



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道米の品質食味の向上および利用拡大に関する研究
Author(s)	飯野, 遥香
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16191号
Issue Date	2024-12-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16191
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93968
Type	doctoral thesis
File Information	IINO_Haruka.pdf



北海道米の品質食味の向上および 利用拡大に関する研究

Studies on Improving Quality and Taste of Hokkaido Rice
to Expand its Production and Consumption

北海道大学 大学院 農学院
食品加工工学研究室

Laboratory of Agricultural & Food Process Engineering
Graduate School of Agricultural Science
Hokkaido University

飯野 遥香

IINO Haruka

北海道米の品質食味の向上および 利用拡大に関する研究

目次

第 1 章 緒言	1
1. 北海道の稲作と北海道米	1
2. 米の品質食味および利用拡大と本論文の目的	4
第 2 章 異なる気象条件下における北海道米「ゆめぴりか」の 理化学特性と食味	
1. 目的	9
2. 方法	10
(1) 供試試料と気温	10
(2) 搗精	12
(3) 理化学特性	12
(4) 食味評価	14
(5) データの統計解析方法	16
3. 結果	16
(1) タンパク質含量とアミロース含量の年次変動	16
(2) 玄米と精白米および炊飯米の理化学特性の年次変動	17
(3) タンパク質含量, アミロース含量と糊化特性の関係	20
(4) 食味品質の年次変動	22
4. 考察	26
5. 要約	27

第3章 近赤外分光法による米アミロース含量の非破壊測定技術の 共乾施設や精米工場における実装

1. 目的	28
2. 方法	30
(1) 供試試料	30
(2) 供試機器	32
(3) 試験方法	33
(4) 精白米のアミロース含量の化学分析	35
(5) 検量線の作成と測定精度の検証	35
3. 結果	38
(1) 供試試料のアミロース含量の化学分析値	38
(2) Moving Window Partial Least Squares (MW-PLS)による 最適波長範囲の選定と PLS コンポーネント数	41
(3) 検量線の測定精度	47
4. 考察	50
(1) 測定精度向上の要因	50
(2) 今後の展望	51
5. 要約	52

第4章 北海道米のタンパク質含量とアミロース含量の 地域間および年次間変動

1. 目的	54
2. 方法	54
(1) 調査施設および調査日	54
(2) 調査方法	59
(3) 成分分析計の検量線	59
(4) 成分分析計のバイアス調整	60

(5) 気温	60
(6) 調査協力	61
3. 結果	61
(1) 試料	61
(2) 各地域の気温	62
(3) 各品種の水分，タンパク質含量，アミロース含量	66
(4) 各地域（施設），各生産年，各品種のタンパク質含量と アミロース含量の変動	70
(5) タンパク質含量とアミロース含量の相関	75
4. 考察	77
5. 要約	79

第5章 北海道米の業務用チルド米飯の適性評価

1. 目的	81
2. 方法	82
(1) 供試試料	82
(2) 試料の調製	83
(3) 炊飯後試料の保存・加熱条件	84
(4) 官能評価	84
(5) 理化学分析	85
3. 結果	87
(1) 単一品種	87
(2) ブレンド米	94
4. 考察	99
5. 要約	99

第6章 糖質カット炊飯器で炊飯した北海道米の理化学特性と食味

1. 目的	101
2. 方法	102
(1) 供試試料	102
(2) 試料の調製	102
(3) 官能評価	104
(4) 理化学分析	105
3. 結果	106
(1) 官能評価	106
(2) 理化学特性	109
4. 考察	113
5. 要約	114

第7章 総合考察

1. 北海道米	115
2. 「ゆめぴりか」の理化学特性と食味	115
3. 米のアミロース含量の測定	117
4. タンパク質含量とアミロース含量の地域間年次間変動	118
5. チルド米飯の適性評価	119
6. 糖質カット炊飯器による米飯の理化学特性と食味	120
7. 北海道米の品質食味の向上および利用拡大	121

謝辞	123
----------	-----

引用文献	124
------------	-----

第1章 緒言

1. 北海道の稲作と北海道米

小麦，トウモロコシ（メイズ）とともに米は世界の三大穀物とされる。米は世界各国で生産され，とくに東南アジア，中国，インド，日本における主食作物である。

北海道では江戸時代中期の1692年に道南の函館近くで米作りを始めたとされる。しかし，厳しい気候のため，その米作りが江戸時代に北へ広がることはなかった。道央の北広島市で中山久蔵が米作りに成功したのは明治時代に入った1873年であった（北海道米販売拡大委員会，2024）。当時は，北海道開拓使から「夏の気温が低く安定した米作りは困難である」ことから米作りを禁止されていた。それでも，開拓農民たちは「自分が食べる米は自分で作りたい」との思いで品種改良や技術開発を重ねた。その結果，明治時代には道北の留萌上川地域および道東の十勝まで，大正時代にはオホーツク地域まで米作りが拡大した。そして昭和時代の1969年には都道府県単位で北海道の稲の作付面積が日本一となった。一方，1960年代初頭をピークに米の消費量が減り始め，“コメ余り”の時代となった。北海道では米作り当初から寒さに強い品種を育成することに努力してきたため，品質食味の良い米作りはできなかった。そのため北海道米は，食味が悪くて売れないお米の“やっかいどう米”（川村，2010）と揶揄され，米の生産調整の割当も全国一であった。

日本の最北端に位置する北海道は，豊富な自然資源と広大な農地面積を有し，日本の食料基地として大都市圏に多くの食料を供給している（川村，2012）。しかし，本州以南に比較して北海道は高緯度であることからイネの登熟期間が短く登熟期の気温も低く，イネにとって生

育条件が厳しい環境であり、前述の通り、北海道米は品質食味が悪いとされていた。そこで、1980年に北海道では食味の良い優良米作りを目指した早期開発試験のプロジェクトチームを立ち上げ、良食味米の品種育成を開始した（佐々木，1990）。そして10年後の1989年に「きらら397」の一般栽培が開始された。「きらら397」は、それ以前の北海道米品種と異なり、府県産の優良米に肩を並べる食味であった。北海道米の品種改良はその後も進展し、1997年に「ほしのゆめ」、2002年に「ななつぼし」、2004年に「ふっくりんこ」、2009年に「ゆめぴりか」の一般栽培が開始された（ホクレン，2018）。その間、1990年代には窒素施肥の低減とケイ酸施肥とを組合わせた栽培技術、田植時に苗の数cm横にすじ状に施肥をする側条施肥技術などが開発され普及した。これらの技術が北海道米のタンパク質含量を低下させることとなった（稲津ら，2012；岡田ら，2021）。タンパク質含量の低い米は米飯が軟らかく粘りが強くなり食味評価が向上する（稲津，2005）。その結果、これらの栽培技術は北海道米の品質食味向上に貢献した（沼尾，2009；川村，2012；木下，2021；柳原，2021）。

さらに、1996年には大規模な米の共同乾燥調製貯蔵施設（カントリ―エレベータ，共乾施設，図1-1）の建設が始まり、米の広域集出荷により大ロットで品質のバラツキが少ない米の安定供給が実現した。共乾施設の建設とともに、その後の10年間に北海道独自の四つの米の収穫後技術が開発実用化された。それらは、①米の自動品質検査（タンパク仕分）技術、②貯蔵のための粳の精選別技術、③冬期の自然の寒冷空気を利用した粳の超低温貯蔵技術、④粒厚選別と色彩選別とを併用した玄米の精選別技術であり（川村（2013a，2013b，2017，2020）），いずれも現在は北海道の米の共乾施設において広く普及し品質食味の向上に貢献している（ホクレン，2008；北海道米販売拡大委員会，2009；横

江ら，2009；川村（2012，2013c)）。2010年までにこのような大規模施設が北海道内の稲作地帯の29か所に建設された。



図 1-1 米の共同乾燥調製貯蔵施設（上川ライスターミナル），対象面積 4,000ha，粳荷受量 20,000t，サイロ粳貯蔵能力 10,000t，荷受トラック 6,500 台／年間

そのような中、「ゆめぴりか」が北海道米最高峰の良食味米として2009年に一般栽培を開始した。しかし，2009年は北海道は天候不順で冷害年の凶作となり，翌2010年は逆に猛暑年で凶作となり，「ゆめぴりか」のデビューは多難であった。2011年は天候に恵まれ作柄良好となり，3年目でついに「ゆめぴりか」の本格的な全国販売が始まった。以後，日本穀物検定協会が公表する米の食味ランキング（日本穀物検定協会，2024）において「ゆめぴりか」は毎年最高ランクの特Aとされており，同様に「ななつぼし」も特Aとされている。

以上のように北海道米は“やっかいどう米”から“良食味ブランド米”へと進化した。その理由は1980年代以降の①品種改良，②栽培管理技術，③収穫後技術などの開発と，それら技術の生産現場における実装

（稲津ら，2005）である。この三つの技術の組合せにより北海道は生産規模，品質食味の両面から日本有数の“米どころ”となった。2023年の北海道の水稲作付面積は約 93,300ha，収穫量は約 540,200t であり，いずれも新潟県に続く第2位である（ホクレン，2024）。

2. 米の品質食味および利用拡大と本論文の目的

タンパク質含量とアミロース含量は米飯の食感や味に影響を与える重要な成分である（大坪，1995；岡留ら，1999；飯野ら，2023）。1980年代からの米の品種改良では，米の成分に着目した成分育種が進められてきた。このことは，北海道米の品質食味の飛躍的向上に多大な影響をもたらしたと考えられる。

北海道米の低アミロース系統品種「ゆめぴりか」は，粘り，軟らかさや甘みなどのおいしさが従来的一般うるち系統品種を上回る（川村，2012）とされ，2008年に北海道米の優良品種に認定された（佐藤，2009）。先行研究（川村ら，2009）より，低アミロース系統品種の食味は，一般うるち系統品種に比べてタンパク質含量とアミロース含量のバランス（組み合わせ）に大きく影響を受けることが明らかとなっている。そこで，2009年から2011年までの3カ年に生産された「ゆめぴりか」の食味試験結果を基に，高品質で良食味となる「ゆめぴりか」の品質基準値（アミロース含量が19%未満の場合はタンパク質含量が7.5%未満であり，アミロース含量が19%以上の場合はタンパク質含量が6.8%以下）が定められ，現在も適用されている。この3カ年において，北海道では2009年は冷害年，2010年は猛暑年，2011年は通常年と気象条件がそれぞれ大きく異なり，「ゆめぴりか」の品質にも影響を与えたと考えられる。この3年間の「ゆめぴりか」の生育状況や作柄については，北海道立総合研究機構農業研究本部（2013）から詳細に報告されてい

る。しかし、このような3年間の気象条件下における「ゆめぴりか」の理化学特性と食味品質について詳細に述べた報告はない。そこで、本論文では第2章において、異なる気象条件下における北海道米「ゆめぴりか」の理化学特性と食味を明らかにすることを目的とした。

既述したように「ゆめぴりか」の品質基準値が定められたことで、米の共乾施設や精米工場などの生産現場および流通過程においてタンパク質含量とアミロース含量を高精度に測定することの重要性がさらに増した。北海道では、1999年から全国に先駆けて可視光分析計（穀粒判別器）と近赤外分析計（成分分析計）を組み合わせた米の自動品質検査システムによる米の品質仕分（タンパク仕分）が導入されている（Kawamura et al, 2003 ; Li et al, 2013）。これにより、米の品質に対する生産農家の意識が高まり、その結果、日本国内の米市場における北海道米の品質評価向上にも寄与した（ホクレン, 2008 ; 北海道米販売拡大委員会, 2009 ; 横江ら, 2009 ; 川村, 2012 ; 青島, 2020）。米の自動品質検査システムを用いたタンパク質含量の測定は、予測標準誤差（Standard Error of Prediction : SEP）が約0.1%である（Li et al, 2013）一方、近赤外分光法を用いた米のアミロース含量の測定はSEPが1%以上であり（Delwiche et al, 1995 ; Natsuga et al, 2006 ; Torit Baran et al, 2016）、米生産現場で使用するには精度が低いことが長年の大きな課題であった（川村, 2017）。既往の研究（Olivares Díaz ら（2019a, 2019b, 2022））では、近赤外分析計と穀粒判別器の組み合わせにより、アミロース含量の測定精度が大幅に向上することが示されたが、この方法では両機器の校正が必要であるほか、2段階の検量線も必要で測定手順が複雑となる。そのため、アミロース含量測定の簡略化には、近赤外分析計のみを使用する米の品質検査システムが必要とされてきた。このような中、従来の近赤外分析計よりも波長分解能が高

く、自動波長校正機能を持ち、受光素子の精密温度制御をおこなう高性能な近赤外分析計が新たに開発された（青島，2020）。そこで第3章では、この新たな近赤外分析計を用いて米のアミロース含量を高精度かつ安定的に測定するための新しい検量線モデルを開発し、共乾施設や精米工場への実装を目的とした。

こうした近年の技術開発の進展により、米の生産現場において米の品質検査装置（成分分析計，近赤外分析計）を用いたアミロースの実測が普及し始めた。そこで第4章では、北海道内の共乾施設等における米のタンパク質含量およびアミロース含量の実測値を基に、北海道米の品質の地域間変動（各地域の差異）や年次間変動（気象による差異）を明らかにするための調査をおこない、その上で品質検査装置の効果的な利活用方法を検討することを目的とした。

ここまでは主に、米の生産に関わる諸課題とそれを解決するための研究目的について述べたが、ここからは米の消費面に目を向けたい。主食用米の用途には、家庭内食向けとスーパーやコンビニ、レストランなどの中食・外食向けがある。1人1か月あたりの精白米消費量のうち、中食・外食における消費は30%強を占め（米穀安定供給確保支援機構，2024），北海道米においても、中食・外食向けの販売割合は31%を占める（農林水産省，2024d）。したがって、実需者が取り扱う各種商品形態（米飯の用途）で求められる米の品質食味に対し、的確な特性を持つ米を供給することが重要と考えられる。実需者が取り扱う最終商品の一つであるチルド米飯は、製造直後から10℃以下で管理をおこなう「チルド弁当」向けの原料米である。「チルド弁当」は、従来の常温弁当よりも消費期限を延長できるほか、おかずなどに使用可能な食材のバリエーションを広げることができる。「チルド弁当」は低温流通後に電子レンジで加熱する。すなわち、製造から消費に至るまでの冷却・保存・

加熱の工程によって、米飯澱粉の老化と水分の蒸発が起こり、その結果ご飯がパサつくという課題が生じている。そこで第5章では、北海道米の利用拡大を図るために、チルド米飯として冷却・保存・加熱した際の特性の明確化および適性評価をすることを目的とした。

また現在、日本における一人あたりの米の年間消費量は1962年の118.3kg（精白米）/人をピークに年々減少の一途をたどり、2022年は50.9kg/人と半減している（農林水産省，2024e）。さらに近年では、ダイエットや生活習慣病予防などを目的とした糖質制限が注目され、その観点から糖質が多い食品の代表例である米飯は避けられる傾向にある（大澤ら，2008；市川，2011；農林水産省，2020）。ところが、いくつかの家電製造企業から家庭用の糖質カット炊飯器が販売されており、低糖質な米飯の需要はあると考えられるが、家庭用の糖質カット炊飯器にて炊飯した米飯の品質特性に関する知見はない。そこで第6章では、糖質カット炊飯器で炊飯した北海道米の品種ごとの品質特性変化を明らかにすることを目的とした。

以上のように、本博士論文は第2章から第6章を通じて米の生産から消費に至るまでの様々な視点から、北海道米の品質食味の向上および利用拡大を目的として研究をおこなったものである。世界的に見ると、米の生産は人口増加に対する食糧供給のために、アジア、アフリカ、南アフリカ等で栽培面積が拡大し、生産量も増加している（農林水産省，2024f）。一方、日本においては人口減少と生産農家人口の減少により、近年では年間10万tの規模で米の需要量が減少し（農林水産省，2024g）、それに合わせて水田の作付面積も減少している。しかしながら、2023年の猛暑に起因する米の品質低下の影響もあり、2024年夏には米の市場供給量の減少によって店頭での“米不足”が顕在化したことから米の安定供給が強く求められている。

このような状況の中，本論文では気象変動が米の品質に与える影響を明らかにする目的で研究をおこない，気象変動が大きく影響するアミロース含量を生産現場において非破壊かつ迅速に測定する技術を開発する目的で研究をおこなった。さらに，開発した技術を用いて，生産地域や生産年次（気象変動）による米の成分（タンパク質含量，アミロース含量）の変動を明らかにする目的で研究をおこなった。加えて，わが国における米の消費減少に対応するため，新たな米の消費形態であるチルド米飯および糖質カット炊飯による米飯の理化学特性や品質食味を明らかにする目的で研究をおこなった。

既述のとおり，わが国において米の消費量は減少傾向にある。一方，世界的に見れば日本産米の品質食味は高く評価されており，日本産米の輸出量は増加傾向にある（農林水産省，2024a）。本論文ではわが国における米の需要維持，さらには米の利用および輸出拡大の推進に貢献することを目標としている。

第2章 異なる気象条件下における北海道米 「ゆめぴりか」の理化学特性と食味

1. 目的

北海道米の低アミロース系統品種「ゆめぴりか」は、2008年に北海道の優良品種に認定され（佐藤，2009），粘り，軟らかさや甘みなどのおいしさが従来の一般うるち系統品種を上回る（川村，2012）とされる。先行研究（川村ら，2009）より，低アミロース系統品種の食味は，一般うるち系統品種に比べ，タンパク質含量とアミロース含量のバランス（組み合わせ）に大きく影響を受けることが明らかとなっている。この結果を基に，2011年3月の「北海道米の新たなブランド形成協議会」において高品質で良食味となる「ゆめぴりか」の品質基準値が「アミロース含量が19%未満の場合はタンパク質含量が7.5%未満であり，アミロース含量が19%以上の場合はタンパク質含量が6.8%以下」と定められ（長田ら，2013），現在も適用されている。この品質基準は，2009年から2011年までの3カ年に生産された「ゆめぴりか」を用いて食味試験を実施した結果を基に定められたものである（長田ら，2013）。この3カ年において，北海道では2009年は冷害年，2010年は猛暑年，2011年は通常年と気象条件がそれぞれ大きく異なり，「ゆめぴりか」の品質にも影響を与えたと考えられる。この3年間の「ゆめぴりか」の生育状況や作柄については，北海道立総合研究機構農業研究本部（2013）から詳細に報告されている。しかし，このような気象条件下における「ゆめぴりか」の理化学特性と食味品質について述べた報告はない。近年，気象変動が激しさを増す中で，この特異的な3カ年における「ゆめぴりか」の品質変動を把握することは，今後も高品質な北海道米の安定生産のために重要であると考えられる。そこで本研究では，冷害年，猛暑年，通

常年における「ゆめぴりか」の理化学特性と食味評価の年次変動について解析をおこなった。

2. 方法

(1) 供試試料と気温

表 2-1 に供試試料を示した。試料は北海道内各地から収集した「ゆめぴりか」の玄米であり、2009 年産が 21 点、2010 年産が 21 点、2011 年産が 23 点であった。

各年の気温データを国土交通省気象庁のアメダス観測値より引用し、表 2-2 に「ゆめぴりか」の主産地である上川地方比布町と空知地方岩見沢市の冷害年（2009 年）、猛暑年（2010 年）、通常年（2011 年）の 7 月、8 月、9 月の日平均気温およびそれぞれの出穂期から 40 日間の登熟期積算温度を示した。7 月、8 月、9 月は稲の穂ばらみ期から出穂期、登熟期、成熟期にあたり、稲の作柄に大きな影響を与える期間である。北海道立総合研究機構農業試験場によると、上川地方比布町の出穂期は冷害年で 8 月 3 日、猛暑年で 7 月 18 日、通常年で 7 月 28 日であり、空知地方岩見沢市の出穂期は冷害年で 8 月 5 日、猛暑年で 7 月 26 日、通常年で 7 月 29 日であった。

表 2-1 供試試料

生産年	品種	生産地	タンパク質 (%)	アミロース (%)
2009	ほしのゆめ	北海道旭川市永山町	7.5	21.6
2009	ゆめぴりか	北海道蘭越町	6.4	17.6
2009	ゆめぴりか	北海道厚田村	7.7	17.5
2009	ゆめぴりか	北海道羽幌町	8.0	18.8
2009	ゆめぴりか	北海道上富良野町	7.2	19.6
2009	ゆめぴりか	北海道深川市	9.0	16.8
2009	ゆめぴりか	北海道美瑛町	6.8	17.8
2009	ゆめぴりか	北海道東川町	7.1	18.5
2009	ゆめぴりか	北海道今金町	7.9	18.7
2009	ゆめぴりか	北海道厚真町	7.5	19.4
2009	ゆめぴりか	北海道石狩市	7.0	20.1
2009	ゆめぴりか	北海道静内町	6.1	20.3
2009	ゆめぴりか	北海道美瑛町	7.2	17.7
2009	ゆめぴりか	北海道小平町	8.3	17.8
2009	ゆめぴりか	北海道当別町	7.2	18.8
2009	ゆめぴりか	北海道浦河町	7.7	19.6
2009	ゆめぴりか	北海道新十津川町	6.8	18.1
2009	ゆめぴりか	北海道蘭越町	6.7	20.0
2009	ゆめぴりか	北海道小平町	7.9	17.2
2009	ゆめぴりか	北海道美瑛町	7.6	18.9
2009	ゆめぴりか	北海道追分町	8.8	18.6
2009	ゆめぴりか	北海道中富良野町	8.5	19.9
2010	ほしのゆめ	北海道旭川市永山町	7.7	19.1
2010	ゆめぴりか	北海道三石町	6.8	13.2
2010	ゆめぴりか	北海道美瑛町	7.1	14.6
2010	ゆめぴりか	北海道愛別町	7.7	15.0
2010	ゆめぴりか	北海道蘭越町	6.6	14.2
2010	ゆめぴりか	北海道東神楽町	7.1	15.4
2010	ゆめぴりか	北海道七飯町	7.8	13.0
2010	ゆめぴりか	北海道美瑛町	8.0	14.3
2010	ゆめぴりか	北海道北檜山町	7.2	13.7
2010	ゆめぴりか	北海道共和町	6.5	13.6
2010	ゆめぴりか	北海道三石町	7.2	13.2
2010	ゆめぴりか	北海道鶴川町	7.7	14.3
2010	ゆめぴりか	北海道鷹栖町	8.3	15.0
2010	ゆめぴりか	北海道南幌町	7.6	14.0
2010	ゆめぴりか	北海道奈井江町	6.8	15.0
2010	ゆめぴりか	北海道蘭越町	7.2	14.2
2010	ゆめぴりか	北海道新十津川町	7.5	15.1
2010	ゆめぴりか	北海道北檜山町	8.4	12.8
2010	ゆめぴりか	北海道新十津川町	6.7	14.8
2010	ゆめぴりか	北海道東神楽町	6.5	15.3
2010	ゆめぴりか	北海道北檜山町	7.7	13.3
2010	ゆめぴりか	北海道七飯町	8.4	12.6
2011	ほしのゆめ	北海道旭川市永山町	7.5	21.4
2011	ゆめぴりか	北海道奈井江町	5.9	15.9
2011	ゆめぴりか	北海道深川市	7.0	16.0
2011	ゆめぴりか	北海道当別町	7.8	17.0
2011	ゆめぴりか	北海道羽幌町	8.3	16.3
2011	ゆめぴりか	北海道東神楽町	6.5	16.1
2011	ゆめぴりか	北海道森町	6.9	17.0
2011	ゆめぴりか	北海道恵庭市	7.6	15.6
2011	ゆめぴりか	北海道新十津川町	7.0	15.4
2011	ゆめぴりか	北海道岩見沢市	6.5	15.6
2011	ゆめぴりか	北海道北檜山町	7.4	15.0
2011	ゆめぴりか	北海道南幌町	7.7	16.2
2011	ゆめぴりか	北海道士別市	8.0	17.4
2011	ゆめぴりか	北海道北檜山町	7.9	14.9
2011	ゆめぴりか	北海道比布町	6.0	17.2
2011	ゆめぴりか	北海道上富良野町	7.3	16.3
2011	ゆめぴりか	北海道南幌町	8.4	16.2
2011	ゆめぴりか	北海道美瑛町	7.7	17.4
2011	ゆめぴりか	北海道旭川市	8.0	15.6
2011	ゆめぴりか	北海道士別市	6.8	16.7
2011	ゆめぴりか	北海道美瑛町	6.4	17.8
2011	ゆめぴりか	北海道門別町	7.8	15.7
2011	ゆめぴりか	北海道蘭越町	6.9	17.6
2011	ゆめぴりか	北海道長沼町	8.1	16.8

表 2-2 各年の7月, 8月, 9月の日平均
気温と登熟期積算温度(℃)

		冷害年 2009年	猛暑年 2010年	通常年 2011年
上川地方 比布町	7月	18.7	21.7	21.3
	8月	20.3	22.9	21.9
	9月	14.7	16.9	16.9
	登熟期 積算温度	765.5	909.5	880.4
空知地方 岩見沢市	7月	18.8	21.6	20.9
	8月	20.4	23.7	22.4
	9月	16.4	18.4	18.1
	登熟期 積算温度	781.1	943.5	893.1

(2) 搗精

搗精は縦型摩擦式精米機（山本製作所製 RICE PAL VP-31）を用いておこなった。搗精に際して、精米機の搗精負荷を調整しつつ各試料の精米機通過回数が3～6回で精白米となるようにした。一般に精米工場では搗精後の精白米白度を40程度とすることを目安に搗精負荷の調整をおこなう。そこで、本研究では予備試験により精白米白度が39～41となるように搗精条件を定め搗精をおこなった。その結果、精白米白度は冷害年、猛暑年、通常年においてそれぞれ平均値で39.3, 41.1, 39.5となった。また、搗精歩留は玄米に対する精白米の質量比であり、冷害年、猛暑年、通常年においてそれぞれ平均値で90.0%, 90.0%, 91.1%であった。

(3) 理化学特性

以下に列記した理化学特性を測定した。

① 玄米千粒重

砕粒を除く玄米1000粒の質量を千粒重とした。測定は5反復おこなった。

②玄米白度

白度計（ケット科学研究所製 C-300-3）を用い、測定セルに試料（約900粒）を入れ5反復測定した。

③玄米の粒厚分布

縦目篩振盪機（東京試験機研究所製）を用いた。網目サイズ1.8 mmから2.2 mmまで0.1 mmごとの篩で玄米約100 gを1分間振盪させ、計6段階の粒厚に玄米を分類し質量割合を求めた。また、加重平均により平均粒厚を算出した。測定は5反復おこなった。

