.99	-0.06	0.57	0.99	
	1,342	964	2,260		0.46	0.99	0.00	0.52	0.99	
	1,342	964	2,260	1,270	0.43	0.99	0.01	0.47	0.99	
	1,410	962			0.55	0.99	-0.09	0.54	0.99	
	1,410	962	1,032		0.49	0.99	-0.06	0.50	0.99	
	1,410	962	1,032	2,262	0.43	0.99	-0.03	0.47	0.99	
タクネ	968	754			0.65	0.99	0.31	0.67	0.99	9.60-33.41
	968	754	1,408		0.56	1.00	0.34	0.62	0.99	
	968	754	1,408	1,272	0.51	1.00	0.33	0.63	0.99	
	1,154	2,162			0.65	0.99	0.20	0.87	0.99	
	1,154	2,162	924		0.60	0.99	0.22	0.74	0.99	
	1,154	2,162	924	2,256	0.58	0.99	0.21	0.74	0.99	
	1,342	1,048			0.71	0.99	0.20	0.69	0.99	
	1,342	1,048	1,412		0.62	0.99	0.20	0.62	0.99	
	1,342	1,048	1,412	2,260	0.57	1.00	0.17	0.59	0.99	
	1,410	928			0.69	0.99	0.29	0.82	0.99	
	1,410	928	1,226		0.56	1.00	0.31	0.78	0.99	
	1,410	928	1,226	2,256	0.51	1.00	0.29	0.73	0.99	

キャリブレーションがいちばん優れており、SEC=0.29, SEP=0.33だった。また、968 nmを使った4波長のキャリブレーションは3波長によるものよりSECは小さくなっているが、SEPは大きくなっており、これは4波長では波長間の多重共線性による予測精度の低下、いわゆるオーバーフィッティングが生じているものと考えられる。

「タクネ」では、1,410 nmを第1波長にした3波長

のキャリブレーションが優れており、SEC=0.37, SEP=0.53で、「ホロシリ」、「チホク」よりキャリブレーションの精度は劣った。

以上をまとめると、いずれの品種でも、平均したスペクトルを用いたキャリブレーションの方が精度が優れていた。

これらの精度は第2報¹¹⁾で得られた小麦全粒粉の水分のキャリブレーションの精度のSEC=0.10

表5 水分の化学測定の際の繰り返し誤差

Table 5 Precision of chemical analysis for moisture

	ホロシリ	チホク	タクネ
SDD(%)	0.38	0.26	0.20

と約3倍以上精度が劣ったが、範囲が相当広いこと、充填密度のバラツキのでやすい全粒での測定であること、化学測定精度がSDD=0.20~0.38であることなどを考慮すれば良好な精度であるといえる。

加藤によれば¹²⁾、現在実用に供されている市販の水分計の公称精度は、20%以下が±0.5%、20%以上が±1.0%とするものが多い。これを、水分計の測定値のバラツキが99%納まる範囲であると考え、

表6 平均スペクトルを用いたキャリブレーション一覧

Table 6 Calibration list with averaging

品種	波長 (nm)				キャリブレーション		検証			範囲 (%)		
	1	2	3	4	SEC	r ²	Bias	SEP	r ²			
ホロシリ	968	1,894			0.28	1.00	-0.04	0.41	1.00	10.60-25.52		
	968	1,894	698		0.21	1.00	-0.16	0.34	1.00			
	968	1,894	698	772	0.19	1.00	-0.29	0.45	0.99			
	1,154	1,814			0.30	1.00	-0.27	0.49	0.99			
	1,154	1,814	1,490		0.25	1.00	-0.20	0.44	0.99			
	1,154	1,814	1,490	522	0.23	1.00	-0.02	0.48	0.99			
	1,342	968			0.39	0.99	0.04	0.43	0.99			
	1,342	968	1,896		0.28	1.00	-0.06	0.41	1.00			
	1,342	968	1,896	696	0.23	1.00	-0.15	0.38	1.00			
	1,410	1,146			0.23	1.00	0.07	0.32	1.00			
	1,410	1,146	650		0.20	1.00	-0.11	0.32	1.00			
	1,410	1,146	650	1,724	0.19	1.00	-0.07	0.29	1.00			
	チホク	968	1,970			0.36	1.00	0.24	0.44		1.00	10.68-31.05
		968	1,970	1,512		0.29	1.00	0.05	0.33		1.00	
968		1,970	1,512	912	0.27	1.00	-0.24	0.35	1.00			
1,154		1,690			0.44	1.00	0.00	0.79	0.98			
1,154		1,690	924		0.33	1.00	-0.28	0.77	0.98			
1,154		1,690	924	1,226	0.33	1.00	-0.31	0.65	0.99			
1,342		964			0.45	1.00	-0.14	0.53	0.99			
1,342		964	1,978		0.33	1.00	-0.14	0.45	1.00			
1,342		964	1,978	1,900	0.27	1.00	-0.09	0.34	1.00			
1,410		964			0.40	1.00	0.04	0.47	0.99			
1,410		964	1,982		0.31	1.00	-0.21	0.44	1.00			
1,410		964	1,982	1,264	0.26	1.00	0.10	0.38	1.00			
タクネ		968	1,962			0.49	1.00	-0.07	0.59	0.99	9.75-33.41	
		968	1,962	1,800		0.41	1.00	-0.15	0.54	1.00		
	968	1,962	1,800	572	0.36	1.00	-0.20	0.63	0.99			
	1,154	1,044			0.51	1.00	-0.05	0.60	0.99			
	1,154	1,044	1,514		0.44	1.00	0.07	0.57	0.99			
	1,154	1,044	1,514	768	0.33	1.00	0.15	0.59	0.99			
	1,342	1,050			0.57	1.00	0.04	0.66	0.99			
	1,342	1,050	1,516		0.41	1.00	0.17	0.58	0.99			
	1,342	1,050	1,516	1,048	0.24	1.00	0.15	0.60	0.99			
	1,410	1,054			0.49	1.00	0.05	0.64	0.99			
	1,410	1,054	1,518		0.37	1.00	0.11	0.53	1.00			
	1,410	1,054	1,518	1,690	0.31	1.00	0.13	0.55	1.00			
	全試料	968	914			0.70	0.99	-0.02	0.75	0.99		9.75-33.41
		968	914	2,260		0.57	0.99	-0.04	0.69	0.99		
968		914	2,260	438	0.48	0.99	-0.20	0.71	0.99			
1,410		1,148			0.74	0.99	-0.03	0.84	0.98			
1,410		1,148	638		0.61	0.99	-0.04	0.76	0.99			
1,410		1,148	638	1,272	0.55	0.99	-0.05	0.73	0.99			

測定値の標準偏差はこの約1/3になる。近赤外分光法で、平均したスペクトルで得られたキャリブレーションの精度は、これらの水分計の公称誤差にほぼ匹敵する数値であった。

また、Downey¹³⁾は、13.6~20%の全粒小麦の近赤外分光法による測定精度はSEC=0.24, SEP=0.36であり、一方、市販の水分計の精度は同じ水分範囲で標準誤差が0.46~0.67%であるので、近赤外分光法の方が精度が優れているとしている。本研究で得られた精度は、水分範囲がDowneyによるものより広く、かつ、精度はほぼ同等である。したがって、近赤外分光法による高水分小麦の測定精度は、市販の水分計の測定精度より優れており、水分計として十分実用可能であると考えられる。

一方、全試料を用い、平均スペクトルで作成したキャリブレーションの精度は各品種ごとに作成したキャリブレーションと比較して精度が劣った。これは、全粒の測定では外観による影響(形状、大きさなど)がスペクトルに大きく現れたものと考えられる。また、全試料で得られた精度が各品種で得られた精度より劣る結果は、第2報¹¹⁾の小麦全粒粉で得られたキャリブレーションの結果と同様であった。全粒粉では水分はタンパク質を基準水分での値に変換するためのみに用いられるので、全試料で作成したキャリブレーションを使用しても良いと結論したが、ここでは水分測定自体が目的であり、精度を考慮すると、品種ごとに作成したキャリブレーションが推奨される。

図12~14に、各品種ごとに、平均したスペクトルで作成したキャリブレーションの化学分析値と近赤外分光法による推定値の関係をまとめて示した。

なお、本研究では、小麦の水分の上限は33%程度であったので、更に高い水分域での測定精度を確認する必要があるものと思われる。

B. 米の品種、産地が品質に与える影響

1. 目的

近年、機器分析による米の食味評価法が開発され、いくつかの測定装置が市販されているが、川村らの研究によれば測定精度はそれほど高くないとされている¹⁴⁾。そこで、全国各地の米を収集して食味試験を実施し、種々の機器分析と併せて近赤外分光法の検討を行い、米の食味の推定精度の向上の可能性を検討した。

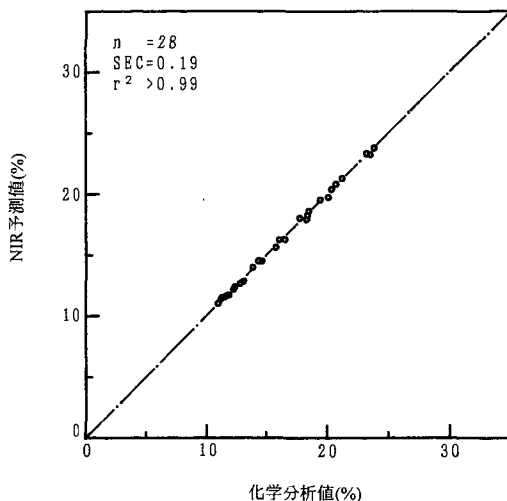


図12 小麦(「ホロシリ」)水分の化学分析値とNIR予測値の相関(1,410, 1,146, 650, 1,724 nm)

Fig. 12 Relationship between lab. analysis value and NIR estimated value for wheat moisture(Horoshiri)(1,410, 1,146, 650, 1,724 nm)

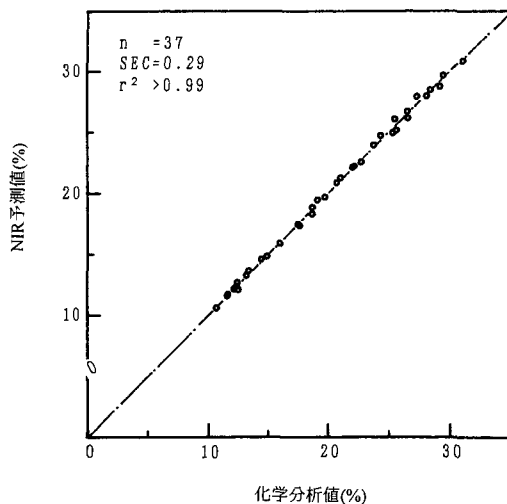


図13 小麦(「チホク」)水分の化学分析値とNIR予測値の相関(968, 1,970, 1,512 nm)

Fig. 13 Relationship between lab. analysis value and NIR estimated value for wheat moisture (Chihoku) (968, 1,970, 1,512 nm)

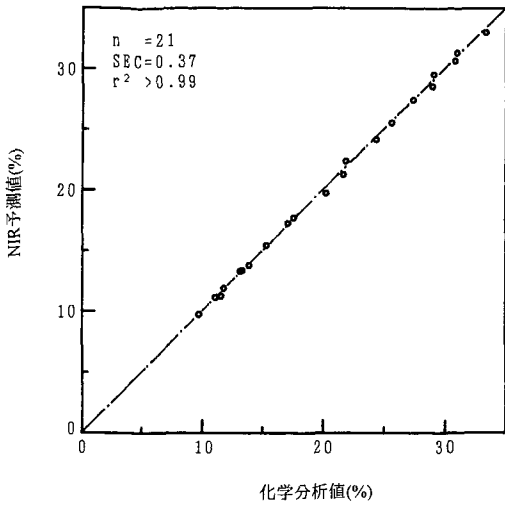


図14 小麦(「タクネ」)水分の化学分析値とNIR予測値の相関(1,410, 1,054, 1,518 nm)
 Fig. 14 Relationship between lab. analysis value and NIR estimated value for wheat moisture (Takune) (1,410, 1,054, 1,518 nm)

2. 実験方法

a. 供試試料

供試試料を表7に示した。供試試料は1991年産の玄米47種類と1992年産の玄米14種類、計61種類を用いた。

搗精は小型の摩擦式精米機(佐竹製作所製MCM-250型)を用いて行った。搗精歩留は90.4~90.6%とした。

b. 機器分析

表8に機器分析の項目一覧を示した。測定項目は玄米が36、精白米が25である。各測定は川村らの方法¹⁵⁾に準じ、以下の手順及び方法で行った。

1) 玄米

a) 水分

原粒の水分を10g粒-135°C-24h法で測定し、5g粉砕-105°C-5h法の値に換算した。

b) 千粒重

砕粒を除く玄米1,000粒の重量を測定した。

c) 粒厚分布

東京試験器製作所製縦目フルイ振盪機を用い、玄米を1.8mm以下から2.2mmまでの0.1mmごとの粒厚によりフルイ分けし、粒厚分布を求めた。

d) 組成分析

農産物規格規定に従い、玄米1,000粒を静岡製機

表7 供試試料一覧
 Table 7 Sample list

No.	収穫年	食味試験	品種	生産地	等級
1	91	91.12	きらら397	北海道北竜町	1
2	91	91.12	ほのか224	北海道大野町	1
3	91	91.12	つがるおとめ	青森県	1
4	91	91.12	むつかおり	青森県	1
5	91	91.12	あきたこまち	秋田県男鹿市	1
6	91	91.12	はまの舞	山形県	1
7	91	91.12	ササニシキ	宮城県	1
8	91	91.12	コシヒカリ	新潟県燕市	1
9	91	91.12	越の華	富山県	1
10	91	91.12	越路早生	富山県	1
11	91	91.12	フクヒカリ	福井県坂井郡	1
12	91	91.12	コシヒカリ	茨城県	1
13	91	91.12	コシヒカリ	静岡県周智郡	1
14	91	91.12	黄金晴	静岡県磐田郡	1
15	91	91.12	ヤマヒカリ	三重県多気郡	1
16	91	91.12	コシヒカリ	徳島県阿波町	1
17	91	91.12	ヤマビコ	岡山県高梁町	1
18	91	91.12	コシヒカリ	岡山県津山市	1
19	91	91.12	日本晴	滋賀県愛知郡	1
20	91	91.12	キヌヒカリ	福岡県筑後町	1
21	91	92.09	キヌヒカリ	福岡県久留米市	2
22	91	92.09	コシヒカリ	静岡県小笠郡	1
23	91	92.09	ヤマヒカリ	鳥取県鳥取市	1
24	91	92.09	中生新千本	広島県東広島市	1
25	91	92.09	ホウレイ	広島県甲奴郡	1
26	91	92.09	アキツホ	広島県加茂郡	1
27	91	92.09	朝日	岡山県児島郡	1
28	91	92.09	日本晴	兵庫県加西市	1
29	91	92.09	日本晴	滋賀県愛知郡	1
30	91	92.09	あいちのかおり	愛知県稲沢市	1
31	91	92.09	コシヒカリ	福井県福井市	1
32	91	92.09	フクヒカリ	福井県鯖江市	1
33	91	92.09	越路早生	富山県滑川市	1
34	91	92.09	コシヒカリ	長野県駒ヶ根市	1
35	91	92.09	晴々	静岡県袋井市	2
36	91	92.09	黄金晴	静岡県周智郡	2
37	91	92.09	コシヒカリ	茨城県	1
38	91	92.09	コシヒカリ	新潟県中魚沼郡	1
39	91	92.09	ササニシキ	宮城県黒川郡	1
40	91	92.09	ひとめぼれ	宮城県	1
41	91	92.09	ササニシキ	岩手県胆沢郡	1
42	91	92.09	ササニシキ	山形県鶴岡市	1
43	91	92.09	あきたこまち	秋田県大館市	1
44	91	92.09	むつかおり	秋田県黒石市	1
45	91	92.09	ゆきひかり	北海道旭川市	1
46	91	92.09	彩	北海道雨竜郡	1
47	91	92.09	きらら397	北海道上川郡	1
48	92	92.12	ミネアサヒ	熊本県	1
49	92	92.12	コシヒカリ	長崎県	1
50	92	92.12	コシヒカリ	徳島県	1
51	92	92.12	中生新千本	広島県	1
52	92	92.12	アキツホ	広島県	1
53	92	92.12	ヤマビコ	岡山県	1
54	91	92.12	日本晴	滋賀県	1
55	92	92.12	日本晴	滋賀県	1
56	92	92.12	コシヒカリ	新潟県	1
57	92	92.12	キヌヒカリ	茨城県	1
58	92	92.12	初星	福島県	1
59	92	92.12	ササニシキ	宮城県	1
60	92	92.12	ササニシキ	山形県	1
61	92	92.12	あきたこまち	秋田県	1

表8 機器分析項目
Table 8 Items of instrument analysis

No.	対象	項目	方法
1	玄米	水分	105°C
2			135°C
3		千粒重 粒厚	<1.8 mm
4			1.8 mm <
5			1.9 mm <
6			2.0 mm <
7			2.1 mm <
8			2.2 mm <
9		Mean	
10	組成	整粒	
11		未熟粒	
12		死米	
13		被害粒	
14		砕粒	
15		着色粒	
16		粃	
17	胴割率	重	
18		軽	
19	肌ずれ率	指数	
20		点	
21	白度	線	
22		面	
23		指数	
24	色調	C-100	
25		L	
26		a	
27	彩度	b	
28		彩度	
29		彩度	
30	透光度		
31	容積重		
32	胚の活性度		
33	発芽率	発芽率	
34		発芽勢	
35		NIR	
36	タンパク質含量	NIR	
37	精白米	搗精歩留	
38		水分	135°C
39			105°C
40		組成	砕粒+異物
41		白度	C-100
42		色調	L
43			a
44			b
45		彩度	
46		透光度	
47		胚芽残存率	
48		炊飯特性	加熱吸水率
49			溶出固形物
50			ヨード呈色度
51		脂肪酸度	
52	容積重		
53	タンパク質含量	NIR	
54	テクスチュロメータ	A 1	
55		A 2	
56		A 3	
57		A 3/A 1	
58	ラピッドビスコアナライザ	ピーク粘度	
59	アミログラフ	最高粘度	
60		ブレークダウン	
61	アミロース含量		

製品質判定機 RS-1000 を用いて整粒, 未熟粒, 死米, 被害粒, 着色粒に予備選別した後, 手選別により粃, 異物, 着色粒, 砕粒, 被害粒, 死米, 未熟粒, 整粒にそれぞれ分類し, 重量割合で表した。

e) 胴割率

農業機械学会の「米の胴割れ測定方法の基準」¹⁶⁾に従い, 米粒透視器を用いて, 玄米 500 粒の軽胴割率と重胴割率を測定し, 以下の式で胴割指数を算出した。

$$\text{胴割指数} = \text{軽胴割率} \times 0.5 + \text{重胴割率} \quad (1)$$

f) 肌ずれ指数

川村らの方法¹⁷⁾に準じ, 点肌ずれ率, 線肌ずれ率, 面肌ずれ率を測定し, 以下の式に従って肌ずれ指数を算出した。

$$\text{肌ずれ指数} = \text{点肌ずれ率} \times 0.1 + \text{線肌ずれ率} \times 0.5 + \text{面肌ずれ率} \quad (2)$$

g) 白度

ケット科学研究所製白度計 C-100 型を用いて測定した。

h) 色調

白度計 C-100 の測定用セルに充填した玄米の L (明るさ), a (赤緑軸), b (黄青軸) 値をミノルタカメラ¹⁸⁾製色彩色差計 CR-200b で測定し, 以下の式で彩度を算出した。

$$\text{彩度} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

i) 透光度

理研計器製ライスメータ QS-101D 型 (玄米用) を用い, 玄米粒の光の透過率を測定し, 透光度とした。

j) 容積重

木屋製作所製ブラウエル穀粒計を用い, 玄米 1 l 当たりの重量を求めた。

k) 胚の活性度

胚のコハク酸脱水素酵素の還元力を測定し, その活性度を判定するために, 玄米の整粒 200 粒に 0.25% 濃度の TZ (Triphenyl tetrazolium chloride) 試薬 20 ml を加えたシャーレを 25°C の定温器中に 24 h 保った後, 胚の赤紅色呈色度を観察し, 以下の式により TZ 値を求め, これを胚の活性度とした。

$$\text{TZ 値} = (\text{呈色指数} \times \text{呈色粒数}) / \text{供試粒数} \times 100 \quad (4)$$