④精白米の組成分析

精白米約1000粒を穀粒判別器（静岡製機製品質判定機 RS-2000X）で正常粒，粉状質粒，被害粒，碎粒，着色粒にあらかじめ分類し，それらを農産物規格規定に従い肉眼で補正しそれぞれに分類し，質量割合を求めた。測定は5反復おこなった。

⑤精白米のアミロース含量

アミロース含量は精白米澱粉中のアミロースの割合を示した値である。精白米を粉碎機（ブラベンダー製テストミル）で粉碎し，粉碎試料を50メッシュの篩でふるい，網下の精白米粉を試料とした。オートアナライザー（BLTEC製 Solid Prep III）を用いて，ヨウ素を試薬としヨウ素澱粉反応を利用した呈色比色法により米粉に含まれる澱粉のアミロースとヨウ素の複合体量を波長620 nmの吸光度として測定し，精白米のアミロース含量を求めた。試料のアミロース含量を求めるための基準品として，うるち米は「そらゆき（アミロース含量：20.8%）」を，もち米は「はくちょうもち（アミロース含量：0.0%）」を用いた。このアミロース含量の化学分析における同一試料の3反復測定の標準誤差は0.2%～0.3%程度であった。

⑥精白米のタンパク質含量

ケルダール窒素タンパク質簡易分析装置（FOSS 製 Kjelttec2300）を用いてタンパク質含量を測定し，乾物基準で示した。測定は 3 反復おこなった。

⑦精白米の糊化特性

ラピッド・ビスコ・アナライザー（NEWPORT SCIENTIFIC 製 RVA-3D PLUS 型）（以下，RVA）により，糊化特性を測定した。測定は豊島ら（1997）の方法に従いおこなった。得られた粘度曲線から，糊化特性として糊化開始温度，最高粘度，最低粘度，ブレイクダウン（最高粘度と最低粘度の差），最終粘度およびセットバック（最低粘度と最終粘度の差）を求めた。測定は 3 反復おこなった。

⑧炊飯米の白度

炊飯終了後にプラスチック製の食品保存容器に炊飯米を入れ蓋をして 20℃で 2 時間保存した後に，白度計（ケット科学研究所製 C-300-3）を用いて炊飯米の白度を測定した。測定は 5 反復おこなった。

⑨炊飯米の物性

炊飯終了後に測定シャーレへ炊飯米を 10 g ずつ充填しラップで包み 20℃で 2 時間保存した後に，テクスチャーアナライザー（Stable Micro Systems 社製 TA-XT plus）を用いて炊飯米の物性を測定した。測定は 6 反復おこなった。

（4）食味評価

旧食糧庁の米の食味試験要綱および実施要領（1966）に準じて，生産年ごとにそれぞれ食味試験を実施した。この米の食味試験は複数の評価項目を設け，試食者が評価判定する際に基準となる米（基準米）を設けておこなう相対比較法を用いている。米の食味試験で採用する相対比較法は，基準を設けず試食者が個々に持っている判断基準で評価する絶対比較法に比べて，試食者の個人差や地域差が現われにくい方法

である（川村，2014）。一方で，相対比較法では基準米の選定が重要であり，基準米が異なると評価値にバイアスが生じる可能性がある。さらに，複数年にわたる米の食味試験をおこなう場合，年数の経過とともに品質劣化が生じるために同一の基準米を複数年にわたり使用することが困難になるという欠点もある。1971年から日本全国で生産する米の食味ランキングを毎年公表する日本穀物検定協会でも上記と同様の方法で食味試験を実施している。日本穀物検定協会では，当初は基準米として当該年産の滋賀県「日本晴」を使用していたが，近年は当該年の複数年産地の「コシヒカリ」のブレンド米を基準米に使用するなど，毎年の基準米の調製をおこなっている。

本研究では食味試験の基準米としてそれぞれの生産年の「ほしのゆめ」（一般うるち系統品種）を用いた。上述したように，3カ年の食味試験において同一の基準米を使うことは，2年目，3年目において基準米のみが古米，古古米を使うこととなり適切ではない。そこで本研究では3カ年の基準米を同一産地（旭川市永山町）の「ほしのゆめ」とし，さらに毎年当該産地で定める品位区分が同一となる「ほしのゆめ」の中から，1年目のタンパク質含量とアミロース含量に合わせて2年目と3年目の基準米を選抜した。表2-1に示したように，基準米として使用した「ほしのゆめ」のタンパク質含量とアミロース含量は，冷害年（2009年）が7.5%，21.6%，猛暑年（2010年）が7.7%，19.1%および通常年（2011年）が7.5%，21.4%であった。以上のように，本研究における3カ年の食味試験の基準米は同一ではないものの，タンパク質含量とアミロース含量が類似しているため食味評価も類似していると考え，3カ年の異なる気象条件下における「ゆめぴりか」の食味評価を比較検討することは可能であると判断した。

食味試験の評価項目は，精白米外観，炊飯米外観，香り，硬さ，粘り，

総合評価の6項目（川村，2014）である。また，食味試験は3年間で延べ18回おこなった。各回のパネル人数は41名～54名であり，延べパネル人数は932名であった。本研究の米の食味試験は北海道大学大学院農学研究科倫理審査委員会により承認された手順に則り実施した。

（5）データの統計解析方法

統計解析ソフト JMP[®]15（SAS Institute Japan）を用いて，官能評価および理化学分析における各群間の有意差についての統計解析をおこなった。官能評価結果の解析には Steel-Dwass 法を採用した。Steel-Dwass 法は，二群を対にして，すべての対について差があるかどうか検定する手法で，Tukey 法のノンパラメトリック版である（若杉，2004）。本研究の官能評価では，基準試料の評価値を予めすべての項目で「0」と設定したことにより正規分布ではなくなることから，ノンパラメトリック検定が適すると判断した。理化学分析の項目間および官能評価と理化学分析の間の有意差検定は t 検定にておこなった。

3．結果

（1）タンパク質含量とアミロース含量の年次変動

本研究で供試した，「ゆめぴりか」のタンパク質含量とアミロース含量の年次変動を図 2-1 に示した。タンパク質含量の変動幅は，冷害年，通常年，猛暑年とも同程度であり，気象条件による影響は小さかったと考えられる。一方，アミロース含量は，冷害年で高く，猛暑年で低かった。登熟期積算温度とアミロース含量との間には有意な負の相関（ $r=-0.85^{**}$ ）が認められ，登熟期の積算温度が高いほど，アミロース含量が低くなることが示された。一般うるち系統品種に比べて，低アミロース系統品種はアミロース含量が登熟期の気温に大きく影響を受けることが明らかとなっており（丹野ら，1997；舘山ら，2005，尾崎ら，2018），

本研究でも同様の傾向が示された。

タンパク質含量およびアミロース含量は米の食感（硬さ，粘り）に影響を与える（大坪，1995；岡留ら，1999）。特に「ゆめぴりか」が有する低アミロース遺伝子 *Wx1-1* は登熟期の気温の影響を受けやすいとされ，アミロース含量の変動幅が大きい傾向にある（尾崎ら，2018）ことから，年次変動の把握が非常に重要であると考えられる。

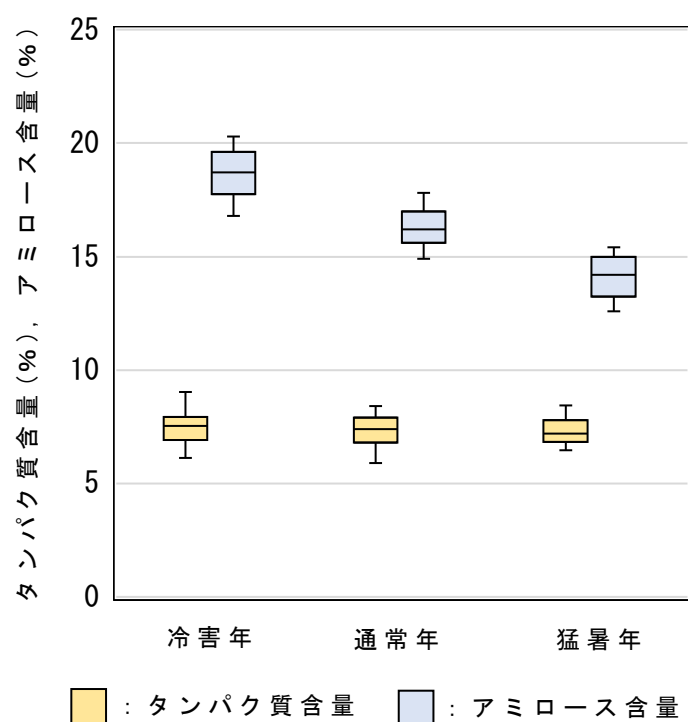


図 2-1 タンパク質含量およびアミロース含量の年次変動

（2）玄米と精白米および炊飯米の理化学特性の年次変動

冷害年ではタンパク質含量，アミロース含量の両方が玄米品質に影響を与えた（表 2-3）。また，アミロース含量が低いほど白度が上昇することが示された（図 2-2）。一般に，低アミロース系統品種は気象条件により米粒が白濁することがあり，アミロース含量が低くなると白

濁により白度が上昇するとされ（宮野ら，2005；笹川ら，2008；山口ら，2012），本研究でも同様の傾向であった。また，低アミロース系統品種において，アミロース含量が10%未満で白濁が発生し10%～15%程度であれば顕著な白濁は少ないとの報告（山口ら，2012）もある。本研究に供試した「ゆめぴりか」においてアミロース含量が10%未満のものではなく，肉眼で玄米を観察した外観では顕著な白濁は認められなかった。

猛暑年の中ではアミロース含量が高い場合，玄米の白度が低く，千粒重が大きく，平均粒厚が大きかった（表2-3）。猛暑年（2010年）は全国的に記録的高温となり，一等米比率が大幅に低下する傾向にあった。その要因として，高温で特異的に増加する背白粒と基部未熟粒の発生が挙げられている（森田，2012）。本研究においても冷害年に比較して，猛暑年の玄米白度は高い傾向にあり（図2-2），さらに猛暑年＞通常年＞冷害年の順に精白米粉状質粒が多かった（図2-3）。このことから，「ゆめぴりか」における高温登熟障害による白未熟粒（いわゆる，“しらた”）発生に今後も注視する必要がある。

一般に，高温条件での登熟で粒厚は厚くなり，登熟期後半に澱粉蓄積が進むことで相対的にタンパク質含量が低くなる（森田ら，2004；石突ら，2013）とされる。本研究ではタンパク質含量，アミロース含量と粒厚，粒重との関係は既報（鎌田ら，1992；黒田ら，1996；森田ら，2004；石突ら，2013）と同様の傾向が示された。しかし，炊飯米白度と食味評価における精白米外観および炊飯米外観との間には有意な相関関係が示されなかった。したがって，気象変動が炊飯米の品質に影響を与えるものの，本研究の範囲では食味評価に大きく影響しない程度であると考えられた。

表 2-3 各年におけるタンパク質含量，アミロース含量と
玄米品質，炊飯米品質との相関係数
(冷害年：n=21，通常年：n=23，猛暑年：n=21)

	タンパク質 (%)	アミロース (%)	玄米 白度(-)	玄米 千粒重 (g)	玄米 平均粒厚 (mm)
アミロース(%)	-0.30	-			
冷害年 玄米白度(-)	0.06	-0.56 **	-		
冷害年 玄米千粒重(g)	-0.53 *	0.52 *	-0.23	-	
冷害年 玄米平均粒厚(mm)	-0.51 *	0.30	-0.32	0.76 **	-
冷害年 炊飯米白度(-)	0.70 **	-0.03	-0.08	-0.46 *	-0.43
アミロース(%)	-0.15	-			
通常年 玄米白度(-)	-0.19	-0.13	-		
通常年 玄米千粒重(g)	0.17	0.26	0.13	-	
通常年 玄米平均粒厚(mm)	-0.09	0.20	0.29	0.82 **	-
通常年 炊飯米白度(-)	0.74 **	-0.07	-0.07	0.22	0.08
アミロース(%)	-0.36	-			
猛暑年 玄米白度(-)	-0.13	-0.65 **	-		
猛暑年 玄米千粒重(g)	-0.05	0.73 **	-0.47 *	-	
猛暑年 玄米平均粒厚(mm)	-0.10	0.79 **	-0.58 **	0.82 **	-
猛暑年 炊飯米白度(-)	0.47 *	0.25	-0.34	0.43	0.20

*:危険率5%, **:危険率1%

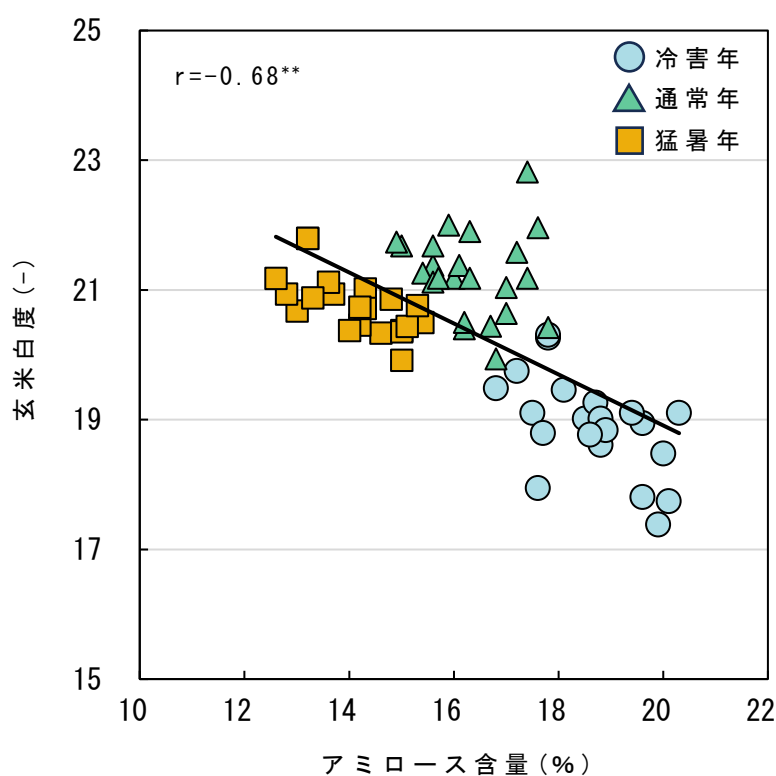


図 2-2 気象条件とアミロース含量，玄米白度との関係
(3カ年，n=65)

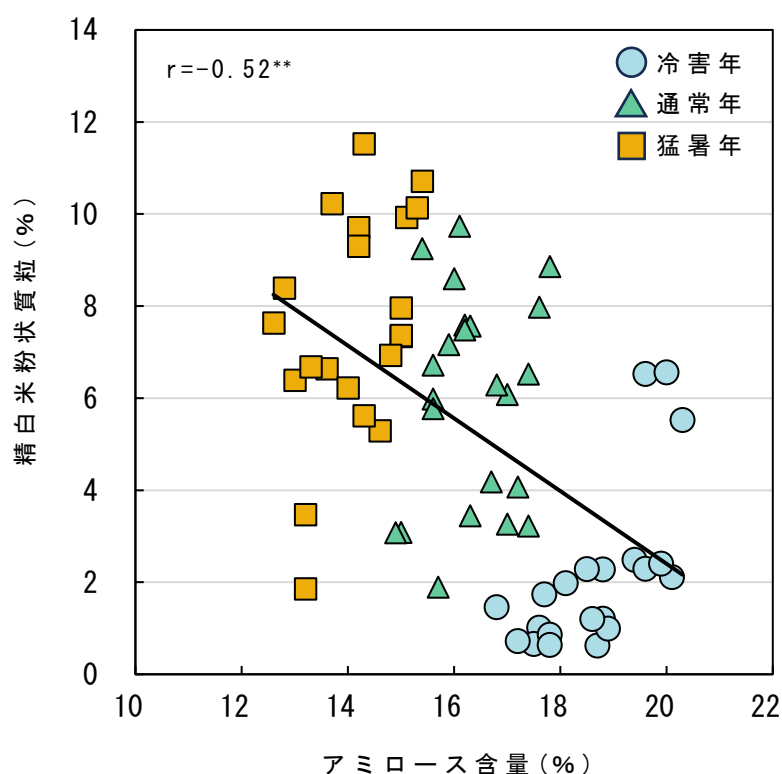


図 2-3 気象条件とアミロース含量，精白米粉状質粒との関係
(3 カ年， $n=65$)

(3) タンパク質含量，アミロース含量と糊化特性の関係

一般に，食味が良いとされる米の澱粉は糊化特性の最高粘度が高く，ブレイクダウン（最高粘度と最低粘度の差，膨潤性の指標で大きいほど良食味とされる）が大きく，セットバック（最低粘度と最終粘度の差，老化性の指標で小さいほど老化しにくいとされる）が小さいとされる（久野ら，2000）。さらに低アミロース系統品種において，アミロース含量が高いと最高粘度およびブレイクダウンが低下する負の相関が認められたとの報告（久野ら，2000）や，低温寡照年で最高粘度とブレイクダウンが低下し食味に悪影響をもたらしたとの報告（松江，1995）もある。本研究の3カ年でもアミロース含量とブレイクダウンとの間に有意な負の相関（図 2-4），アミロース含量とセットバックの間には有意な正の相関（図 2-5）が認められた。すなわち，冷害年ではアミロー

ス含量が高くなり、その結果、澱粉の粘度や膨潤性が低下し、食味品質が低下すると考えられた。さらに3ヵ年のうち冷害年のセットバックが最も大きい傾向にあり、炊飯米が冷めると硬くなりやすい（老化しやすい）品質になることが示された。ブレイクダウンは栽培環境条件による年次変動が大きい（今林ら，1998），一方，セットバックは年次変動より品種間差の方が大きいとの報告がある（佐藤ら，2003）。本研究にて、「ゆめぴりか」のセットバックはおおよそ80～120の範囲で変動し、気象条件（登熟期の気温）による老化性の変動幅が明らかとなった。

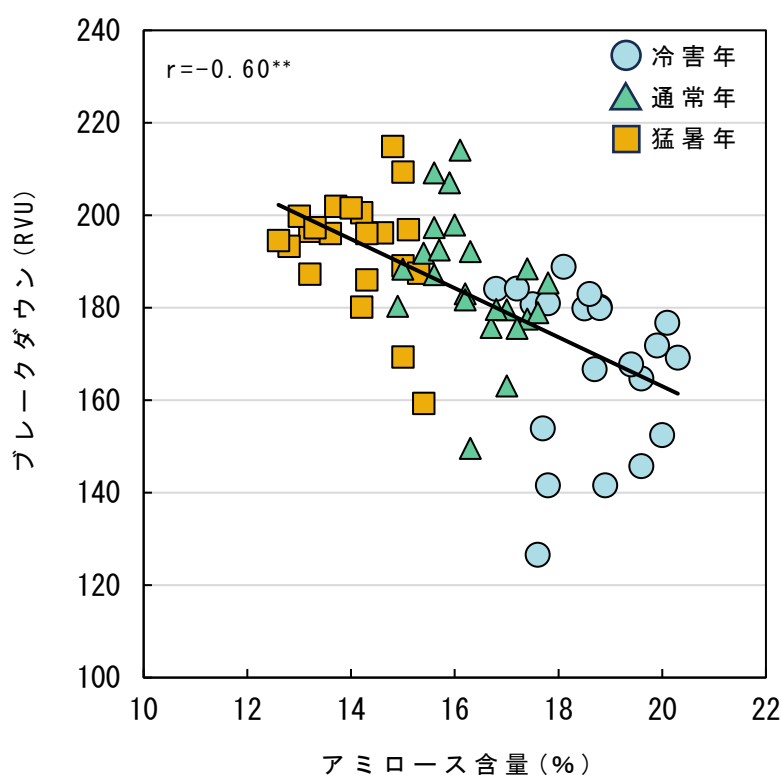


図 2-4 気象条件とアミロース含量，ブレイクダウンとの関係
(3ヵ年，n=65)

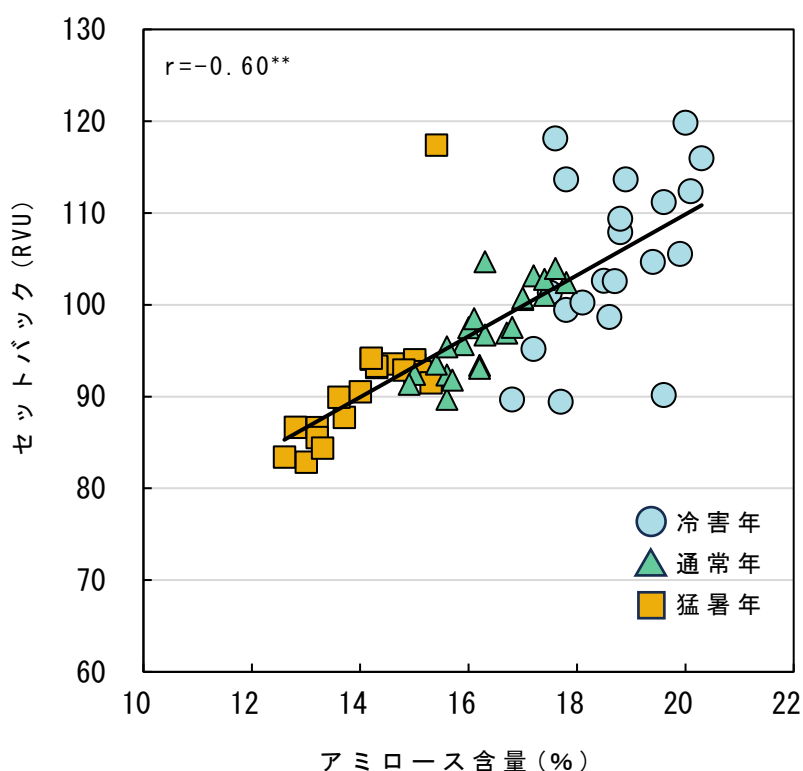


図 2-5 気象条件とアミロース含量，セツバックとの関係
(3 カ年，n=65)

(4) 食味品質の年次変動

米（炊飯米）のテクスチャー（硬さ，粘り）は美味しさに大きな影響を与えるとされ（松本ら，1977），さらに米のタンパク質含量，アミロース含量のバランスがテクスチャーに大きな影響を与えるといわれる。表 2-4 に，3 カ年のタンパク質含量，アミロース含量と食味評価との相関係数を示した。タンパク質含量が高いと炊飯米は硬く，粘りが弱くなり，アミロース含量が高いと炊飯米の粘りが弱くなることが明らかとなった。さらに，軟らかく粘りの強い炊飯米の総合評価が高い結果となった。すなわち，タンパク質含量，アミロース含量は炊飯米の食感（硬さ，粘り）に影響を与え，炊飯米の食感は総合評価に影響を与えることが示唆された。図 2-6 に気象条件とタンパク質含量，食味評価の硬さとの関係，図 2-7 に同様にタンパク質含量，食味評価の粘りとの関係，図

2-8 に同様にアミロース含量，食味評価の粘りとの関係について示した。タンパク質含量が高いと炊飯米の硬さが強くなり粘りが弱くなることが認められ，アミロース含量が高いと粘りが弱くなることが認められた。なお，通常年のみに着目すると，タンパク質含量，アミロース含量ともに硬さ，粘りと明確な相関は認められなかった。気象条件によるタンパク質含量の年次変動は小さいが，アミロース含量は冷害年で高くなり，猛暑年で低くなる。すなわち，冷害年，猛暑年ではタンパク質含量とアミロース含量のバランスが崩れることで，炊飯米の物性に大きく影響したと考えられる。一方，通常年ではタンパク質含量とアミロース含量のバランスが保たれ，適度な炊飯米の物性が保たれたことが示唆される。

図 2-9 では各年の食味評価の平均値を評価項目ごとに比較した。統計解析の結果，粘りの評価結果において冷害年と猛暑年での有意差 ($p<0.01$) が示された。一方，通常年と冷害年 ($p=0.11$)，通常年と猛暑年 ($p=0.41$) では粘りの有意差は示されなかった。気象条件の影響により食味評価結果は変動するが，最も影響が大きいのは粘りであることが明らかとなった。

表 2-4 タンパク質含量，アミロース含量と
食味評価との相関係数（3 カ年， $n=65$ ）

	タンパク質 (%)	アミロース (%)	精白米 外観 (-)	炊飯米 外観 (-)	香り (-)	硬さ (-)	粘り (-)
アミロース (%)	-0.05	-					
精白米外観 (-)	-0.24	-0.15	-				
炊飯米外観 (-)	-0.06	0.20	0.44 **	-			
香り (-)	-0.29 *	-0.07	0.24	0.35 **	-		
硬さ (-)	0.48 **	0.13	-0.36 **	-0.21	-0.15	-	
粘り (-)	-0.51 **	-0.39 **	0.23	0.10	0.27 *	-0.57 **	-
総合評価 (-)	-0.31 *	-0.15	0.18	0.28 *	0.34 **	-0.30 *	0.67 **

*: 危険率5%, **: 危険率1%

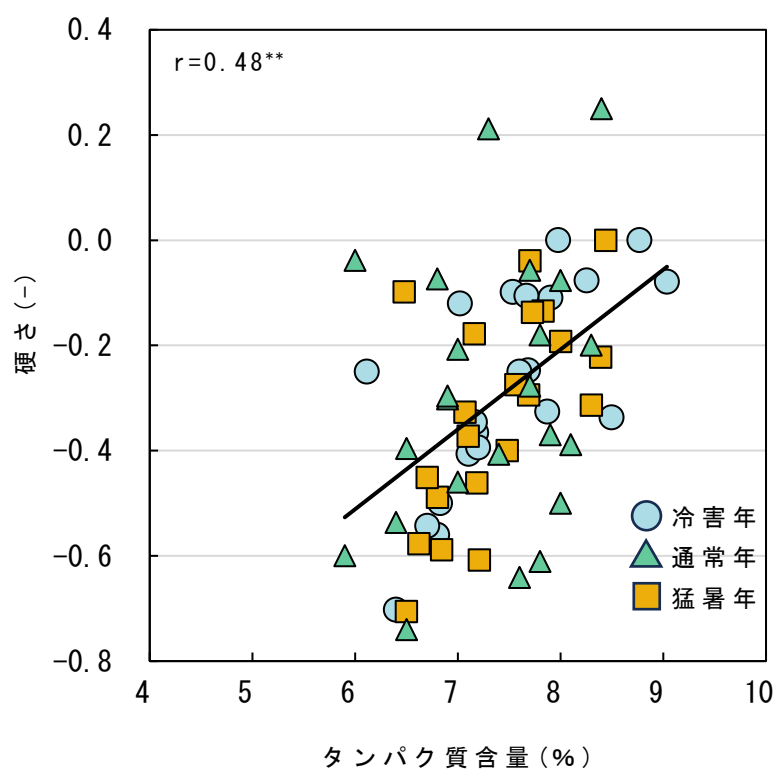


図 2-6 気象条件とタンパク質含量，硬さとの関係
(3 カ年，n=65)

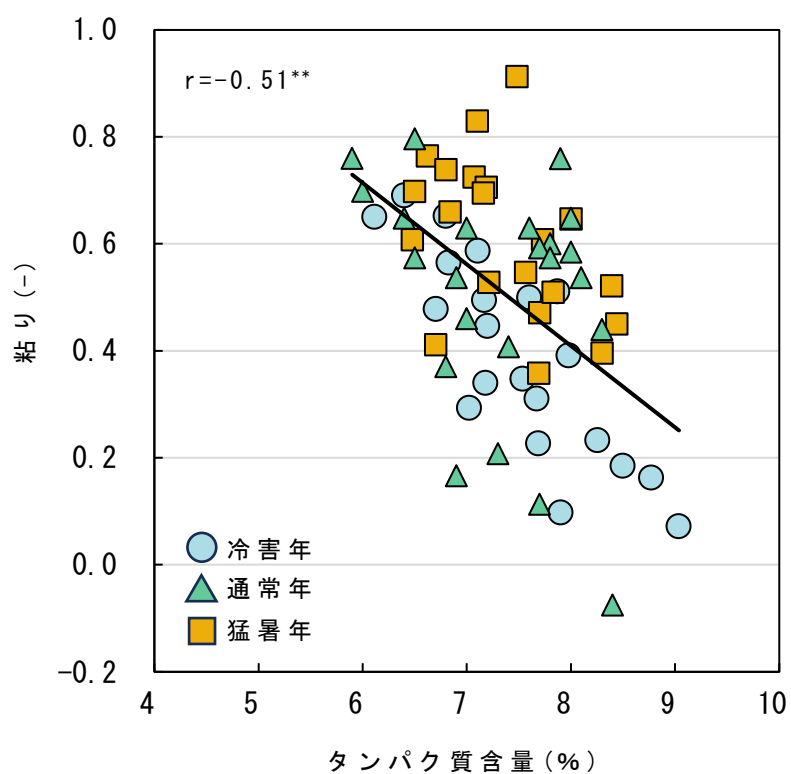


図 2-7 気象条件とタンパク質含量，粘りとの関係
(3 カ年，n=65)

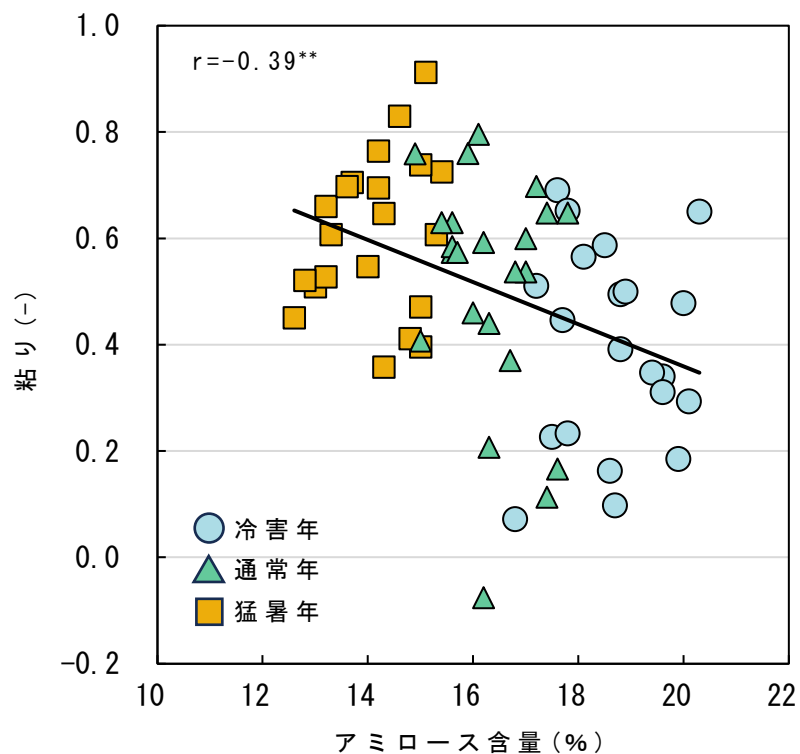
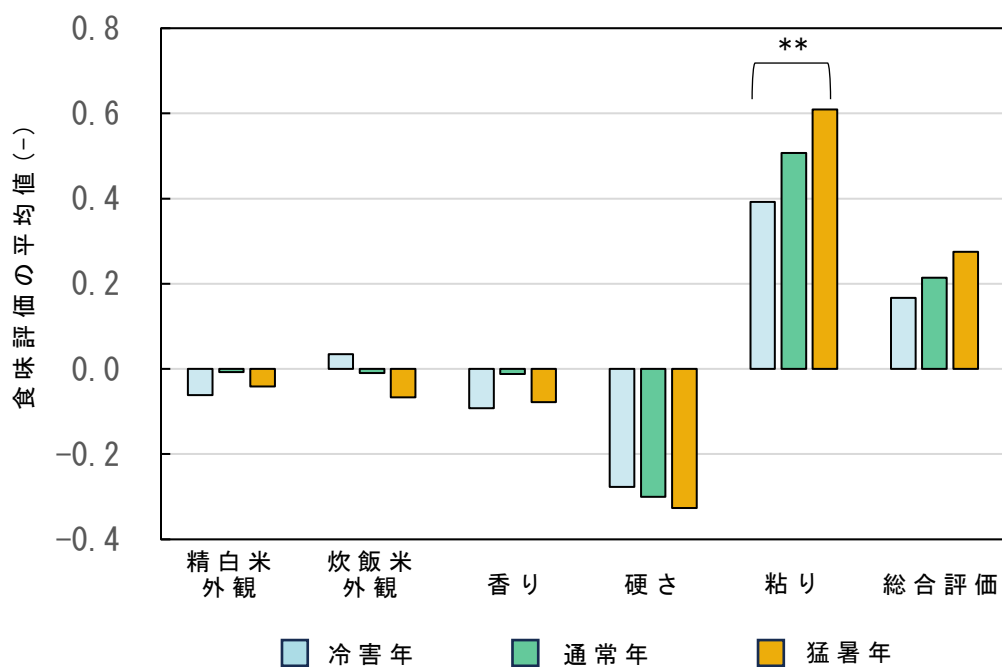


図 2-8 気象条件とアミロース含量，粘りとの関係
(3 カ年，n=65)



平均値が高いほど外観が良く，香りが良く，硬く，粘りが強く，総合評価が高いことを示す
(**:Steel-Dwass 検定， $p < 0.01$)

図 2-9 各年の食味評価項目ごとの平均値

4. 考察

本研究では冷害年，猛暑年，通常年における「ゆめぴりか」の理化学特性と食味評価の年次変動について解析をおこなった。その結果，「ゆめぴりか」のアミロース含量は，タンパク質含量よりも年次変動幅が大きい傾向にあり，気象変動は玄米，精白米および炊飯米の理化学特性に影響を与えた。本研究の範囲ではアミロース含量の変動は食味評価に大きく影響はしない程度であったが，高温登熟に伴うアミロース含量の低下による白未熟粒（いわゆる，“しらた”）の発生には今後も注視する必要があると考えられた。また，冷害年では老化性の指標であるセツトバックが大きくなり，炊飯米が冷めると硬くなりやすい（老化しやすい）品質になることが示された。

食味評価では，タンパク質含量とアミロース含量が炊飯米の食感（硬さ，粘り）に影響を与え，炊飯米の食感は総合評価に影響を与えることが明らかとなった。しかし，通常年のみに着目すると，タンパク質含量とアミロース含量ともに硬さ，粘りと明確な相関は認められなかった。すなわち，冷害年，猛暑年ではタンパク質含量とアミロース含量のバランスが崩れることで，炊飯米の物性に大きく影響するが，通常年ではそれらのバランスが保たれ，適度な炊飯米物性となることが示唆された。さらに，各年の食味評価のうち粘りの評価結果において，冷害年と猛暑年での有意差（ $p<0.01$ ）が示された。このことから，気象条件の影響により食味評価結果は変動するが，最も影響が大きいのは粘りであることが明らかとなった。

世界的に異常気象が頻発し，今後も気象変動が予想される中で，冷害や猛暑などによる食味品質の変動幅を把握し，対策を講じることは重要である。本研究により，「ゆめぴりか」のような低アミロース系統品種は，生育時の気象の影響を受けやすく，粘りの年次変動が大きい可能

性が示された。このような低アミロース系統品種を高品質かつ安定的に生産していくためにはロット毎にタンパク質含量およびアミロース含量を測定し、適切なブレンドをおこなうこと、また、炊飯時の加水倍率を調整することなどが対応策の一つとして挙げられる。

5. 要約

本研究では冷害年、猛暑年、通常年の異なる気象条件下で栽培された北海道米「ゆめぴりか」の理化学特性と食味評価の年次変動を解析した。気象変動は玄米、精白米および炊飯米の理化学特性に影響を与えた。糊化特性試験結果から、冷害年は炊飯米が老化しやすい品質になることが明らかとなった。冷害年と猛暑年ではタンパク質含量とアミロース含量のバランスが崩れ、炊飯米の物性に影響を与えることが示唆された。食味評価項目のうち、気象条件による変動が最も大きいのは炊飯米の粘りであり、冷害年と猛暑年で有意差 ($p<0.01$) が示された。気象変動が激しさを増す中で、気象条件による食味品質の変動を把握しておくことが高品質な「ゆめぴりか」を安定生産するために重要と考えられた。特に、「ゆめぴりか」のような低アミロース系統品種は気象の影響を受けやすく、粘りの年次変動も大きいため、タンパク質含量およびアミロース含量に基づくブレンドや炊飯条件の調整等の対応も必要と考えられる。

第3章 近赤外分光法による米アミロース含量の非破壊測定技術の共乾施設や精米工場における実装

1. 目的

米飯の食味は、その硬さや粘りをはじめとする食感に大きく影響される（江幡ら，1982）。さらに、タンパク質含量とアミロース含量は、米飯の食感や味に影響を与える重要な要素である（大坪，1995；岡留ら，1999；飯野ら，2023）。

北海道で栽培されている低アミロース系統品種の「ゆめぴりか」は、最も良食味な品種の一つとして広く知られ（黒木ら，2015），高品位な「ゆめぴりか」の品質・食味管理目標値は、アミロース含量が19%未満の場合はタンパク質含量が7.5%未満であり、アミロース含量が19%以上の場合はタンパク質含量が6.8%以下と定められている（川村ら，2013d；長田ら，2013）。そのため、米の共同乾燥調製貯蔵施設（共乾施設）や精米工場などの生産現場および流通過程においてタンパク質含量とアミロース含量を迅速かつ高精度に測定することが求められている。

近赤外分光法（Near Infrared Spectroscopy：NIRS）は1990年代半ばから米品質の非破壊測定技術として利用されており、米のタンパク質含量や水分含量を短時間で簡易に測定することが可能である（Natsuga et al, 2006）。北海道では1999年に米の自動品質検査システムが開発され共乾施設に実装された。このシステムは、可視光を利用した米の組成分析計（可視光分析計、穀粒判別器）と近赤外光を利用した成分分析計（近赤外分析計）とを組み合わせたもので、米の品質仕分のために共乾施設に導入された（Kawamura et al, 2003；Li et al, 2013）。この品質仕分は共乾施設ではタンパク仕分と呼ばれている。こうした品質仕分技術は、米品

質に対する生産農家の意識を高め、その結果として、国内の米市場における北海道産米の品質評価が徐々に向上した。現在では国内の主要米産地にタンパク仕分が波及しており、国産米全体の品質向上に貢献している。

一方、アミロース含量はヨウ素呈色比色法による従来の化学分析法が主たる測定方法であるが、測定操作は煩雑であり作業効率が低い。したがって、米の生産現場でアミロース含量を測定するために、近赤外分光法を用いた非破壊測定技術が求められている（川村，2002；Natsuga et al, 2006；Kondo et al, 2013；川村，2017）。米の自動品質検査システムを用いたタンパク質含量の測定は、予測標準誤差（Standard Error of Prediction：SEP）が約0.1%であるのに対し（Li et al, 2013），従来の研究では近赤外分光法を用いたアミロース含量の測定はSEPが1%以上であり（Delwiche et al, 1995；Natsuga et al, 2006；Torit Baran et al, 2016），米生産現場で使用するには精度が低いことが大きな課題であった。Olivares Díazら（2019a, 2019b, 2022）は、近赤外分析計と穀粒判別器を組み合わせることで、アミロース含量の測定精度が大幅に向上することを示した。ただし、この方法では両機器の校正が必要であるほか、2段階の検量線も必要で測定手順が複雑となる。そのため、アミロース含量測定の簡略化には、近赤外分析計のみを使用する米の品質検査システムが必要とされている。このような状況の中、従来の近赤外分析計よりも波長分解能が高く、自動波長校正機能を持ち、受光素子の精密温度制御をおこなう高性能な近赤外分析計が新たに開発された（青島，2020）。

本研究の目的は、この新たな近赤外分析計を用いて米のアミロース含量を高精度かつ安定的に測定するための新しい検量線モデルを開発し、それを共乾施設や精米工場に実装することである。米のアミロース含量の非破壊測定は、米の自動品質検査システムの高性能汎用化につながり、さらに

小麦やトウモロコシなど，他の穀物への応用を拡大することが期待される。

2. 方法

(1) 供試試料

表 3-1 に供試試料を示した。試料は 2013 年から 2021 年にかけて北海道全域から収集したうるち米 14 品種で，合計 868 点である。この試料は遺伝的特徴によって一般うるち系統品種と，低アミロース系統品種に分けられる（尾崎ら，2018）。「ゆめぴりか」，「おぼろづき」は低アミロース系統品種で，残りの 12 品種は一般うるち系統品種である。供試試料のうち，2013 年～2018 年産米の 597 点を検量線作成試料とし，2019 年～2021 年産米の 271 点を精度検証用試料とした。すなわち，検量線作成試料に対して精度検証試料はいわゆる未知試料（未来の生産年の試料）である。

表 3-1 供試試料（品種および生産年ごとの精白米のアミロース含量）

Sample set	Year of production	Ordinary amylose variety line												Low-amylose variety line		Mean value within production year		
		<i>Emi-mar</i>	<i>Kita-kurin</i>	<i>Kirara-397</i>	<i>Sora-yuki</i>	<i>Sora-yutaka</i>	<i>Daichi-nohoshi</i>	<i>Nana-tsuboshi</i>	<i>Fukku-rinko</i>	<i>Hoshi-noyume</i>	<i>Hoshi-mar</i>	<i>Yuki-sayaka</i>	<i>Yuki-hikari</i>	<i>Oboro-zuki</i>	<i>Yume-pirika</i>	n	Range (%)	Mean (%)
Calibration set	2013	–	19.5	19.5	–	–	19.6	18.6	18.8	20.2	–	–	–	13.8	14.2	100	13.8–20.2	18.0
	2014	–	20.7	20.8	–	–	21.7	19.9	20.8	21.6	–	–	21.2	15.3	16.3	99	15.3–21.7	19.8
	2015	–	21.4	21.7	23.0	–	23.4	20.2	21.0	22.6	–	–	–	14.3	16.8	114	14.3–23.4	20.5
	2016	–	19.8	20.3	19.4	–	21.0	19.1	19.9	20.5	20.0	–	–	13.9	15.5	102	13.9–21.0	18.9
	2017	–	22.2	22.8	22.8	–	23.7	21.6	22.4	–	22.6	19.8	–	17.8	19.2	96	17.8–23.7	21.5
	2018	–	21.7	22.0	22.7	–	–	20.8	21.4	22.2	22.8	–	–	–	18.2	86	18.2–22.8	21.4
Validation set	2019	19.4	20.4	20.8	21.0	–	22.4	19.7	20.5	21.2	–	–	21.8	16.9	16.2	106	16.2–22.4	20.0
	2020	19.3	20.4	20.3	–	–	–	19.4	20.2	–	–	–	–	–	15.6	75	15.6–20.4	19.2
	2021	18.4	20.5	21.3	–	22.6	–	19.8	20.6	20.7	–	–	–	13.8	15.0	90	13.8–22.6	19.2
Mean value within variety	n	8	44	93	20	3	28	246	84	24	13	1	2	30	272	868		
	Range (%)	18.4–19.4	19.5–22.2	19.5–22.8	19.4–23.0	22.6	19.6–23.7	18.6–21.6	18.8–22.4	20.2–22.6	20.0–22.8	19.8	21.2–21.8	13.8–17.8	14.2–19.2		13.8–23.7	–
	Mean (%)	19.0	20.7	21.1	21.8	22.6	21.9	19.9	20.6	21.3	21.8	19.8	21.5	15.1	16.3		–	19.9

（２）供試機器

図 3-1 に供試した近赤外分析計（静岡製機㈱製，SGE シリーズ）を示した。前述の通り，北海道では 1999 年から近赤外分析計と可視光分析計からなる米の自動品質検査システムが実用化されている（Kawamura et al, 2003）。本機はシステム導入以降の第五世代機で，2016 年から市販されている（Olivares Díaz et al, 2019a ; Olivares Díaz et al, 2019b ; Olivares Díaz et al, 2022）。従来機に対する本機の特徴として，有効波長域 800 nm～1100 nm，米の光路長 30 mm で波長分解能に優れ，波長自動校正機能を備えるほか，温度変動による外乱要因（ノイズ）を低減し，試料の受光面積が拡大されたことなどが挙げられる（青島，2020）。さらに本機による米の水分およびタンパク質含量の測定精度は非常に高く，測定中の周囲環境温度の変動（10℃～35℃）に対する安定性の高さが報告されている（川村，2016）。



図 3-1 供試した近赤外分析計（静岡製機製 SGE シリーズ）の外観

(3) 試験方法

図 3-2 に試験のフローチャートを示した。試料として 4 種類（生粳，乾粳，玄米，精白米）を採取した。生粳は，テストドライヤ（讃光工業(株)製，SD-30T）を用いて水分含量が 14%～15%（湿量基準）になるまで乾燥させた。玄米はインペラ粳摺機（大竹農機(株)製，FC2K）を用い，乾粳を玄米表面に傷がつかないように 3500 rpm で粳摺りして得た（Olivares Díaz et al（2019a，2019b，2022））。精白米は，竪型摩擦式精米機（山本製作所製，VP-32T）を用いて，玄米を搗精歩留 90.5%±0.2%に調製して得た。玄米および精白米 400 g の近赤外スペクトルを 3 反復測定し，各測定値は 7 回連続スキップの平均とした。各試料の測定時間はおおよそ 30 秒間で，試料の粉碎などの前処理は行わなかった。また，測定中の米試料および近赤外分析計の温度は室温（20℃～25℃）に保たれていた。

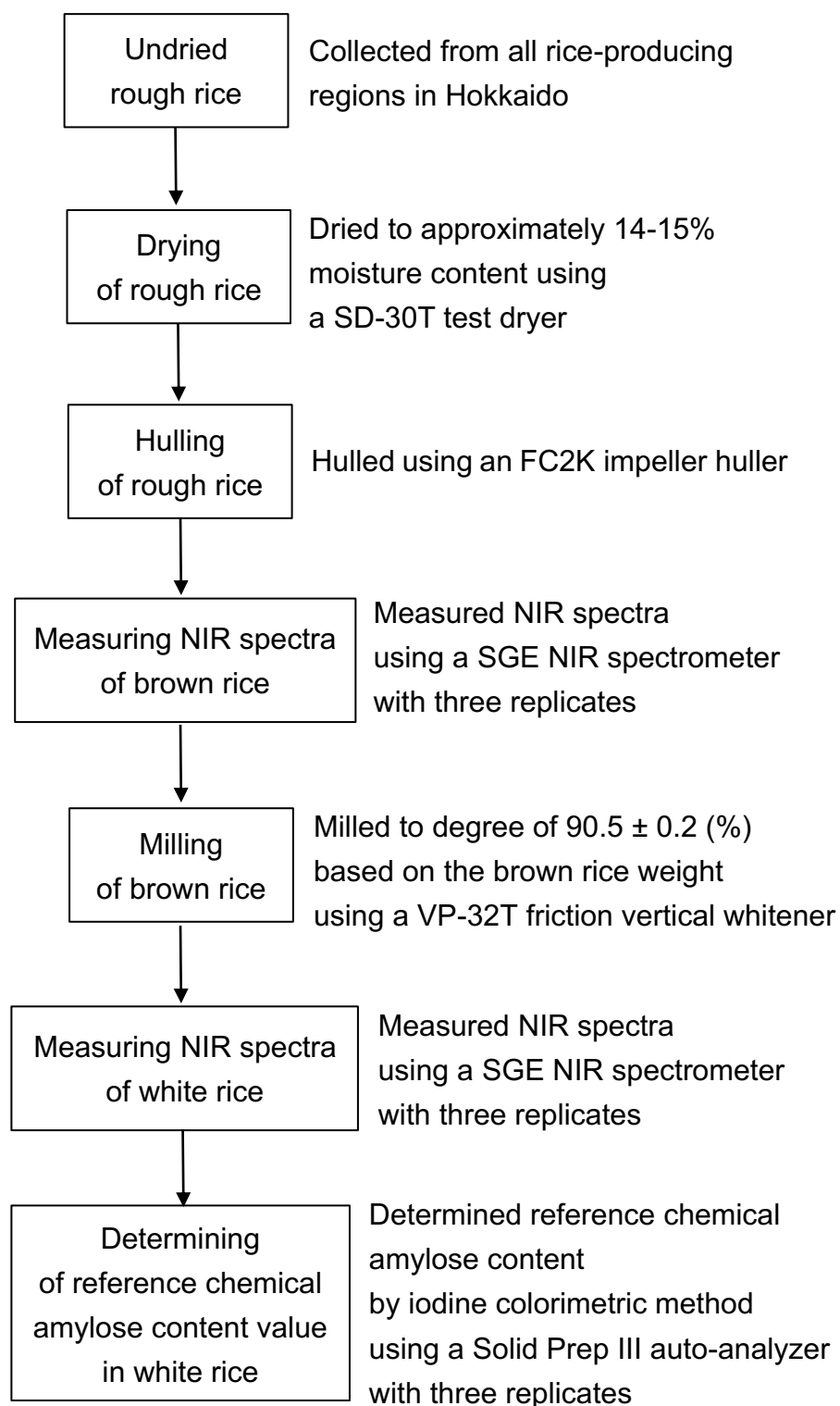


図 3-2 試験のフローチャート

（４）精白米のアミロース含量の化学分析

精白米のアミロース含量は、オートアナライザ（ビーエルテック㈱製，Solid Prep III）を用いたヨウ素呈色比色法により測定した。すなわち，精白米をテストミル（ブラベンダー社製）で粉碎し，50 メッシュの篩でふるい，網下の精白米粉を水酸化ナトリウム水溶液で溶解した。その後85℃でゲル化させ，ヨウ素水溶液と混合し分光光度計で波長 620 nm の吸光度を測定した。アミロース含量算出のための標準品には，「そらゆき」（アミロース含量 20.8%）と「はくちょうもち」（アミロース含量 0.0%）の米粉を用いた。各試料のアミロース含量は同一試料に対して 3 反復測定した。反復測定の標準誤差は 0.2%～0.3%であった。

（５）検量線の作成と測定精度の検証

Moving Window Partial Least Squares (MW-PLS) 回帰アルゴリズムを用いてデータ解析を行い，検量線を作成した。MW-PLS の解析プログラムは C 言語で作成した。MW-PLS は測定した全波長領域において，これより狭い波長領域をスペクトルの窓（Window）とし，この窓を移動（Moving）させて PLS 回帰分析を行う。スペクトルの窓は最少 20 nm，最大 280 nm とし，スペクトルデータ内を段階的に 2 nm 毎移動して順次 PLS 回帰分析を行う。その結果，最適な波長領域が特定される。MW-PLS はノイズの低減，スペクトルからの特徴抽出，高精度なデータ解析を行い，検量線の精度の向上を図ることを可能とする。MW-PLS については，Pelliccia（2019）が簡潔に解説している。

既往の研究では，米のアミロース含量測定のために全波長領域を使用する PLS 回帰分析や，PLS と重回帰分析の組み合わせによる二段階検量線の開発，近赤外光と可視光および米の物性データの組み合わせなど，さまざまな解析手法が検討されてきた（Olivares Díaz et al（2019a, 2019b, 2022））。MW-PLS 解析手法は既往の方法に比べて解析コンピュータの

高い処理能力を必要とするが、測定精度の向上という点で効果的である。

図 3-3 に検量線作成と測定精度検証のフローチャートを示した。一般うるち系統品種と低アミロース系統品種について、玄米と精白米それぞれのアミロース含量測定のために、4 つの検量線モデルを開発した。検量線作成には 2013 年～2018 年産米を用い、その検量線の測定精度検証のために 2019 年～2021 年産米の未知試料（検量線作成試料に対して未来の生産年の試料）を用いた。これら 4 つの検量線モデルは、玄米と精白米の透過光スペクトルを MW-PLS により分析し、ヨウ素呈色比色法により化学測定した精白米のアミロース含量を予測する。また、透過光スペクトルの二次微分などの前処理は行わず、原スペクトルを使用した。最適化されたモデルは、玄米と精白米、一般うるち系統品種と低アミロース系統品種の 4 つの組み合わせごとに、MW-PLS によって最適な波長範囲および最適な PLS コンポーネント数を決定した。

決定係数（ r^2 ），測定誤差（バイアス），測定誤差の標準偏差（Standard Error of Prediction：SEP），アミロース含量の化学分析値の反復測定誤差の標準偏差に対する SEP の比（Ratio of SEP to Standard Deviation of Chemically Measured Amylose Value：RPD）などの測定精度を示す指標を、近赤外分析計で予測したアミロース値と実測したアミロース化学分析値を用いて算出した。 r^2 ，バイアス，SEP，RPD などの計算式は Olivares Díaz ら（2019a, 2019b, 2022）が詳述している。