呈色指数は胚芽が赤く着色された場合を 1 とし, 着色が薄いまたは一部分である場合を 0.5 とした。

1) 脂肪酸度

第 2 報¹¹⁾ I-B と同様に求めた。

m) 発芽勢及び発芽率

食糧庁標準計測方法¹⁸⁾に準じ、口紙を敷いたシャーレに玄米 200 粒を入れ、蒸留水を適宜加えて 20°C の定温器中に保ち、72 時間以内に発芽した割合を発芽勢、1 週間以内に発芽した割合を発芽率とした。

n) タンパク質

第 2 報¹¹⁾ I-B と同様に求めた。

2) 精白米

a) 搗精歩留

搗精前の玄米重量に対する搗精後の精白米重量の割合を搗精歩留とした。

b) 水分

玄米と同様に求めた。

c) 組成分析

佐竹製作所製インデントシリンダ型テストライスグレーダを用いて砕粒を選別し、砕粒+異物の割合を求めた。

d) 白度

玄米と同様に求めた。

e) 色調

玄米と同様に求めた。

f) 透光度

理研計器製ライスメータ QS-101D 型(精白米用)を用い、玄米と同様に求めた。

g) 胚芽残存率

食糧庁食糧検査事務所検査部で行っている胚芽残存率の測定法¹⁹⁾に従い、精白米 400 粒を胚芽全存粒(1 カウント)、半存粒(0.5 カウント)、無胚芽粒(0 カウント)に肉眼で分類し、胚芽残存率を算出した。

h) 炊飯特性

i. 加熱吸水率

高さ 80 mm、直径 40 mm の円筒金網かごに精白米 10 g を入れ、かごの中の精白米表面を均平にする。トルピーカに蒸留水 170 ml を入れ、ウォーターバスにより水温 75°C (± 1°C) に調整し、試料をかごとともに投入し、75°C の水温を保ちつつ正確に 20 分間加熱炊飯する。20 分後にトルピーカをウォーターバスより取り出し、さらにトルピーカよりかごを取り出し、すばやく水切りをした後、以下の式により加熱吸水率を求めた。

$$\text{加熱吸水率} = \frac{\text{炊飯米重量}}{\text{精白米重量}} \quad (5)$$

ii. 炊飯液中の溶出固形物

トルピーカ内に残った炊飯液をメスフラスコに

移し、これに蒸留水を加えて 200 ml に定容する。ここから 20 ml をアルミ箔製容器に採取し、これを炊飯液の突沸を防ぐために 80°C に設定したオープン内に 20 h 入れ、さらにオープンの温度を 105°C として 4 h 絶乾したのち固形物重量を計測し、その値を 10 倍して炊飯液 200 ml 中の溶出固形物重量を求めた。

iii. 炊飯液のヨード呈色度

メスフラスコ内に残った炊飯液を口紙で口過して浮遊物を除去する。ロ液 40 ml と 0.2% ヨード溶液 (2.0 g I₂ + 20 g KI / 1000 ml H₂O) 4 ml と 1 N 酢酸 1 ml とを 100 ml のメスフラスコ内で酸性状態で反応させた後、これを蒸留水で 100 ml に定容する。ヨード溶液 2 ml と 1 N 酢酸 1 ml とを蒸留水で 100 ml に希釈したものをブランクとし、日立製作所製分光光度計 101 型を用いて波長 600 nm における上記試料の吸光度を測定し、これをヨード呈色度とした。

i) 容積重

玄米と同様に求めた。

j) タンパク質

玄米と同様に求めた。

k) テクスチュロメータ

テクスチャとは、歯ざわり、きめ、こし、もろさ、附着性など、そしゃく中に感ずる物理的な特性であり、これを測定するために開発された装置がテクスチュロメータである。試料は砕粒及び胴割れ米を除去した精白米 20.0 g を用い、一定加水量で炊飯後、測定した。測定は静岡製機㈱に依頼し、A₁、A₂、A₃ 及び A₃/A₁ を測定した。A₁、A₃ は最初のそしゃくの硬さと粘りをそれぞれ示し、A₂ は 2 回目のそしゃくの硬さを表す。A₃/A₁ は硬さと粘りの比を表す。図 1 にテクスチュロメータの記録曲線を示した。

1) RVA

アミログラフより少量の試料で迅速に小麦のデンプンの糊化特性を測定するために開発されたラピッドビスコアライザによりピーク粘度値を測定した。この測定は静岡製機㈱に依頼して行った。

m) アミロース

北海道立中央農業試験場に依頼し、米デンプンのアミロースとアミロペクチンの含有比をアミロースを基準に測定した。測定は㈱ブランルーベ製オートアナライザで行った。

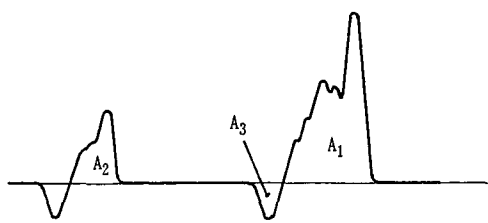


図15 テクスチュロメータの記録曲線 (テクスチャプロフィール)

Fig. 15 Recorded curve of Texturometer(Texture profile)

n) アミログラム特性値

北海道立中央農業試験場に依頼し、ブラベンダ社製アミログラムの最高粘度(MV)とブレイクダウン(BD)を測定した。

c. 食味試験

食糧庁の方法^{20,21)}に準じて食味試験を実施した。

1) 試食者(パネル)の選定

川村の方法²²⁾に準じ、北海道大学農学部内外から性別や年齢を考慮し、34~48名を選んだ。表9に食味試験のパネルの集計表をまとめた。パネルの平均数は41.0人だった。

2) 炊飯方法

川村の方法²²⁾に準じて行った。

炊飯には東芝製電気炊飯器 RC-187F 型(1.8ℓ 炊き, 600 W)を8台用いた。

炊飯量はパネルが試食するのに必要十分な量として精白米1kgを用いた。洗米は一定手順で行い、1回水洗, 1回研いだ後3回水洗し, 精白米重量の1.3倍の水を加え炊飯した。浸漬時間は2時間とし, その後8台の炊飯器で同時に加熱を開始した。炊飯時間はおよそ35分間であり, その後30分間蒸らして米飯を軽く攪拌した。その後約1時間静置後試食を開始した。

3) 食味評価

川村の方法²²⁾に準じて, 評価項目は精白米外観, 炊飯米外観, 香り, 硬さ, 粘り, 総合評価の5項目とし, 滋賀県産「日本晴」を基準米とした相対比較法で行った。評点は硬さと粘りでは±3の範囲とし, その他の項目では±5とした。

食味試験は午後3時から実施した。

d. 食味分析計

米の食味分析計として4社から市販されている4機種を選定した。

表9 官能試験パネル集計表
Table 9 Panel list of sensory testing

No.	日付	パネル	女性	40歳以上	未経験者
1	1991.12.10	41	18	11	17
2	1991.12.11	44	20	11	10
3	1991.12.12	48	14	13	6
4	1991.12.13	38	14	11	1
小計 平均		42.8	16.5	11.5	8.5
比率 (%)		—	38.6	26.9	19.9
5	1992.09.01	37	16	13	5
6	1992.09.02	40	18	13	8
7	1992.09.03	36	15	15	4
8	1992.09.04	38	16	9	6
9	1992.09.07	44	20	11	13
10	1992.09.08	47	27	10	18
小計 平均		40.3	18.7	11.8	9.0
比率 (%)		—	46.3	29.3	22.3
11	1992.12.21	34	10	6	15
12	1992.12.22	44	11	5	21
13	1992.12.24	47	11	2	12
14	1992.12.25	36	9	4	6
小計 平均		40.3	10.3	4.3	13.5
比率 (%)		—	25.5	10.6	33.5
平均		41.0	15.6	9.6	10.1
比率 (%)		—	38.2	23.3	24.7
合計		574	219	134	142
比率 (%)		—	38.2	23.3	24.7

このうちの佐竹製作所(以下, サタケ), ニレコ, 静岡製機(以下, シズオカ)の3機種は近赤外分光法を利用して米の成分を測定し, 米の食味評価値を算出する。測定は粒のままあるいは粉碎して行う。

他の1機種, 東洋精米機(以下, トーヨー)の食味分析計は, 精白米を水中で短時間加熱した後に電磁波を米粒表面に照射し, 米の表面の水膜を測定して食味評価値の算出を行う。

いずれの食味分析計も各社に試料を送付して測定を依頼した。

e. 近赤外分析

近赤外スペクトルの測定にはNIRSystems社製NIRS6500を用いた。測定はSpinning Sample ModuleとReflectance Detector Moduleを用い, 粉体セルに試料を充填して反射モードで行った。測定範囲は可視光を含めて400~2,500nmとし, 2nm間隔で120回高速スキャン(1.8 scans/sec)し, 平均値を求めた。

試料は玄米粒とその粉, 精白米粒とその粉を用い

た。粒は5回、粉は3回繰り返して測定を行い、その平均をそれぞれの試料の平均スペクトルとした。

試料の粉碎はUDY Cyclone-mill モデル3010-109 (220V 50Hz) で行った。

3. 結果及び考察

a. 機器分析と食味試験

表10に食味試験の結果をまとめた。データは総合評価の順に示した。

1) 食味試験結果

a) 食味試験の信頼性

食味試験の信頼性を検討するため、各評価項目ごとに標準誤差を算出した。ここで標準誤差とは、以下の式で定義される統計値である。

誤差の平方和 (SSE: Sum Square of Error) (分散分析表における残差変動の平方和)

$$SSE = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (6)$$

ここで x : 各データ

n : 試料数

m_i : (食味試験の各試料におけるパネル数)
(機器分析の各試料における反復数)

誤差の不偏分散 (MSE: Mean Square of Error) (分散分析における残差変動の分散)

$$MSE = \frac{SSE}{\sum_{i=1}^n (m_i - 1)} \quad (7)$$

標準誤差 (SE: Standard Error)

$$SE = \sqrt{\frac{MSE}{n_e}} \quad (8)$$

ここで n_e : 有効反復数 (Effective Number of Replications)

$$n_e = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \quad (9)$$

結果を表11にまとめた。いずれの評価項目とも標準誤差は0.2内外であり、機器分析による食味評価項目の推定の誤差及び食味分析計による食味評価項目の推定の誤差はこの標準誤差よりは小さくならない。

b) 食味試験の結果の検討

評価項目の分散分析を行ったところ、各評価項目とも危険率1%で有意だった。また、いずれの評価項目でも、基準米(滋賀県産「日本晴」)と0.5~0.6以上の差があれば危険率5%以上で有意な差が見ら

れた。一般に「コシヒカリ」, 「ササニシキ」は食味が良いとされており、上位にはこれらの品種が並んでいるが、基準より食味が劣ると判断された種類にもこれらの品種が見られる。これらの多くは精白米の外観及び炊飯米の外観が劣るために総合評価が劣ると判断されたものと考えられるが、同一品種でも食味に地域差がある²³⁾ことが反映された結果とも考えられる。

c) 食味試験の総合評価と各評価項目との関係

食味総合評価と精白米外観, 炊飯米の外観, 香り, 硬さ, 粘りにはそれぞれ $r=0.53^{***}$, 0.72^{***} , 0.64^{***} , -0.33^{**} , 0.62^{***} といずれも危険率0.1%で有意な相関が得られた。これは他の食味試験の結果²⁴⁾ともほぼ一致する。すなわち、パネルは外観が良く、香りが良く、粘りのある米を良食味と判断している。

つぎに、総合評価がどの評価項目にどのような影響を受けているかを知るため、総合評価と他の評価項目との間で重相関分析を行った。結果は表12に示したように、炊飯米の粘りと外観で総合評価の64%が、また、粘りと外観に香りが加わると総合評価の70%が説明でき、これらの要素を機器分析で精度良く推定できれば食味総合評価が精度良く推定できるものと考えられる。

2) 機器分析値と食味試験評価

a) 玄米の機器分析値と食味試験の評価項目との関係

玄米の機器分析値と食味試験の評価項目との関係では、タンパク質と総合評価に $r=-0.43^{***}$ の危険率0.1%で有意な負の相関が得られた。米のタンパク質については食味と負の相関があることが知られており^{25~27)}、この傾向と一致した。

また、玄米組成分析の整粒割合と精白米外観との間に $r=0.46^{***}$ の危険率0.1%で有意な正の相関が得られ、さらに総合評価との間に危険率5%で有意な正の相関が得られた。これは整粒割合の高い玄米ほどそれを搗精したときの精白米外観が良く、その影響で総合評価が良くなったものと考えられる。

上記のことは色調や透光度など光学系の機器分析項目においても裏付けられた。すなわち、色調のb(黄青軸), 彩度, 透光度は精白米外観, 炊飯米外観, 総合評価と有意な正の相関が認められた。

玄米中に死米, 未熟粒, 被害粒などが少なく整粒が多いと、玄米全体の色調は黄金色となり透明さも

表10 食味試験結果
Table 10 Results of sensory test

No.	順位	生産地	品種	精白米		炊飯米			総合評価**
				外観**	外観**	香り**	硬さ**	粘り**	
59	1	宮城県	ササニシキ	0.00	0.34	0.26	-0.21	0.18	0.48
40	2	宮城県	ひとめぼれ	0.50	0.28	-0.03	-0.54	0.62*	0.46
8	3	新潟県	コシヒカリ	0.74*	0.53	0.21	0.05	0.61*	0.46
4	4	青森県	むつかおり	-0.32	0.15	0.12	0.12	0.14	0.40
38	5	新潟県	コシヒカリ	-0.30	0.08	0.03	-1.03**	0.24	0.39
58	6	福島県	初星	0.07	0.56	0.35	0.03	0.09	0.37
18	7	岡山県	コシヒカリ	-0.50	0.03	0.32	-0.55	0.74*	0.35
61	8	秋田県	あきたこまち	0.55	0.30	0.17	-0.33	0.07	0.30
50	9	徳島県	コシヒカリ	-0.51	0.05	0.20	-0.23	0.33	0.29
47	10	北海道	きらら 397	0.14	0.36	-0.16	-0.35	0.12	0.27
60	11	山形県	ササニシキ	-0.07	-0.16	0.23	-0.21	0.42	0.26
6	12	山形県	はまの舞	-0.47	0.17	0.49	-0.56	0.46	0.24
56	13	新潟県	コシヒカリ	-0.38	0.41	0.25	-0.45	0.57	0.24
22	14	静岡県	コシヒカリ	0.00	0.29	0.14	0.05	0.11	0.21
15	15	三重県	ヤマヒカリ	0.59*	0.03	0.20	-0.29	0.38	0.20
5	16	秋田県	あきたこまち	0.56*	0.54	0.58*	-0.39	0.26	0.19
7	17	宮城県	ササニシキ	0.80**	0.15	0.11	-0.26	0.09	0.14
28	18	兵庫県	日本晴	0.18	0.24	0.39	-0.23	-0.11	0.13
44	19	秋田県	むつかおり	0.00	-0.05	0.16	0.21	0.07	0.12
46	20	北海道	彩	1.11**	0.36	-0.28	-0.70*	0.51	0.12
37	21	茨城県	コシヒカリ	-0.78**	0.08	0.09	-0.53	0.00	0.11
9	22	富山県	越の華	0.37	0.57	0.03	-0.54	0.07	0.11
34	23	長野県	コシヒカリ	-0.07	0.44	-0.14	-0.09	-0.13	0.07
3	24	青森県	つがるおとめ	0.34	-0.09	0.00	-0.68*	0.15	0.05
17	25	岡山県	ヤマビコ	0.82**	0.34	0.41	0.12	-0.29	0.05
30	26	愛知県	あいちのかおり	0.47	0.62*	0.21	-0.09	-0.29	0.05
43	27	秋田県	あきたこまち	0.00	0.27	0.26	-0.51	0.00	0.03
39	28	宮城県	ササニシキ	-0.19	0.18	0.03	-0.53	-0.05	0.02
19	29	滋賀県	日本晴	0.00◎	0.00◎	0.00◎	0.00◎	0.00◎	0.00
29	30	滋賀県	日本晴	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	31	滋賀県	日本晴	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	32	福井県	コシヒカリ	0.36	-0.27	-0.06	-0.41	-0.19	0.00
14	33	静岡県	黄金晴	1.08**	0.33	0.20	-0.29	0.19	-0.05
23	34	鳥取県	ヤマヒカリ	-0.09	0.06	0.20	-0.41	-0.31	-0.05
45	35	北海道	ゆきひかり	0.00	-0.21	-0.16	0.57	0.03	-0.06
12	36	茨城県	コシヒカリ	-0.32	0.34	-0.37	-0.29	0.66*	-0.08
1	37	北海道	きらら 397	0.37	0.57	0.30	-0.02	-0.07	-0.08
21	38	福岡県	キヌヒカリ	-0.32	0.17	-0.29	-0.15	-0.23	-0.08
25	39	広島県	ホウレイ	1.02**	0.38	0.26	0.16	-0.04	-0.12
11	40	福井県	フクヒカリ	-0.34	-0.26	-0.08	-0.37	0.20	-0.16
24	41	広島県	中生新千本	-1.09**	-0.52	0.03	0.37	0.22	-0.19
2	42	北海道	ほのか 224	-0.24	0.08	0.05	-0.50	0.13	-0.19
26	43	広島県	アキツホ	-0.11	-0.51	-0.24	0.45	-0.32	-0.25
54	44	滋賀県	日本晴	-0.29	-0.10	-0.17	0.14	-0.20	-0.28
41	45	岩手県	ササニシキ	-0.22	-0.49	0.26	0.00	-0.65*	-0.28
27	46	岡山県	朝日	-0.50	-0.06	-0.03	-0.20	-0.06	-0.28
16	47	徳島県	コシヒカリ	-0.56	0.08	0.26	-0.37	0.00	-0.32
48	48	熊本県	ミネアサヒ	-1.15**	-0.36	-0.49	-0.58	0.06	-0.36
33	49	富山県	越路早生	-0.83**	-0.32	-0.24	0.02	-0.29	-0.41
32	50	福井県	フクヒカリ	-1.97**	-0.57	-0.12	-0.58	-0.11	-0.42
20	51	福岡県	キヌヒカリ	-1.08**	0.26	-0.24	0.12	-0.24	-0.43
52	52	広島県	アキツホ	-0.46	-0.41	0.10	0.12	0.15	-0.44
57	53	茨城県	キヌヒカリ	-0.58*	-0.13	-0.05	-0.14	0.29	-0.45
13	54	静岡県	コシヒカリ	-1.38**	-0.89**	0.05	-0.26	0.11	-0.49
42	55	山形県	ササニシキ	-0.83**	-0.43	-0.37	-0.44	-0.40	-0.49
53	56	岡山県	ヤマビコ	-0.06	-0.39	0.08	0.23	-0.48	-0.50
36	57	静岡県	黄金晴	-2.09**	-1.00**	-0.31	0.05	-0.36	-0.57
49	58	長崎県	コシヒカリ	-1.30**	-0.95**	-0.48	0.21	-0.46	-0.57
10	59	富山県	越路早生	0.16	0.03	-0.49	0.05	-0.14	-0.65
51	60	広島県	中生新千本	-1.32**	-0.95**	-0.69**	-0.14	-0.29	-0.75
35	61	静岡県	晴々	-0.05	-0.86**	-0.50	0.26	-0.37	-0.81

食味試験の**と*はそれぞれ統計的に1%と5%で有意であることを示す。

評価値の**と*はそれぞれ統計的に1%と5%で日本晴(◎)と有意差があることを示す。

表11 食味試験の標準誤差
Table 11 Standard error of sensory testing

対象	項目	標準誤差
精白米	外観	0.21
炊飯米	外観	0.21
	香り	0.19
	硬さ	0.23
	粘り	0.21
	総合評価	0.22

増加し、b値と透光度が増加する。またb値が大きいと彩度が増加する。したがって色調、透光度と外観、総合評価との間に有意な相関が得られたものと考えられる。

以上のことは、米のタンパク質などの成分測定と同様に、米の可視光域の光学的特性によっても米の品質が測定可能であることを示唆している。

b) 精白米の機器分析値と食味試験の評価項目との関係

精白米の機器分析と食味試験の評価項目との関係では、まず、タンパク質と総合評価に $r = -0.46^{***}$ の危険率0.1%で有意な負の相関が得られた。これは玄米と同様の傾向で、一般に言われている米のタンパク質と食味の負の相関が裏付けられた。

ついで、脂肪酸度と総合評価、炊飯米外観にそれぞれ $r = -0.47^{***}$ 、 $r = -0.44^{***}$ のいずれも危険率0.1%で有意な負の相関が得られた。古米を炊飯したときの特有の臭いはカルボニル化合物が主たる原因であり²⁸⁻³⁰⁾、カルボニル化合物は中性脂質の加水分解によって生じた遊離脂肪酸がさらに酸化分解されて生成されるものである³¹⁾。したがって、脂肪酸度が高いと炊飯米の香りが悪くなり、総合評価が低くなることが考えられるが、今回の結果では脂肪酸度と香りには有意な相関が見られなかった。脂肪酸度は精白米の外観とも有意な相関が見られず、炊飯米外

観のみと有意な相関が得られた理由は不明である。

色調のbと彩度、透光度は精白米の外観、炊飯米の外観、総合評価と危険率1%以下で有意な相関が得られた。これらはいずれも玄米と同様、外観が良いため総合評価も良くなったものと考えられる。

食味試験の粘りと、粘りをデンプンの糊化特性から推定していると考えられるRVAのピーク粘度値、アミログラムの最高粘度、ブレイクダウンなどとは有意な相関が見られなかった。これは、米飯粒の粘りは粉末にしてデンプンの糊化特性を測定した値から推定することは困難であることを示していると考えられる。

また、アミロースの含有比と食味試験の粘りには危険率1%で有意な負の相関が見られ、これは稲津の結果³²⁾と一致したが、同じくアミロースの含有比を測定していると考えられる炊飯特性のヨード呈色度と食味試験の粘りには有意な相関が見られなかった。これは、炊飯特性によるヨード呈色度には、アミロース含量の違いによる呈色度の違いと同時にデンプンの炊飯液への溶出量が影響を与えるためであると考えられる。

3) 食味試験の評価項目と機器分析の重相関

食味総合評価を機器分析で推定できるかどうかを検討するため、食味試験の評価項目と機器分析の測定項目を説明変数に、食味総合評価を目的変数として重相関分析を行った。主な結果を表13に示した。

粘りとタンパク質を用いた結果では2つの説明変数とも危険率1%で有意で、寄与率は48.4%、標準誤差は0.24であった。しかし、粘りと高い相関があると考えられるアミロースの含有比を粘りの代わりに説明変数に用いてもタンパク質のみ危険率1%で有意で、アミロースは有意にならなかった。これはアミロースによる粘りの推定の精度が低いためであると考えられる。同じくヨード呈色度あるいは

表12 食味試験の総合評価と他の評価項目との重相関分析
Table 12 MLR between overall flavor and other items of sensory test

項数	項目			r	r ²	標準誤差
	1	2	3			
2	炊飯米外観***	香り***		0.78***	0.61	0.21
2	粘り***	炊飯米外観***		0.80***	0.64	0.20
3	粘り***	香り***	精白米外観***	0.80***	0.65	0.20
3	粘り***	香り***	炊飯米外観***	0.84***	0.70	0.18

***は、0.1%で統計的に有意であることを示す。

表13 総合評価と機器分析の重相関分析
Table 13 MLR between overall flavor and instrument analysis

項数	項			r	r ²	標準誤差
	1	2	3			
2	粘り***	タンパク質***		0.70***	0.48	0.24
2	アミロース	タンパク質***		0.46***	0.21	0.29
2	ヨード呈色度	タンパク質***		0.46***	0.21	0.29
2	RVA ピーク	タンパク質***		0.46***	0.21	0.29
2	アミログラフ最高粘度	タンパク質***		0.46***	0.21	0.29
2	テクスチュロメータ A3/A1*	タンパク質***		0.52***	0.27	0.28
3	粘り***	タンパク質***	脂肪酸度***	0.79***	0.62	0.20

***, **, *はその項がそれぞれ0.1%, 1%, 5%で統計的に有意であることを示す。

RVAのピーク、アミログラムの最高粘度を粘りの代わりに用いてもアミロースと同様、有意にはならなかった。これはアミロースと同じく粘りの推定精度がこれらの機器分析では低いためであると考えられる。

食味試験の粘りの代わりに、単相関では有意ではなかった A₃/A₁ を使った場合には、A₃/A₁ は危険率5%で有意となり、寄与率27.3%、標準誤差0.28の結果が得られたが、粘りとタンパク質による重相関の結果より劣った。

粘りにタンパク質と脂肪酸度を加えた重相関分析の結果は、粘り、タンパク質、脂肪酸度ともすべて危険率0.1%で有意で、寄与率62%、標準誤差0.20の結果が得られ、推定精度向上の可能性が示された。脂肪酸度については次節で詳細に論ずる。

b. 食味分析計による食味の推定と精度の向上

食味分析計の評価値と食味総合評価には、サタケとトローヨーでそれぞれ r=0.41***, r=0.45*** の危険率0.1%で有意な相関が、また、シズオカには r=0.39** の危険率1%で、また、ニレコには r=0.31* の危険率5%で有意な相関が見られた。

トローヨー以外の3機種(サタケ、シズオカ、ニレコ)は近赤外分光法により食味総合評価を推定している。そこで、これらには精白米あるいは炊飯米の外観に関する情報が不足していると考え、各社の食味推定値と機器分析の彩度あるいは透光度を説明変数に、食味総合評価を目的変数に重相関分析を行った。結果は表14に示したようにいずれの機種の場合も総合評価の推定精度は向上した。したがって、なんらかの機器分析により精白米の外観の情報を取り込んで、各社の食味分析計の推定値とあわせて重相関を行えば現在よりは精度が向上するが、その標準誤

表14 総合評価と食味分析計、機器分析による重相関分析
Table 14 MLR between overall flavor and sensory tester, instrument analysis

食味分析計	機器分析	r	r ²	標準誤差
サタケ***	透光度***	0.56***	0.31	0.27
サタケ***	色調(彩度)*	0.51***	0.26	0.28
ニレコ*	透光度*	0.43***	0.19	0.30
ニレコ	色調(彩度)	0.36***	0.13	0.31
シズオカ***	透光度***	0.56***	0.32	0.27
シズオカ*	色調(彩度)	0.43***	0.18	0.30
トローヨー**	透光度	0.50***	0.25	0.28
トローヨー**	色調(彩度)	0.50***	0.25	0.28

***, **, *はこの項がそれぞれ0.1%, 1%, 5%で統計的に有意であることを示す。

差は0.27から0.31で、食味試験の粘りとタンパク質で得られた標準誤差の0.24よりは劣った。

さらに精度を向上させるためには、食味評価の香りに関する情報を取り入れる必要があるものと考えられるが、香りとは玄米、精白米のタンパク質と有意な負の相関が得られているものの、その他の項目とは有意な相関が得られていない。これは、香りは炊飯して初めて発現するものであり、炊飯米での香りに関する機器分析は行っておらず、玄米あるいは精白米の状態での機器分析には反映されていないためと考えられる。食味分析計の推定精度を向上させるためには今後この面での技術開発が期待される。

c. 近赤外分析による食味総合評価の推定

b. の考察により、現時点での食味分析計の実力は判定できた。そこでつぎに近赤外分析計 NIRS6500 による独自の食味総合評価の推定と推定精度の向上の試みを行った。

表15は、試料を無作為に2分して、31試料でキャ

リブレーションを作成し、残りの 30 試料で検証を行った結果を示したものである。

重相関分析を用いたキャリブレーションは前節と同様、以下の手順で作成した。すなわち、まず、キャリブレーション用のスペクトルの各波長と食味総合評価との相関分析を行い、相関プロット（波長を X 軸に、相関係数を Y 軸にとったもの）を作成した。つぎに、この相関プロットから負の相関を示すピークのうち、できるだけなだらかなものを抽出した。これは、鋭敏なピークはノイズの可能性があるからである。こうして抽出した波長を第 1 波長にして、変数増加法で第 2、第 3 波長を決定した。

つぎに、固定波長型の分析計への波長の移植を試みるため、オリジナルスペクトルによるキャリブレーションの作成を行った。2 次微分スペクトルによるキャリブレーションで決定した第 2 波長までを用いて、第 3 波長のみ変数増加法で決定した。

ついで PLS を用いたキャリブレーションも同様に作成した。なお、重相関分析によるキャリブレーション、PLS を用いたキャリブレーションの作成には NIRS6500 用のソフトウェアである NSAS (Near-Infrared Spectral Analysis Software) を使用した。

食味試験の総合評価の標準誤差は表 11 に示したように 0.22 であるので、キャリブレーションの SEC 及び検証の SEP はこの数値にできるだけ近いのが望ましい。重相関によるキャリブレーション、PLS によるキャリブレーションとも SEC は 0.22 から 0.30 で、玄米より精白米の方が一般に精度が良かった。これは食味試験を行う状態に近い形態で測定した方が測定精度が優れていることを意味する。また、粉にして測定した方が粒のまま測定した場合より精度は良かった。これは粉体用の測定セルに粒を充填して測定したため、繰り返しが粒のままの方が 5 回と多かったにも関わらず、測定値のばらつきが大きかったためであろうと考えられる。

選択した波長は精白米の粉のキャリブレーションでは 2,100 nm と 2,180 nm の近赤外域の 2 波長に可視光の情報を加えたものとなっている。第 2 報¹¹⁾で論じたように、2,100 nm と 2,180 nm はタンパク質に使用する波長であり、b. の、現在の食味分析計の推定値に可視光の情報を加えると食味の推定精度が向上するとの考察と一致する。

すでに論じたように、粘りとタンパク質を用いれば食味総合評価は精度良く推定できる。また、第 2 報¹¹⁾で論じたように、近赤外分光法によりタンパク

表15 総合評価キャリブレーション一覧
Table 15 Calibrations for overall flavor

スペクトル	方法	対象	形態	キャリブレーション						検証			
				波長			SEC	r	r ²	BIAS	SEP	r	r ²
				1	2	3							
2 次微分	手動選択	玄米	粉碎	1,650	2,090	574	0.25	0.64***	0.41	-0.103	0.30	0.46***	0.21
			全粒	1,650	2,090	466	0.29	0.46***	0.21	-0.113	0.34	0.14	0.02
		精白米	粉碎	2,094	2,180	440	0.25	0.63***	0.40	-0.064	0.30	0.45***	0.20
			全粒	2,022	2,200	778	0.22	0.74***	0.54	-0.077	0.25	0.68***	0.46
原	手動選択	玄米	粉碎	1,650	2,090	572	0.27	0.55***	0.30	-0.111	0.34	0.27*	0.07
			全粒	1,650	2,090	576	0.27	0.57***	0.33	-0.122	0.33	0.32*	0.10
		精白米	粉碎	2,100	2,180	426	0.25	0.65***	0.42	-0.087	0.28	0.56***	0.31
			全粒	2,022	2,200	450	0.27	0.57***	0.33	-0.112	0.27	0.62***	0.38
2 次微分	PLS	玄米	粉碎				0.24	0.66***	0.44	-0.086	0.30	0.45***	0.20
			全粒				0.27	0.48***	0.23	-0.084	0.34	0.14	0.02
		精白米	粉碎				0.24	0.66***	0.43	-0.070	0.30	0.47***	0.22
			全粒				0.26	0.55***	0.31	-0.110	0.30	0.48***	0.23
原	PLS	玄米	粉碎				0.29	0.33*	0.11	-0.080	0.36	0.07	0.01
			全粒				0.27	0.50***	0.25	-0.118	0.32	0.34**	0.12
		精白米	粉碎				0.30	0.26*	0.07	-0.084	0.35	0.06	0.00
			全粒				0.25	0.60***	0.36	-0.112	0.28	0.55***	0.31

***, **, *はこの相関係数がそれぞれ0.1%, 1%, 5%で統計的に有意であることを示す。

表16 粘りのキャリブレーション一覧
Table 16 Calibrations for Cohesiveness

スペクトル	方法	対象	形態	キャリブレーション						検証			
				波長			SEC	r	r ²	BIAS	SEP	r	r ²
				1	2	3							
2次微分	重相関	玄米	粉碎	512	794	1,050	0.33	0.49***	0.24	0.15	0.24	0.18	0.03
			全粒	2,410	2,342	1,618	0.28	0.67***	0.45	0.22	0.24	0.31*	0.10
		精白米	粉碎	614	830	1,744	0.30	0.58***	0.34	0.16	0.28	0.40**	0.16
			全粒	842	2,446	2,154	0.28	0.66***	0.43	0.14	0.25	0.50***	0.25
2次微分	PLS	玄米	粉碎				0.35	0.20	0.04	0.16	0.21	0.25	0.06
			全粒				0.34	0.32**	0.11	0.19	0.23	0.22	0.05
		精白米	粉碎				0.35	0.17	0.03	0.15	0.20	0.41***	0.17
			全粒				0.32	0.44***	0.19	0.18	0.20	0.44***	0.19

***, **, *はこの相関係数がそれぞれ0.1%, 1%, 5%で統計的に有意であることを示す。

質は精度良く測定できるので、粘りが近赤外分光法で精度良く推定できれば食味総合評価も精度良く推定できると考えられる。そこで食味総合評価と同様の手順で食味評価の粘りのキャリブレーションを作成した。結果を表16に示した。つぎに、このキャリブレーションによる推定値と近赤外分光法によるタンパク質で食味総合評価を目的変数にして重回帰分析を行った。結果は表17に示したように、標準誤差で0.27~0.29で、食味総合評価を直接キャリブレーションしたものよりも精度は劣った。これは、近赤外分光法によっては食味粘りを精度良く推定できていないことを示しているものと考えられる。

以上のことから、近赤外分光法のみでは食味総合

表17 NIRによる粘りとタンパク質の推定値からの総合評価の推定

Table 17 Estimations for overall flavor with NIR estimation of cohesiveness and protein content

用いた スペクトル	キャリブレーション		重相関の結果		
	方法	対象 形態	r	r ²	標準誤差
2次微分	重相関	玄米 粉碎	0.46***	0.21	0.29
		玄米 全粒	0.50***	0.25	0.28
	精白米	粉碎	0.46***	0.21	0.29
		全粒**	0.59***	0.34	0.27
2次微分	PLS	玄米 粉碎	0.48***	0.23	0.29
		玄米 全粒*	0.53***	0.28	0.28
		精白米 粉碎	0.48***	0.23	0.29
		精白米 全粒	0.53***	0.28	0.28

形態の**と*はその項が1%および5%で統計的に有意であることを示す

相関係数の***は、0.1%で有意であることを示す。

評価の精度良い推定は容易でなく、外観に関する可視光域の情報と香りの情報を取り込むなどの補助手段が必要であると考えられる。

C. 米の乾燥、貯蔵方法が品質に与える影響と品質の変動の推定

1. 目的

米の食味は乾燥、貯蔵方法によって変動する可能性がある。まず、乾燥方法が食味に与える影響では、収穫した籾を人工的に乾燥した米は自然乾燥した米よりも食味が劣るといわれている³³⁻³⁵⁾。笠原ら³⁶⁾は自脱コンバインで収穫した高水分籾を循環式乾燥機で乾燥する過程で発生する食味低下要因について検討し、乾燥中の胴割に起因する精米時の碎粒発生、過乾燥、高水分生籾の高温乾燥及び収穫時の籾損傷などが食味低下の原因であること、高水分生籾を乾燥する場合、初期水分及び送風温度が高いほど食味が低下すること、乾燥過程の食味低下は発芽性との相関が高く、食味が低下する限界線は発芽低下率5%の限界線と一致する、などの結果を得た。

一方、貯蔵方法も食味に影響を与える可能性があり、長戸³⁷⁾は9品種の玄米の水分を変えて8か月間の貯蔵試験を行い、米の炊飯特性に及ぼす影響を調査し、米飯の粘り、舌ざわり、外観に関係を持つ溶出固形物量が米の貯蔵、籾の乾燥などの条件の違いにより変化することを見いだした。

このように、乾燥と貯蔵方法が米の品質、食味に与える影響はそれぞれ別個に研究されることが多く、両者を関連付けて研究した例は少ない。そこで、本節では、北海道産米を用い、乾燥方法と貯蔵方法

を種々に変えたとき、どのように品質が変動するか、また、それが近赤外スペクトルにどのように影響し、また、翻って近赤外スペクトルから品質の変動が説明できるか、検討を行った。

2. 実験方法

a. 供試試料

供試試料は1991年北海道岩見沢市産「空育125」を用いた。収穫時の籾の水分は25.6%w.b.であった。

b. 乾燥方法と籾摺

乾燥方法には以下の4方法を用いた。

1) 自然乾燥

旧来の乾燥方式で、もともと食味が良いとされている乾燥方式である。

ここではバインダで刈り取りした稲を架掛けにより自然乾燥した。

2) 静置式火力乾燥

昭和30年代に用いられた乾燥方法で、バインダあるいは手刈りで収穫し脱穀した籾を平型乾燥箱に入れ、灯油バーナーと圧送送風機による熱風発生機により通風して乾燥する方法である。

ここでは自脱型コンバインで収穫した籾を1坪程度の乾燥箱に積み高さ40cmまで入れ、乾燥した。張り込み量は818kgであった。

3) 循環式火力乾燥

昭和40年代に開発され、現在ももっとも広く普及しているもので、自脱型コンバインで収穫した籾を乾燥機中で循環間欠乾燥（テンパリング乾燥）させる方法である。熱源は灯油バーナーを使用する。

ここでは小型の循環型乾燥機を用い、自脱型コンバインで収穫した籾を乾燥した。張り込み量は678kgであった。

4) 静置式除湿乾燥

最近開発された方法で、火力乾燥の灯油バーナーの代わりに除湿機を用い熱ポンプを利用して空気を再加熱し低湿度の空気を送風する乾燥方法である。食味の低下が少ないとされ、普及し始めている。

ここでは自脱型コンバインで収穫した籾を静置式火力乾燥と同じ大きさの乾燥箱に積み高さ40cmまで入れ、除湿空気発生装置（ヤンマー農機製DAG2000）による除湿空気を送風して乾燥した。張り込み量は818kgであった。

乾燥終了後、平型乾燥箱にそれぞれの籾を入れ、適宜に外気通風を行って、水分の均一化を図った後、

籾摺調製を行った。籾摺機は富士農機製インペラ式風圧真空脱お機A-10を用いた。回転式米選機はイセキ農機製イセキグレーダLG122（フルイの目幅1.9mm）を用いた。

c. 貯蔵方法

貯蔵形態を密閉と開放の2種類とし、玄米約10kgを密閉はポリタンクに、開放は樹脂袋に入れ、以下の4方法で貯蔵した。貯蔵は収穫翌年の8月まで行った。貯蔵期間は9カ月であった。

1) 常温貯蔵

貯蔵庫内の温度をまったく制御しない貯蔵方法で、外気温の影響を大きく受ける。ここではJA栗山町農業協同組合の政府指定倉庫に貯蔵した。

2) 低温貯蔵

貯蔵庫内の温度を15°C以下に制御する貯蔵方法である。夏場の外気温上昇の悪影響を受けない。ここではJA栗山町農業協同組合の政府指定倉庫に貯蔵した。

3) 氷点貯蔵

貯蔵庫内の温度を0°C付近に保つ貯蔵方法である。ここでは北海道大学農学部に設置したオリオン機械製冷凍室に貯蔵した。

4) 超低温貯蔵

貯蔵庫内の温度を-15°C付近に保つ貯蔵方法である。ここでは北海道大学低温科学研究所の冷凍庫に貯蔵した。

d. 機器分析

分析は乾燥後で貯蔵開始前の玄米と精白米、貯蔵6カ月後の玄米、貯蔵9カ月後の玄米と精白米について、前節と同様に行った。

また、玄米脂質の変動は貯蔵期間中の品質変化の大きな指標であると考えられる。そこで貯蔵9カ月後の玄米及び籾の状態で常温で貯蔵した各乾燥方式の玄米について、脂肪酸度の測定と同時に以下の方法で玄米脂質の抽出と構成脂肪酸の分析を行った。