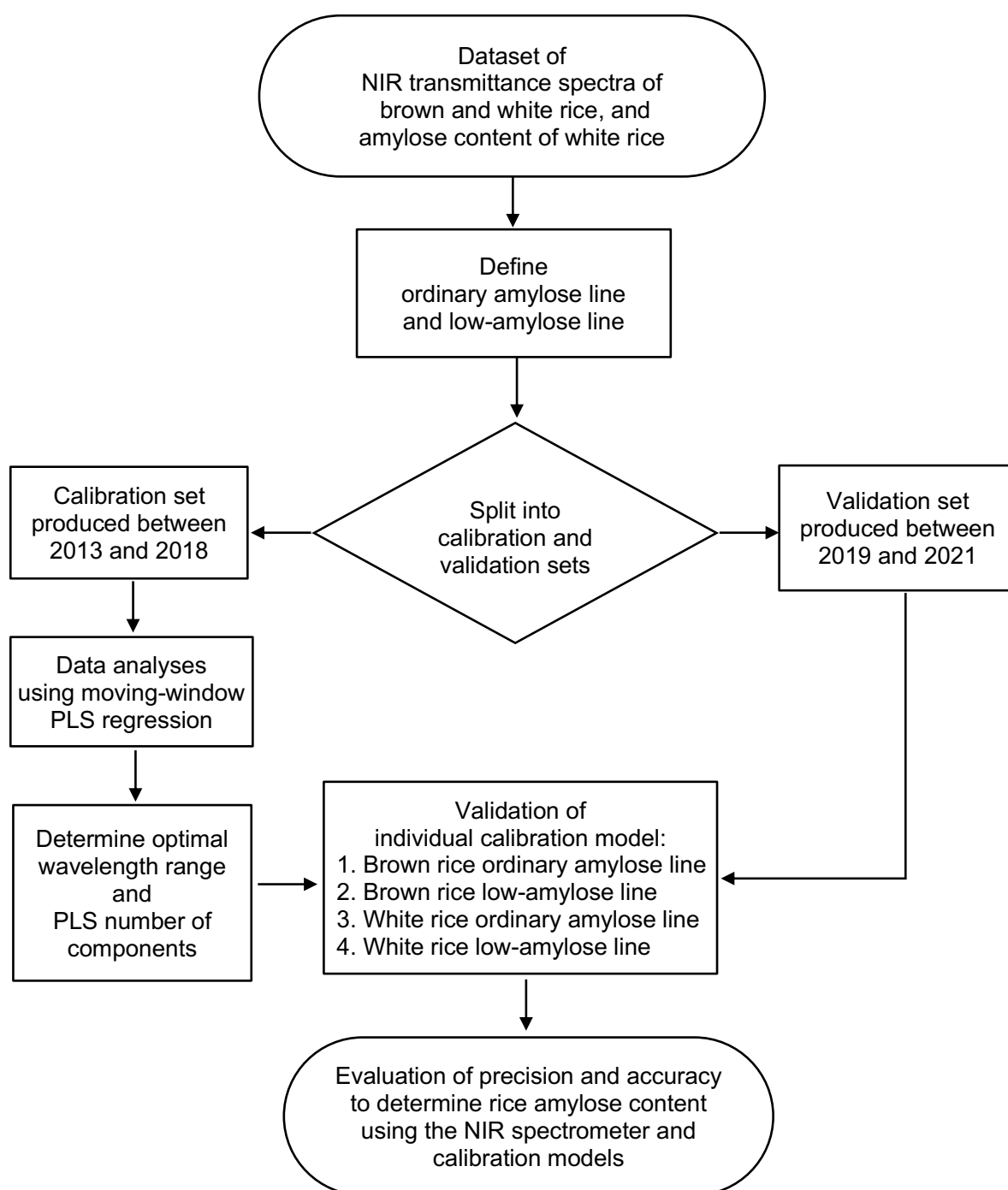


図 3-3 検量線作成および精度検証のフローチャート

3. 結果

(1) 供試試料のアミロース含量の化学分析値

米のアミロース含量は生産年，品種，登熟期の気温によって大きく異なる（Olivares Díaz et al, 2020）。本試験でも低アミロース系統品種のアミロース含量は，一般うるち系統品種に比べて 3%～6%低かった（表 3-1）。品種ごとのアミロース含量の平均値は，「おぼろづき」で 15.1%と最も低く，「大地の星」で 21.9%と最も高かった。すなわち，各系統の遺伝形質によりアミロース含量が大きく異なる（舘山ら，2005）ことから，低アミロース系統品種と一般うるち系統品種のそれぞれで検量線を開発する必要があると考えた。

図 3-4 に北海道米主要 4 品種のアミロース含量の年次変動を示した。一般うるち系統品種「ななつぼし」，「きらら 397」，「ふっくりんこ」の年次変動は 3.0%～3.6%であるのに対し，低アミロース系統品種「ゆめぴりか」の年次変動は 5.0%と大きかった。一般に，冷害年でアミロース含量が高く，猛暑年で低くなるとされる（松江ら，2002）。舘山ら（2005）と同様に，遺伝的形質により低アミロース系統品種は一般うるち系統品種よりも登熟期の気温によるアミロース含量の変動が大きいことが本試験により示された。

図 3-5(a)～(d)に検量線作成試料および精度検証試料のアミロース化学分析値の頻度分布を示した。一般うるち系統品種，低アミロース系統品種ともに検量線作成試料のアミロース含量の分布は精度検証試料の分布を包含していた。つまり本試験では，2013 年から 2018 年に生産された 6 年間のアミロース含量の年次変動を有する試料を用いて検量線を作成したことにより，2019 年～2021 年の未知試料の年次変動に対応するロバストな検量線が作成できたと考えられる。

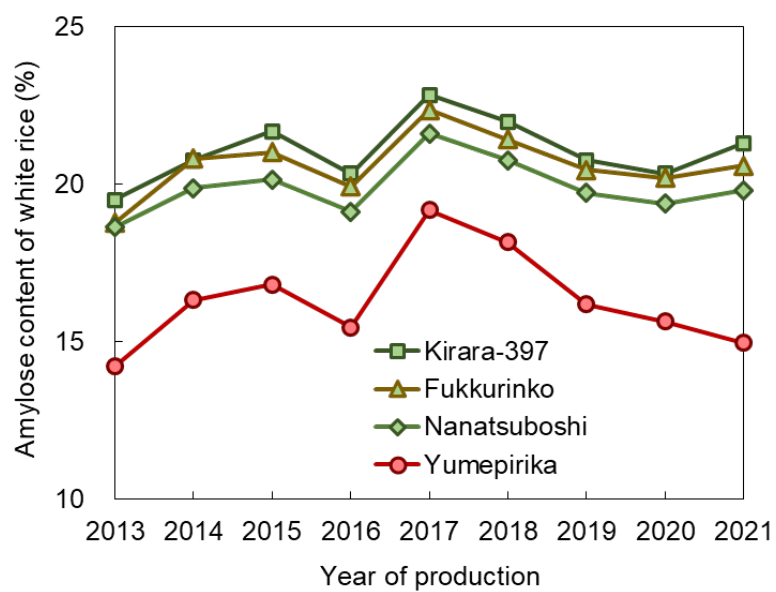


図 3-4 北海道米主要 4 品種のアミロース含量の年次変動

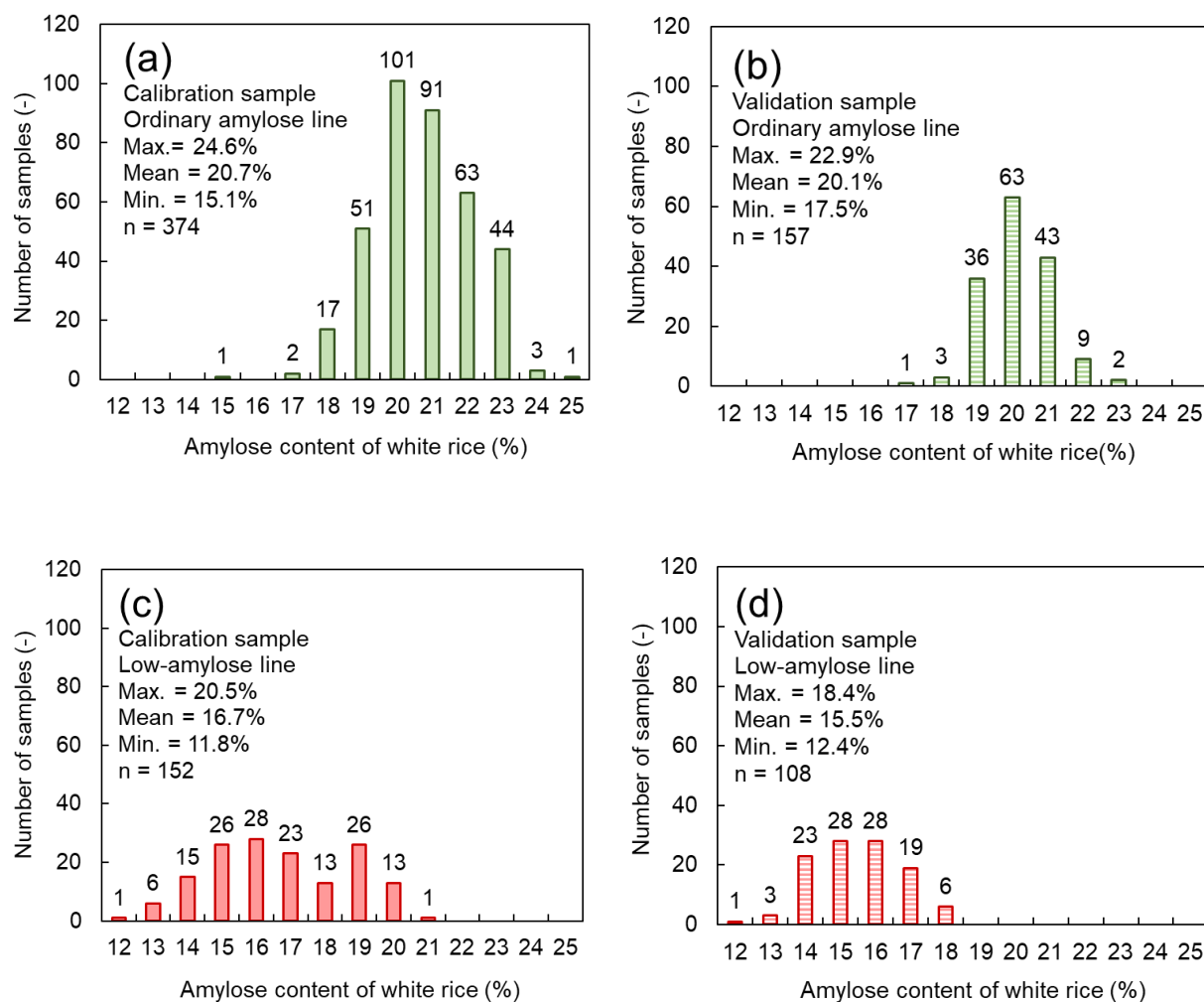


図 3-5 アミロース化学分析値の頻度分布

- (a) 一般うるち系統品種の検量線作成試料(2013～2018 年産米)
- (b) 一般うるち系統品種の精度検証試料(2019～2021 年産米)
- (c) 低アミロース系統品種の検量線作成試料(2013～2018 年産米)
- (d) 低アミロース系統品種の精度検証試料(2019～2021 年産米)

(2) Moving Window Partial Least Squares (MW-PLS) による最適波長範囲の選定と PLS コンポーネント数

図 3-6 に 2020 年産の玄米と精白米の近赤外スペクトルを示した。また、図 3-7(a), (b)に玄米（一般うるち系統品種）および精白米（低アミロース系統品種）の検量線作成試料のクロスバリデーションの標準誤差（Standard Error of Cross validation: SEC）マッピング（キャリブレーションサンプルセットマッピング）を示した。MW-PLS のアルゴリズムにより、全波長範囲（800 nm～1100 nm）の中から最も情報量の多い（SEC が低い）波長範囲を特定し、検量線作成に使用する開始波長と終了波長のパラメータを選定した。その結果、玄米のスペクトルでは 982 nm～1082 nm の 100 nm の波長範囲で、精白米のスペクトルでは 870 nm～1010 nm の 140 nm の波長範囲で、より高い精度（すなわち、より低い SEC）が得られると判断した。玄米と精白米において波長範囲が異なるのは、米粒表面の糠層と胚芽の有無による影響であると考えられる。搗精により玄米から糠層と胚芽が取り除かれるが、完全に除去されるものではない。そのため玄米と精白米の間には、特に 982 nm～1010 nm の範囲において波長の重複が生じている。これは 986 nm と 1004 nm のそれぞれにデンプンとセルロースの吸収波長が存在する（Williams et al, 2019）ためであると考えられる。

図 3-8 (a), (b) に玄米と精白米の最適波長範囲における PLS コンポーネント数と SEC を示した。玄米と精白米において PLS コンポーネント数が 1 の場合、SEC が 3%以上となり、アミロース含量の測定精度が非常に低いことが明らかである。PLS コンポーネント数が 2 に増加すると SEC は大きく低下し、さらにコンポーネント数が増加すると SEC は徐々に低下していく。しかしながら、PLS コンポーネント数が 15 を超えると、顕著な SEC の低下（すなわち、精度の向上）は示されなかった。PLS コン

ポーネント数が過剰になると検量線モデルのオーバーフィッティング（多重共線性）の発生が懸念される（Martens et al, 2001）。したがって、玄米および精白米ともに PLS コンポーネント数は 10 が最適であると判断した。

図 3-9（a）と（b）に，選定した最適波長域と PLS コンポーネント数で作成した検量線モデルの回帰係数を，玄米と精白米および一般うるち系統品種と低アミロース系統品種の 4 つの組合せで示した。玄米と精白米それぞれにおいて，一般うるち系統品種と低アミロース系統品種の検量線モデルの回帰係数の類似性が認められた。また回帰係数スペクトルの滑らかさから適切な検量線モデルであることが確認でき，これは作成した検量線によるアミロース含量の予測精度が高いことを示唆するものである。

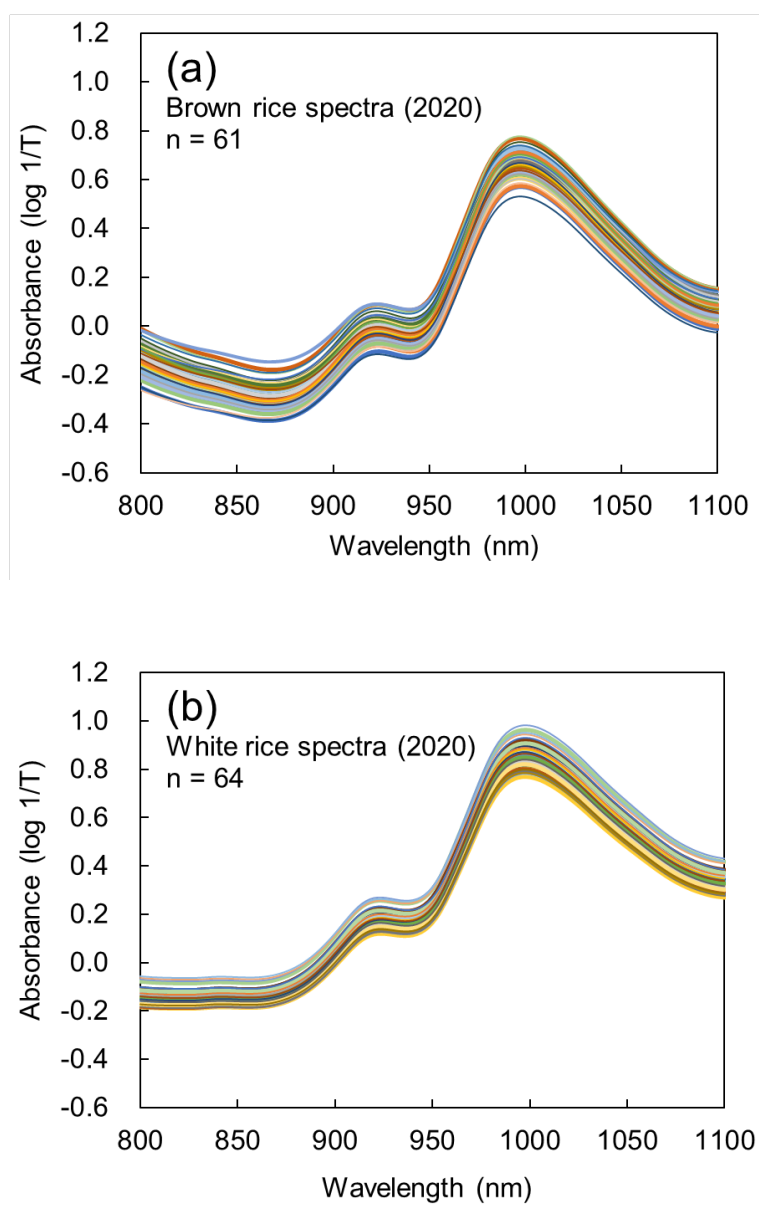


図 3-6 2020 年産の玄米と精白米の近赤外スペクトル

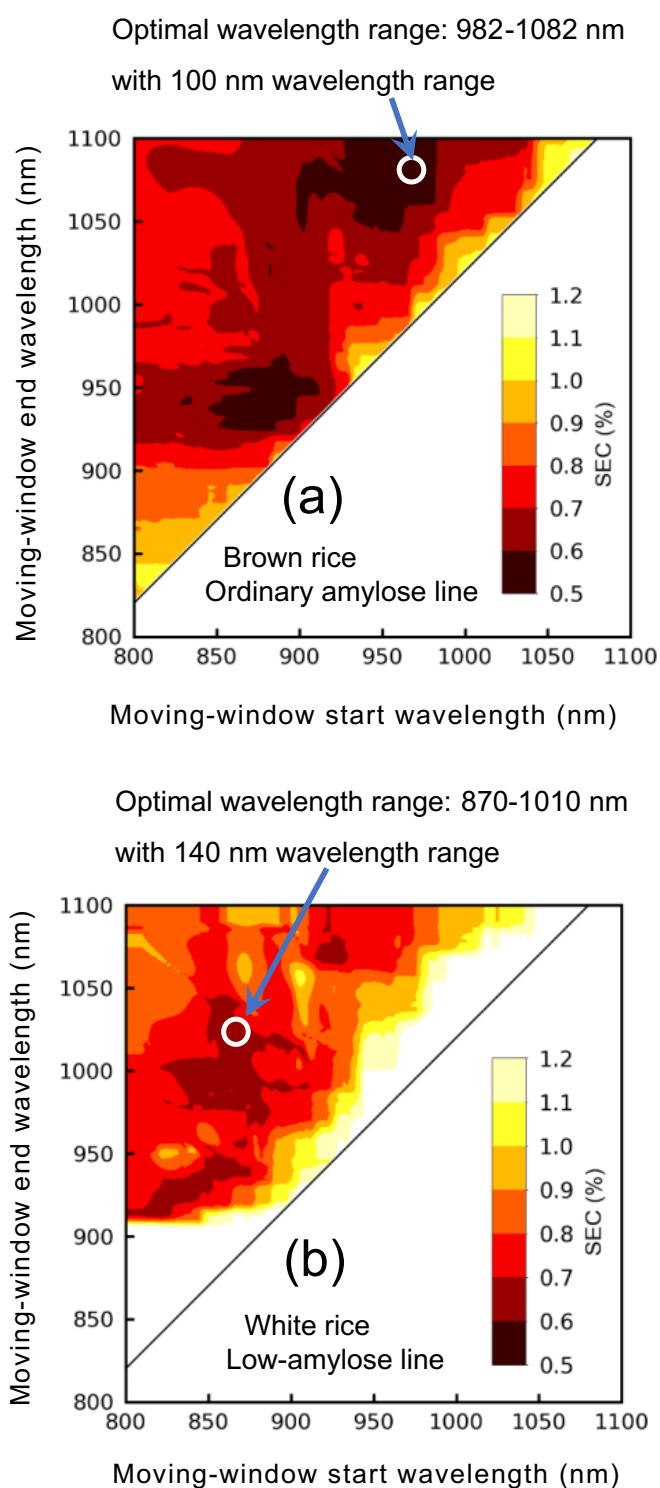


図 3-7 MW-PLS による最適な開始波長と終了波長の選定

(a) 玄米（一般うるち系統品種）

(b) 精白米（低アミロース系統品種）

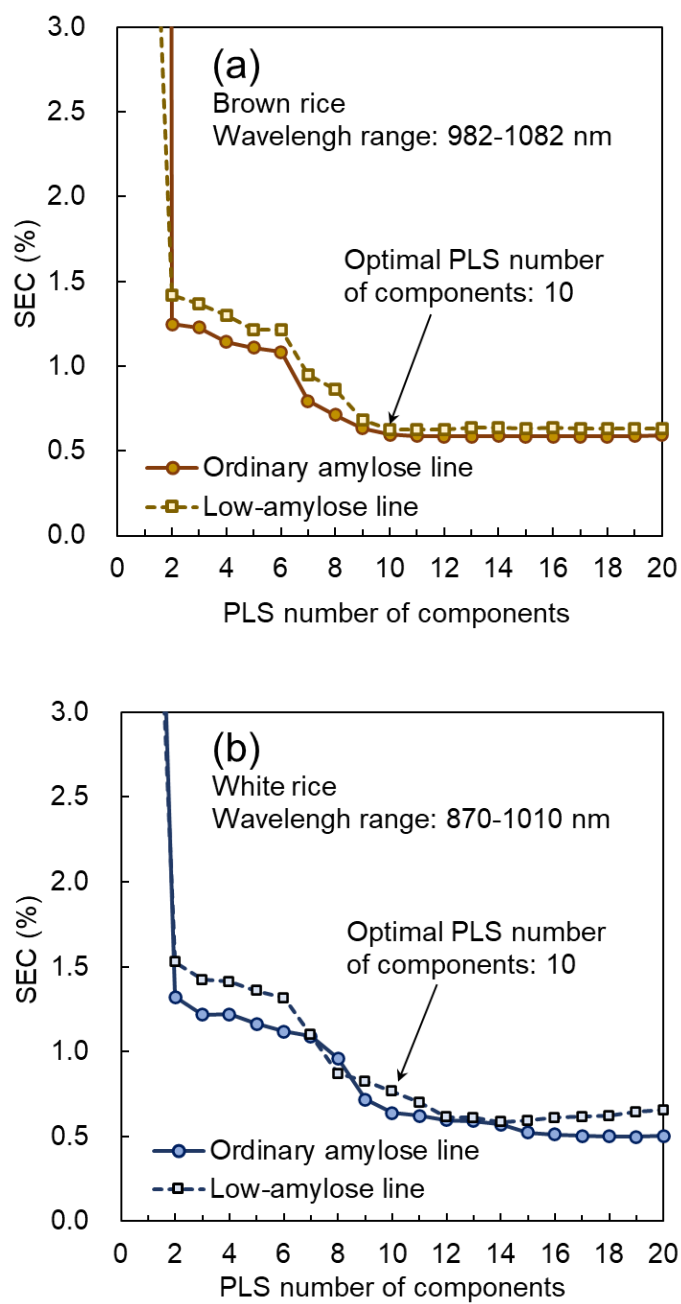


図 3-8 検量線モデルの PLS コンポーネント数の選定 : (a) 玄米, (b) 精白米

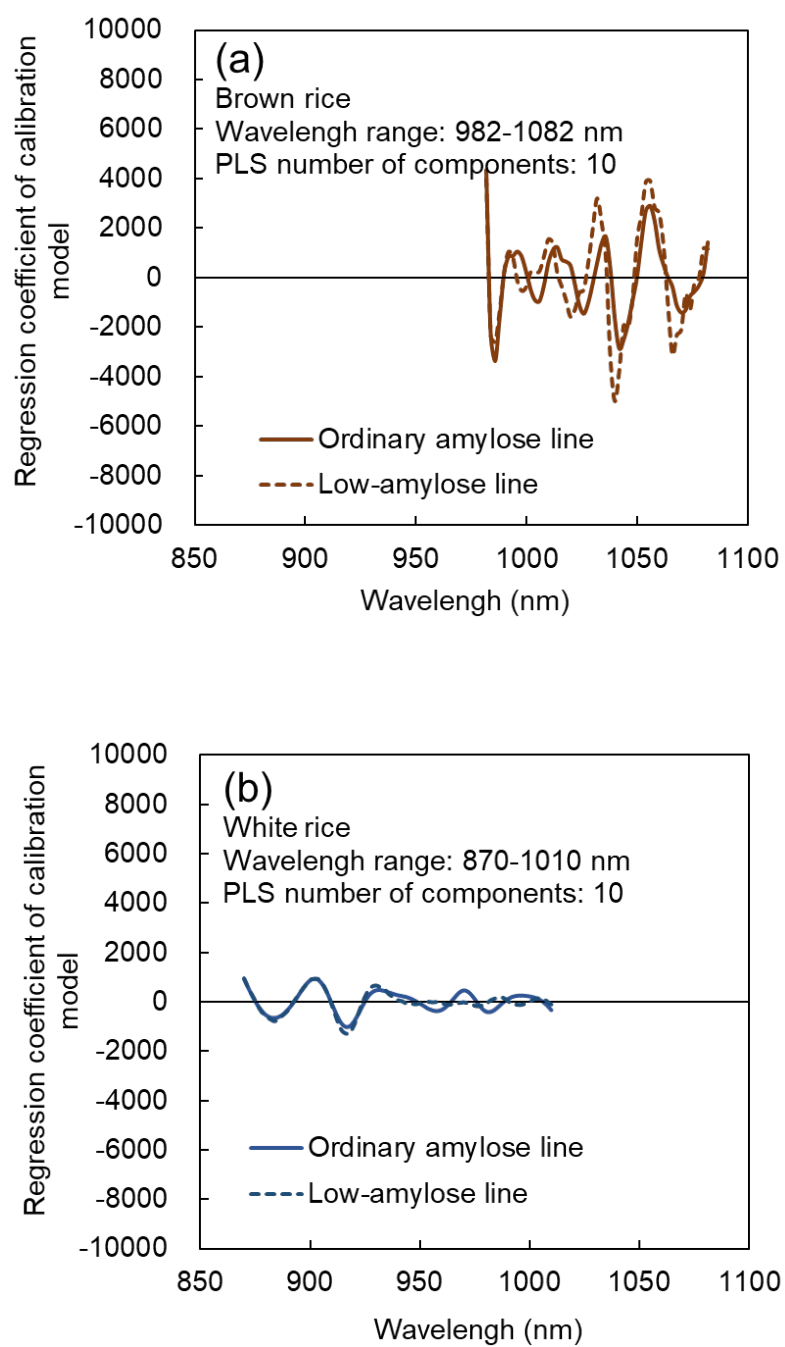


図 3-9 検量線モデルの回帰係数

(a) 玄米, (b) 精白米

(3) 検量線の測定精度

図 3-10(a)に、玄米を測定対象として一般うるち系統品種と低アミロース系統品種の2本の検量線で精白米のアミロース含量を求めた場合（玄米モデル）の精度を示した。また図 3-10(b)に、精白米を測定対象として一般うるち系統品種と低アミロース系統品種の2本の検量線で精白米のアミロース含量を求めた場合（精白米モデル）の精度を示した。玄米を測定対象とした場合、 r^2 は0.97で、バイアスは0.36%，SEPは0.45%，RPDは5.80であった（図 3-10 (a)）。同様に、精白米を測定対象とした場合、 r^2 は0.96で、バイアスは0.09%，SEPは0.48%，RPDは5.26であった（図 3-10 (b)）。すなわち、玄米と精白米の検量線モデルの精度は同等であった。