1) 玄米脂質の抽出

a) 玄米6g程度をNRK R-8型分析用粉砕器で30秒間粉砕する。（回転速度は、最大値の80%程度とする。）

b) 粉砕した玄米2.50gを直ちに100ml容三角フラスコに入れ、これにクロロホルム-メタノール（2:1, v/v）20mlを加えて30分間振盪抽出（スターラーを使用）する。抽出は同一試料に対して2点平行して行う。三角フラスコ

の上部はシーロンフィルムでカバーする。

- c) 残渣を含む抽出液を 50 ml 容共栓付遠心管に移し、10 分間遠心分離する。上清をパスツールピペットを用いて 100 ml 容メスシリンダに移す。残渣をクロロホルム-メタノール 20 ml で定量的に元の三角フラスコに戻し、再び同様に 30 分間抽出を繰り返す。抽出液を遠心分離して除き、さらにもう一度抽出する（合計 3 回抽出を行う）。
- d) 全抽出液の容量を量った後、抽出液を等分して 50 ml 容遠心管に移し、1/4 容の水を加え、数回振盪してから 10 分間遠心分離する。得られた透明な下層をテフロンチューブを着けた注射器で吸い取る。
- e) 下層の容量を量り、その 1/5 容を 25 ml 容ナス型フラスコに移し、ロータリーエバポレータで濃縮乾固した後、約 1 時間、真空デシケータ内に放置してから秤量し、全脂質含量を求める。
- f) 残りの下層 (4/5 容) を、50 ml 容ナス型フラスコに移し、ロータリーエバポレータで濃縮乾固する。残渣をクロロホルム-メタノール 2 ml に溶かしてスクリュウキャップ付試験管に移し、これを -30°C の冷凍庫に保管する。
- 2) 構成脂肪酸の分析
- a) 全脂質 25 μl をケイ酸 TLC プレート上に着点してヘキサン-エーテル-酢酸 (80 : 30 : 1, v/v/v) で展開する。着点は 3 cm おきとする。このとき、スポットの判別のために両側に標準の FFA 溶液 (18 : 1 + 18 : 2) 10 μl をスポットしておく。
- b) 展開後、プレートを約 2 分間ドラフト内に放置して溶媒を除去した後、プリムリン試薬を 2 ~ 3 回に分けて均一に噴霧し、暗所 UV ランプ下でトリグリセリド (TG) と遊離脂肪酸 (FFA) のスポットをマークする。
- c) 両スポットを別々に剃刀の刃でかきとり、スクリュウキャップ付試験管 (#13) に移す。これに内部標準として 17 : 0 溶液 (1 mM) 50 ml と 1.5 ml のメタノール性 5 % HCl を加えてホットドライバスあるいはウォーターバスで 100°C 、3 時間分解 (メタノリシス) する。
- d) 放冷後、数滴の水を加えてからヘキサン 1 ml で脂肪酸メチルエステルを抽出する。ヘキサン層 (上清) をパスツールピペットで吸い取り、

リアクトバイアルに集める。この際、下層のメタノール層が混入しないように注意する。この抽出作業を 3 回繰り返す。ヘキサン層を一旦ドラフト内で N_2 気流下で濃縮乾固してから、再び少量 (20 ~ 40 μl) のヘキサンを加えて内壁に付着している脂肪酸メチルエステルを溶かして先端に集める。

- e) 適当量 (0.1 ~ 0.3 μl) のヘキサン溶液を GC に注入して、構成脂肪酸の組成を分析する。GC は、充填剤 : 0.3% DEGS (0.3 \times 200 cm), カラム温度 : 170°C の条件で運転する。注入前、マイクロシリンジは 20 回ヘキサンで共洗いする。
- f) 1) - f) の全脂質溶液 10 μl を用いて、2) - c) と同様にメタノリシスをして構成脂肪酸の分析をする。
- g) 全脂質溶液 10 μl をケイ酸 TLC (プレコートを用いる) に供し、プレートをヘキサン-エーテル-酢酸 (80 : 30 : 1, v/v/v) で展開する。スポットを 50% H_2SO_4 試薬で発色させてから、電気オープンで 1 ~ 2 時間焼き、デンシトメトリ分析により TG と FFA の相対割合を求める。

5) 食味試験

乾燥後で貯蔵開始前の 4 乾燥方法の米、及び密閉状態で貯蔵 9 カ月後の自然乾燥による 4 貯蔵方式の米の食味試験を行った。方法は前節に準じた。

6) 近赤外分析

前節と同様に行った。

3. 結果及び考察

a. 乾燥の経過と結果

表 18 に乾燥の結果を示した。表 19 は自然乾燥中の気象データをまとめたものである。図 16 と 17 に各乾燥方式の乾燥中の穀温の変化を示した。

自然乾燥中の最高気温は 23.6°C 、最低気温は 6.7°C 、平均気温は 15.0°C であった。乾燥には 15 日要し、その間強い雨に 3 回、弱い雨に 5 回当たった。乾燥速度は 0.58%/day であった。

静置式火力乾燥は平均通風温度 31.4°C で、乾燥に 16.5 h 要し、乾燥速度 0.64%/h、最終穀温は 30.7°C であった。

循環式火力乾燥は平均通風温度 53.1°C で、乾燥に 12.0 h 要し、乾燥速度は 0.80%/h と静置式火力乾燥に比べて約 30% 短い時間で乾燥した。最終穀温は 29.8°C であった。

表18 空育125乾燥結果
Table 18 Results of drying for Kuiku125

乾燥方法	初期重量 (kg)	風量比 (m ³ /s・t)	平均送風温度 (°C)	水分		乾燥時間 (h)	乾減率 (%/h)	最終穀温 (°C)
				初期 (%)	乾燥終了時 (%)			
静置式除湿乾燥	818	0.92	17.6	25.6	17.3	29.5	0.28	20.8
静置式火力乾燥	818	0.98	31.4	25.6	15.0	16.5	0.64	30.7
循環式火力乾燥	678	2.50	53.1	25.6	16.0	12.0	0.80	29.8
自然乾燥	—	—	15.0	25.6	16.9	15.0 ¹⁾	0.58 ²⁾	—

- 1) 自然乾燥の平均送風温度は、乾燥期間中の平均外気温度
- 2) 自然乾燥の乾燥時間および乾減率の単位はそれぞれ (日) および (%/日)

表19 空育125自然乾燥中の気象データ
Table 19 AMeDAS data during natural drying of Kuiku125

日付	温度			相対湿度		日照時間 (h)	降水量 (mm)
	平均 (°C)	最高 (°C)	最低 (°C)	平均 (%)	最低 (%)		
1991年 9月 9日	17.0	22.6	9.9	69	34	10.1	0.0
18日	17.0	23.6	11.0	70	42	8.0	—
19日	15.7	20.1	10.1	67	42	1.0	—
20日	16.3	21.0	13.3	66	51	2.0	0.0
21日	13.7	21.0	11.0	78	60	0.2	2.5
22日	15.2	21.7	10.6	90	68	2.4	56.0
23日	15.4	20.1	11.5	85	61	2.8	0.0
24日	15.9	21.2	11.4	79	48	7.2	3.5
25日	15.5	19.7	9.5	70	40	9.7	1.5
26日	14.0	21.2	6.7	64	32	11.1	—
27日	13.7	14.9	11.3	85	63	—	13.5
28日	16.4	22.3	12.7	92	80	0.4	17.5
29日	12.9	17.6	8.5	74	47	7.1	1.5
30日	14.2	20.3	7.9	72	52	7.6	0.5
10月 1日	13.1	19.3	7.6	78	57	8.5	—
2日	15.1	21.1	7.8	78	60	8.5	—
平均	15.0	20.5	10.1	76	52	5.4	6.0
最高	17.0	23.6	13.3	92	80	11.1	56.0
最低	12.9	14.9	6.7	64	32	0.4	0.0

静置式除湿乾燥は平均通風温度 17.6°Cで、乾燥に 29.5 h 要し、乾燥速度は 0.28%/h と静置式火力乾燥に比べて約 1.8 倍の乾燥時間を必要とした。最終穀温は 20.8°Cであった。

初摺調製後の玄米水分は、自然乾燥が 16.2%、静置式火力乾燥が 15.6%、循環式火力乾燥が 15.9%、静置式除湿乾燥が 16.2%であった。

b. 貯蔵の経過と結果

図 18 に常温倉庫と低温倉庫の庫内温度の変化を示した。常温倉庫は簡単な断熱が施されているだけ

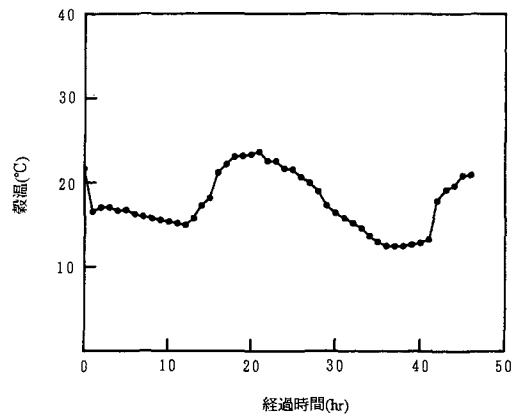


図16 「空育125」の静置式除湿乾燥中の穀温の変化
Fig. 16 Grain temperature changes during batch-dehydrated air drying of Kuiku125

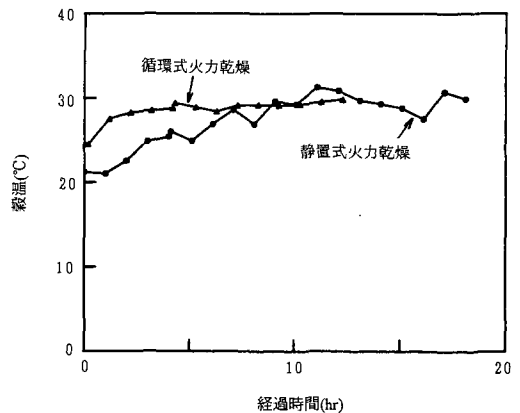


図17 「空育125」の循環式火力乾燥と静置式火力乾燥の乾燥中の穀温の変化
Fig. 17 Grain temperature changes during recirculating-heated air drying and batch-heated air drying of Kuiku125

で温度制御を行っていない。そのため、冬の最低庫内温度は 0°C 以下まで低下した。一方、低温倉庫は断熱が施されているので冬の最低庫内温度は 5°C 程度であった。常温倉庫の庫内温度は冬期から初夏までは低温倉庫より低かったが、5月中旬に逆転し、常温倉庫は8月には 19°C 程度まで上昇した。常温倉庫内の温度がそれほど上昇していないのは、冬期に冷却された玄米が蓄熱材（保冷材）の役割を果たしているためであると考えられる。低温倉庫内は規格通り 15°C 以下に保たれていた。

c. 機器分析の結果と検討

1) 乾燥後で貯蔵開始前の玄米と精白米の機器分析の結果

表20と21に乾燥後で貯蔵開始前の玄米と精白米の機器分析結果を示した。

玄米の胴割率は自然乾燥が高く、静置式除湿乾燥が低かった。自然乾燥で胴割率が高かったのは、表19に示したように乾燥中に数回降雨に会っており、吸湿と乾燥を繰り返したためである。また、静置式除湿乾燥で胴割率が低かったのは乾減率が低かったためである。

自然乾燥の玄米は透光度が低かった。これは乾燥中に追熟が進み、糠層の色が濃くなったためであると考えられる。

その他の分析項目では各乾燥方式による品質の差異は明かでなかった。しかし、いずれの乾燥方式でも、収穫調製後の新米としては、肌ずれ率が高く、脂肪酸度が高く、発芽率が低かった。これは籾摺に

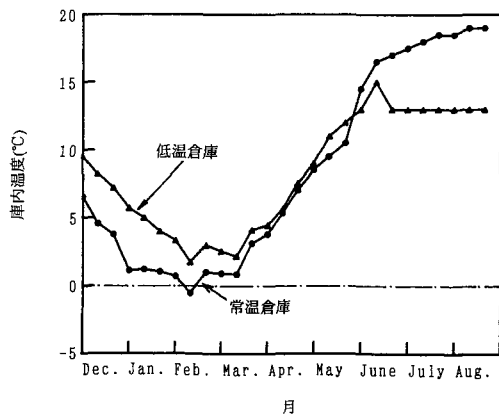


図18 常温倉庫と低温倉庫の庫内温度

Fig. 18 Indoor temperature changes of non-controlled and controlled warehouse during storage experiment

使用したインペラ式脱ぶ機による米粒への衝撃と玄米表面の肌ずれの発生によるものであると考えられる。また、発芽率が低かったのは、脱ぶ機の衝撃による影響と休眠による影響が重なったものと考えられる。

2) 貯蔵6カ月後の玄米の品質の変動

表22と23に貯蔵前、6カ月貯蔵後、9カ月貯蔵後の全貯蔵期間中の玄米の品質の変動を示した。

水分は全乾燥方式の超低温貯蔵の開放で減少し、氷点貯蔵の開放で増加した。これは、超低温貯蔵は庫内の湿度が低く、乾燥が進んだためである。また、氷点貯蔵は青果物の貯蔵に用いる庫内の湿度を高く保持できる冷蔵庫を使用したために、吸湿して水分が増加したのと考えられる。

発芽勢、発芽率は全乾燥方式のほとんどの貯蔵温度、特に超低温貯蔵で増加した。これは休眠が打破されたためであると考えられる。しかし、発芽率の迅速推定法である胚の活性度は発芽勢、発芽率ほどの変化は見られなかった。

脂肪酸度は、全乾燥方式で全て増加した。これは、脂肪酸度の上昇を防止するためには超低温貯蔵以外は適していないことを示唆しているものと考えられる。超低温貯蔵以外では脂肪酸度の上昇はほぼ同程度であった。これは、図18に示したように、常温貯蔵、低温貯蔵とも測定時（5月）までは庫内温度は 12°C 以下であり、高温にさらされなかったためであると考えられる。

その他の測定項目では乾燥方式、貯蔵温度、貯蔵形態の間に品質の大きな差異は見られなかった。

3) 貯蔵9カ月後の玄米と精白米の品質の変動

a) 貯蔵9カ月後の玄米の品質の変動

貯蔵6カ月後に一度増加した玄米の発芽勢と発芽率は、貯蔵9カ月後には低下した。超低温貯蔵を除く貯蔵方式では貯蔵前と比べて発芽勢、発芽率とも低下したが、超低温貯蔵では貯蔵前とほとんど同じ発芽勢、発芽率が維持された。発芽勢、発芽率の低下の度合は氷点貯蔵の開放で甚だしく、いずれの乾燥方式でも発芽率は10%以下となった。これは、氷点貯蔵中に吸湿により水分が増加し、品質劣化が進んだことを示している。しかし、この傾向は発芽率の迅速測定法であるとされる胚の活性度の測定からは得られなかった。

水分は貯蔵6カ月後とほとんど変化がなく、貯蔵6カ月後に増加あるいは減少した玄米水分は貯蔵9

表20 空育125玄米分析表（貯蔵開始前）
Table 20 Analysis results for brown rice of Kuiku125 (before storage)

乾燥方法	水分		千粒重			粒厚					平均 Mean (mm)
	ケット PB-1D (%)	標準法 135°C 105°C (%)	(g)	<1.8 (%)	1.8< (%)	1.9< (%)	2.0< (%)	2.1< (%)	2.2< (%)		
自然乾燥	15.5	17.2	16.2	20.9	0.0	0.5	10.0	23.4	59.5	6.6	2.1
静置式火力乾燥	14.9	16.7	15.6	20.4	0.1	0.7	12.6	26.4	56.7	3.5	2.1
循環式火力乾燥	15.2	16.9	15.9	20.4	0.1	1.0	13.0	31.3	50.5	4.1	2.1
静置式除湿乾燥	15.5	17.2	16.2	20.6	0.1	0.6	10.9	26.1	57.5	4.7	2.1

乾燥方法	組成							胴割			
	整粒 (%)	未熟粒 (%)	死米 (%)	被害粒 (%)	砕粒 (%)	着色粒 (%)	粳 (%)	異物 (%)	軽 (%)	重 (%)	指数 (%)
自然乾燥	93.0	2.2	0.0	4.2	0.1	0.1	0.5	0.0	2.4	0.5	2.9
静置式火力乾燥	93.7	1.9	0.0	4.1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.5	0.4	1.9
循環式火力乾燥	93.0	1.8	0.0	5.0	0.0	0.1	0.0	0.0	1.9	0.1	2.0
静置式除湿乾燥	93.0	1.8	0.0	4.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.9	0.0	0.9

乾燥方法	肌ざれ			剛度		白度 (%)	透光度	容積重 (g/ℓ)	胚の活性度	
	点 (%)	線 (%)	面 (%)	指数	挫折 (kgf)					圧砕 (kgf)
自然乾燥	1.3	75.3	24.0	61.8	3.7	5.0	14.4	61.7	824.4	51.3
静置式火力乾燥	2.7	76.7	20.7	59.3	4.1	5.3	13.9	65.2	821.7	45.1
循環式火力乾燥	0.0	78.0	22.0	61.0	3.9	5.2	14.1	70.3	821.0	47.4
静置式除湿乾燥	0.7	73.3	26.0	62.7	4.0	5.4	14.0	67.5	817.7	45.8

乾燥方法	INSTALAB 600			脂肪酸度 (mgKOH)	発芽勢 (%)	発芽率 (%)
	水分 (%)	タンパク質 as-is (%)	タンパク質 (15%M) (%)			
自然乾燥	11.0	8.4	8.0	58.5	22.0	22.7
静置式火力乾燥	10.3	8.3	7.8	60.9	21.5	22.0
循環式火力乾燥	10.4	8.3	7.9	60.6	26.2	26.7
静置式除湿乾燥	10.4	8.2	7.8	63.1	21.3	21.8

カ月までの3カ月間、変化が見られなかった。

その他の項目では玄米外観に関する透光度が減少し、白度が増加した。これらは、玄米表面の肌ざれが増し、米粒表面の光の乱反射が増加し、その結果透光度が減少し、白度が増加したものと考えられる。彩度には変化は見られなかった。

表24に玄米の脂質の分析結果を示した。なお、本論では玄米脂質の構成脂肪酸のうちの主な5種、すなわち16:0(パルミチン酸), 18:0(ステアリン酸), 18:1(オレイン酸), 18:2(リノール酸), 18:3(リノレン酸)について検討した。

全脂質の構成は、平ら³⁸⁾の北海道産米の玄米脂質の脂肪酸組成とほぼ一致した。

図19は脂肪酸度と全脂質(TL)中のFFAとTGの比(FFA/TG)の関係を示したもので、脂肪酸度が増加するとFFA/TG比も直線的に増加した。脂肪酸度は、玄米脂質のうち中性脂質がリパーゼにより加水分解され遊離した、遊離脂肪酸の量を示したものである。したがって脂肪酸度とFFA/TG比とは相関があり、これらの値が増加すると玄米の香りが悪化すると思われる。

つぎに、脂肪酸度と各脂質の脂肪酸組成の相関分

表21 空育125精白米分析表(貯蔵開始前)
 Table 21 Analysis results for milled rice of Kuikui25 (before storage)

乾燥方法	搗精歩留 (%)	水分			砕粒 (%)	白度 (%)	透光度 (-)	胚芽残存率 (%)	INSTALAB600		
		ケット PB-1 D (%)	標準法						水分 (%)	タンパク質	
			135°C (%)	105°C (%)						as-is(%) (%)	(15%M) (%)
自然乾燥	90.5	14.7	16.8	15.7	3.5	30.9	100.9	24.0	10.6	7.6	7.2
静置式火力乾燥	90.5	14.2	16.5	15.4	3.6	31.4	103.6	25.5	10.9	7.7	7.3
循環式火力乾燥	90.5	14.4	16.6	15.5	3.4	31.6	105.8	25.9	11.0	7.8	7.4
静置式除湿乾燥	90.5	14.8	17.0	15.9	3.3	31.3	105.3	24.8	11.1	7.7	7.3

乾燥方法	炊飯特性			脂肪酸度 (mgKOH)	容積重 (g/l)	炊飯米 (%)	アミログラフ		
	加熱吸水率 (%)	溶出固形分 (g/200 ml)	ヨード呈色度 (-)				最高粘度 (BU)	ブレイクダウン (BU)	
	自然乾燥	82.8	0.26				0.16	30.3	828.5
静置式火力乾燥	84.6	0.29	0.14	21.7	830.6	65.4	18.9	478	210
循環式火力乾燥	84.8	0.30	0.14	23.9	824.4	65.6	18.8	468	200
静置式除湿乾燥	80.5	0.28	0.15	25.7	822.4	65.8	18.8	485	219

析を行った。結果を表25に示した。

Yasumatsuら³⁹⁾は、貯蔵6カ月では中性脂質とそれから遊離した遊離脂肪酸の脂肪酸組成は変化がなかったとしている。しかし、本研究では、表25に示したように、9カ月貯蔵後の脂肪酸度と遊離脂肪酸の各構成脂肪酸との間に18:0と危険率5%で有意な負の相関が、18:1と危険率1%で有意な正の相関が、18:2と危険率1%で有意な負の相関が、18:3と危険率5%で有意な負の相関が得られた。すなわち、脂肪酸度が上昇すると18:2と18:3が減少し、18:1が増加する傾向が見られた。これは、遊離脂肪酸中の不飽和脂肪酸が酵素により酸化され、飽和脂肪酸の方向に変化していくことを示しているものと考えられる。全脂質とトリグリセリドの組成には顕著な変化は見られなかった。

b) 貯蔵9カ月後の精白米の品質の変動

表26と27に貯蔵前と貯蔵9カ月後の精白米の品質の変動を示した。

水分は氷点貯蔵の開放で増加した。これは玄米水分の増加に伴うものである。また、脂肪酸度が同じく氷点貯蔵の開放で増加したのは、玄米の脂肪酸度の増加の反映であると考えられる。しかし、その他の貯蔵方法、貯蔵形態では玄米ほど甚だしい脂肪酸度の増加は見られなかった。

炊飯特性では、加熱吸水率がいずれの貯蔵方式でも減少した。長戸³⁸⁾は加熱吸水率(長戸では膨潤率)

は貯蔵初期に古米化がやや進んだ段階でいったん増加し、さらに貯蔵期間が長くなり古米化が進行するとかえって減少する傾向があるとしている。本研究では供試精白米の脂肪酸度の値がすべて20以上であり古米化が進んでいることから、長戸の結論が裏付けられたものといえる。

d. 食味試験の結果と機器分析との検討

1) 乾燥方式による食味の変動

表28に貯蔵開始前の食味試験の結果を示した。

評価項目では、精白米外観のみ危険率5%で有意であった。

自然乾燥を基準にすると、食味試験の粘りで循環式火力乾燥との間に危険率5%で有意な差が見られた以外はすべて有意な差は観測されなかった。すなわち、パネルは4乾燥方式の間に食味の優劣を認めなかった。

笠原ら³⁶⁾は食味低下の要因として乾燥中の胴割率に起因する精米時の砕粒発生、発芽率の5%低下などを挙げており、乾燥との関係では送風温度をできるだけ低めにし、かつ胴割が発生しない程度に早く乾燥することが食味保持のための必要条件であるとしている。本研究でこれらに関連する項目では、まず、乾燥後の玄米に発芽勢、発芽率に乾燥方式による差異は見られなかった。つぎに、胴割率には乾燥方式で差が見られ、胴割率は自然乾燥で高く、静置式除湿乾燥で低かったが、それらの差は小さく、

表22 空育125貯蔵試験玄米分析表(1)

Table 22 Analysis results of storage experiment for brown rice of Kuikul25 (1)

乾燥方法	貯蔵温度	貯蔵形態	貯蔵期間 (月)	水分		色調			白度 (%)	透光度	
				135°C (%)	105°C (%)	L	a	b			
自然乾燥	常温	開放	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.4	15.7	14.4	61.7
自然乾燥	常温	開放	6	16.9	15.9	53.0	3.2	15.1	15.4	13.7	60.1
自然乾燥	常温	開放	9	17.3	16.3	53.2	3.3	15.2	15.6	15.1	47.8
自然乾燥	常温	密封	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.4	15.7	14.4	61.7
自然乾燥	常温	密封	6	17.3	16.3	52.4	3.3	15.3	15.7	14.1	61.1
自然乾燥	常温	密封	9	17.3	16.3	53.3	3.2	15.3	15.6	15.0	41.1
自然乾燥	低温(<15°C)	開放	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.4	15.7	14.4	61.7
自然乾燥	低温(<15°C)	開放	6	16.9	15.9	53.1	3.3	15.1	15.5	14.6	58.1
自然乾燥	低温(<15°C)	開放	9	17.1	16.1	53.2	3.3	15.2	15.6	15.1	62.8
自然乾燥	低温(<15°C)	密封	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.4	15.7	14.4	61.7
自然乾燥	低温(<15°C)	密封	6	17.3	16.3	53.1	3.3	15.2	15.5	14.2	63.3
自然乾燥	低温(<15°C)	密封	9	17.3	16.3	53.1	3.4	15.3	15.7	15.3	60.9
自然乾燥	氷点(0°C)	開放	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.4	15.7	14.4	61.7
自然乾燥	氷点(0°C)	開放	6	18.2	17.2	52.6	3.3	15.1	15.5	14.9	60.3
自然乾燥	氷点(0°C)	開放	9	18.8	17.8	53.3	3.3	15.3	15.6	14.9	53.1
自然乾燥	氷点(0°C)	密封	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.4	15.7	14.4	61.7
自然乾燥	氷点(0°C)	密封	6	17.1	16.1	52.4	3.2	15.1	15.4	14.6	62.4
自然乾燥	氷点(0°C)	密封	9	17.2	16.2	52.7	3.3	15.2	15.6	14.6	63.4
自然乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.4	15.7	14.4	61.7
自然乾燥	超低温(-15°C)	開放	6	16.3	15.2	51.9	3.4	15.0	15.4	14.7	60.1
自然乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	16.4	15.3	52.6	3.3	15.0	15.4	14.6	58.2
自然乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.4	15.7	14.4	61.7
自然乾燥	超低温(-15°C)	密封	6	17.2	16.2	52.1	3.3	15.0	15.4	14.5	61.9
自然乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	17.0	16.0	52.5	3.4	15.2	15.5	14.7	61.8
循環式火力乾燥	常温	開放	0	16.9	15.9	51.7	3.2	15.8	16.1	14.1	70.3
循環式火力乾燥	常温	開放	6	16.7	15.6	52.4	3.2	15.2	15.5	14.3	68.5
循環式火力乾燥	常温	開放	9	16.9	15.9	53.0	3.3	15.5	15.8	15.0	60.4
循環式火力乾燥	常温	密封	0	16.9	15.9	51.7	3.2	15.8	16.1	14.1	70.3
循環式火力乾燥	常温	密封	6	17.1	16.1	52.8	3.3	15.2	15.6	14.3	67.6
循環式火力乾燥	常温	密封	9	16.9	15.9	52.7	3.2	15.5	15.8	15.0	51.8
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	0	16.9	15.9	51.7	3.2	15.8	16.1	14.1	70.3
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	6	16.5	15.5	53.1	3.3	15.3	15.7	14.8	68.2
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	9	16.9	15.9	53.0	3.4	15.5	15.9	15.0	73.4
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	0	16.9	15.9	51.7	3.2	15.8	16.1	14.1	70.3
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	6	17.0	16.0	52.8	3.4	15.3	15.7	14.4	64.8
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	9	16.9	15.9	52.9	3.3	15.5	15.8	15.0	72.4
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	開放	0	16.9	15.9	51.7	3.2	15.8	16.1	14.1	70.3
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	開放	6	18.8	17.8	53.0	3.3	15.4	15.7	14.5	36.1
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	開放	9	18.7	17.7	52.7	3.3	15.5	15.9	14.7	43.6
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	0	16.9	15.9	51.7	3.2	15.8	16.1	14.1	70.3
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	6	16.8	15.8	52.6	3.3	15.2	15.6	14.5	72.7
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	9	16.7	15.7	52.6	3.4	15.4	15.8	14.9	73.8
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	16.9	15.9	51.7	3.2	15.8	16.1	14.1	70.3
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	6	16.8	15.8	52.2	3.3	15.3	15.7	14.0	72.1
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	16.0	15.0	52.5	3.3	15.2	15.6	14.4	68.7
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	16.9	15.9	51.7	3.2	15.8	16.1	14.1	70.3
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	6	16.9	15.9	51.9	3.3	15.2	15.6	14.1	72.2
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	16.8	15.8	52.2	3.4	15.3	15.7	14.3	74.1
静置式火力乾燥	常温	開放	0	16.7	15.6	51.4	3.2	15.7	16.0	13.9	65.2
静置式火力乾燥	常温	開放	6	16.6	15.6	52.7	3.3	15.2	15.5	14.3	62.8
静置式火力乾燥	常温	開放	9	16.9	15.9	52.8	3.2	15.5	15.8	14.7	61.1
静置式火力乾燥	常温	密封	0	16.7	15.6	51.4	3.2	15.7	16.0	13.9	65.2
静置式火力乾燥	常温	密封	6	16.8	15.8	52.4	3.3	15.4	15.7	14.3	67.7
静置式火力乾燥	常温	密封	9	17.0	15.9	52.8	3.1	15.5	15.8	14.7	61.9
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	0	16.7	15.6	51.4	3.2	15.7	16.0	13.9	65.2
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	6	16.5	15.5	52.7	3.2	15.2	15.5	14.5	62.5
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	9	16.8	15.8	52.9	3.3	15.4	15.8	14.9	68.8
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	0	16.7	15.6	51.4	3.2	15.7	16.0	13.9	65.2
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	6	16.9	15.9	52.4	3.3	15.3	15.7	14.2	63.7
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	9	16.9	15.9	52.6	3.1	15.4	15.7	14.7	62.2
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	開放	0	16.7	15.6	51.4	3.2	15.7	16.0	13.9	65.2
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	開放	6	18.9	17.9	52.7	3.3	15.3	15.7	14.4	45.1
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	開放	9	18.5	17.5	53.0	3.1	15.2	15.6	14.8	26.2
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	0	16.7	15.6	51.4	3.2	15.7	16.0	13.9	65.2
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	6	16.7	15.7	52.3	3.2	15.2	15.6	14.2	67.7
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	9	16.5	15.5	52.3	3.2	15.4	15.7	14.6	75.7
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	16.7	15.6	51.4	3.2	15.7	16.0	13.9	65.2
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	6	16.7	15.7	51.9	3.2	15.1	15.4	14.1	65.0
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	15.2	14.2	51.7	3.2	15.3	15.7	14.4	62.2
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	16.7	15.6	51.4	3.2	15.7	16.0	13.9	65.2
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	6	16.4	15.4	51.9	3.3	15.3	15.7	14.0	66.2
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	16.5	15.5	52.1	3.2	15.3	15.6	14.1	65.0
静置式除湿乾燥	常温	開放	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.7	16.0	14.0	67.5
静置式除湿乾燥	常温	開放	6	17.1	16.1	52.8	3.2	15.0	15.4	14.4	63.3
静置式除湿乾燥	常温	開放	9	17.4	16.4	53.1	3.1	15.4	15.7	14.8	61.4
静置式除湿乾燥	常温	密封	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.7	16.0	14.0	67.5
静置式除湿乾燥	常温	密封	6	17.4	16.4	52.7	3.3	15.1	15.5	14.3	66.6
静置式除湿乾燥	常温	密封	9	17.5	16.5	53.1	3.2	15.4	15.7	14.8	27.3
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	開放	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.7	16.0	14.0	67.5
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	開放	6	16.8	15.8	52.8	3.3	15.3	15.7	14.6	64.5
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	開放	9	17.3	16.2	53.0	3.4	15.5	15.8	14.9	69.1
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	密封	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.7	16.0	14.0	67.5
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	密封	6	17.4	16.4	52.8	3.3	15.3	15.7	14.3	64.3
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	密封	9	17.4	16.4	53.3	3.3	15.4	15.7	14.8	61.2
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	開放	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.7	16.0	14.0	67.5
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	開放	6	18.9	17.9	52.6	3.3	15.3	15.7	14.2	39.0
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	開放	9	18.8	17.8	52.8	3.3	15.4	15.8	14.8	35.2
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	密封	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.7	16.0	14.0	67.5
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	密封	6	17.2	16.2	52.4	3.3	15.3	15.7	14.2	66.0
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	密封	9	17.1	16.1	52.9	3.3	15.4	15.7	14.7	80.7
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.7	16.0	14.0	67.5
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	開放	6	16.8	15.8	51.8	3.3	15.1	15.5	13.9	60.3
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	16.2	15.2	52.2	3.3	15.2	15.5	14.1	54.0
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	17.2	16.2	51.7	3.3	15.7	16.0	14.0	67.5
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	密封	6	17.4	16.3	51.7	3.2	15.2	15.6	14.1	63.2
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	17.1	16.1	52.1	3.3	15.5	15.8	14.3	68.8

表23 空育125貯蔵試験玄米分析表(2)

Table 23 Analysis results of storage experiment for brown rice of Kuikulu25 (2)

乾燥方法	貯蔵温度	貯蔵形態	貯蔵期間 (月)	胚の活性度 (%)	INSTALAB600			脂肪酸度 (mgKOH)	発芽勢 (%)	発芽率 (%)
					水分 (%)	タンパク質 (as-is) (%)	タンパク質 (15%) (%)			
自然乾燥	常温	開放	0	51.3	11.0	8.4	8.0	58.5	22.0	22.7
自然乾燥	常温	開放	6	49.8	10.3	8.1	7.7	70.5	27.2	28.2
自然乾燥	常温	開放	9	37.8	10.7	8.2	7.8	91.1	11.8	12.5
自然乾燥	常温	密封	0	51.3	11.0	8.4	8.0	58.5	22.0	22.7
自然乾燥	常温	密封	6	48.7	10.1	8.1	7.7	72.5	22.0	27.5
自然乾燥	常温	密封	9	48.3	10.7	8.4	8.0	74.0	10.8	10.8
自然乾燥	低温(<15°C)	開放	0	51.3	11.0	8.4	8.0	58.5	22.0	22.7
自然乾燥	低温(<15°C)	開放	6	49.9	10.6	8.1	7.7	74.3	28.0	28.8
自然乾燥	低温(<15°C)	開放	9	46.5	10.6	8.2	7.8	83.2	24.7	26.3
自然乾燥	低温(<15°C)	密封	0	51.3	11.0	8.4	8.0	58.5	22.0	22.7
自然乾燥	低温(<15°C)	密封	6	47.0	10.2	8.1	7.7	72.1	22.8	23.8
自然乾燥	低温(<15°C)	密封	9	42.3	10.8	8.3	7.9	77.1	9.7	10.8
自然乾燥	水点(0°C)	開放	0	51.3	11.0	8.4	8.0	58.5	22.0	22.7
自然乾燥	水点(0°C)	開放	6	48.6	10.8	8.1	7.8	70.6	20.8	22.5
自然乾燥	水点(0°C)	開放	9	48.5	10.8	8.2	7.8	91.6	3.7	6.3
自然乾燥	水点(0°C)	密封	0	51.3	11.0	8.4	8.0	58.5	22.0	22.7
自然乾燥	水点(0°C)	密封	6	49.4	10.6	8.2	7.8	65.2	26.8	27.3
自然乾燥	水点(0°C)	密封	9	48.5	10.8	8.3	7.9	75.0	26.0	26.2
自然乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	51.3	11.0	8.4	8.0	58.5	22.0	22.7
自然乾燥	超低温(-15°C)	開放	6	52.8	10.4	8.1	7.7	47.9	46.7	47.5
自然乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	55.2	10.5	8.4	7.9	66.5	21.5	24.0
自然乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	51.3	11.0	8.4	8.0	58.5	22.0	22.7
自然乾燥	超低温(-15°C)	密封	6	51.8	10.5	8.0	7.6	48.9	41.3	42.0
自然乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	52.7	10.9	8.2	7.9	67.0	18.7	19.0
循環式火力乾燥	常温	開放	0	47.4	10.4	8.3	7.9	60.6	26.2	26.7
循環式火力乾燥	常温	開放	6	49.3	10.2	8.1	7.7	71.7	36.0	36.0
循環式火力乾燥	常温	開放	9	31.0	10.5	8.2	7.8	91.4	10.8	11.5
循環式火力乾燥	常温	密封	0	47.4	10.4	8.3	7.9	60.6	26.2	26.7
循環式火力乾燥	常温	密封	6	47.5	10.5	8.1	7.7	71.8	20.2	20.2
循環式火力乾燥	常温	密封	9	30.7	10.5	8.2	7.8	86.9	5.5	6.5
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	0	47.4	10.4	8.3	7.9	60.6	26.2	26.7
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	6	47.3	10.3	8.0	7.6	75.3	24.7	25.3
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	9	37.6	10.6	8.2	7.8	89.6	28.8	28.8
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	0	47.4	10.4	8.3	7.9	60.6	26.2	26.7
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	6	46.1	10.5	8.2	7.8	75.8	24.2	25.3
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	9	40.0	10.6	8.2	7.8	83.6	7.5	9.8
循環式火力乾燥	水点(0°C)	開放	0	47.4	10.4	8.3	7.9	60.6	26.2	26.7
循環式火力乾燥	水点(0°C)	開放	6	44.6	11.0	8.2	7.8	76.1	26.5	32.7
循環式火力乾燥	水点(0°C)	開放	9	43.0	10.7	8.1	7.7	108.5	0.8	1.5
循環式火力乾燥	水点(0°C)	密封	0	47.4	10.4	8.3	7.9	60.6	26.2	26.7
循環式火力乾燥	水点(0°C)	密封	6	49.3	10.7	8.3	7.9	66.6	33.2	33.5
循環式火力乾燥	水点(0°C)	密封	9	47.9	10.5	8.1	7.7	81.6	9.0	12.3
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	47.4	10.4	8.3	7.9	60.6	26.2	26.7
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	6	48.7	10.4	8.2	7.8	53.8	42.7	43.8
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	54.2	10.6	8.3	7.9	80.1	22.0	26.5
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	47.4	10.4	8.3	7.9	60.6	26.2	26.7
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	6	50.1	10.5	8.3	7.9	47.2	31.7	32.7
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	48.8	10.7	8.3	7.9	71.2	30.0	30.8
静置式火力乾燥	常温	開放	0	45.1	10.3	8.3	7.8	60.9	21.5	22.0
静置式火力乾燥	常温	開放	6	49.1	10.2	8.3	7.8	74.3	22.2	23.3
静置式火力乾燥	常温	開放	9	35.8	10.5	8.4	8.0	86.7	6.2	6.2
静置式火力乾燥	常温	密封	0	45.1	10.3	8.3	7.8	60.9	21.5	22.0
静置式火力乾燥	常温	密封	6	48.5	10.3	8.1	7.7	72.7	15.2	15.0
静置式火力乾燥	常温	密封	9	27.2	10.6	8.2	7.8	84.0	6.8	7.0
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	0	45.1	10.3	8.3	7.8	60.9	21.5	22.0
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	6	47.8	10.3	8.3	7.9	80.8	24.0	25.5
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	9	37.8	10.5	8.2	7.8	93.5	4.7	5.0
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	0	45.1	10.3	8.3	7.8	60.9	21.5	22.0
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	6	49.2	10.3	8.1	7.7	74.6	17.3	18.5
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	9	41.3	10.5	8.2	7.8	93.2	7.8	10.8
静置式火力乾燥	水点(0°C)	開放	0	45.1	10.3	8.3	7.8	60.9	21.5	22.0
静置式火力乾燥	水点(0°C)	開放	6	46.9	11.3	8.2	7.8	78.0	11.7	11.7
静置式火力乾燥	水点(0°C)	開放	9	32.4	10.6	8.2	7.8	124.6	0.0	0.8
静置式火力乾燥	水点(0°C)	密封	0	45.1	10.3	8.3	7.8	60.9	21.5	22.0
静置式火力乾燥	水点(0°C)	密封	6	50.3	10.1	8.2	7.7	68.4	25.0	26.5
静置式火力乾燥	水点(0°C)	密封	9	47.5	10.4	8.3	7.9	89.0	22.2	22.7
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	45.1	10.3	8.3	7.8	60.9	21.5	22.0
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	6	51.2	10.3	8.2	7.8	53.8	44.0	44.5
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	52.7	10.2	8.3	7.9	70.0	14.5	15.0
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	45.1	10.3	8.3	7.8	60.9	21.5	22.0
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	6	49.4	10.7	8.3	7.9	52.1	35.2	35.5
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	52.0	10.5	8.2	7.8	74.0	7.5	11.0
静置式除湿乾燥	常温	開放	0	45.8	10.4	8.2	7.8	63.1	21.3	21.8
静置式除湿乾燥	常温	開放	6	48.5	10.2	8.1	7.7	72.8	23.0	23.0
静置式除湿乾燥	常温	開放	9	28.4	11.1	8.5	8.1	98.5	4.3	4.3
静置式除湿乾燥	常温	密封	0	45.8	10.4	8.2	7.8	63.1	21.3	21.8
静置式除湿乾燥	常温	密封	6	48.4	10.3	8.2	7.8	70.5	10.2	11.3
静置式除湿乾燥	常温	密封	9	45.1	10.9	8.5	8.1	83.0	4.7	6.0
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	開放	0	45.8	10.4	8.2	7.8	63.1	21.3	21.8
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	開放	6	45.7	10.2	8.1	7.7	80.5	18.3	19.2
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	開放	9	42.8	11.2	8.5	8.1	100.0	4.5	5.7
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	密封	0	45.8	10.4	8.2	7.8	63.1	21.3	21.8
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	密封	6	45.9	10.6	8.3	7.8	80.0	14.2	15.3
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	密封	9	42.6	11.1	8.4	8.1	96.8	4.8	5.0
静置式除湿乾燥	水点(0°C)	開放	0	45.8	10.4	8.2	7.8	63.1	21.3	21.8
静置式除湿乾燥	水点(0°C)	開放	6	45.8	10.8	8.1	7.7	69.8	15.5	15.5
静置式除湿乾燥	水点(0°C)	開放	9	42.7	10.9	8.5	8.1	142.3	2.8	5.3
静置式除湿乾燥	水点(0°C)	密封	0	45.8	10.4	8.2	7.8	63.1	21.3	21.8
静置式除湿乾燥	水点(0°C)	密封	6	49.3	10.5	8.2	7.8	67.5	22.2	22.3
静置式除湿乾燥	水点(0°C)	密封	9	43.1	11.0	8.4	8.0	85.5	18.3	19.0
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	45.8	10.4	8.2	7.8	63.1	21.3	21.8
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	開放	6	50.0	11.0	8.2	7.9	53.3	31.7	33.0
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	52.3	10.5	8.3	7.9	71.4	17.7	18.3
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	45.8	10.4	8.2	7.8	63.1	21.3	21.8
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	密封	6	50.5	10.4	8.2	7.8	50.3	28.2	28.3
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	50.7	10.9	8.3	7.9	75.8	12.0	12.0