一方で、800 nm～1100 nm の全波長域を用いて検量線を作成すると、玄米モデルでは r^2 は0.82、バイアスは1.21%，SEPは1.19%，RPDは2.19であった。同じく全波長域で検量線を作成すると、精白米モデルでは r^2 は0.67、バイアスは0.83%，SEPは1.82%，RPDは1.42であった。これらの結果は、全波長域を使用するのではなく、波長範囲を最適化することで検量線モデルの精度が向上する（Ozaki et al, 2021）ことを示している。したがって、MW-PLS アルゴリズムは、アミロース含量を測定するための高精度な検量線モデルの開発に適していると考えられる。

玄米と精白米の両モデルの統計解析の結果、標準誤差 SEP は0.4%～0.5%であり（図 3-10 (a), (b)），米の生産現場においてアミロース含量を測定するために求められる標準誤差 1%よりもはるかに高い精度（すなわち低い SEP）が示された。また、アミロース含量の化学分析における同一試料反復測定の標準誤差が0.2%～0.3%であることを考慮すると、本研究で示した標準誤差は十分に低く、実用可能な精度である。したがって、

本研究で供試した近赤外分析計と開発した検量線は、従来の近赤外分析計と検量線（Olivares Díaz et al (2019a, 2019b, 2022)）より安定した高精度なアミロース含量測定が可能であることを示している。

2019年から2021年までの3年間に採取された未知試料の測定精度は各年ともに同等であった。玄米と精白米のRPDはいずれも5~6であり、本研究で開発した検量線モデルが米の品質管理やスクリーニングに適している（Williams et al, 2001）ことが示された。この結果は、米のアミロース含量非破壊測定のための、安定してロバストかつ高精度で実用的な検量線モデルの開発において近赤外分光法が有用であることを示している。さらに、供試した近赤外分析計の性能は、米の生産現場に既に導入されている米の自動品質検査システムの近赤外分析計の更新の有効性も示唆している。本研究で供試した近赤外分析計と開発したアミロース含量測定の検量線モデルは、北海道の共乾施設や精米工場で既に使用され始めており、加えて、日本各地の米生産現場でも導入が進んでいる。

米のポストハーベスト工程において品質検査は共乾施設や精米工場でそれぞれ玄米や精白米を対象に実施される。本研究で開発した検量線モデルの精度は、測定対象（玄米、精白米）に関わらず安定していた。したがって、共乾施設から出荷される玄米と精米工場から出荷される精白米の両方について、タンパク質含量やアミロース含量などの栄養成分および品質に関して信頼性の高い情報を提供することが可能となる。

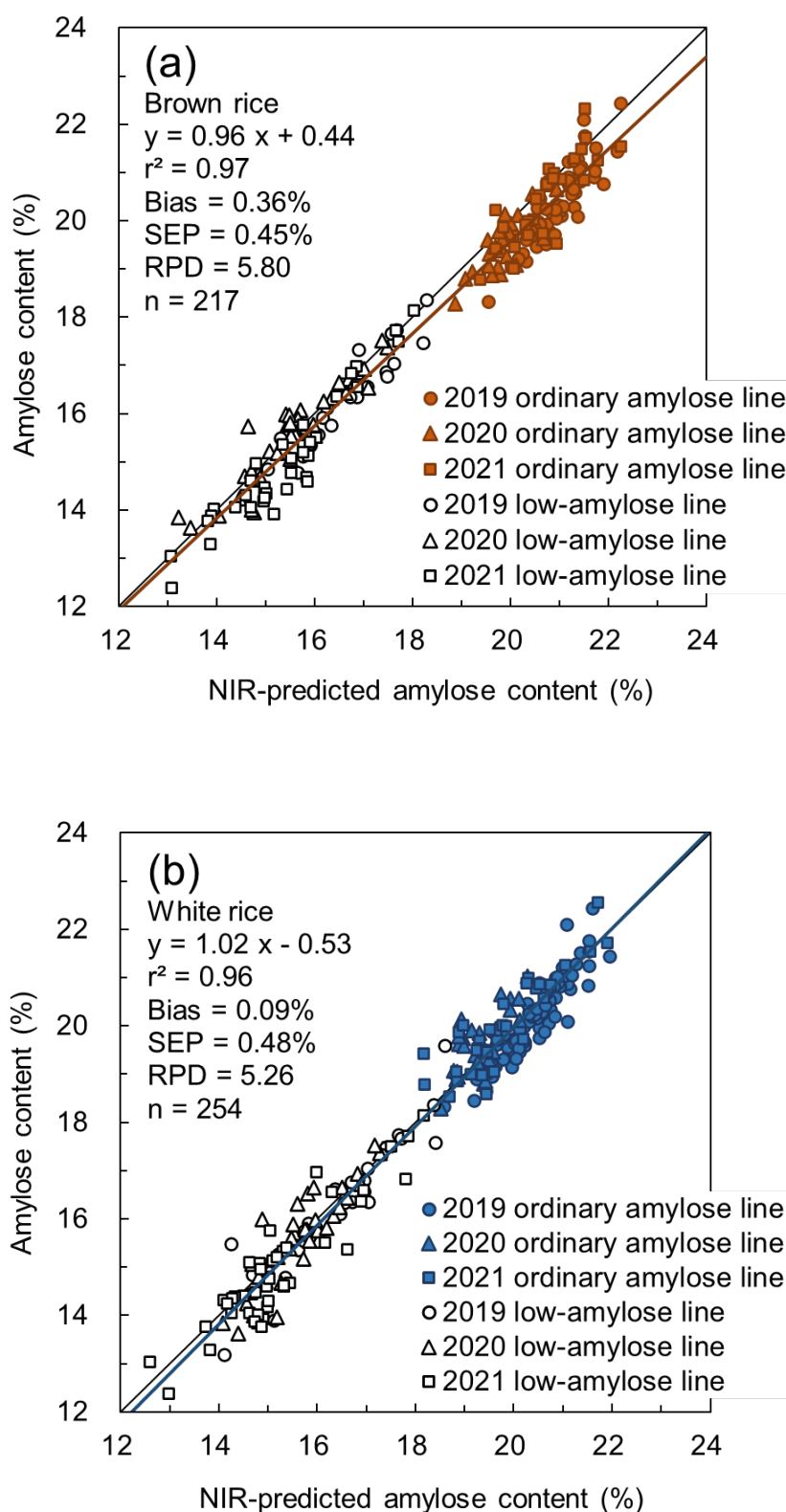


図 3-10 アミロース含量の測定精度

(a) 玄米モデル, (b) 精白米モデル

4. 考察

(1) 測定精度向上の要因

本研究では、新たに開発した近赤外分析計を供試し検量線を開発することで、従来の近赤外分析計と可視光分析計を併用した Olivares Díaz ら (2019a, 2019b, 2022) の先行研究よりもアミロース含量の測定精度が向上することを実証した。測定精度の向上は以下の4つの要因によるものと考えられる。

第一に、供試した近赤外分析計の性能が従来機よりも優れていたこと。第二に、近赤外分析計のみを使用し可視光分析計を使用しないことで、可視光分析計から生じる誤差要因を削除したこと。第三に、MW-PLSにより検量線モデルの精度が向上したこと。そして最後に、多年度にわたり多種多様な試料を収集することで、よりロバストな検量線モデルを開発したことが挙げられる。供試した新たな近赤外分析計は、0.2 nmの波長分解能、波長標準フィルターによる毎測定時の自動波長校正機能を持ち、シリコンディテクター（受光素子）を45℃（±0.1℃）で精密温度制御し、米試料の受光部が直径30 mmと大きく、これらの結果、S/N比の向上と安定した近赤外スペクトルの取得が可能となった。

これまでの研究（Kawamura et al, 2003 ; Natsuga et al, 2006 ; Li et al, 2013 ; 川村ら（2016, 2017））では、近赤外分光法を用いた米の水分とタンパク質含量の極めて高精度な測定が報告されている。これは、測定する近赤外波長域に水分とタンパク質に起因する明確な吸収帯が存在するためである。しかし、アミロースではこの波長域に明確な吸収帯がないことから、高精度な予測が困難であった。本研究では検量線モデルの精度向上を目的に、北海道内の広範な米の生産地から冷害年、通常年、猛暑年を含む6年間の試料を採取した。さらに、一般うるち系統品種と遺伝的に異なる低アミロース系統品種の2つの検量線モデルを開発した。

Olivares Díaz ら（2019a, 2019b, 2022）は、従来の近赤外分析計を用いて良好な結果を得るために近赤外スペクトルの Savitzky-Golay による二次微分変換が必要であると報告している。しかし、本研究では近赤外スペクトルの二次微分前処理を実施せず、原スペクトルを使用して検量線を開発した。二次微分を行わないことで次のような利点がある。

第一に、二次微分は、特に S/N 比の低い近赤外スペクトルにおいてノイズを増幅させる可能性があるため、二次微分の省略により S/N 比が向上する。第二に、スペクトルのバックグラウンド信号を得るために必要なベースライン情報が保持され、二次微分によって除去される可能性のある試料成分に関する詳細な情報を保持できる。第三に、複雑な二次微分パラメータ（平滑化点数、多項式次数、窓幅）の検討をする必要が無い。

（2）今後の展望

米のタンパク質含量とアミロース含量は、どちらも炊飯米の食感と味に影響を与える（飯野ら，2023）。従来のアミロース含量測定は、オートアナライザを使用したヨウ素呈色比色法による、薬品と時間や手間を必要とする分析であった。本研究では、米の共乾施設や精米工場において、収穫後の米のアミロース含量を近赤外分光法を用いて簡便かつ迅速、そして非破壊で測定できることを実証した。これにより、すでにタンパク仕分を行っている共乾施設において、タンパク質含量とアミロース含量の両方に基づく米の仕分を可能にした。タンパク仕分の実施により、生産農家の米品質に対する意識が向上し、高品質米の生産に対する意欲も高まった。タンパク質含量とアミロース含量の両方を測定することで、より高品質で高付加価値な米生産の実現が期待できる。

精米工場がタンパク質含量やアミロース含量など精白米の客観的な栄養成分・食味情報を食品業界や消費者などのエンドユーザーに提供することが可能となる。これにより、エンドユーザーは市場に流通している米製品

の栄養成分・食味情報を評価することができる。さらに、食品業界が定める様々な品質基準を満たした米販売も可能となる。業務用米飯には、炊き込みご飯、酢飯、牛井用米飯、弁当向けチルド米飯、レトルト米飯、冷凍米飯など、幅広い調理用途があり（柳原ら，2017），タンパク質含量とアミロース含量の適切なバランスが求められる。本研究では米のアミロース含量測定のための非破壊技術を開発した。これにより食品業界の様々な品質要求に適切に対応した米の供給量を増やすことが可能である。さらに，本研究で開発された新たな近赤外技術は，小麦，トウモロコシや他の穀物の分析にも応用できる可能性を示し，多くの農産物，食品の非破壊分析技術に役立つと考えられる。

5. 要約

本研究により，新たな近赤外分析計を供試して開発した検量線モデルが米のアミロース含量測定において高精度で安定した性能を示すことが実証された。MW-PLS を用いて最適化された検量線モデルは，化学分析したアミロース含量と近赤外分析により測定したアミロース含量との間に強い相関があり，決定係数（ r^2 ）は 0.96 を上回り，測定標準誤差（SEP）は 0.4%～0.5%と低かった。これらの検量線モデルは非常に優れた性能であり，玄米および精白米を測定対象として安定して高精度なアミロース含量の非破壊測定を可能とした。この結果は米の共乾施設や精米工場において，米のアミロース含量を安定して高精度かつロバストに実測可能であることを示した。供試した近赤外分析計と検量線モデルは現在，北海道内の共乾施設や精米工場に実装され，日本全国の米生産現場にも波及しており，米の生産現場でアミロース含量の実測が普及し始めている。タンパク質含量とアミロース含量を同時に測定することは，高品質米の選別と仕分にも活

用できるため、米および米を原料とする製品の品質と価値の向上に繋がると考えられる。

第4章 北海道米のタンパク質含量とアミロース含量の地域間および年次間変動

1. 目的

2019年1月の北海道農業試験会議において、“近赤外分光分析による米のアミロース含量計測技術（道総研中央農業試験場水田農業グループ他，2019）”が提出され、「指導参考事項」となった。これにより，米の生産現場における未知試料を対象にした実用的なアミロース測定標準誤差（Standard error of prediction: SEP）が安定して1%未満であることが示された。その後さらに研究が進展し，第3章で述べた通り，2019年～2021年の3カ年の未知試料を測定した際のアミロースの測定誤差が0.4%～0.5%であることが実証され（川村（2022a, 2022b, 2022c）；Iino et al（2022, 2024）），米の生産現場でアミロースを実測することが普及し始めた。

しかしながら，測定データをどのように利活用するかについては試行錯誤が続いている。そこで本研究では，米の品質検査装置（下見検査，自主検査，出荷検査に使用する成分分析計SGEと穀粒判別器ES）を使用する北海道内の共乾施設などにおいて測定したタンパク質含量やアミロース含量を調査し，北海道米の品質の地域変動（各地域の差異）や年次変動を明らかにするために調査をおこなった。その上で品質検査装置の効果的な利活用方法を検討することを目的とした。

2. 方法

（1）調査施設および調査日

図4-1に調査施設を示した。北海道内各地8農協の8施設を選定した。表4-1に調査施設の概要を示した。それぞれの施設を以下の日程で訪問し調査した。

- ・ 檜山：JA 新はこだて，北檜山玄米ばら集出荷調製施設

調査日：2022 年 5 月 31 日，2023 年 4 月 11 日

- ・ 後志：JA きょうわ，米穀調製貯蔵施設

調査日：2023 年 4 月 11 日

- ・ 石狩：JA いしかり，米麦乾燥調製貯蔵施設

調査日：2022 年 6 月 1 日，2023 年 4 月 12 日

- ・ 空知：JA 月形町，穀類乾燥調製貯蔵施設，月形こめ工房

調査日：2022 年 6 月 1 日，2023 年 4 月 12 日

- ・ 空知：JA 新すながわ，米穀乾燥調製貯蔵施設，新すながわライスターミナル

調査日：2022 年 6 月 2 日，2023 年 4 月 12 日

- ・ 空知：JA きたそらち，米穀乾燥調製貯蔵施設，深川マイナリー（図 4-2）

調査日：2023 年 4 月 13 日

- ・ 上川：JA ひがしかわ，玄米調製出荷施設，ひがしかわ玄米センター

調査日：2022 年 6 月 2 日，2023 年 4 月 13 日，5 月 16 日

- ・ 上川：JA ぴっぷ町，穀類集出荷調製施設，ぴっぷ町ライスファクトリー21（図 4-3）

調査日：2023 年 5 月 16 日

調査施設は共同乾燥調製貯蔵施設（カントリーエレベータ：いしかり，月形町，新すながわ，きたそらち）または玄米集出荷調製施設（新はこだて，きょうわ，ひがしかわ，ぴっぷ町）である。荷受形態は，それぞれ生粳，半乾粳，乾粳，玄米である。いずれの施設も米の品質検査装置（静岡製機製成分分析計 SGE(SRE)および穀粒判別器 ES，図 4-4）を導入済であるが，その導入年度はそれぞれ異なる。調査した 8 施設が対象とする水田総面積は 12,112 ha，年間の総処理量（玄米換算）は 62,880 t であり，北

海道の米生産量の10%強となる。

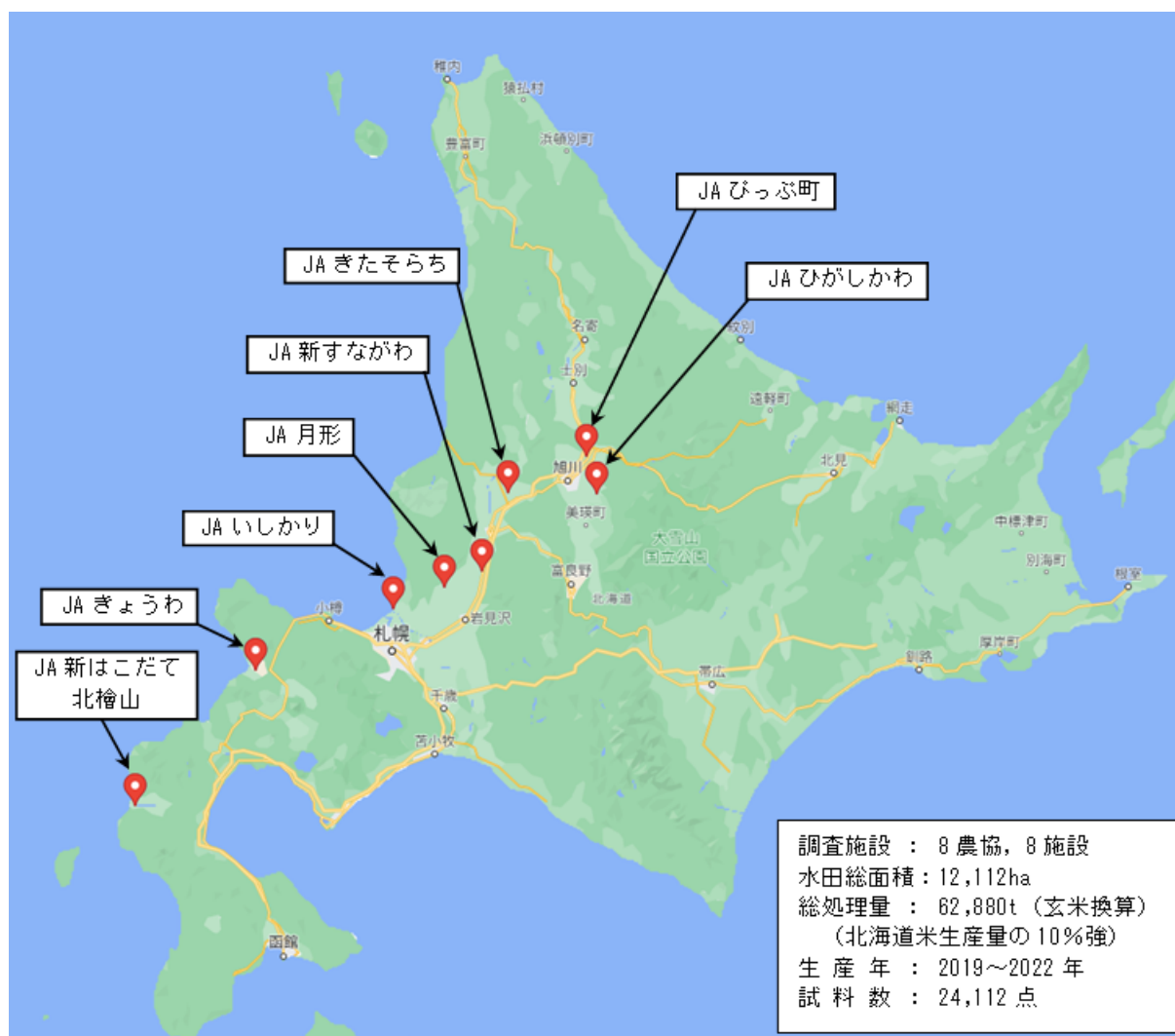


図 4-1 調査施設

表 4-1 調査施設概要

地域名	農協名	施設名	建設年 稼働年	荷受 形態	処理量* (t)	利用 農家数*	水田面積* (ha)
檜山	新はこだて	北檜山 玄米ばら集出荷調製施設	2004	玄米	4,000	90	900
後志	きょうわ	米穀調製貯蔵施設	2002	玄米	7,300	250	1,200
石狩	いしかり	米麦乾燥調製貯蔵施設	1990	生粳 乾粳	4,000	54	540
空知	月形町	穀類乾燥調製貯蔵施設 月形こめ工房	2000	半乾粳	6,000	95	988
空知	新すながわ	米穀乾燥調製貯蔵施設 新すながわライスターミナル	2002	半乾粳	10,000	160	1,600
空知	きたそらち	米穀乾燥調製貯蔵施設 深川マイナリー	2007	半乾粳 乾粳	29,423	317	4,296
上川	ひがしかわ	玄米調製出荷施設 ひがしかわ玄米センター	1996	玄米	6,400	110	1,100
上川	びっぶ町	穀類集出荷調製施設 びっぶ町ライスファクト リー21	1996	玄米	6,830	119	1,488
: 概数					総処理量 玄米換算 (t)	農家 総数*	水田 総面積* (ha)
					62,880	1,195	12,112



図 4-2 JA きたそらち米穀乾燥調製貯蔵施設
深川マイナリー



図 4-3 JA ぴっふ町穀類集出荷調製施設
ぴっふ町ライスファクトリー21



図 4-4 静岡製機製成分分析計 SGE (SRE)
および穀粒判別器 ES

(2) 調査方法

調査施設において、自主検査データおよび成分分析計のスペクトルデータを手に入れた。入手したスペクトルデータは 65,878 ファイルであった。この中から、自主検査データと紐付け可能な（荷受年月日、品種などが特定できる）ファイルを選び出した結果、ファイル数（試料数）は 24,112 ファイルとなった。すなわち、下見検査や出荷検査のデータは使用せず、自主検査データのみを使用した。

(3) 成分分析計の検量線

各施設において玄米を測定対象とし、成分分析計で水分、タンパク質含量、アミロース含量を測定する。それぞれの成分を求めるための検量線は以下の基準分析法（化学分析法）を基に作成している。

①水分（%wb）

炉乾法（10g，粒，135℃，24 時間法）で測定した水分値を農業食料工学会（旧農業機械学会）の換算式を用いて、農産物検査法で定める水分測定法（5g，粉碎，105℃，5 時間法）による値に変換し、湿量基準（wet basis: wb）で示した。

②タンパク質含量（%DM）

米のタンパク質含量をケルダール法（タンパク質換算係数 5.95）により求め、乾物基準（dry matter: DM）で示した。北海道では、米のタンパク質含量は精白米乾物中のタンパク質割合として表示する。すなわち、共乾施設などで玄米を測定した場合でも成分分析計が表示する値は精白米乾物中のタンパク質である。同じく、精米工場などで精白米を測定した場合も成分分析計が表示する値は精白米乾物中のタンパク質である。なお、北海道以外では米のタンパク質含量を玄米の値、精白米の値、水分 15% 基準の値などで表示する場合があります、それぞれ異なる。

③アミロース含量（%）

精白米の澱粉中のアミロース割合をヨードデンプン反応を利用した呈色比色法（ビーエルテック（旧ブランルーベ）製 オートアナライザ III を使用）により求めた。オートアナライザによりアミロース含量を測定する際の標準品は以下の 2 点を用いた。これらは北海道米分析センターで調製した全北海道共通の標準品である。共乾施設などで玄米を測定した場合でも成分分析計が表示する値は精白米のアミロース含量である。

うるち米標準品：「そらゆき」、アミロース 20.8%

もち米標準品：「はくちょうもち」、アミロース 0.0%

（4）成分分析計のバイアス調整

ホクレンが毎年調製し各農協に配布する「簡易成分分析計補正用基準サンプル（「ななつぼし」3 点、「ゆめぴりか」3 点）」を用いて、各成分分析計のバイアス調整をおこなった。

（5）気温

気象庁のホームページ（<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>）：気象庁各種データ・資料，過去の気象データから各施設近隣のアメダス観測地点の気温データを入手した。

（6）調査協力

各施設への訪問調査およびデータ解析にあたり，農業・食品産業技術総合研究機構 農業機械研究部門（農機研），ホクレン米穀部・施設資材部・農業総合研究所，静岡製機株式会社および各施設担当者の協力を得た。

3．結果

（1）試料

表 4-2 に各施設，各生産年，各品種の試料数を示した。品種は一般うるち系統品種が「えみまる」，「きたくりん」，「きらら 397」，「そらゆき」，「ななつぼし」，「ふっくりんこ」，「ほしのゆめ」，「ゆきさやか」および「飼料米」，「その他」であった。低アミロース系統品種は「あやひめ」，「おぼろづき」，「ゆめぴりか」であり，加えて酒米の「彗星」であった。調査した米の生産年は 2019 年～2022 年の 4 ヶ年であるが，施設により成分分析計 SGE と穀粒判別器 ES の導入年が異なるため，入手したデータの生産年は施設により異なる。

試料総数は 24,112 点であった。北海道米の主要 4 品種の試料数は，「ななつぼし」が 13,479 点，「ゆめぴりか」が 5,456 点，「きらら 397」が 2,100 点，「ふっくりんこ」が 2,092 点であった。これら 4 品種の 2022 年の北海道内作付面積比率は，「ななつぼし」が 49%，「ゆめぴりか」が 28%，「きらら 397」が 6%，「ふっくりんこ」が 6%であり（ホクレン，2022），本調査で収集した試料は北海道米全体の各品種を代表すると考えることが可能と判断した。

表 4-2 各施設、各生産年、各品種の試料数

施設	生産年	一般うるち系統品種										低アミロース系統品種			酒米	施設年合計
		えみまる	きたぐり	きらら397	そらゆき	ななつぼし	ふっくりんこ	ほしのゆめ	ゆきさやか	飼料米	その他	あやひめ	おぼろづき	ゆめびりか	慧星	
A	2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2021	27	18	90	0	1,263	51	0	0	0	5	0	0	285	0	1,739
	2022	20	15	66	0	1,147	59	0	0	0	0	0	0	269	0	1,576
B	2019	1	0	0	4	826	0	0	0	14	0	0	2	1	1	849
	2020	0	3	0	0	876	0	0	0	0	0	0	2	122	0	1,003
	2021	0	0	0	0	1,023	0	0	0	9	0	0	0	38	0	1,070
	2022	0	0	0	0	781	0	0	0	24	0	0	0	134	0	939
C	2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2020	0	24	58	0	387	0	0	0	0	0	21	1	65	0	556
	2021	1	19	59	0	422	0	0	1	0	0	0	0	57	0	559
	2022	2	8	53	0	405	0	0	1	0	0	0	0	80	0	549
D	2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2021	5	0	78	59	998	0	0	0	75	0	0	7	236	0	1,458
	2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2021	21	0	475	0	824	0	0	0	98	0	0	0	861	0	2,279
	2022	18	0	407	0	635	0	0	0	108	0	0	0	978	0	2,146
F	2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2022	83	0	406	0	2,687	1,982	0	0	128	0	0	0	803	0	6,089
G	2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2020	0	0	0	0	32	0	5	0	0	0	0	0	266	0	303
	2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2022	8	11	0	0	327	0	33	0	0	2	0	0	619	0	1,000
H	2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2021	23	0	207	2	432	0	5	0	0	6	0	16	336	0	1,027
	2022	27	0	201	0	414	0	7	0	0	2	0	13	306	0	970
品種合計		236	98	2,100	65	13,479	2,092	50	2	456	15	21	41	5,456	1	24,112