表24 玄米脂質の分析表(モル比)
Table 24 Analysis of brown rice lipids (mol ratio)

乾燥方法	貯蔵方法	貯蔵形態	全脂質					トリグリセリド					遊離脂肪酸					FFA/TG比		脂肪酸度
			16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	Densito	17:0	
自然乾燥	常温	籾	26.9	2.0	32.8	37.0	1.4	21.6	2.3	36.9	37.9	1.4	—	—	—	—	—	0.40	0.21	27.6
自然乾燥	常温	密封	19.8	2.2	36.7	39.6	1.8	22.5	2.1	36.1	38.1	1.2	23.6	2.4	35.2	37.7	1.1	0.62	0.25	74.0
自然乾燥	低温(<15°C)	密封	26.0	2.5	34.2	36.5	0.9	20.9	2.2	36.8	39.0	1.1	23.6	2.5	36.6	35.9	1.4	0.39	0.26	77.2
自然乾燥	氷点(0°C)	密封	17.2	2.8	38.6	40.1	1.4	22.6	2.0	35.9	38.5	1.1	23.2	3.1	36.5	35.6	1.5	0.35	0.20	75.0
自然乾燥	超低温(-15°C)	密封	20.5	2.0	35.6	40.2	1.7	20.7	2.2	36.7	38.9	1.5	21.2	2.5	34.7	39.5	2.1	0.49	0.26	67.0
静置式除湿乾燥	常温	籾	22.5	2.4	35.2	38.5	1.4	25.7	2.2	35.3	35.7	1.0	27.2	3.3	28.3	38.3	2.8	0.41	0.34	30.8
静置式除湿乾燥	常温	密封	24.1	2.1	34.1	37.8	1.9	22.1	2.9	35.9	38.1	1.1	24.4	2.4	35.0	37.4	1.5	0.42	0.25	83.0
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	密封	24.7	1.9	34.5	37.4	1.5	21.5	2.4	36.6	38.6	1.0	26.1	2.2	34.3	36.7	0.7	0.40	0.21	96.8
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	密封	26.3	1.9	33.6	36.8	1.3	20.1	2.2	36.8	39.3	1.6	27.9	2.2	31.3	36.2	2.5	0.52	0.33	85.5
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	密封	26.1	1.9	33.0	37.2	1.8	22.3	1.9	35.8	38.3	1.6	30.4	2.1	31.0	34.5	2.1	0.38	0.32	75.9
静置式火力乾燥	常温	籾	22.7	2.2	35.0	38.2	1.9	23.5	2.2	36.0	36.9	1.3	25.7	2.7	29.6	40.2	1.7	0.42	0.27	29.7
静置式火力乾燥	常温	密封	26.1	2.0	34.3	36.7	0.9	20.4	2.3	37.2	39.1	1.1	—	—	—	—	—	0.34	0.22	84.1
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	20.9	2.2	35.6	39.1	2.2	20.9	2.1	36.2	39.5	1.3	28.5	2.5	34.0	33.7	1.3	0.47	0.36	93.2
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	21.5	2.0	35.6	39.0	1.8	24.8	1.9	34.6	37.1	1.6	27.4	2.5	34.0	34.5	1.5	0.40	0.26	89.0
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	27.1	2.0	32.6	36.9	1.4	24.2	2.2	33.6	38.4	1.5	26.4	3.1	32.0	36.4	2.0	0.39	0.31	74.0
循環式火力乾燥	常温	籾	26.7	2.3	32.8	36.6	1.6	22.4	2.2	35.9	37.6	1.9	28.4	3.7	27.0	38.8	2.2	0.40	0.26	29.5
循環式火力乾燥	常温	密封	22.9	2.0	35.2	38.5	1.4	21.4	2.2	36.5	38.8	1.1	—	—	—	—	—	0.28	0.09	86.9
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	26.3	2.1	33.5	35.7	2.3	23.6	2.0	33.6	38.0	2.8	27.8	3.2	35.2	33.0	0.9	0.27	0.10	83.7
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	25.0	2.0	33.7	38.6	0.7	20.9	2.3	36.1	38.8	2.0	—	—	—	—	—	0.23	0.12	81.6
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	25.1	2.2	31.2	41.6	1.9	21.1	2.4	36.8	38.3	1.4	24.6	2.5	31.2	39.9	1.9	0.19	0.09	71.3

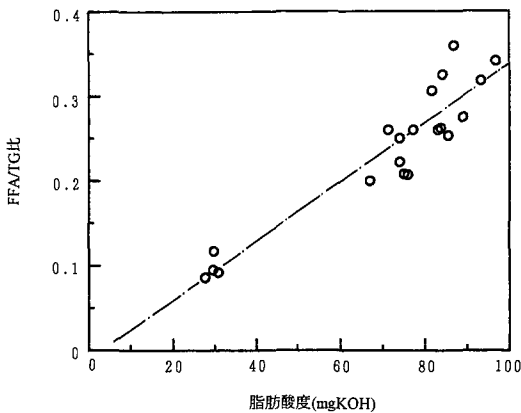


図19 脂肪酸度と FFA/TG 比の相関

Fig. 19 Relationship between free fat acidity and FFA/TG ratio

搗精後の砕粒率はほぼ同じであった。

岡本ら⁴⁰⁾は 40°C以上の高温になると食味低下が生ずる可能性があるとして論じているが、本研究では各乾燥方式とも穀温は 31°C以下であった。

以上のように食味の低下要因はいくつか挙げられるが、本研究の品質の変動の範囲は食味に有意な差が現れるような変動ではなかったと考えられる。

2) 貯蔵9カ月後の貯蔵方式による食味の変動

表29に貯蔵9カ月後の自然乾燥密封貯蔵の米の食味試験の結果を示した。

食味試験の評価項目では、精白米外観、炊飯米外観、香り、硬さは危険率5%で、また、総合評価は危険率1%で有意であった。

精白米外観は超低温貯蔵が最も良く、ついで氷点貯蔵、低温貯蔵、常温貯蔵の順で悪く、貯蔵温度の低い方が良い結果が得られた。これは炊飯米の外観、香りでも同様の結果であった。

食味試験の粘りは低温貯蔵のみが弱く、他の貯蔵方式に差は見られなかった。

総合評価は精白米外観などと同じく、超低温貯蔵が最も良く、氷点貯蔵、低温貯蔵、常温貯蔵の順に悪かった。

前節で論じたように、米の食味の総合評価は粘りとタンパク質、外観、香りで大部分が決定される。粘りについては低温貯蔵以外には差は見られず、タンパク質も貯蔵方式間に差は見られなかったため、ここで得られた総合評価の差はすべて外観と香りの差に起因すると考えられる。

以上のように、貯蔵方式では食味に関しては超低温貯蔵がいちばん優れていた。エネルギーの面から見ればこの方式は一般に不利であるが、北海道の冬の厳寒を積極的に利用すればエネルギーは節約でき、品質の低下も少ない。今後このような方式を検討していく必要があるものと考えられる。

e. 近赤外分光法による貯蔵過程における玄米の品質変動の推定

以上考察してきたように、玄米の貯蔵中の品質の変動を示す指標のひとつとして脂肪酸度が重要である。そこで、玄米の脂肪酸度が近赤外分光法で測定可能であれば、貯蔵中の品質の変動の程度を簡単に知ることができる。

脂肪酸度については第2報¹¹⁾で簡単に触れ、固定波長型の近赤外分析計では推定精度が低いと結論したが、ここで走査型の近赤外分析計を用い、再度脂肪酸度の推定を行った。

キャリブレーションの作成は2次微分スペクトルに基づいて行った。第2報¹¹⁾で、脂肪酸度の変化は主に米粒表面での現象であること、したがって、粉での測定より粒のままの測定のほうが精度が良いことを見いだしたので、ここでも粒のスペクトルに基づくキャリブレーションの作成と検証を行った。

試料は貯蔵条件6カ月後と9カ月後の試料を併せて68点とし、無作為に2分し、キャリブレーションの作成と検証を行った。脂肪酸度の範囲は27.6~108.5であった。

まず、2次微分スペクトルと脂肪酸度の単相関分析を行い、相関スペクトルを作成した。結果は図20に示したように、972, 1,168, 1,874, 2,018, 2,308 nmに脂肪酸度と負の相関を示す大きなピークが観測された。これの中で、第1報¹⁰⁾表8の吸収バンド一覧中の脂質の吸収バンドに相当する波長を選択した。これらを第1波長に、変数増加法で第2, 第3, 第4波長を選択した。第1波長として選択した波長は972, 1,168, 2,308 nmであった。また、2次微分スペクトルに基づくPLS回帰分析も同時に行った。

結果は表30に示したように、1,168 nmを第1波長にして、4波長で得られたキャリブレーションでSEC=5.1, $r^2=0.93$, SEP=7.0と最も優れており、第2報¹¹⁾で得られた玄米粒の精度(SEC=5.9)より若干優れていた。この精度は、食味のいちばん優れていた自然乾燥・超低温貯蔵の脂肪酸度の67.0と、食味のいちばん劣っていた自然乾燥・常温貯蔵の脂

表25 玄米脂質相関分析表
 Table 25 Correlation coefficient table for brown rice lipid

r (5%, 14) = 0.50 *
 r (1%, 14) = 0.62 **
 r (0.1%, 14) = 0.74 ***

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	全脂質															
	トリグリセリド															
	遊離脂肪酸															
	脂肪酸度															
1 全脂質	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	
2	1.00***	-0.45	-0.90***	-0.70**	-0.14	-0.08	0.20	-0.19	0.07	0.41	0.49	0.05	-0.39	-0.06	0.18	-0.02
3	-0.45	1.00***	0.48	0.25	-0.30	0.13	-0.10	0.11	-0.16	-0.29	-0.36	0.51*	0.15	0.09	0.00	-0.34
4	-0.90***	0.48	1.00***	0.35	-0.07	0.13	-0.28	0.09	-0.05	-0.38	-0.40	0.00	0.47	-0.14	-0.26	0.07
5	-0.70**	0.25	0.35	1.00***	0.19	-0.11	0.03	0.37	-0.02	-0.43	-0.51*	-0.19	0.13	0.41	0.05	-0.01
6	-0.14	-0.30	-0.07	0.19	1.00***	0.10	-0.03	-0.28	-0.07	0.47	0.26	-0.03	0.00	-0.17	-0.33	0.12
7	0.13	0.13	0.13	-0.11	0.10	1.00***	-0.26	-0.76	-0.85***	0.11	0.25	0.53*	-0.29	-0.06	0.13	-0.40
8	0.20	-0.10	-0.28	0.03	-0.03	-0.26	1.00***	0.31	0.05	-0.38	-0.34	-0.15	0.01	0.46	-0.03	0.01
9	-0.19	0.11	0.09	0.37	-0.28	-0.76***	0.31	1.00	0.38	-0.55*	-0.35	-0.50*	0.03	0.44	0.08	0.00
10	0.07	-0.16	-0.05	-0.02	-0.07	-0.85***	0.05	0.38	1.00***	0.02	-0.17	-0.47	0.53*	-0.32	-0.31	0.68
11	0.41	-0.29	-0.38	-0.43	0.47	0.11	-0.38	-0.55	0.02	1.00***	0.41	0.34	-0.10	-0.37	-0.07	0.03
12	0.49	-0.36	-0.40	-0.51*	0.26	0.25	-0.34	-0.35	-0.17	0.41	1.00***	0.09	-0.53*	-0.48	0.19	-0.02
13	0.05	0.51*	0.00	-0.19	-0.03	0.53*	-0.15	-0.50	-0.47	0.34	0.09	1.00***	-0.39	0.11	0.24	-0.62
14	-0.39	0.15	0.47	0.13	0.00	-0.29	0.01	0.03	0.53*	-0.10	-0.53*	-0.39	1.00***	-0.46	-0.70**	0.74
15	-0.06	0.09	-0.14	0.41	-0.17	-0.06	0.46	0.44	-0.32	-0.37	-0.48	0.11	-0.46	1.00***	0.40	-0.66
16	0.18	0.00	-0.26	0.05	-0.33	0.13	-0.03	0.08	-0.31	-0.07	0.19	0.24	-0.70**	0.40	1.00***	-0.57
17	-0.02	-0.34	0.07	-0.01	0.12	-0.40	0.01	0.00	0.68**	0.03	-0.02	-0.62*	0.74**	-0.66**	-0.57*	1.00

表26 空育125貯蔵試験精白米分析結果(1)

Table 26 Analysis results of storage experiment for milled rice of Kuiku125 (1)

乾燥方法	貯蔵方法	貯蔵形態	貯蔵期間 (月)	搗精歩留 (%)	水分		白度 (%)	透光度 (-)	色調		
					135°C (%)	105°C (%)			L	a	b
自然乾燥	常温	開放	0	90.5	16.8	15.7	30.9	100.9	58.1	-0.6	8.5
自然乾燥	常温	開放	9	90.4	17.0	15.9	30.9	98.7	59.2	-0.5	9.1
自然乾燥	常温	密封	0	90.5	16.8	15.7	30.9	100.9	58.1	-0.6	8.5
自然乾燥	常温	密封	9	90.4	16.9	15.8	32.0	93.4	59.1	-0.5	8.9
自然乾燥	低温(<15°C)	開放	0	90.5	16.8	15.7	30.9	100.9	58.1	-0.6	8.5
自然乾燥	低温(<15°C)	開放	9	90.5	16.8	15.7	31.4	95.9	59.1	-0.5	9.0
自然乾燥	低温(<15°C)	密封	0	90.5	16.8	15.7	30.9	100.9	58.1	-0.6	8.5
自然乾燥	低温(<15°C)	密封	9	90.5	17.0	15.9	31.1	96.3	58.5	-0.5	8.9
自然乾燥	氷点(0°C)	開放	0	90.5	16.8	15.7	30.9	100.9	58.1	-0.6	8.5
自然乾燥	氷点(0°C)	開放	9	90.6	18.2	17.1	29.8	94.4	57.9	-0.3	9.4
自然乾燥	氷点(0°C)	密封	0	90.5	16.8	15.7	30.9	100.9	58.1	-0.6	8.5
自然乾燥	氷点(0°C)	密封	9	90.4	16.8	15.7	31.1	100.6	58.6	-0.5	8.9
自然乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	90.5	16.8	15.7	30.9	100.9	58.1	-0.6	8.5
自然乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	90.5	15.9	14.8	31.5	88.0	58.7	-0.5	8.8
自然乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	90.5	16.8	15.7	30.9	100.9	58.1	-0.6	8.5
自然乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	90.6	16.6	15.5	30.9	97.5	59.3	-0.5	8.8
循環式火力乾燥	常温	開放	0	90.5	16.6	15.5	31.6	105.8	58.8	-0.7	8.9
循環式火力乾燥	常温	開放	9	90.6	16.8	15.7	31.5	104.0	59.6	-0.6	9.2
循環式火力乾燥	常温	密封	0	90.5	16.6	15.5	31.6	105.8	58.8	-0.7	8.9
循環式火力乾燥	常温	密封	9	90.5	16.8	15.7	31.7	101.7	59.9	-0.6	8.9
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	0	90.5	16.6	15.5	31.6	105.8	58.8	-0.7	8.9
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	9	90.5	16.6	15.5	31.1	104.0	59.8	-0.6	9.0
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	0	90.5	16.6	15.5	31.6	105.8	58.8	-0.7	8.9
循環式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	9	90.6	16.7	15.6	31.4	104.6	60.0	-0.6	8.9
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	開放	0	90.5	16.6	15.5	31.6	105.8	58.8	-0.7	8.9
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	開放	9	90.5	18.1	17.0	31.1	105.4	58.8	-0.5	9.2
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	0	90.5	16.6	15.5	31.6	105.8	58.8	-0.7	8.9
循環式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	9	90.4	16.4	15.3	32.1	104.8	59.4	-0.6	9.0
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	90.5	16.6	15.5	31.6	105.8	58.8	-0.7	8.9
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	90.5	15.7	14.6	31.9	97.4	59.4	-0.6	8.8
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	90.5	16.6	15.5	31.6	105.8	58.8	-0.7	8.9
循環式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	90.5	16.6	15.4	31.6	105.4	59.5	-0.6	8.9
静置式火力乾燥	常温	開放	0	90.5	16.5	15.4	31.4	103.6	58.2	-0.7	8.5
静置式火力乾燥	常温	開放	9	90.5	16.7	15.6	31.3	98.6	59.6	-0.6	9.0
静置式火力乾燥	常温	密封	0	90.5	16.5	15.4	31.4	103.6	58.2	-0.7	8.5
静置式火力乾燥	常温	密封	9	90.6	16.5	15.3	31.2	96.9	59.3	-0.6	9.0
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	0	90.5	16.5	15.4	31.4	103.6	58.2	-0.7	8.5
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	開放	9	90.5	16.5	15.4	31.4	99.0	59.1	-0.6	8.9
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	0	90.5	16.5	15.4	31.4	103.6	58.2	-0.7	8.5
静置式火力乾燥	低温(<15°C)	密封	9	90.5	16.4	15.3	31.4	99.2	59.3	-0.6	9.0
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	開放	0	90.5	16.5	15.4	31.4	103.6	58.2	-0.7	8.5
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	開放	9	90.6	18.3	17.2	30.7	98.1	58.7	-0.4	9.1
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	0	90.5	16.5	15.4	31.4	103.6	58.2	-0.7	8.5
静置式火力乾燥	氷点(0°C)	密封	9	90.5	16.3	15.1	31.6	102.6	59.0	-0.6	8.8
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	90.5	16.5	15.4	31.4	103.6	58.2	-0.7	8.5
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	90.5	15.0	13.8	31.9	95.3	59.7	-0.6	8.6
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	90.5	16.5	15.4	31.4	103.6	58.2	-0.7	8.5
静置式火力乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	90.4	16.2	15.1	31.7	102.2	59.0	-0.6	8.9
静置式除湿乾燥	常温	開放	0	90.5	17.0	15.9	31.3	105.3	58.7	-0.7	8.7
静置式除湿乾燥	常温	開放	9	90.5	16.9	15.8	31.1	100.8	59.3	-0.6	9.1
静置式除湿乾燥	常温	密封	0	90.5	17.0	15.9	31.3	105.3	58.7	-0.7	8.7
静置式除湿乾燥	常温	密封	9	90.5	17.1	15.9	31.4	98.6	59.3	-0.6	9.0
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	開放	0	90.5	17.0	15.9	31.3	105.3	58.7	-0.7	8.7
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	開放	9	90.5	17.0	15.9	31.4	100.7	59.7	-0.6	9.0
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	密封	0	90.5	17.0	15.9	31.3	105.3	58.7	-0.7	8.7
静置式除湿乾燥	低温(<15°C)	密封	9	90.5	17.0	15.9	31.6	102.8	59.2	-0.5	9.0
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	開放	0	90.5	17.0	15.9	31.3	105.3	58.7	-0.7	8.7
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	開放	9	90.4	18.3	17.2	30.9	102.2	59.1	-0.5	9.1
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	密封	0	90.5	17.0	15.9	31.3	105.3	58.7	-0.7	8.7
静置式除湿乾燥	氷点(0°C)	密封	9	90.5	16.8	15.7	31.1	104.6	59.1	-0.6	9.0
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	開放	0	90.5	17.0	15.9	31.3	105.3	58.7	-0.7	8.7
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	開放	9	90.5	15.7	14.6	31.2	90.1	58.9	-0.6	8.7
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	密封	0	90.5	17.0	15.9	31.3	105.3	58.7	-0.7	8.7
静置式除湿乾燥	超低温(-15°C)	密封	9	90.5	16.9	15.8	30.9	102.8	58.9	-0.6	9.1