※ 施設Dの「そらゆき」は加工用米

「飼料米」は「えみまる」、「きたげんき」、「きらら397」、「そらゆたか」、「ななつぼし」

「そらゆたか」は飼料用米品種で6割強を占める

「その他」は品種混合

(2) 各地域の気温

各施設近隣のアメダス観測地点の2019年から2022年における6月上旬から9月下旬までの日平均気温の各月旬ごとの平均値を図4-5～図4-12に示した。北海道において7月中旬から9月中旬は稲の穂ばらみ期から出穂期、登熟期、成熟期にあたり、稲の作柄に大きな影響を与える期間である。そこで、7月中旬から9月中旬の62日間の日平均気温、日最高気温と日最低気温の平均値を表4-3にまとめた。農林水産省(2024h)によると、北海道の水稻の作況指数は2019年が104(やや良)、2020年が106(良)、2021

年が 108（良），2022 年が 106（良）であり，4 年連続で良い作柄であった。その中で，2021 年は 7 月中旬下旬，8 月上旬に記録的な猛暑となり，その後 8 月中旬に急激な気温の低下があった。図 4-5～図 4-12 から以上のような各地域の気温の推移を読み取ることができる。また表 4-3 より，日最高気温は各地域で 2021 年が最も高く，日平均気温も 2021 年が最も高い地域が多く，一方で日最低気温は 2021 年が最も低い地域が多かったことがわかる。2021 年産米はこの登熟期の高温のために胴割粒の被害が見られた（李家，2022）。穀粒判別器により測定した胴割粒の割合も，平均値で 2020 年が 2.8%，2021 年が 4.8%，2022 年が 2.2%であり，2021 年産米の胴割率が高かった。

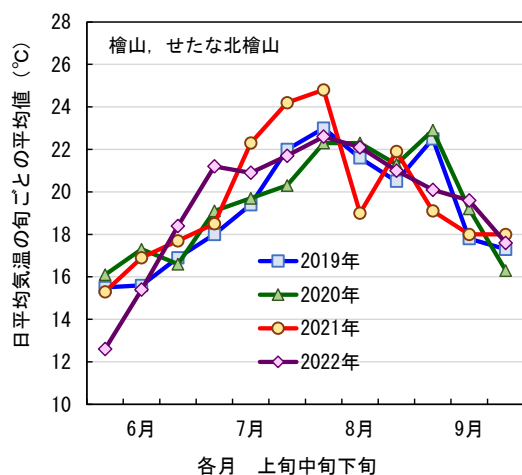


図 4-5 檜山地域せたな北檜山アメダス観測地点（標高 10m）の日平均気温の旬ごとの平均値

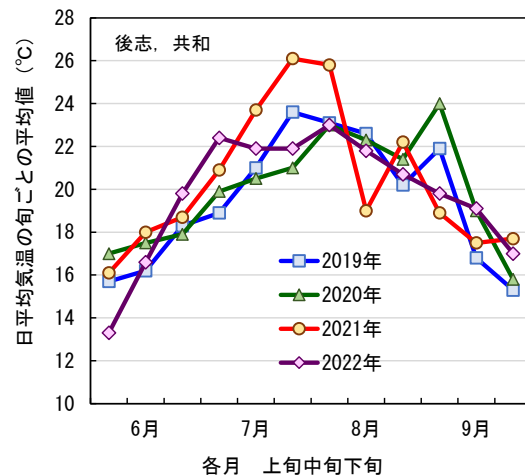


図 4-6 後志地域共和アメダス観測地点（標高 15m）の日平均気温の旬ごとの平均値

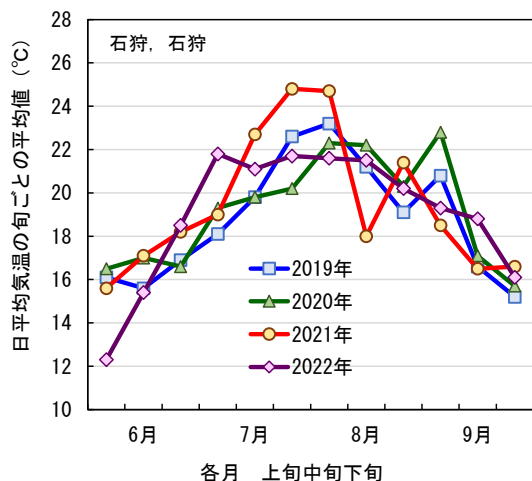


図 4-7 石狩地域石狩アメダス観測地点
(標高 5m) の日平均気温の旬ごとの
平均値

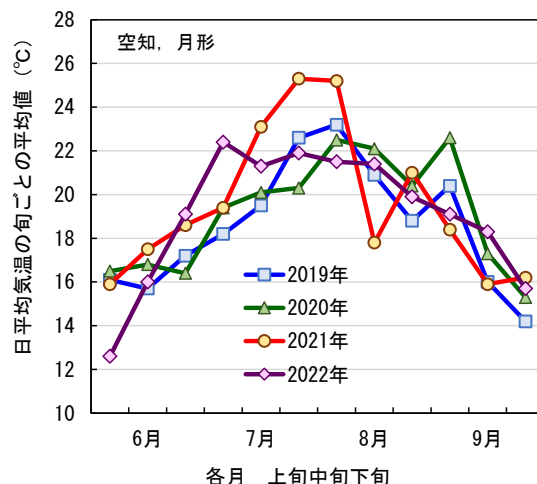


図 4-8 空知地域月形アメダス観測地点
(標高 50m) の日平均気温の旬ごとの
平均値

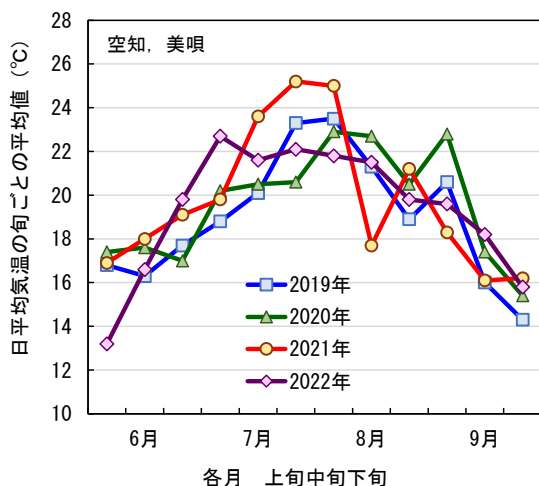


図 4-9 空知地域美唄アメダス観測地点
(標高 16m) の日平均気温の旬ごとの
平均値

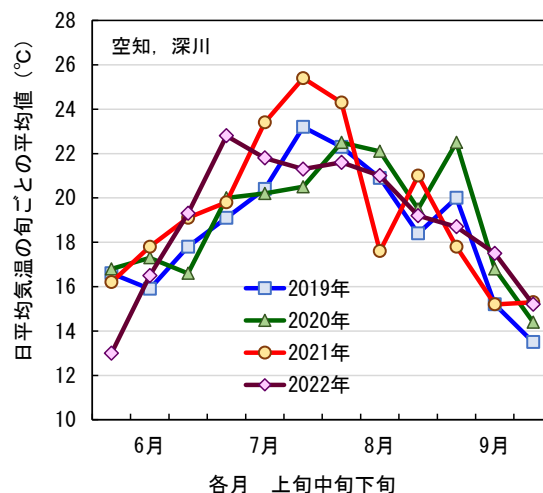


図 4-10 空知地域深川アメダス観測地点
(標高 55m) の日平均気温の旬ごとの
平均値

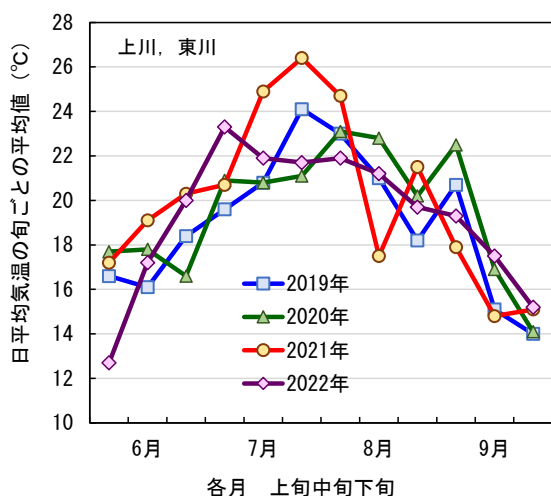


図 4-11 上川地域東川アメダス観測地点
(標高 215m) の日平均気温の旬ごとの
平均値

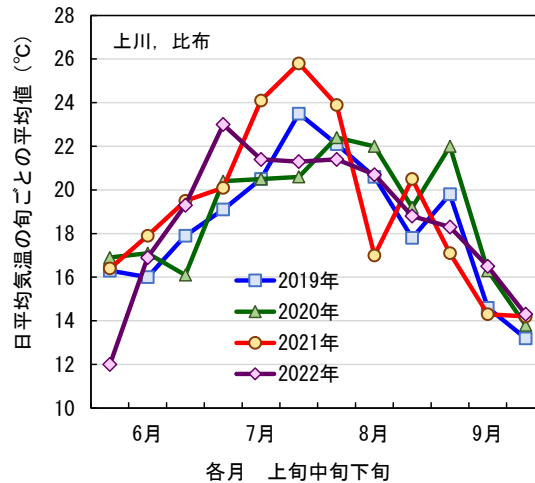


図 4-12 上川地域比布アメダス観測地点
(標高 164m) の日平均気温の旬ごとの
平均値

表 4-3 稲の穂ばらみ期から出穂期，登熟期，成熟期
(7月中旬から9月中旬，62日間)の気温平均値

農協名 アメダス 観測地点 標高	年	穂ばらみ期，出穂期，登熟期，成熟期 (7月中旬から9月中旬)の気温平均値		
		日平均気温 (°C)	日最高気温 (°C)	日最低気温 (°C)
新はこだて せたな北檜山 10m	2019	20.97	24.50	17.74
	2020	21.14	24.61	18.26
	2021	21.33	25.57	17.74
	2022	21.14	24.79	17.71
きょうわ 共和 15m	2019	21.31	26.14	17.21
	2020	21.60	26.16	17.70
	2021	21.89	27.43	16.87
	2022	21.17	25.80	16.77
いしかり 石狩 5m	2019	20.47	25.16	16.86
	2020	20.67	25.27	17.19
	2021	20.94	26.81	16.46
	2022	20.60	25.19	16.71
月形町 月形 50m	2019	20.20	25.11	16.29
	2020	20.76	25.93	16.93
	2021	20.96	27.54	15.70
	2022	20.49	25.70	16.11
新すながわ 美唄 16m	2019	20.53	25.77	16.39
	2020	21.06	26.41	16.83
	2021	21.01	27.47	15.66
	2022	20.66	26.00	16.19
きたそらち 深川 55m	2019	20.06	25.34	15.86
	2020	20.59	26.23	16.24
	2021	20.67	27.21	15.37
	2022	20.16	25.90	15.39
ひがしかわ 東川 215m	2019	20.41	26.14	16.07
	2020	21.06	26.89	16.53
	2021	21.10	28.09	15.77
	2022	20.46	26.13	15.79
ぴっぷ町 比布 164m	2019	19.84	25.36	15.33
	2020	20.43	26.29	15.59
	2021	20.39	27.37	14.60
	2022	19.77	25.84	14.76

出典：気象庁，各種データ・資料，過去の気象データ
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

(3) 各品種の水分，タンパク質含量，アミロース含量

表 4-4 に各品種の水分，タンパク質含量，アミロース含量の最大値，平均値，最小値，標準偏差を示した。試料数が 50 点以下と少ない品種および「飼料米」，「その他」，「酒米」は除外して考察する。

水分の最大値が 16%以上と高い場合がある。これは，半乾粳で荷受した場合にテストドライヤでの乾燥をおこなわずに自主検査試料とする施設があるためである。

図 4-13～図 4-16 に北海道米主要 4 品種のタンパク質含量の頻度分布を示した。頻度分布図における階級は，北海道におけるタンパク仕分で用いられる階級値，すなわち 6.8%以下，6.9～7.4%，7.5～7.9%，8.0～8.4%，8.5%以上を参考に設定した。各品種のタンパク質含量の平均値は「ふっくりんこ」が 6.5%と最も低く，「きたくりん」が 7.6%と最も高かった。各品種のタンパク質含量の標準偏差（バラツキ）は「ふっくりんこ」の 0.50%から「きらら 397」の 0.69%であり，品種ごとのタンパク質含量のバラツキに大きな差異は無かった。

図 4-17～図 4-20 に北海道米主要 4 品種のアミロース含量の頻度分布を示した。頻度分布図における階級は，1%区切りの階級値，例えば 18.0～18.9%，19.0～19.9%とした。各品種のアミロース含量の平均値は一般うるち系統品種が 20.0%～20.7%，低アミロース系統品種「ゆめぴりか」が 16.3%と，両系統で 4%ほどの大きな差異があった。各品種のアミロース含量の標準偏差（バラツキ）は一般うるち系統品種が 0.42～0.84%と小さく，低アミロース系統品種「ゆめぴりか」が 1.33%と大きかった。「ななつぼし」のアミロース含量の標準偏差は 0.68%であり，これに対して「ゆめぴりか」は 1.33%と約 2 倍の標準偏差であった。低アミロース系統品種は，気象条件（登熟期気温）によるアミロース含量の変動が大きいことが知られており，冷害年でアミロース含量が高く，猛暑年でアミロース含量が低くなる

（尾崎ら，2018；飯野ら，2023）。調査した4年間の気象はいずれも稲の作柄は良好であり，冷害年は無かった。しかしながら，「ゆめぴりか」のアミロース含量は作柄良好の4年間で11.4%～19.9%と8%強のバラツキが認められ，他の品種よりアミロース含量のバラツキが大きかった。

第4章 北海道米のタンパク質含量とアミロース含量の地域間および年次間変動

表 4-4 各品種の水分，タンパク質含量，アミロース含量

		一般うるち系統品種										低アミロース系統品種			酒米
		えみ まる	きた くりん	きらら 397	そら ゆき	ななつ ぼし	ふっく りんこ	ほしの ゆめ	ゆき さやか	飼料 米	その 他	あや ひめ	おぼろ づき	ゆめ ぴりか	彗星
成分	施設数	8	4	6	3	8	2	2	1	4	3	1	4	8	1
	試料数	236	98	2,100	65	13,479	2,092	50	2	456	15	21	41	5,456	1
水分 (%)	最大	17.0	16.0	18.1	15.3	18.4	17.6	15.6	12.8	17.1	15.7	13.6	15.8	18.2	
	平均	14.9	14.4	15.6	14.2	14.9	16.1	14.9	12.6	15.2	14.9	13.3	14.5	15.4	14.0
	最少	13.4	12.5	12.1	13.1	11.4	13.6	14.1	12.4	12.0	14.4	13.1	12.3	12.0	
	標準偏差	0.63	0.80	1.05	0.61	1.07	0.68	0.35	0.28	0.97	0.38	0.20	0.78	0.98	
タンパク質 含量 (%DM)	最大	9.7	9.2	10.2	8.9	10.1	8.8	8.1	6.3	9.3	8.7	8.3	10.0	9.6	
	平均	7.0	7.6	7.4	7.3	7.1	6.5	6.9	6.2	7.0	7.2	7.9	7.7	6.9	10.1
	最少	5.9	5.8	5.9	6.3	5.5	5.4	6.0	6.1	5.4	6.6	7.1	6.2	5.5	
	標準偏差	0.61	0.62	0.69	0.54	0.62	0.50	0.48	0.14	0.59	0.52	0.52	0.87	0.59	
アミロース 含量 (%)	最大	22.5	22.0	23.0	21.4	23.1	22.0	22.9	20.9	22.4	21.3	16.4	16.7	19.9	
	平均	20.7	20.0	20.5	20.3	20.0	20.5	21.1	20.7	20.5	19.7	15.3	14.6	16.3	19.2
	最少	19.3	17.7	18.3	18.6	17.3	19.0	19.2	20.4	18.6	18.4	13.5	11.1	11.4	
	標準偏差	0.54	0.84	0.59	0.42	0.68	0.48	0.75	0.33	0.82	1.03	1.19	1.43	1.33	

第4章 北海道米のタンパク質含量とアミロース含量の地域間および年次間変動

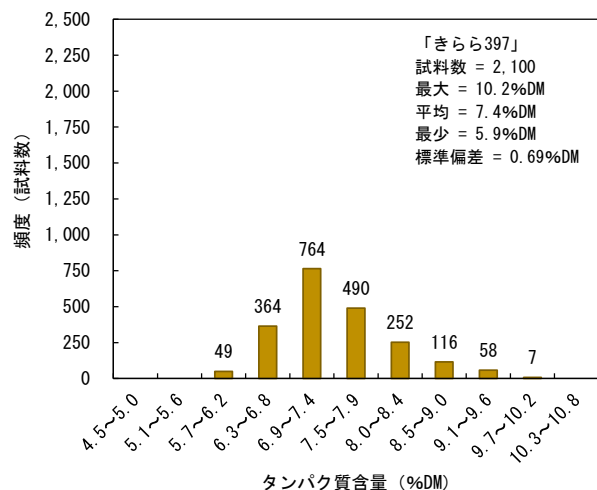


図 4-13 「きらら 397」(6 施設, 2020~2022 年産) のタンパク質含量の頻度分布

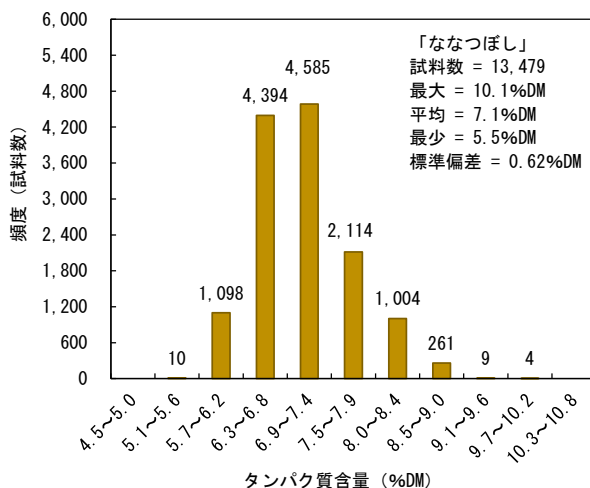


図 4-14 「ななつぼし」(8 施設, 2019~2022 年産) のタンパク質含量の頻度分布

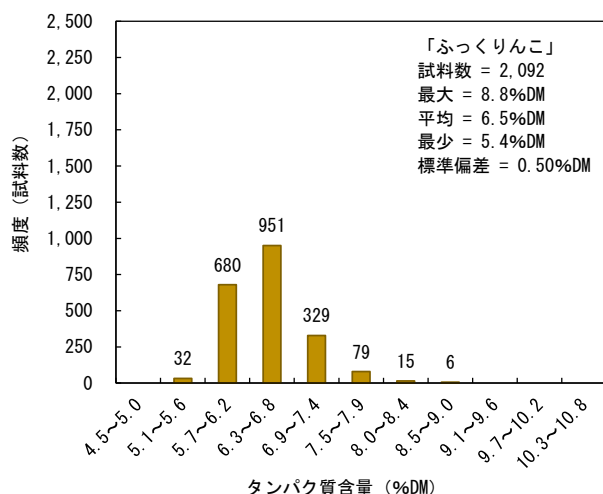


図 4-15 「ふっくりんこ」(2 施設, 2021~2022 年産) のタンパク質含量の頻度分布

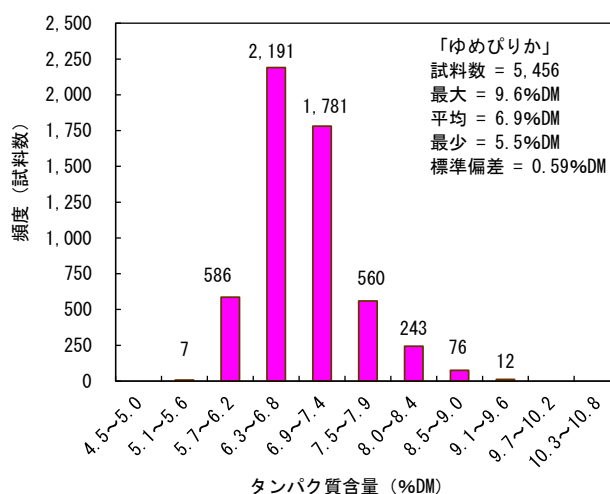


図 4-16 「ゆめぴりか」(8 施設, 2019~2022 年産) のタンパク質含量の頻度分布

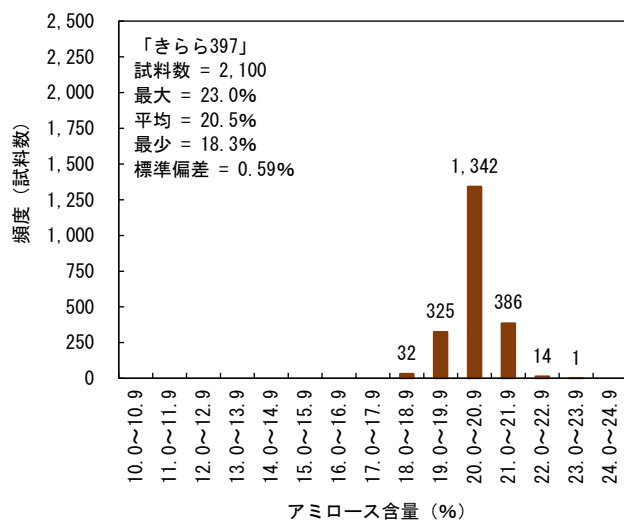


図 4-17 「きらら 397」(6 施設, 2020~2022 年産) のアミロース含量の頻度分布

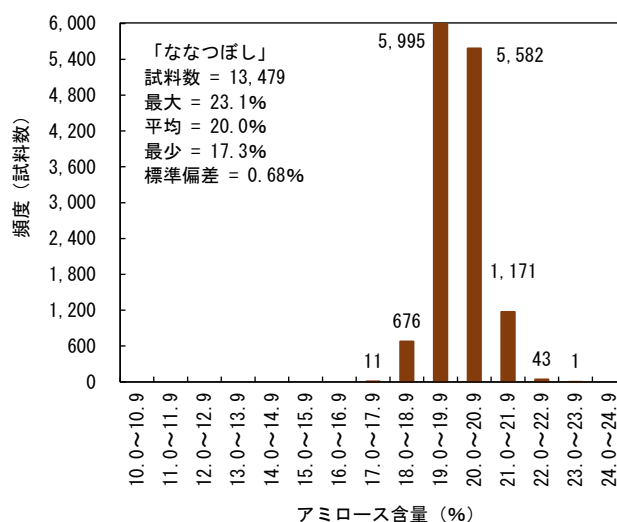


図 4-18 「ななつぼし」(8 施設, 2019~2022 年産) のアミロース含量の頻度分布

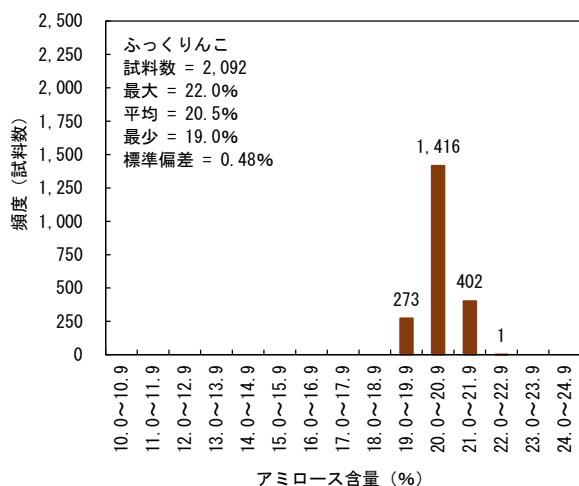


図 4-19 「ふっくりんこ」(2施設, 2021~2022 年産) のアミロース含量の頻度分布

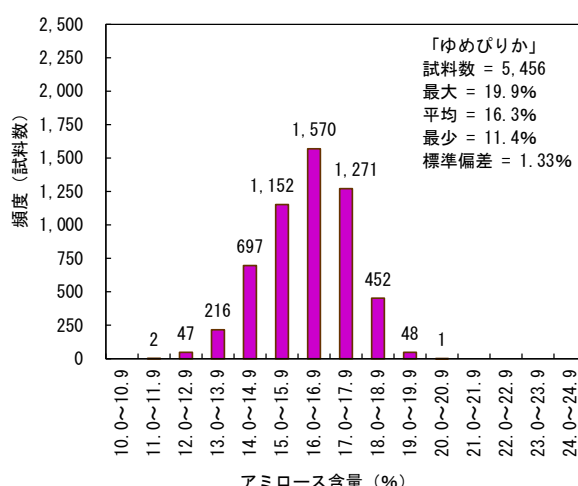


図 4-20 「ゆめぴりか」(8施設, 2019~2022 年産) のアミロース含量の頻度分布

(4) 各地域(施設), 各生産年, 各品種のタンパク質含量とアミロース含量の変動

表 4-5 に各地域(施設), 各生産年, 各品種のタンパク質含量の最大値, 平均値, 最小値, 標準偏差を示した。同様に表 4-6 にはアミロース含量の最大値, 平均値, 最小値, 標準偏差を示した。北海道内における作付面積と生産量が 1 位と 2 位であり, 調査した 8 施設のすべてで取扱う「ななつぼし」と「ゆめぴりか」に着目する。

図 4-21~図 4-24 に「ななつぼし」と「ゆめぴりか」のタンパク質含量の地域変動(各施設の差異)と年次変動, およびタンパク質含量の標準偏差の地域変動(各施設の差異)と年次変動を示した。「ななつぼし」と「ゆめぴりか」ともに各地域のタンパク質含量は, 最大で 1.2%~1.4%の変動があった。一方, 同一地域内でのタンパク質含量の年次変動は地域間の変動より小さく, 最大で 0.6%~0.7%の変動であった。各地域, 各生産年におけるタンパク質含量の標準偏差は 0.5%程度で差異は小さかった。すなわち, タンパク質含量は地域変動が大きく, 同一地域内での年次変動もあるが, それぞれの地域における各生産年の標準偏差(バラツキ)は毎年同様

の 0.5%程度であった。

図 4-25～図 4-28 に「ななつぼし」と「ゆめぴりか」のアミロース含量の地域変動（各施設の差異）と年次変動，およびアミロース含量の標準偏差の地域変動（各施設の差異）と年次変動を示した。「ななつぼし」の各地域のアミロース含量は，最大で 1.4%の変動があった。一方，同一地域内での「ななつぼし」のアミロース含量の年次変動は地域間の変動より小さく，最大で 1.0%の変動であった。「ゆめぴりか」の各地域間のアミロース含量は，最大で 3.8%の変動があった。一方，同一地域内での「ゆめぴりか」のアミロース含量の年次変動は地域変動より小さく，最大で 1.6%の変動であった。すなわち，タンパク質含量の地域変動や年次変動に比較して，アミロース含量の地域変動や年次変動は大きかった。その上，「ななつぼし」のアミロース含量の地域変動や年次変動に比較して，「ゆめぴりか」のアミロース含量の地域変動や年次変動は大きかった。

各地域，各生産年におけるアミロース含量の標準偏差は 0.3%～1.2%と大きかった。すなわち，アミロース含量は地域変動が大きく，同一地域内での年次変動もあり，それぞれの地域における各生産年の標準偏差（バラツキ）も大きいことが明らかとなった。加えて「ななつぼし」に比較して「ゆめぴりか」のアミロース含量の変動が大きいことが明らかとなった。

表 4-5 各地域（施設）、各生産年、各品種のタンパク質含量（%DM）

施設	生産年		一般うるち系統品種					低アミロース系統品種				
			えみ まる	きた くりん	きらら 397	そら ゆき	ななつ ぼし	ふっく りんこ	ほしの ゆめ	あや ひめ	おぼろ づき	ゆめ びりか
A	2021	試料数	27	18	90		1,263	51				285
		最大	8.3	8.7	9.2		8.8	8.2				8.9
		平均	7.4	7.7	8.4		7.5	7.1				7.7
		最少	6.5	6.9	7.6		6.1	6.3				6.3
		標準偏差	0.56	0.59	0.46		0.55	0.43				0.56
	2022	試料数	20	15	66		1,147	59				269
		最大	8.7	8.0	9.6		9.1	8.8				9.3
		平均	7.4	7.7	8.9		7.7	7.6				7.8
		最少	6.7	7.5	7.8		6.0	6.4				6.3
		標準偏差	0.73	0.15	0.46		0.50	0.54				0.57
B	2019	試料数	1			4	826				2	1
		最大				7.2	9.4				8.5	
		平均	7.2			7.1	7.2				7.4	7.4
		最少				6.9	5.9				6.2	
		標準偏差				0.13	0.54				1.63	
	2020	試料数		3			876				2	122
		最大		8.0			8.7				7.4	8.2
		平均		8.0			7.2				7.3	7.1
		最少		7.9			6.1				7.2	6.3
		標準偏差		0.06			0.46				0.14	0.42
C	2021	試料数					1,023					38
		最大					8.5					8.2
		平均					6.8					7.0
		最少					5.6					6.1
		標準偏差					0.45					0.43
	2022	試料数					781					134
		最大					8.2					7.8
		平均					6.7					6.8
		最少					5.6					5.7
		標準偏差					0.43					0.39
D	2020	試料数		24	58		387			21	1	65
		最大		9.2	9.1		9.0			8.3		9.4
		平均		7.9	8.0		7.6			7.9	8.0	7.4
		最少		6.8	6.9		6.3			7.1		6.4
		標準偏差		0.65	0.60		0.53			0.52		0.58
	2021	試料数	1	19	59		422					57
		最大		8.4	9.0		10.1					8.6
		平均	9.7	7.6	8.0		7.3					7.3
		最少		6.4	6.6		6.0					6.3
		標準偏差		0.58	0.55		0.56					0.51
E	2022	試料数	2	8	53		405					80
		最大	8.8	7.9	9.0		10.0					9.1
		平均	8.7	7.6	7.9		7.5					7.3
		最少	8.5	6.9	6.9		6.2					6.1
		標準偏差	0.21	0.39	0.48		0.54					0.52
	2021	試料数	5		78	59	998				7	236
		最大	7.7		10.2	8.9	9.4				8.8	9.2
		平均	7.5		7.9	7.4	7.1				7.7	7.2
		最少	7.3		6.5	6.3	5.6				6.5	6.2
		標準偏差	0.15		0.84	0.56	0.64				1.08	0.49
F	2021	試料数	21		475		824					861
		最大	8.2		9.6		9.0					8.0
		平均	7.2		7.2		6.8					6.8
		最少	6.5		6.0		5.6					5.9
		標準偏差	0.55		0.57		0.55					0.39
	2022	試料数	18		407		635					978
		最大	8.1		8.6		8.7					8.2
		平均	7.1		7.1		6.7					6.5
		最少	6.2		5.9		5.5					5.6
		標準偏差	0.52		0.50		0.54					0.42
G	2022	試料数	83		406		2,687	1,982				803
		最大	7.4		9.0		8.9	8.2				8.4
		平均	6.7		7.3		6.8	6.4				6.8
		最少	5.9		6.0		5.5	5.4				5.5
		標準偏差	0.39		0.59		0.48	0.45				0.41
	2020	試料数					32		5			266
		最大					8.6		7.7			9.6
		平均					7.1		7.2			7.2
		最少					6.3		6.8			6.3
		標準偏差					0.50		0.41			0.49
H	2022	試料数	8	11			327		33			619
		最大	6.7	7.9			8.2		7.3			8.3
		平均	6.5	6.8			6.5		6.6			6.5
		最少	6.3	5.8			5.7		6.0			5.7
		標準偏差	0.17	0.65			0.39		0.32			0.32
	2021	試料数	23		207	2	432		5		16	336
		最大	8.5		9.6	7.1	9.3		8.1		10.0	8.5
		平均	7.1		7.6	7.0	7.0		7.8		8.1	7.3
		最少	6.3		6.6	6.9	5.8		7.5		7.2	6.1
		標準偏差	0.55		0.50	0.14	0.47		0.22		0.87	0.47
2022	試料数	27		201		414		7		13	306	
	最大	7.5		8.8		8.5		7.5		8.6	8.1	
	平均	6.7		7.3		6.8		7.2		7.4	6.8	
	最少	6.2		5.9		5.7		6.9		6.6	5.8	
	標準偏差	0.41		0.52		0.51		0.21		0.66	0.50	

表 4-6 各地域（施設）、各生産年、各品種のアミロース含量（％）

施設	生産年	一般うるち系統品種						低アミロース系統品種			
		えみ まる	きた くりん	きらら 397	そら ゆき	ななつ ぼし	ふっく りんこ	ほしの ゆめ	あや ひめ	おぼろ づき	ゆめ びりか
A	2021	試料数	27	18	90	1,263	51				285
		最大	21.7	20.5	21.2	22.4	21.7				18.5
		平均	20.6	19.1	19.5	19.5	19.9				14.8
		最少	20.0	17.7	18.3	17.3	19.1				12.5
		標準偏差	0.43	0.81	0.61	0.77	0.66				1.19
	2022	試料数	20	15	66	1,147	59				269
		最大	21.4	20.4	21.1	22.3	21.3				17.5
		平均	20.6	19.3	19.5	19.6	19.9				14.7
		最少	20.0	18.5	18.7	17.8	19.0				12.1
		標準偏差	0.40	0.57	0.55	0.64	0.52				1.07
B	2019	試料数	1		4	826				2	1
		最大			21.4	21.1				16.5	
		平均	21.6		20.7	19.5				15.8	14.4
		最少			18.6	18.3				15.1	
		標準偏差			1.39	0.44				0.98	
	2020	試料数		3		876				2	122
		最大		20.0		20.3				15.4	17.6
		平均		19.9		19.4				15.3	15.7
		最少		19.7		18.7				15.3	14.1
		標準偏差		0.15		0.29				0.10	0.66
C	2021	試料数				1,023					38
		最大				21.3					17.0
		平均				19.7					15.0
		最少				18.4					13.6
		標準偏差				0.44					0.77
	2022	試料数				781					134
		最大				21.7					17.1
		平均				20.2					15.7
		最少				18.9					13.7
		標準偏差				0.45					0.65
D	2020	試料数		24	58	387			21	1	65
		最大		20.7	20.6	20.9			16.4		16.9
		平均		20.0	20.0	19.8			15.3	13.5	15.6
		最少		19.4	19.1	19.0			13.5		13.1
		標準偏差		0.31	0.34	0.36			1.19		0.73
	2021	試料数	1	19	59	422					57
		最大		20.8	22.0	22.1					19.2
		平均	20.9	20.4	20.8	20.7					16.8
		最少		19.9	19.8	19.2					14.7
		標準偏差		0.20	0.47	0.51					1.18
E	2022	試料数	2	8	53	405					80
		最大	21.6	21.4	23.0	22.4					18.6
		平均	21.5	21.2	21.6	20.8					17.2
		最少	21.3	21.0	20.9	19.7					15.6
		標準偏差	0.23	0.14	0.44	0.43					0.65
	2021	試料数	5		78	59	998			7	236
		最大	21.3		21.7	20.9	21.8			16.6	19.7
		平均	20.9		20.6	20.3	20.1			15.5	17.0
		最少	20.6		19.6	19.7	18.5			14.7	14.1
		標準偏差	0.28		0.51	0.28	0.57			0.74	0.95
F	2021	試料数	21		475		824				861
		最大	21.7		21.8		21.6				18.6
		平均	20.9		20.4		20.2				15.3
		最少	20.2		18.4		18.7				12.6
		標準偏差	0.42		0.43		0.54				0.95
	2022	試料数	18		407		635				978
		最大	21.3		21.5		21.9				18.3
		平均	21.0		20.8		20.8				16.7
		最少	20.7		19.7		19.8				14.7
		標準偏差	0.17		0.32		0.36				0.68
G	2022	試料数	83		406		2,687	1,982			803
		最大	22.3		21.8		21.7	22.0			18.9
		平均	20.6		20.5		20.2	20.6			16.8
		最少	19.3		19.4		18.7	19.0			14.5
		標準偏差	0.50		0.41		0.50	0.45			0.72
	2020	試料数					32	5			266
		最大					23.1	22.9			19.9
		平均					21.9	22.3			18.4
		最少					20.8	22.0			16.9
		標準偏差					0.53	0.34			0.53
H	2022	試料数	8	11			327	33			619
		最大	22.3	22.0			22.9	22.3			19.4
		平均	21.6	21.0			20.4	21.2			17.3
		最少	21.3	20.1			18.6	20.3			13.5
		標準偏差	0.31	0.47			0.81	0.55			0.92
	2021	試料数	23		207	2	432	5		16	336
		最大	21.8		21.2	20.4	22.5	20.3		14.7	18.5
		平均	20.3		20.0	20.2	19.7	20.0		13.2	14.6
		最少	19.7		18.5	20.0	18.0	19.2		11.1	11.4
		標準偏差	0.50		0.41	0.25	0.59	0.45		1.02	1.05
2022	試料数	27		201		414	7		13	306	
	最大	22.5		21.9		21.5	20.9		16.7	18.3	
	平均	21.1		20.8		20.4	20.4		15.6	16.2	
	最少	20.1		20.0		19.1	20.3		14.5	14.0	
	標準偏差	0.53		0.36		0.45	0.23		0.70	0.87	

第4章 北海道米のタンパク質含量とアミロース含量の地域間および年次間変動

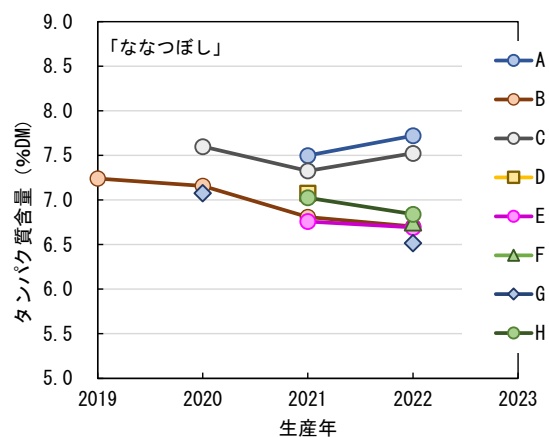


図 4-21 「ななつぼし」のタンパク質含量の地域変動と年次変動

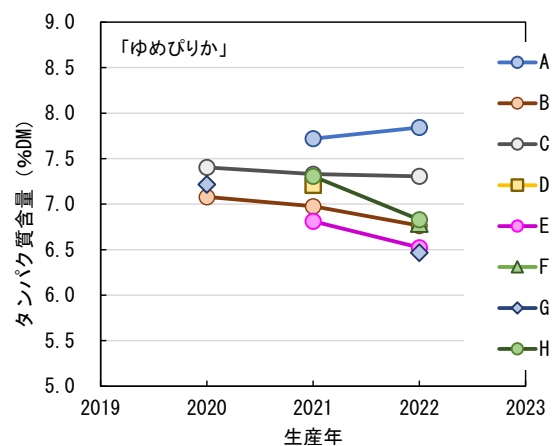


図 4-22 「ゆめぴりか」のタンパク質含量の地域変動と年次変動

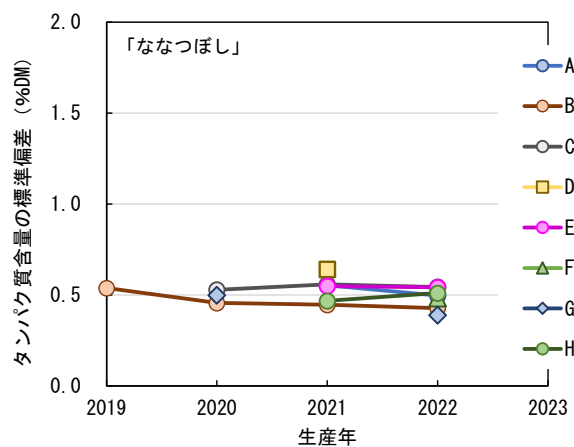


図 4-23 「ななつぼし」のタンパク質含量の標準偏差の地域変動と年次変動

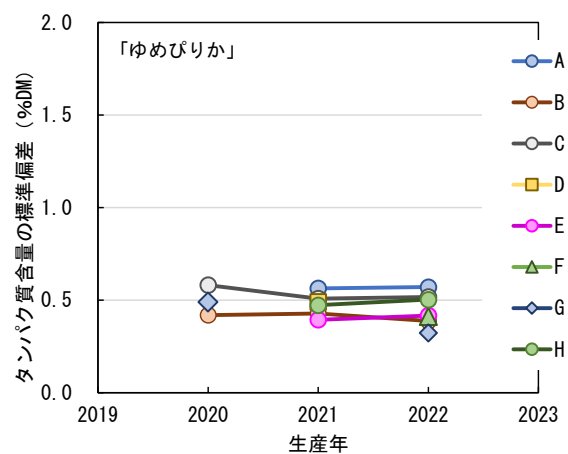


図 4-24 「ゆめぴりか」のタンパク質含量の標準偏差の地域変動と年次変動

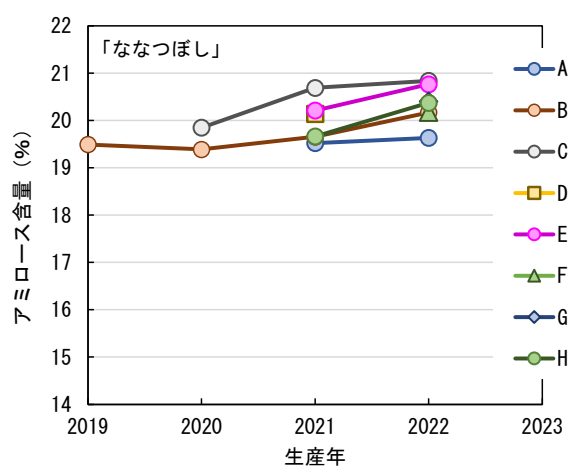


図 4-25 「ななつぼし」のアミロース含量の地域変動と年次変動

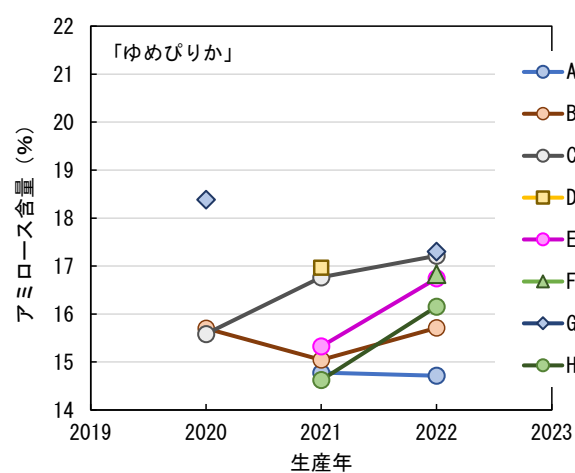


図 4-26 「ゆめぴりか」のアミロース含量の地域変動と年次変動

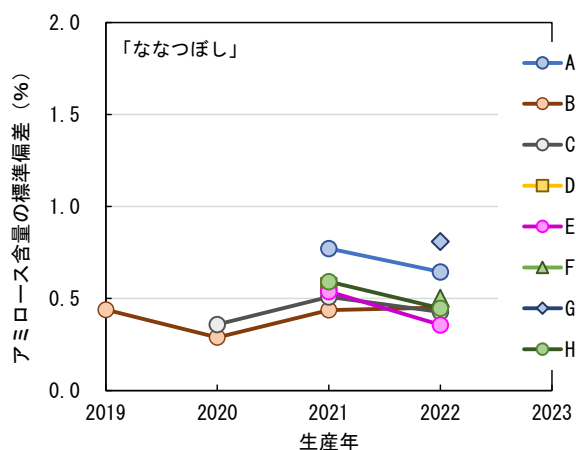


図 4-27 「ななつぼし」のアミロース含量の標準偏差の地域変動と年次変動

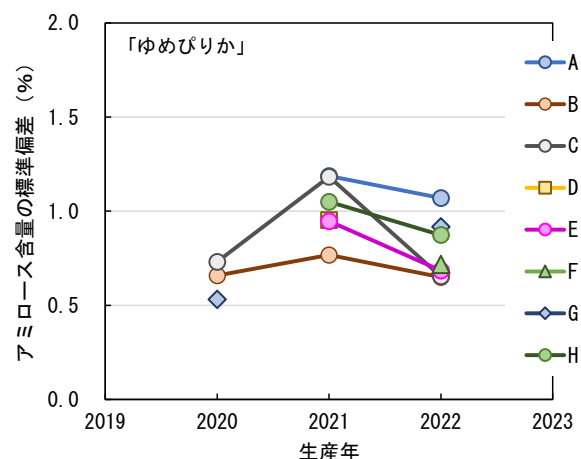


図 4-28 「ゆめぴりか」のアミロース含量の標準偏差の地域変動と年次変動

(5) タンパク質含量とアミロース含量の相関

図 4-29、図 4-30 に「ななつぼし」と「ゆめぴりか」それぞれのタンパク質含量とアミロース含量の相関を示した。タンパク質含量とアミロース含量との間に有意な負の相関が認められた。すなわち、タンパク質含量が低いとアミロース含量が高いという緩やかな内部相関が認められた。また、例えばタンパク質含量が 7% と同じ値であっても、アミロース含量は「ななつぼし」では 18%～22% 程度、「ゆめぴりか」では 13%～19% 程度の差異があることが明らかとなった。このようにタンパク質含量が同程度でありながらアミロース含量が大きく異なることは、品質・食味とくに米飯の硬さや粘りに差異が生じることを意味する。したがって、米の共乾施設や精米工場においてタンパク質含量に加えてアミロース含量が実測可能となったことは、米の品質・食味を従来よりも適確に推定することに貢献すると考えられる。

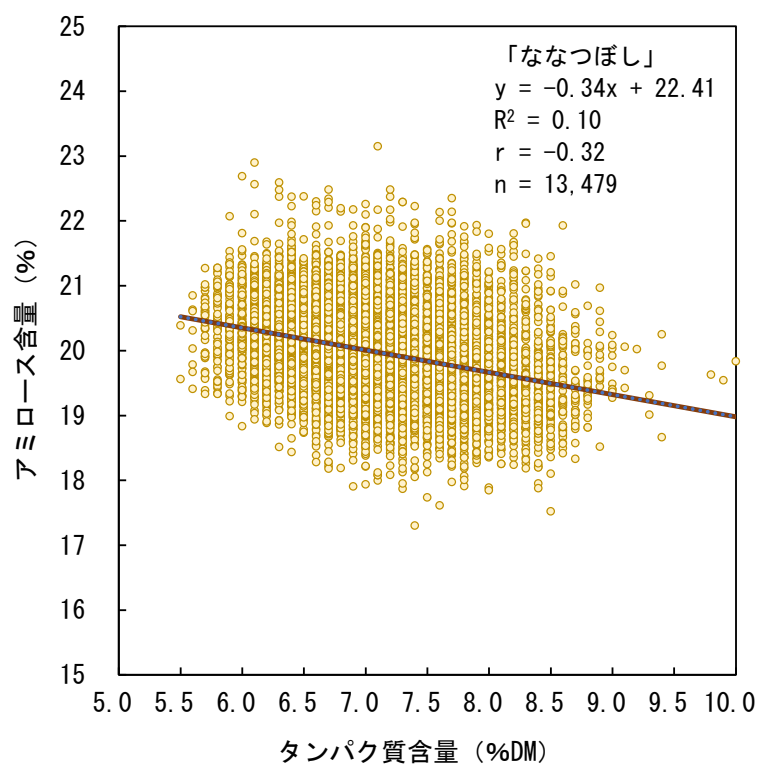


図 4-29 「ななつぼし」のタンパク質含量とアミロース含量の相関

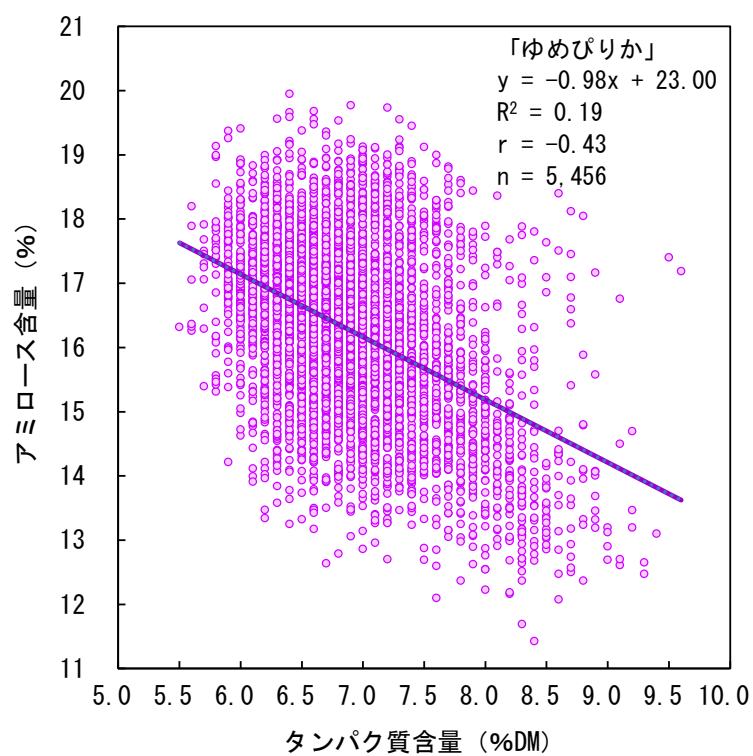


図 4-30 「ゆめぴりか」のタンパク質含量とアミロース含量の相関

4. 考察

米のタンパク質含量とアミロース含量は米飯の硬さや粘りに大きな影響を与える成分である。米飯の硬さと粘りは食味評価（ご飯の美味しさ）を決定する大きな要因とされ、わが国では適度に軟らかく粘りのある米飯が好まれる。タンパク質含量が高くアミロース含量が高いと米飯は硬くて粘りが弱くなるため、両者が適度に低い方が食味評価は高くなる。一方で、タンパク質含量とアミロース含量が低ければ低いほど食味評価が高くなるわけではなく、両者の適度なバランスが重要とされる（飯野ら，2023）。

北海道内各地の8農協の8施設で米の品質（タンパク質含量，アミロース含量）の地域変動（各施設の差異）や年次変動を調査した。その結果，タンパク質含量やアミロース含量の地域変動や年次変動が認められた。その上で，タンパク質含量の地域変動や年次変動に比較して，アミロース含量の地域変動や年次変動が大きかった。さらに「ななつぼし」の地域変動や年次変動に比較して「ゆめぴりか」の地域変動や年次変動が大きかった。

全国に先駆けて北海道は1999年に米のタンパク仕分を導入した。その結果，北海道内の生産者は米のタンパク質含量に対する意識を強く持つようになり，生産者の努力により徐々に低タンパク質米（すなわち，米飯が軟らかく粘りが強い良食味米）の生産が増加することで北海道米の良食味ブランド化が進んだ。加えて，その後の技術開発により2019年にはタンパク質含量に加えてアミロース含量を精度良く安定して測定することが可能となり，米の生産現場におけるアミロース含量の実測が普及し始めた。これにより，タンパク・アミロース仕分を実施することも可能となった。しかしながら，タンパク・アミロース仕分を直ちに導入することは，各施設において米を仕分して収納するタンク，ビン，サイロなどの設備が不足するために時期尚早と考えられる。

一方，本調査でタンパク質含量やアミロース含量の地域変動や年次変

動が認められ、とくにタンパク質含量に比較してアミロース含量の変動が大きく、さらに北海道を代表する良食味ブランド米である「ゆめぴりか」の変動が最も大きいことが認められた。タンパク質含量やアミロース含量の地域変動や年次変動は食味品質のバラツキがあることを意味する。また、コンビニ、外食産業などの実需者が取り扱う最終商品の形態は、白飯だけでなく丼飯、炒飯、加工米飯、チルド米飯、冷凍米飯など多岐に亘り、各形態において要求される米品質は異なる。そのため、共乾施設などから出荷する玄米において、ロットごとに出荷時検査をおこない、水分、タンパク質含量、アミロース含量などの成分情報を付与することが品質保証（成分保証）として重要であると考えられる。さらに精米工場において、同一品種で異なるロットの米をブレンドする場合、異なる品種をブレンドする場合など、タンパク質含量とアミロース含量の情報を基に、最終商品を想定した適切なブレンドをおこなうことも可能となる。その結果、米の成分（品質）を保証し、最終消費形態（白飯、丼飯、炒飯、加工米飯、チルド米飯、冷凍米飯など）それぞれに適した精白米の利用拡大につながると考えられる。