表27 空育125貯蔵試験精白米分析結果(2)

Table 27 Analysis results of storage experiment for milled rice of Kuiku125 (2)

乾燥方法	貯蔵方法	貯蔵形態	貯蔵期間 (月)	色調 彩度	INSTALAB600		炊飯特性		脂肪酸度 ヨード 呈色度 (-) (mgKOH)		
					水分 (%)	タンパク質		加熱吸水率 (%)		溶出固形分 (g/200 ml)	
						as-is (%)	(15%) (%)				
自然乾燥	常温	開放	0	8.5	10.6	7.6	7.2	82.8	0.26	0.16	30.3
自然乾燥	常温	開放	9	9.1	12.4	7.4	7.2	72.1	0.27	0.18	25.0
自然乾燥	常温	密封	0	8.5	10.6	7.6	7.2	82.8	0.26	0.16	30.3
自然乾燥	常温	密封	9	8.9	12.3	7.5	7.3	64.8	0.28	0.16	38.6
自然乾燥	低温(<15℃)	開放	0	8.5	10.6	7.6	7.2	82.8	0.26	0.16	30.3
自然乾燥	低温(<15℃)	開放	9	9.1	12.5	7.6	7.4	66.3	0.27	0.18	36.5
自然乾燥	低温(<15℃)	密封	0	8.5	10.6	7.6	7.2	82.8	0.26	0.16	30.3
自然乾燥	低温(<15℃)	密封	9	8.9	12.5	7.5	7.3	66.1	0.26	0.17	40.4
自然乾燥	氷点(0℃)	開放	0	8.5	10.6	7.6	7.2	82.8	0.26	0.16	30.3
自然乾燥	氷点(0℃)	開放	9	9.4	12.7	7.6	7.4	71.6	0.30	0.18	69.8
自然乾燥	氷点(0℃)	密封	0	8.5	10.6	7.6	7.2	82.8	0.26	0.16	30.3
自然乾燥	氷点(0℃)	密封	9	8.9	12.3	7.7	7.4	70.9	0.29	0.17	31.4
自然乾燥	超低温(-15℃)	開放	0	8.5	10.6	7.6	7.2	82.8	0.26	0.16	30.3
自然乾燥	超低温(-15℃)	開放	9	8.8	12.5	7.5	7.3	72.2	0.28	0.18	36.4
自然乾燥	超低温(-15℃)	密封	0	8.5	10.6	7.6	7.2	82.8	0.26	0.16	30.3
自然乾燥	超低温(-15℃)	密封	9	8.9	12.3	7.6	7.4	53.0	0.32	0.21	31.1
循環式火力乾燥	常温	開放	0	8.9	11.0	7.8	7.4	84.8	0.30	0.14	23.9
循環式火力乾燥	常温	開放	9	9.2	12.6	7.8	7.6	61.8	0.27	0.18	25.7
循環式火力乾燥	常温	密封	0	8.9	11.0	7.8	7.4	84.8	0.30	0.14	23.9
循環式火力乾燥	常温	密封	9	9.0	12.4	7.8	7.6	56.1	0.29	0.18	31.7
循環式火力乾燥	低温(<15℃)	開放	0	8.9	11.0	7.8	7.4	84.8	0.30	0.14	23.9
循環式火力乾燥	低温(<15℃)	開放	9	9.0	12.6	7.6	7.4	60.1	0.25	0.19	32.0
循環式火力乾燥	低温(<15℃)	密封	0	8.9	11.0	7.8	7.4	84.8	0.30	0.14	23.9
循環式火力乾燥	低温(<15℃)	密封	9	8.9	12.6	7.8	7.6	66.0	0.24	0.18	31.4
循環式火力乾燥	氷点(0℃)	開放	0	8.9	11.0	7.8	7.4	84.8	0.30	0.14	23.9
循環式火力乾燥	氷点(0℃)	開放	9	9.2	13.1	7.5	7.4	59.8	0.31	0.19	26.5
循環式火力乾燥	氷点(0℃)	密封	0	8.9	11.0	7.8	7.4	84.8	0.30	0.14	23.9
循環式火力乾燥	氷点(0℃)	密封	9	9.0	12.7	7.5	7.3	65.7	0.30	0.21	29.0
循環式火力乾燥	超低温(-15℃)	開放	0	8.9	11.0	7.8	7.4	84.8	0.30	0.14	23.9
循環式火力乾燥	超低温(-15℃)	開放	9	8.8	12.3	7.5	7.3	76.6	0.27	0.19	23.2
循環式火力乾燥	超低温(-15℃)	密封	0	8.9	11.0	7.8	7.4	84.8	0.30	0.14	23.9
循環式火力乾燥	超低温(-15℃)	密封	9	9.0	12.5	7.6	7.4	60.3	0.33	0.23	26.9
静置式火力乾燥	常温	開放	0	8.6	10.9	7.7	7.3	84.6	0.29	0.14	21.7
静置式火力乾燥	常温	開放	9	9.1	12.5	7.6	7.4	61.6	0.27	0.18	26.1
静置式火力乾燥	常温	密封	0	8.6	10.9	7.7	7.3	84.6	0.29	0.14	21.7
静置式火力乾燥	常温	密封	9	9.0	12.5	7.7	7.5	65.6	0.28	0.18	32.9
静置式火力乾燥	低温(<15℃)	開放	0	8.6	10.9	7.7	7.3	84.6	0.29	0.14	21.7
静置式火力乾燥	低温(<15℃)	開放	9	8.9	12.7	7.3	7.2	60.9	0.29	0.19	33.0
静置式火力乾燥	低温(<15℃)	密封	0	8.6	10.9	7.7	7.3	84.6	0.29	0.14	21.7
静置式火力乾燥	低温(<15℃)	密封	9	9.0	12.4	7.6	7.4	61.4	0.28	0.18	31.1
静置式火力乾燥	氷点(0℃)	開放	0	8.6	10.9	7.7	7.3	84.6	0.29	0.14	21.7
静置式火力乾燥	氷点(0℃)	開放	9	9.1	12.6	7.8	7.6	58.3	0.27	0.17	60.1
静置式火力乾燥	氷点(0℃)	密封	0	8.6	10.9	7.7	7.3	84.6	0.29	0.14	21.7
静置式火力乾燥	氷点(0℃)	密封	9	9.0	12.5	7.7	7.5	67.1	0.29	0.20	27.2
静置式火力乾燥	超低温(-15℃)	開放	0	8.6	10.9	7.7	7.3	84.6	0.29	0.14	21.7
静置式火力乾燥	超低温(-15℃)	開放	9	8.6	12.1	7.8	7.5	62.5	0.29	0.21	18.6
静置式火力乾燥	超低温(-15℃)	密封	0	8.6	10.9	7.7	7.3	84.6	0.29	0.14	21.7
静置式火力乾燥	超低温(-15℃)	密封	9	8.9	12.4	7.9	7.6	66.4	0.28	0.22	22.0
静置式除湿乾燥	常温	開放	0	8.7	11.1	7.7	7.3	80.5	0.28	0.15	25.7
静置式除湿乾燥	常温	開放	9	9.1	12.8	7.5	7.3	59.7	0.26	0.16	26.3
静置式除湿乾燥	常温	密封	0	8.7	11.1	7.7	7.3	80.5	0.28	0.15	25.7
静置式除湿乾燥	常温	密封	9	9.0	12.6	7.6	7.4	60.2	0.26	0.16	33.5
静置式除湿乾燥	低温(<15℃)	開放	0	8.7	11.1	7.7	7.3	80.5	0.28	0.15	25.7
静置式除湿乾燥	低温(<15℃)	開放	9	9.0	12.5	7.7	7.5	59.4	0.25	0.16	29.5
静置式除湿乾燥	低温(<15℃)	密封	0	8.7	11.1	7.7	7.3	80.5	0.28	0.15	25.7
静置式除湿乾燥	低温(<15℃)	密封	9	9.0	12.8	7.5	7.3	60.0	0.26	0.16	28.6
静置式除湿乾燥	氷点(0℃)	開放	0	8.7	11.1	7.7	7.3	80.5	0.28	0.15	25.7
静置式除湿乾燥	氷点(0℃)	開放	9	9.1	13.0	7.7	7.5	59.0	0.30	0.17	49.2
静置式除湿乾燥	氷点(0℃)	密封	0	8.7	11.1	7.7	7.3	80.5	0.28	0.15	25.7
静置式除湿乾燥	氷点(0℃)	密封	9	9.0	12.6	7.7	7.4	53.0	0.29	0.19	29.5
静置式除湿乾燥	超低温(-15℃)	開放	0	8.7	11.1	7.7	7.3	80.5	0.28	0.15	25.7
静置式除湿乾燥	超低温(-15℃)	開放	9	8.7	12.4	7.6	7.4	63.4	0.28	0.21	23.2
静置式除湿乾燥	超低温(-15℃)	密封	0	8.7	11.1	7.7	7.3	80.5	0.28	0.15	25.7
静置式除湿乾燥	超低温(-15℃)	密封	9	9.1	12.7	7.7	7.5	66.0	0.28	0.22	26.9

表28 貯蔵試験食味試験結果 (貯蔵開始前)
Table 28 Sensory test results of storage experiment (before storage)

乾燥方法	精白米		炊飯米			
	外観*	外観	香り	硬さ	粘り	総合評価
自然乾燥	0.00 ◎	0.00 ◎	0.00 ◎	0.00 ◎	0.00 ◎	0.00 ◎
循環式火力乾燥	0.21	0.32	-0.11	-0.30	0.51*	0.35
静置式除湿乾燥	-0.38	0.38	0.02	-0.02	0.15	0.43
静置式火力乾燥	0.04	0.28	0.20	0.26	-0.02	0.00

1) 食味試験の項目の**と*は、その項目が統計的に1%と5%で有意であることを示す。
2) 評価点の*は、その項目が自然乾燥(◎)と統計的に有意な差があることを示す。

表29 貯蔵試験食味試験結果 (9カ月貯蔵後)
Table 29 Sensory test results of storage experiment (after 9 months storage)

乾燥方法	精白米		炊飯米			
	外観*	外観	香り	硬さ	粘り	総合評価
常温	-0.64 ◎	-0.31 ◎	-0.62 ◎	0.24 ◎	0.08 ◎	-0.50 ◎
低温 (<15°C)	-0.11*	-0.26	-0.35	0.14	-0.51*	-0.56
氷点 (0°C)	0.00*	0.00	0.00**	0.00	0.00	0.00*
超低温 (-15°C)	0.17**	0.40**	0.03**	0.05	0.05	0.25**

1) 食味試験の項目の**と*は、その項目が統計的に1%と5%で有意であることを示す。
2) 評価点の**と*は、その項目が常温(◎)と統計的に有意な差があることを示す。

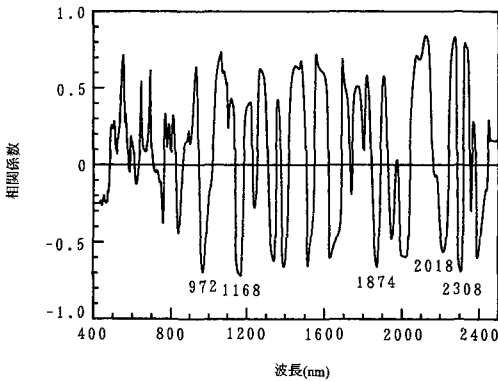


図20 2次微分スペクトルによる脂肪酸度の相関プロット
Fig. 20 Correlation plot for free fat acidity using 2nd derivative spectra

脂肪酸度の74.0との差以上ではあるが、両者を統計的に有意であると判断するだけの精度ではなかった。また、脂肪酸度測定の際の繰り返し精度は貯蔵試験に用いた玄米の場合、SDD=1.3であったので、これと比較しても満足できる精度ではなかった。したがって、本研究で得られた脂肪酸度のキャリブレーションの精度では、乾燥方式、貯蔵方式による微妙な品質の変動を測定することは困難であると考えられる。しかし、貯蔵中の玄米の脂肪酸度の増加による品質の

甚だしい劣化は十分測定可能であると考えられるので、貯蔵中の玄米を粒のまま定期的に測定し、脂肪酸度上昇の兆しが見えた時点で貯蔵庫の温度を下げるなどの処置をとるための監視装置としては、実用性があるものと考えられる。

II. 要 約

A. 乾燥過程における小麦の品質の変動

小麦のデンプンの糊化特性は小麦の加工適正を知る上で重要な特性である。そこで、小麦デンプンの糊化特性の測定法のひとつであるビスコグラムと相関が高い手法、すなわち、少量で迅速測定が可能なラピッドビスコアナライザによるピーク粘度とブレイクダウンの測定、及び、デンプン分解酵素である α -アミラーゼ活性の測定の2手法を用い、これらの測定値の近赤外分光法による推定が可能であるかどうか、検討を行った。

また、低アミロ小麦の発生を未然に防止するためには、刈り取り適期の判断が重要になり、そのための高水分域での精度の良い水分測定器が必要である。そこで、近赤外分光法の水分測定器としての可能性を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

表30 脂肪酸度のキャリブレーション一覧
Table 30 Calibrations for Free fat acidity

スペクトル	方法	対象	形態	キャリブレーション						検証				
				波長				SEC	r ¹⁾	r ²	BIAS	SEP	r	r ²
				1	2	3	4							
2次微分	重相関	玄米	全粒	972	2,310	906		6.7	0.93***	0.87	1.3	9.9	0.80***	0.64
			全粒	972	2,310	906	2,448	5.7	0.95***	0.91	0.5	8.5	0.87***	0.75
		玄米	全粒	1,168	2,310	2,438		5.9	0.95***	0.90	0.5	8.9	0.87***	0.75
			全粒	1,168	2,310	2,438	2,136	5.1	0.96***	0.93	1.0	7.0	0.91***	0.83
		玄米	全粒	2,308	1,162	1,690		6.3	0.94***	0.89	0.0	9.2	0.83***	0.70
			全粒	2,308	1,162	1,690	2,448	5.4	0.96***	0.92	-0.7	8.1	0.88***	0.78
2次微分	PLS	玄米	全粒					5.6	0.96***	0.92	1.6	7.5	0.89***	0.80

1) ***は、相関係数が0.1%で有意であることを示す。

- 1) RVAのピーク粘度とブレイクダウンは極めて相関が高く、糊化特性の説明変数にはどちらを使用しても良いことを知った。
- 2) RVAのピーク粘度と α -アミラーゼ活性には高い相関が見られた。
- 3) 乾燥調製施設へ搬入される原料小麦のRVAピーク粘度の分布は広く、原料段階での選別の必要性が明かとなった。
- 4) 近赤外分光法によりある程度の精度でRVAピーク粘度及び α -アミラーゼ活性が推定可能である。近赤外分光法のみによる糊化特性の劣る小麦の選別は難しかったが、近赤外分光法により予備選別を行い、疑わしい小麦のみRVA測定にかける、2段階選別を行えば確度の高い選別が可能であると考えられる。
- 5) 近赤外分光法による全粒の水分推定精度は現在実用に供されている水分測定器の精度と同等以上であると考えられ、高水分域で十分な精度を有していた。したがって、近赤外分光法は高水分域での水分計として、十分実用可能であった。

B. 米の品種、産地が品質に与える影響

米の品種、産地が品質に与える影響を知るため、全国各地の米を収集して食味試験を実施し、種々の機器分析と併せて近赤外分光法の検討を行い、米の食味の推定精度の向上の可能性を検討した。その結果、以下のことが明かとなった。

- 1) 食味総合評価と精白米外観、炊飯米外観、香り、硬さ、粘りにはそれぞれ $r=0.53***$, $0.72***$, $0.64***$, $-0.33**$, $0.62***$ といずれも有意な相関が得られた。これは他の食味試験の結果とも一

致し、パネルは、外観が良く、香りが良く、粘りのある米を良食味と判断した。また、食味試験の総合評価は粘りと外観、香りで70%が説明できた。

- 2) 玄米の機器分析値と食味試験の評価項目と関係では、まず、タンパク質と食味試験の総合評価、香りに有意な負の相関が得られた。これは一般に言われている米の食味とタンパク質との負の相関の傾向と一致した。

つぎに、玄米組成分析の整粒割合と精白米外観、総合評価との間に正の相関が得られた。これは整粒割合の高い玄米ほどそれを搗精したときの精白米外観が良く、その影響で総合評価が良くなったものと考えられる。この結果は色調や透光度などの光学系の機器分析結果でも裏付けられ、米の可視光域の光学特性によっても米の品質が測定可能であることが示唆された。

- 3) 精白米の機器分析値と食味試験の評価項目との関係では、タンパク質と総合評価、香りに有意な負の相関が得られ、これは玄米と同様の結果であった。

つぎに、色調のb、彩度、透光度と精白米外観、炊飯米外観、総合評価との間に有意な相関が得られた。これらはいずれも玄米と同様、外観に影響する要素であり、外観が向上したため総合評価も良くなったものと考えられる。

食味試験の粘りは試料を粉にしてデンプンの糊化特性を測定するRVAのピーク、アミログラムの最高粘度、ブレイクダウンなどとは相関が見られず、デンプンの糊化特性から炊飯米の粘りを推定することは困難であった。アミロースの含有比

と粘りには有意な負の相関が得られ、これは稲津の結果と一致した。

- 4) 食味総合評価は食味評価の粘りと機器分析のタンパク質で標準誤差0.24%で推定可能であったが、粘りの代わりに機器分析のデンプンの糊化特性に関する値を用いても推定精度は低かった。
- 5) 食味分析計の食味推定値は4種類とも食味試験の総合評価と有意な正の相関が得られた。4種類の食味分析計とも、精白米あるいは炊飯米の外観に関する情報である彩度あるいは透光度を加えると食味の推定精度が向上したが、粘りとタンパク質で推定した結果より劣った。
- 6) 近赤外分光法による食味の推定では、タンパク質の波長に可視光の波長を加えたキャリブレーションが得られ、5)の結果と一致した。粘りを推定する試みは精度が得られず、さらに精度を向上させるためには香りに関する測定項目を追加する必要がある。

C. 米の乾燥、貯蔵方法が品質に与える影響と品質の変動の推定

乾燥方式と貯蔵方式の違いによる食味の変動を推定するため、北海道産「空育125」を用いて乾燥方式を自然乾燥、静置式火力乾燥、循環式火力乾燥、静置式除湿乾燥の4条件、貯蔵方式を常温貯蔵、低温貯蔵、氷点貯蔵、超低温貯蔵の4条件、貯蔵形態を開放と密封の2条件に設定し、実験を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 乾燥後の玄米の胴割率は自然乾燥が高かった。これは、乾燥中に数回降雨に会っており、吸湿と乾燥を繰り返したためであると考えられる。自然乾燥の玄米は透光度が低かった。これは乾燥中に追熟が進んだためであると考えられる。
- 2) 貯蔵6カ月後の玄米の品質では、水分は全乾燥方式の超低温貯蔵の開放で減少し、氷点貯蔵の開放で増加した。発芽勢、発芽率は全乾燥方式のほとんどの貯蔵温度で増加した。脂肪酸度は、全乾燥方式の超低温貯蔵で低下したほかは全て増加した。これは、脂肪酸度の上昇を防止するためには超低温貯蔵以外は適していないことを示唆しているものと考えられる。
- 3) 貯蔵9カ月後の玄米の品質では、貯蔵6カ月後に一度増加した玄米の発芽勢と発芽率は、貯蔵9カ月後には低下した。超低温貯蔵を除く貯蔵方式

では貯蔵前と比べて発芽勢、発芽率とも低下したが、超低温貯蔵では貯蔵前とほとんど同じ発芽勢、発芽率が維持された。また、透光度が減少し、白度が増加した。

- 4) 貯蔵9カ月後の玄米の脂質の分析を行った結果、全脂質の構成は、平ら³⁹⁾の北海道産米の玄米脂質の脂肪酸組成とほぼ一致した。つぎに、脂肪酸度が増加するとFFA/TG比も直線的に増加した。脂肪酸度と各脂質の脂肪酸組成の相関分析では、脂肪酸度と遊離脂肪酸の各構成脂肪酸との間に18:0と危険率5%で負の相関が、18:1と危険率1%で正の相関が、18:2と危険率1%で負の相関が、18:3と危険率5%で負の相関が得られた。すなわち、脂肪酸度が上昇すると18:2と18:3が減少し、18:1が増加する傾向が見られた。これは、遊離脂肪酸中の不飽和脂肪酸が酵素により酸化され、飽和脂肪酸の方向に変化していくことを示しているものと考えられる。
- 5) 貯蔵9カ月後の精白米は、まず、水分は氷点貯蔵の開放で増加した。これは玄米水分の増加に伴うものである。また、脂肪酸度が同じく氷点貯蔵の開放で増加したのは、玄米の脂肪酸度の増加の反映であると考えられる。炊飯特性では、加熱吸水率がいずれの貯蔵方式でも減少した。
- 6) 貯蔵開始前の食味試験の結果は、自然乾燥を基準にすると、食味試験の粘りで循環式火力乾燥との間に危険率5%で有意な差が見られた以外はすべて有意な差は観測されなかった。すなわち、パネルは4乾燥方式の間に食味の優劣を認めなかった。これは、食味の低下要因はいくつか挙げられるが、本研究の品質の変動の範囲は食味に有意な差が現れるような変動ではなかったためであると考えられる。
- 7) 貯蔵9カ月後の自然乾燥密封貯蔵の米の食味試験は、精白米外観は超低温貯蔵が最も良く、氷点貯蔵、低温貯蔵、常温貯蔵の順に悪くなり、貯蔵温度の低い方が良い結果が得られた。これは炊飯米の外観、香りでも同様の結果であった。食味試験の粘りは低温貯蔵のみが悪く、他の貯蔵方式に差は見られなかった。総合評価は精白米外観などと同じく、超低温貯蔵が最も良く、氷点貯蔵、低温貯蔵、常温貯蔵の順に悪かった。総合評価の差はすべて外観と香りの差に起因すると考えられる。貯蔵方式では品質に関しては超低温貯蔵がい

ちばん優れていた。エネルギーの面から見ればこの方式は一般に不利であるが、北海道の冬期の厳寒を積極的に利用すればエネルギーは節約でき、食味の低下も少ない。今後このような方式を検討していく必要があるものと考えられる。

8) 玄米の貯蔵中の品質の変動を示す指標として脂肪酸度が重要である。そこで、走査型の近赤外分析計を用い、玄米粒の脂肪酸度の推定を行った。その結果、1,168 nm を第1波長にして、4波長で得られたキャリブレーションで $SEC=5.1$ といちばん優れていた。この精度では、乾燥方式、貯蔵方式による微妙な品質の変動を測定することは困難であるが、貯蔵中の玄米の脂肪酸度の増加による品質の甚だしい劣化は十分測定可能であると考えられる。貯蔵中の玄米を粒のまま定期的に測定し、脂肪酸度上昇の兆しが見えた時点で貯蔵庫の温度を下げるなどの処置をとるための監視装置としては、実用性があるものと考えられる。

謝 辞

本研究に際し、帯広畜産大学助教授 生物資源化学科 大西正男 博士には、玄米脂質の分析で御協力をいただいた。玄米試料の収集及び調製には北海道農業施設協議会の御協力をいただいた。玄米の貯蔵試験には JA 栗山町農業協同組合、北海道大学低温科学研究所に御協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 渡辺英夫, 鈴木修: ラピッドビスコアライザによる小麦粉ビスコグラムブレイクダウンの簡易測定, 日食工誌, 38(1), 44-48, 1991
- 2) Williams, P.C., Norris, K.H.: Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries, AACC, 233-240, 1987
- 3) 2), 233-240
- 4) 夏賀元康: 近赤外分光法による穀物の品質測定, (第3報) 乾燥調製過程における穀物成分の変動と穀物成分の産地間, 年度間変動, 北海道大学農学部邦文紀要, 19(4), 377-409, 1995
- 5) 山下律也: 「穀物の含水率測定方法基準」についての提案, 農機誌, 37(3), 445-451, 1975
- 6) 食糧庁管理部検査課: 小麦のアミロをめぐる諸問題, 204-207, 1988
- 7) 改訂版 小麦粉—その原料と加工—, 日本麦類研究会, 961-962, 1976
- 8) Walker, C.E., Ross, A.S., Wrigley, C.W. and McMaster, G.J.: Accelerated Starch-Paste Characterization with the Rapid Visco-Analyzer, Cereal Food World, 33, 491, 1988
- 9) 相島鐵朗: ケモメトリックス—新しい分析化学—, 丸善, 18-19, 1992
- 10) 夏賀元康: 近赤外分光法による穀物の品質測定, (第1報) 近赤外分光法の基礎特性, 北海道大学農学部邦文紀要, 19(2), 257-287, 1994
- 11) 夏賀元康: 近赤外分光法による穀物の品質測定, (第2報) 近赤外分光法の基礎特性, 北海道大学農学部邦文紀要, 19(2), 295-332, 1994
- 12) 加藤宏郎: 水分計の精度とその効用, 農業機械化技術研修会資料, 33-51, 1982
- 13) Downey, G.: Estimation of Moisture in Undried Wheat and Barley by Near Infrared Reflectance, Journal of the Science of Food and Agriculture, 36, 951-958, 1985
- 14) 川村周三, 夏賀元康, 伊藤和彦: 機器分析法による米の食味評価, 第52回農業機械学会年次大会講演要旨集, 321-322, 1993
- 15) 川村周三, 伊藤和彦, 池内義則: 研削式および摩擦式精米機の搗精特性に関する基礎的研究, 農業機械学会北海道支部報, 20, 96-102, 1979
- 16) 山下律也: 「米の胴割れ測定方法の基準」についての提案, 農業機械学会誌, 37(3), 445-451, 1975
- 17) 北海道農業施設協議会: 北海道農業施設 平成2年度(1990), 17-18, 1991
- 18) 標準計測方法, 食糧庁, 68-71, 1988
- 19) 北海道食糧事務所検査部: 精米の品質と鑑定方法及び計測方法, 1-24, 1976
- 20) 伴敏三, 諏沢健三, 鷹尾宏之進: 穀物に関する測定法—炊飯特性, 米飯の粘弾性, 精米粉のアミログラム, 米の食味試験, 理化学的測定値による食味の格付基準—, 農機試験測定法テキスト, 6, 66-90, 1970
- 21) 農林省食糧研究所: 米の品質と貯蔵, 利用, 食糧技術普及シリーズ, 7, 1-122, 1969
- 22) 川村周三: 米の搗精と精白米の品質および食味 (第3報) 精白米の品質および食味, 北海道大学農学部邦文紀要, 17(3), 231-232, 1991
- 23) 図解・全国203産地品種コメ食味チャート, 米

- 穀データバンク, 1989
- 24) 23), 132
- 25) 石間紀男, 平宏和, 平春枝, 御子柴穆: 米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響, 食糧研究所研究報告, 29, 9-15, 1972
- 26) 南松雄, 土居晃郎: 北海道産米の品質に関する物理化学的研究(第2報), 米の食味特性と蛋白質との関係, 北海道立農試集報, 26, 49-58, 1973
- 27) 山下鏡一, 藤本堯夫: 肥料と米の品質に関する研究, 4. 窒素肥料による精米のタンパク質の変化と食味との関係, 東北農試研究報告, 48, 91-96, 1974
- 28) 相坂浩子: 米飯の香気, 栄養食糧, 30, 421-424, 1977
- 29) 遠藤勲, 竹生新治郎, 谷達雄: 米飯の揮発性カルボニル化合物の測定, 日食工誌, 24, 142-144, 1977
- 30) Yasumatsu, K., Moritaka, S., Wada, S.: Studies on cereals Part 5. Stale Flavor of Stored Rice, *Agri. Biol. Chem.*, 30, 483-486, 1966
- 31) 田中治夫: 米飯の香気, 食品工業, 15(2), 73-76, 1972
- 32) 稲津脩: 北海道産米の食味向上による品質改善に関する研究, 北海道立農業試験場報告, 66, 34-35, 1988
- 33) 福田稔夫, 新堀二千男: 生舂の乾燥と千葉県産米の品質, 千葉県農試研究報告, 11, 154-168, 1971
- 34) 新堀二千男, 福田稔夫: 生脱穀・火力乾燥米の性状, 農業技術, 28(6), 270-273, 1973
- 35) 農林水産技術会議事務局: 米の食味改善に関する研究, 研究成果 77, 1974
- 36) 笠原正行, 猪原明成, 関野幸雄, 鍋島学: 舂の乾燥条件が米の食味に及ぼす影響, 富山県農業技術センター研究報告, 5, 15-21, 1989
- 37) 長戸一雄: 貯蔵および乾燥方法が米の炊飯特性に及ぼす影響, 日作紀, 40, 299-305, 1971
- 38) 平宏, 山崎一彦: 北海道産水稲うるち玄米の脂肪含量および脂肪酸組成, 食総研報, 45, 47-54, 1984
- 39) Yasumatsu, K., Moritaka, S.: Fatty acid composition of rice lipid and their changes during storage, *Agri. Biol. Chem.*, 28(5), 257-264, 1964
- 40) 岡本保, 松久次男: 舂の乾燥と米の理化学性(第1報), 栄養と食糧, 21(3), 203-207, 1968

Grain Quality Determination by Near-Infrared Spectroscopy (Part4) Grain quality determination by near-infrared spectroscopy

(1) Wheat quality changes through the drying process

The gelatinization characteristics of wheat starch are very important in understanding the processing suitability of flour. Accordingly, comparisons were undertaken among near-infrared reflectance spectroscopy, enzymatic methods and direct measurement of gelatinization characteristics, to establish a simple method for detecting low-amylograph wheat.

Timing of the harvest is also important in preventing the production of low-amylograph wheat, and an accurate moisture meter in high moisture regions is necessary for this. Accordingly, an investigation of the applicability of near-infrared reflectance spectroscopy as a moisture meter was carried out. Results were as follows;

- 1) There was extremely high correlation between peak viscosity and breakdown of Rapid Visco Analyzer (RVA), and accordingly both parameters could be used as independent variables for prediction of gelatinization characteristics.
- 2) There was high correlation between peak viscosity of RVA and α -amylase activity.
- 3) Peak viscosity of RVA of raw-wheat at receipt in the drying and preparation facilities had wide distribution, and the necessity of selection at receipt became clear.
- 4) Both peak viscosity of RVA and α -amylase activity could be estimated with definite accuracy using near-infrared reflectance spectroscopy. Though it was difficult to screen wheat with only near-infrared reflectance spectroscopy, when combined with the direct measuring method, it was useful in detecting wheat which had inferior gelatinization characteristics.

- 5) Whole grain moisture estimation by near-infrared reflectance spectroscopy is concluded to be more accurate than the usual moisture meter in high moisture region, and near-infrared reflectance spectroscopy is sufficiently applicable in high moisture regions.

(2) Effect of variety and production district on rice quality

To understand the effect of variety and production district on rice quality, sensory tests [palatability tests] were carried out with collected rice (29 varieties, 61 samples) throughout the country. These were followed by investigation of near-infrared reflectance spectroscopy and other methods, including those regarding the possibility of improving the accuracy of rice taste estimates.

- 1) There were significant correlation between over-all flavor and milled rice appearance, cooked rice appearance, aroma, hardness, and cohesiveness in sensory tests, as $r=0.53^{**}, 0.72^{***}, 0.64^{***}, 0.33^{**}, 0.62^{***}$, respectively. These results were consistent with other sensory tests, and panels evaluated rice which had a good appearance, fine aroma, and high cohesiveness, as good taste. Also, the over-all flavor of sensory test could be explained up to 70% by the factors of cohesiveness, appearance and aroma.
- 2) Regarding the relationship between evaluations using instruments and each items of the sensory test, firstly, there were significant negative correlations between protein content and the over-all flavor, and aroma in the sensory tests. These were consistent with the general saying that the taste of rice has a negative correlation with protein content. Secondly, there were positive correlations between the brown rice sound kernel ratio

and milled rice appearance, and over-all flavor. It was considered that a high ratio of brown rice sound kernel caused good milled rice appearance, and accordingly it caused good over-all flavor. This result was confirmed by optical instrument evaluations of characteristics such as color and transparency, and it was suggested that rice quality can be estimated by its optical characteristics within visible range.

- 3) Regarding the relationship between instrument evaluations of milled rice and each item in the sensory tests, there were significant negative correlations between protein content and over-all flavor and aroma, and these were the same as with brown rice. Next, there were significant correlations between b value of color, saturation, transparency, and milled rice appearance, cooked rice appearance, and over-all flavor in the sensory tests. These factors affected appearance the same as with brown rice, and it was considered that finer appearance caused good over-all flavor. No significant correlations were observed between cohesiveness in the sensory tests and ground sample parameters such as the peak viscosity of RVA, the maximum viscosity and breakdown of amylograph. Therefore, it was difficult to estimate the cohesiveness of cooked rice with the gelatinization characteristics of its starch. There was a significant negative correlation between the amylose content ratio and cohesiveness, and this is consistent with Inatsu's research.
- 4) Over-all flavor in the sensory tests could be estimated using cohesiveness obtained in the sensory tests and instrument-estimated protein content with 0.24% standard error, but estimation accuracy using the gelatinization characteristic value of starch with instrument-estimation instead of cohesiveness was poor.
- 5) The taste evaluation values of four tasters, which had a significant positive correlation

with over-all evaluations in the sensory tests, were improved by adding information about saturation and translucency of milled or cooked rice, but were worse than the evaluation combining cohesiveness and protein content.

- 6) In the over-all estimation by near-infrared reflectance spectroscopy, the calibration made with wavelengths in the visible region added to wavelengths for protein content was good, and it was consistent with result 5) above. The evaluation of cohesiveness failed to provide good results, and it was found that adding information about flavor is necessary to improve evaluation accuracy.

(3) Effect of drying and storage methods on rice quality, and evaluation of quality changes.

To evaluate rice quality changes under various drying and storage conditions, an investigation was carried out using Hokkaido-grown 'Kuikul25', under four drying conditions including natural drying, batch heated air drying, circulated heated air drying, and batch dehydrated air drying, under four storage conditions including temperature uncontrolled storage, temperature controlled storage, freezing storage and ultra-low temperature storage, with two forms including open-air (in a synthetic resin bag) and airtight (in a polystyrene tank). Results were as follows;

- 1) The fissured kernel ratio of brown rice after drying was high in natural drying. It was considered to be caused by repeated absorption and desorption during several rainfalls while drying. Naturally dried brown rice had lower transparency. It was considered to be caused by later ripening while drying.
- 2) Regarding brown rice quality after six months storage, moisture content increased under all drying conditions with ultra-low airtight temperature storage. Germination vigor and ratio increased under all drying conditions with most storage temperature. Free fat acidity increased in most conditions

with all drying conditions using ultra-low temperature storage. This was considered to suggest that any storage conditions except for ultra-low temperature storage were not adequate for preventing an increase of free fat acidity.

- 3) Regarding brown rice quality after nine months storage, germination vigor and ratio that had increased after six months storage decreased after nine months storage. Under all storage conditions except for ultra-low temperature storage, both germination vigor and ratio decreased compared with conditions before storage, but under ultra-low temperature storage, these were maintained almost the same as before storage. Also, transparency decreased and whiteness increased.
- 4) Analysis of brown rice lipid after nine months storage was carried out and the result was consistent with fat acidity composition studies of lipid in Hokkaido-grown brown rice by Taira et al. Also, as free fat acidity increased, the FFA (Free Fat Acidity)/TG (Triglyceride) ratio increased linearly. In a correlation analysis between FFA and fat acid composition, there was a negative correlation with 18:0 at 5%, a positive correlation with 18:1 at 1%, a negative correlation with 18:2 at 1%, and a negative correlation with 18:3 at 5% respectively. That is, there was a tendency that as FFA increased, 18:2 and 18:3 decreased, while 18:1 increased. It was considered to show that unsaturated fat acids in free fat acids were oxidized, and they were changing into saturated fat acids.
- 5) In milled rice after nine months storage, first, moisture content increased using open-air freezing storage. This was followed by an increase of brown rice moisture content. Also, FFA, increased using open-air freezing storage was considered to be a reflection of an increase of brown rice FFA. In cooking characteristics, water-uptake ratio decreased under all storage conditions.
- 6) Results of the sensory tests before storage showed that, using natural drying as a reference, there were no significant differences except for a significant difference with recirculated heated air drying at 5%. Panels recognized equal taste quality with the four drying conditions. It was considered that while there were some factors causing deterioration of taste quality, the range of quality changes in a scope of this study did not exceed the level which causes significant difference of taste quality.
- 7) In the sensory tests of naturally dried rice in airtight storage after nine months storage, milled rice appearance was best of all under ultra-low temperature storage, and the order of quality was freezing storage, controlled storage and uncontrolled storage, respectively. The same results were obtained with cooked rice. Sensory tests for cohesiveness showed no differences among storage conditions except for a bad evaluation for controlled storage. Over-all flavor can be equated with milled rice appearance. The differences in over-all flavor were considered to be caused by both differences of appearance and aroma. Regarding quality evaluation of storage conditions, ultra-low temperature storage was excellent. In regard to energy use, there are usually some drawbacks, but using the severe cold in winter of Hokkaido positively, energy can be saved and less deterioration in taste quality can be expected. Further investigations regarding such methods will be necessary.
- 8) FFA was found to be important as an index of quality changes in brown rice during storage, so the FFA of brown rice was estimated using near-infrared reflectance spectroscopy. As a result, the highest accuracy of SEC=5.1 was obtained in the calibration using four wavelengths of which the first wavelength was 1,168nm. It was difficult to evaluate

small quality changes caused by drying and storage methods using near-infrared reflectance evaluation, but near-infrared reflectance evaluation was effective in determining larger quality changes during storage caused by increased FFA. Therefore, near-infrared reflectance spectroscopy is applicable for monitoring quality changes during storage of whole grain of brown rice, and in providing for measures such as lowering the warehouse temperature when an indication of increasing FFA appears.