生産した米に品質情報を付けその情報を連携させて流通販売することは、2021年から農林水産省が進める「農機API共通化コンソーシアム（2024）」や「スマート・オコメ・チェーンコンソーシアム（2024）」における農業食料生産のDX（デジタルトランスフォーメーション）の目標に合致するものである。

米の生産現場における成分分析計の利用にあたっては、分析計の保守点検、バイアス調整と測定精度の確認など、精度を維持するためのメンテナンスが非常に重要である。また、米の成分分析計SGEではアミロースの測定精度を確保するために、一般うるち系統品種と低アミロース系統品種との2本の検量線を用いる（川村，2022a；Iino et al, 2024）。すなわち、共乾

施設などでの成分分析計の利用において、検量線のバイアス調整や適切な検量線の選択に留意する必要がある。

ホクレンでは毎年、成分分析計補正用基準サンプルを調製して北海道の農協などに配布し、米の収穫前に各成分分析計のバイアス調整と測定精度の確認をおこなっている。バイアス調整はケルダール法で測定したタンパク質含量が既知のサンプルを基におこなう。このサンプルに呈色比色法（オートアナライザ）で測定したアミロース含量を付け加えることにより、北海道内各地の成分分析計 SGE のタンパク質含量とアミロース含量のバイアス調整が可能となる。これは成分分析計の測定精度を維持するために不可欠である。

5. 要約

本研究では、北海道米の品質の地域変動（各地域の差異）や年次変動を明らかにするために、北海道内各地の8農協の8施設で米の品質検査装置（成分分析計、近赤外分析計）を用いて測定したタンパク質含量やアミロース含量を調査した。その結果、タンパク質含量やアミロース含量の地域変動や年次変動が認められた。また、地域変動や年次変動は、タンパク質含量に比較してアミロース含量の方が大きかった。さらに、アミロース含量の地域変動や年次変動は、「ななつぼし」に比較して「ゆめぴりか」の方が大きいことが示された。タンパク質含量やアミロース含量の地域変動や年次変動は、食味品質のバラツキがあることを意味する。よって、共乾施設などから出荷する玄米について、ロットごとに出荷時検査をおこない、タンパク質含量、アミロース含量、整粒、未熟粒、被害粒などの情報を付けることが品質保証（成分保証）として重要であると同時に、各種用途に応じた米の利用拡大にも繋がると考えられた。ただし、既に北海道で導入されているタンパク仕分に加え、タンパク・アミロース仕分を直ちに導入

することは、各施設において米を仕分して収納するタンク、ビン、サイロなどの設備が不足するために時期尚早と考えられる。米の生産現場における成分分析計の利用にあたっては、分析計の保守点検、バイアス調整や測定精度の確認などが測定精度維持のために非常に重要となる。生産した米に対して品質情報を付与して流通販売する際には、この点にも留意する必要がある。

第5章 北海道米の業務用チルド米飯の適性評価

1. 目的

1人1か月あたりの精米消費量のうち，スーパー，コンビニ，レストランといった中食・外食における消費は30%強を占める（米穀安定供給確保支援機構，2024）。持ち帰りの弁当や惣菜のうち，製造直後から10℃以下で管理を行う「チルド弁当」は，従来の常温弁当よりも消費期限を延長できるほか，半熟卵や生野菜などおらずに使用可能な食材のバリエーションを広げることができる。さらに物流面で人材不足，輸送コスト増などいわゆる物流の2024年問題（星野，2023）により店舗への配送頻度が減る中で，販売可能期間（消費期限）の長いチルド弁当の製造販売は今後も増加すると予想される（東洋経済，2023）。「チルド弁当」は低温流通後に電子レンジで長時間加熱する。すなわち，製造段階から消費に至るまでの冷却・保存・加熱の工程によって，澱粉の老化と水分の蒸発が起こり，その結果ご飯がパサつくという課題が生じる。

そこで，「チルド弁当」向け原料米（以下，チルド米飯）の適性評価法を構築し，北海道米の品種間での適性の違いを明らかにするとともに，「チルド弁当」用途における北海道米の利用拡大に貢献することを目的として試験を行った。

また，中食・外食において提供されるチルド米飯は，原料の在庫状況や年間を通じた食味品質の安定化を図るために複数の品種を混合（ブレンド）して使用することもある。そこで，単一品種での適性評価結果を基にブレンド米を作製し，ブレンド米をチルド米飯として冷却・保存・再加熱した際の特性の明確化および適性評価をする目的で試験を行った。

2. 方法

(1) 供試試料

表 5-1 に単一品種の供試試料を示した。試料はすべて 2015 年産の玄米を用いた。「ゆめぴりか」は、タンパク質含量 (Pt%) が低い試料 (Pt7.0%) と高い試料 (Pt7.6%) の 2 試料を用いた。

表 5-2 にブレンド米の供試試料を示した。「ゆめぴりか (Pt7.6%)」, 「ななつぼし」, 「コシヒカリ」は、単一品種での試験と同じ試料を用いた。なお, 「コシヒカリ」は在庫量の関係上, 新たに入手した 2015 年産の「コシヒカリ」と 5 : 5 でブレンドしたものをを用いた。

表 5-1 供試試料 (単一品種)

試料	タンパク質 含量 (%)	アミロース 含量 (%)
ゆめぴりか (Pt7.0%)	7.0	18.4
ゆめぴりか (Pt7.6%)	7.6	18.4
おぼろづき	7.7	17.2
ななつぼし	7.7	20.6
ふっくりんこ	7.7	21.5
きたくりん	8.3	22.9
コシヒカリ	5.7	18.7
ひとめぼれ	6.7	21.6

表 5-2 供試試料 (ブレンド米)

試料	タンパク質 含量 (%)	アミロース 含量 (%)	備考
ゆめぴりか (Pt7.6%)	7.6	18.4	
ななつぼし	7.7	20.6	単一品種試験時と 同じ試料
コシヒカリ	5.7	18.7	
コシヒカリ	6.2	18.7	ブレンドして使用

(2) 試料の調製

ア. 搗精

搗精は竪型摩擦式精米機（株山本製作所製 RICE PAL VP-32T）を用い、搗精歩留まりが $90\% \pm 1\%$ となるように、かつ、精白米白度が 40 程度となるように搗精した。なお、玄米白度および精白米白度は、白度計（ケット科学研究所製 C-300-3）を用いて測定した。

イ. 炊飯条件

精白米 800 g を洗米後、常温で 1 時間浸漬し、水切りをしたあと、試料ごとに設定した加水倍率（精米重量対比）で炊飯した。表 5-3 に単一品種の加水倍率を、表 5-4 にブレンド米の加水倍率を示した。低アミロース系統である「ゆめぴりか」、「おぼろづき」は一般うるち系統品種よりも粘りが強い傾向にあることから（久野ら，2000；安東ら，2007；後藤ら，2009），加水倍率を低く設定した。炊飯には家庭用 IH 炊飯器（National 製 SR-A18S）を用いた。

表 5-3 加水倍率（単一品種）

試料	加水倍率 (倍)
ゆめぴりか (Pt7.0%)	1.30
ゆめぴりか (Pt7.6%)	1.30
おぼろづき	1.30
ななつぼし	1.35
ふっくりんこ	1.35
きたくりん	1.35
コシヒカリ	1.35
ひとめぼれ	1.35

※ 低アミロース系統品種の「ゆめぴりか」、「おぼろづき」は炊飯歩留が 215%～220%の範囲，その他の品種は 220%～225%の範囲に収まるよう設定した。

表 5-4 加水倍率（ブレンド米）

試料	加水倍率 (倍)
ゆめぴりか：コシヒカリ=3:7	1.33
ゆめぴりか：コシヒカリ=2:8	1.34
ゆめぴりか：コシヒカリ=4:6	1.33
ゆめぴりか：ななつぼし=5:5	1.32
ゆめぴりか：ななつぼし=8:2	1.31

（３）炊飯後試料の保存・加熱条件

ア．量目

炊き上がり直後の炊飯米 160 g～165 g（一膳分）を市販の弁当容器（中央化学㈱製 CTL ランチ ライス）に盛り付けた。

イ．冷却・保存方法

ブラストチラー（福島工業㈱製 QXF-012SF5）のハードチルモード（冷却温度-10℃）で、盛り付け後の試料を 4℃になるまで冷却し（約 45 分間）その後、4℃に設定したインキュベーターで 24 時間保存した。

ウ．加熱条件

保存した試料は、家庭用電子レンジ（東芝製 ER-A3（S））を用いて 500W で 2 分間加熱し、試料温度を 90℃程度まで上昇させた。蓋をしたまま 40 秒間静置後、官能評価に供試した（図 5-1）。

（４）官能評価

ア．パネル（評価者）

パネルは 7 名（男性 4 名，女性 3 名）とした。

イ．評価項目

米粒の崩れ具合，甘味，粘り，硬さの 4 項目とした。

ウ．評価方法

1回の官能評価につき、基準米（「ゆめぴりか」：「コシヒカリ」=3:7のブレンド米）1点に対する比較試料3点の評価を10 cmの線尺度を用いて行った。なお、パネルに対してサンプル情報は公表せず、試料の識別には3桁の乱数を用いた。

エ．解析方法

評価結果は、線尺度上の位置を計測することで数値化した。各パネルの試験結果の数値化後、評価項目ごとに平均値を0、標準偏差を1として評価結果を標準化し、統計解析ソフト JMP®11.2.0（SAS Institute Japan）を用いて解析を行った。官能評価における基準試料と比較試料との有意差検定は Dunnett 法を採用した。また、理化学分析の項目間および官能評価と理化学分析の間の有意差検定は t 検定にておこなった。

（5）理化学分析

ア．精白米のアミロース含量

オートアナライザー（BLTEC 製 Solid Prep III）を用いて、ヨウ素を試薬としヨウ素澱粉反応を利用した呈色比色法により米粉に含まれる澱粉のアミロースとヨウ素の複合体量を波長 620 nm の吸光度として測定し、精白米のアミロース含量を求めた。

イ．精白米のタンパク質含量

インフラライザー（Unity Scientific 製 Spectra Star XT）を用いて測定し、乾物基準で示した。

ウ．食味値

炊飯食味計（SATAKE 製 STA1A）を用い、マニュアルに準じて測定した。すなわち、低温保存した炊飯米を加熱し、専用のステンレス缶に 60 g～65 g ずつ秤量した。缶を通風冷却機に2時間入れたのち、缶の中の試料を専用リングに 8 g ずつ秤量した。なお、1 試料につき 2 缶分を秤量し、そのうち

1 缶につき 3 反復分のリングを作成した。リングの裏表ともに 10 秒間ずつ圧力をかけた後に測定した。

エ．物性

低温保存後の試料を加熱し、専用リングに 10 g ずつ充填したのち、60℃で保管した後に、テクスチャーアナライザー（Stable Micro Systems 社 TA-XT plus）を用いて物性を測定した。

オ．糊化特性

ラピッド・ビスコ・アナライザー（NEWPORT SCIENTIFIC RVA-3D PLUS 型）（以下、RVA）を用いて糊化特性を測定した。測定は豊島ら（1997）の方法に従いおこなった。得られた粘度曲線から、糊化特性として糊化開始温度、最高粘度、最低粘度、ブレイクダウン（最高粘度と最低粘度の差）、最終粘度およびセットバック（最低粘度と最終粘度の差）を求めた（図 5-2）。

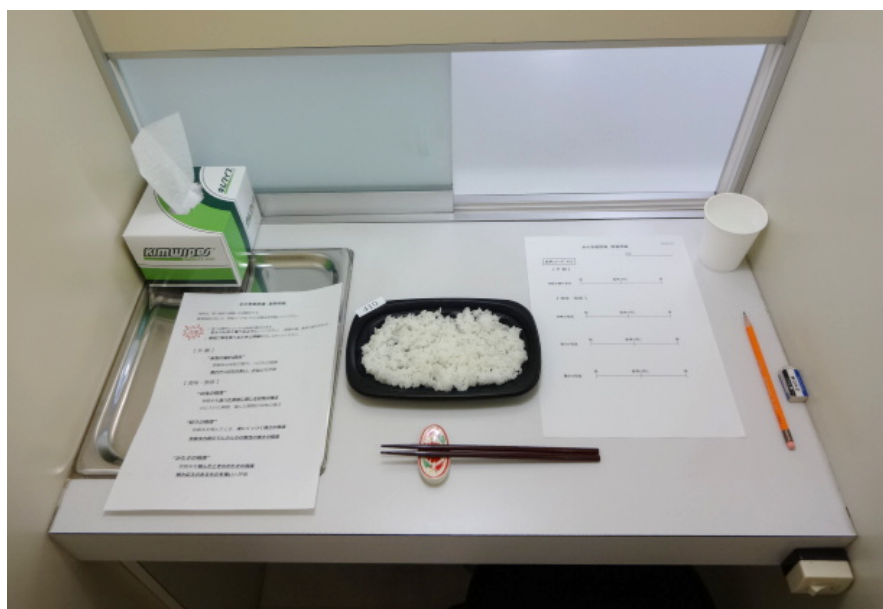


図 5-1 官能評価ブース内の様子

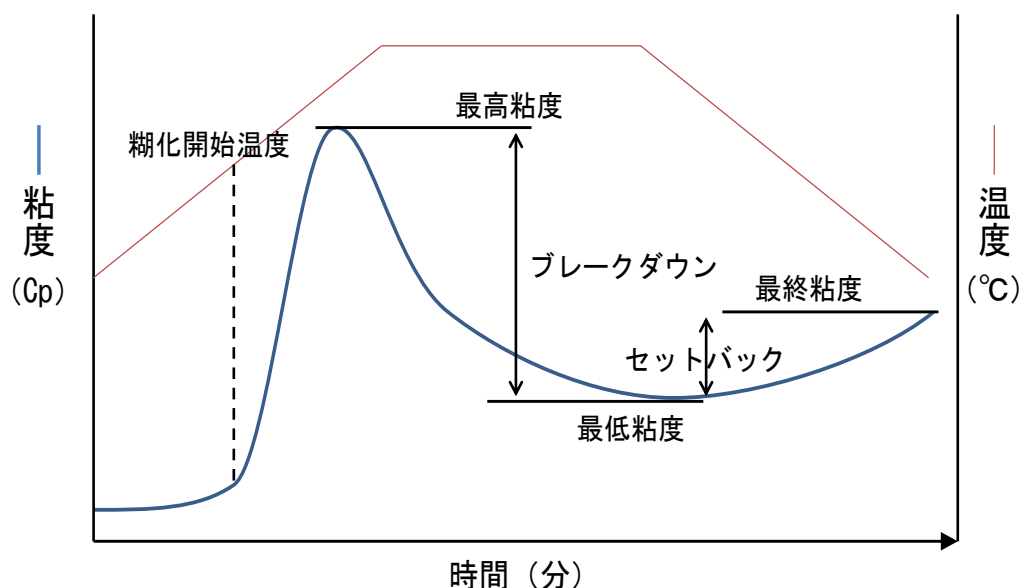


図 5-2 RVA の熱糊化-老化曲線およびパラメータ

3. 結果

(1) 単一品種

ア. 官能評価

表 5-5 に官能評価結果を示した。また、図 5-3 に官能評価結果の数値を基に作成したグラフを示した。

米粒の崩れは、「ゆめぴりか (Pt7.0%)」、「ゆめぴりか (Pt7.6%)」、「おぼろづき」が他の試料に比較して少ない傾向にあった。甘味は「ひとめぼれ」が最も強い傾向にあった。粘りは「ゆめぴりか (Pt7.0)」が最も強く基準に対して有意差 ($p<0.01$) が示された。硬さは「きたくりん」が最も強い傾向にあった。

米粒の崩れが多い試料は、甘味が強いと評価される傾向にあった。本試験では、チルド米弁当を再加熱直後に食べることを想定して行い、試料提供時の炊飯米温度は約 90°C と高かった。そのため、米粒の崩れが多く、表面が軟らかい（脆い）状態の試料ほど甘味を感じやすかったと考えられる。

図 5-4 にパネルによる米粒の崩れの評価とアミロース含量との関係性を示

した。米粒の崩れとアミロース含量との間には有意差は認められないが正の相関関係があり ($r=0.66$)、アミロース含量が高いほど米粒の崩れが多くなることが示唆された。

粘り、硬さは各試料とも通常炊飯時と同様の傾向が示された。特に「ゆめぴりか」、「おぼろづき」では、炊飯米を冷却・保存・再加熱した際にも、通常炊飯時と同様に低アミロース系統品種の特徴である粘り（久野ら，2000；安東ら，2007；後藤ら，2009）の持続が示された。

表 5-5 官能評価結果

試料	パネルによる評価結果の平均値			
	崩れの 程度	甘味の 程度	粘りの 程度	硬さの 程度
ゆめぴりか：コシヒカリ=3:7（基準米）	0.17±0.34	0.26±0.52	-0.22±0.40	0.25±0.38
ゆめぴりか（Pt7.0%）	-0.33±1.13	-0.03±1.22	0.84±0.90 ^{**}	-0.26±1.09
ゆめぴりか（Pt7.6%）	-0.58±1.13	-0.25±1.42	0.31±0.94	-0.14±1.20
おぼろづき	-0.52±0.85	-0.21±0.94	0.41±1.00	-0.25±1.05
ななつぼし	0.11±0.98	-0.06±0.98	-0.15±0.92	0.13±0.94
ふっくりんこ	0.26±0.89	0.12±1.18	-0.23±1.11	-0.27±0.91
きたくりん	0.13±0.86	-0.12±0.74	-0.45±0.81	0.51±0.89
コシヒカリ	0.32±0.99	-0.02±0.72	-0.57±0.82	0.18±0.88
ひとめぼれ	0.43±1.03	0.29±0.90	0.05±1.07	-0.15±1.14

**：基準米に対して 1%で有意差があることを示す（Dunnett's test）

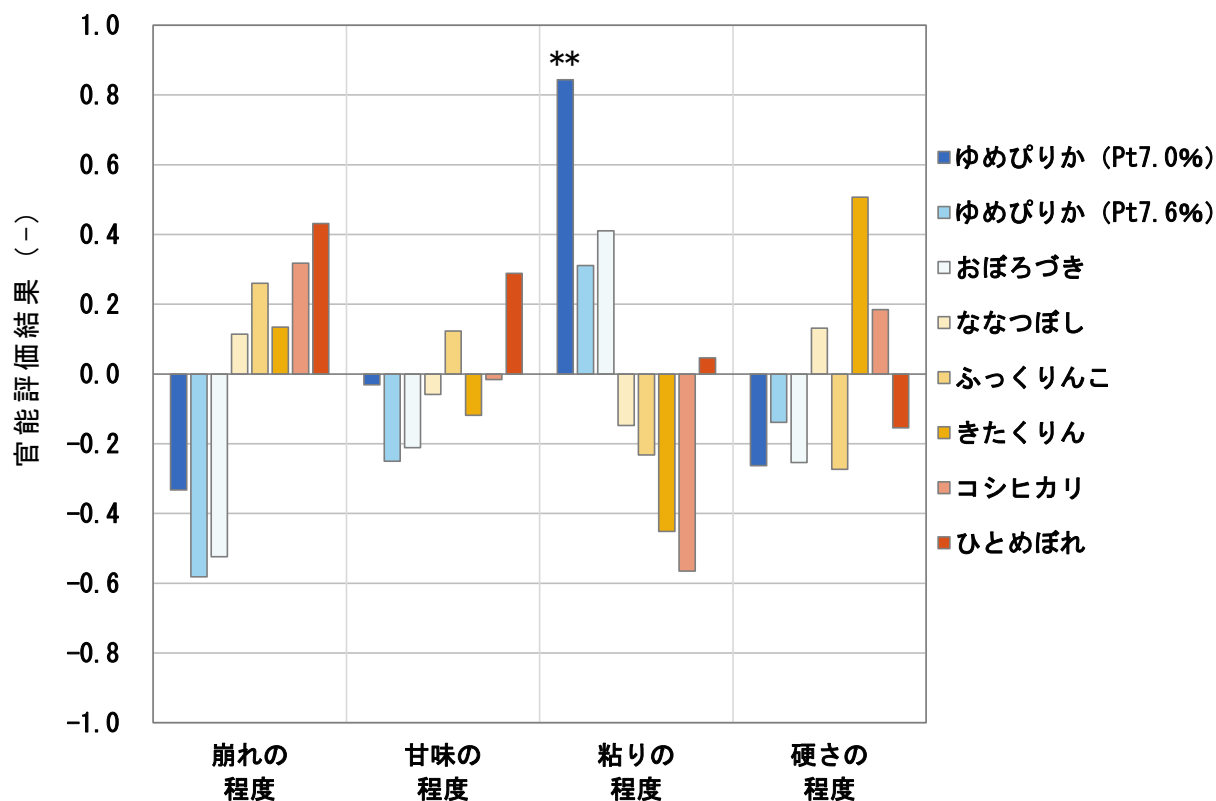


図 5-3 官能評価結果

**: 基準米に対して 1%で有意差があることを示す (Dunnett 's test)

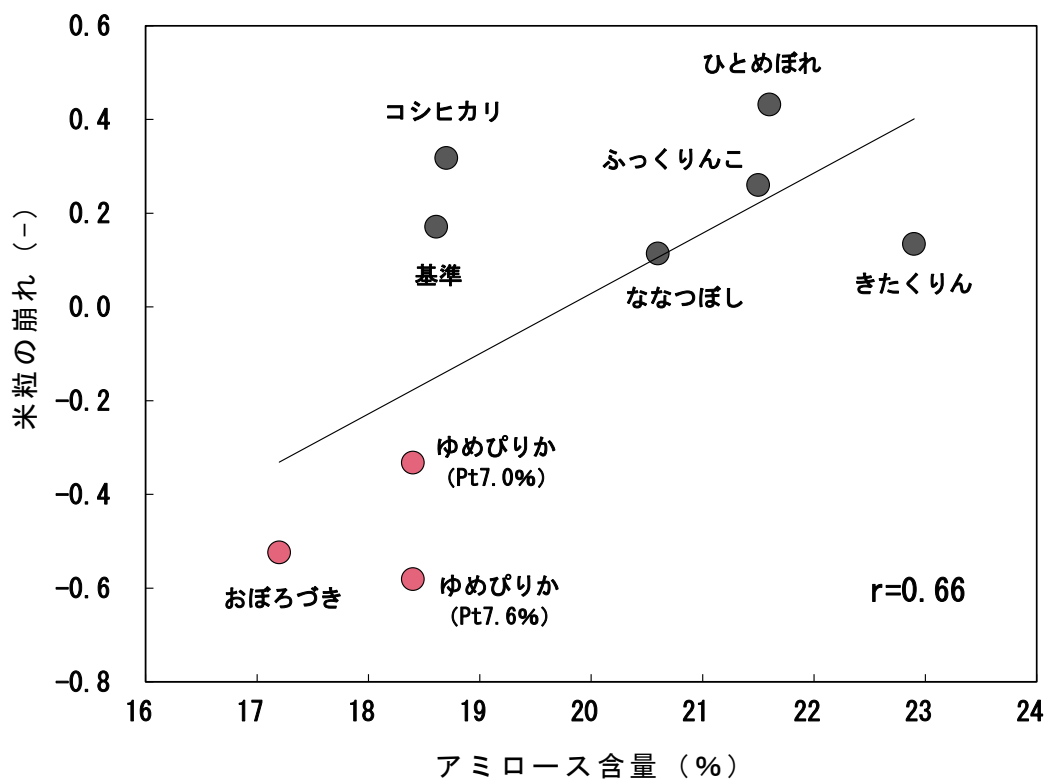


図 5-4 パネルによる崩れの評価とアミロース含量

イ．理化学分析

(ア) 食味計による測定結果

表 5-5 に食味計による各測定値とタンパク質含量およびパネルによる官能評価結果との相関係数を示した。食味計は近赤外分光法を用いた装置であり，従来から炊飯米のタンパク質含量と相関があるとされる（川村ら，1996；横江ら，2009）。

本試験において，食味計による測定値とタンパク質含量には高い相関が認められた。一方，パネルによる官能評価結果とは関連性が認められなかった。このことから，食味計を用いることによりチルド米飯のタンパク質含量の高低は予測可能であるが，食味特性を判断するのは困難であると考えられた。

表 5-5 食味計による測定値，タンパク質含量および
官能評価結果との相関係数

	食味計				食味値
	外観	硬さ	粘り	バランス度	
タンパク質含量	-0.90**	0.94**	-0.88**	-0.89**	-0.90**
崩れの程度	0.10	-0.17	0.06	0.08	0.11
甘味の程度	0.40	-0.40	0.37	0.38	0.40
粘りの程度	0.10	0.05	0.15	0.12	0.10
硬さの程度	0.00	-0.09	0.03	0.00	0.02

**：項目間において危険率 1% で有意な相関があることを示す。

(イ) テクスチャーアナライザー（以下、TA）による物性値

表 5-6 に 60℃で保管した供試試料の物性値（硬さ，粘り，付着性）の平均値を示した。また，図 5-5 にはパネルによる硬さの評価と TA による硬さのグラフを，図 5-6 にはパネルによる粘りの評価と TA による粘りのグラフを示した。

本試験では，パネルによる硬さの評価と TA による硬さの測定値との間に有意な正の相関（ $r=0.72$ ， $p<0.05$ ）が示された。また，パネルにより粘りが強いと評価された試料は，TA による粘りおよび付着性の測定値が高い傾向にあった。以上の結果から，チルド米飯の硬さや粘りについては，分析機器により予測可能であることが示唆された。

表 5-6 パネルによる評価結果と TA による測定結果

試料	パネルによる評価結果		TAによる測定結果		
	硬さの程度 (-)	粘りの程度 (-)	硬さ (N)	粘り (N)	付着性 (N・m)
ゆめぴりか (Pt7.0%)	-0.26±1.09	0.84±0.90	65.0±6.0	14.6±1.5	7.5±1.7
ゆめぴりか (Pt7.6%)	-0.14±1.20	0.31±0.94	63.9±7.9	14.8±1.9	7.1±1.2
おぼろづき	-0.25±1.05	0.41±1.00	62.7±5.0	14.4±1.8	7.4±1.3
ななつぼし	0.13±0.94	-0.15±0.92	62.7±4.8	12.9±2.4	5.3±0.7
ふっくりんこ	-0.27±0.91	-0.23±1.11	59.9±5.3	13.3±1.9	5.5±0.7
きたくりん	0.51±0.89	-0.45±0.81	67.7±5.2	11.5±2.5	5.3±1.3
コシヒカリ	0.18±0.88	-0.57±0.82	64.1±4.6	13.6±1.5	5.9±1.1
ひとめぼれ	-0.15±1.14	0.05±1.07	62.1±5.2	12.4±1.6	5.2±0.8

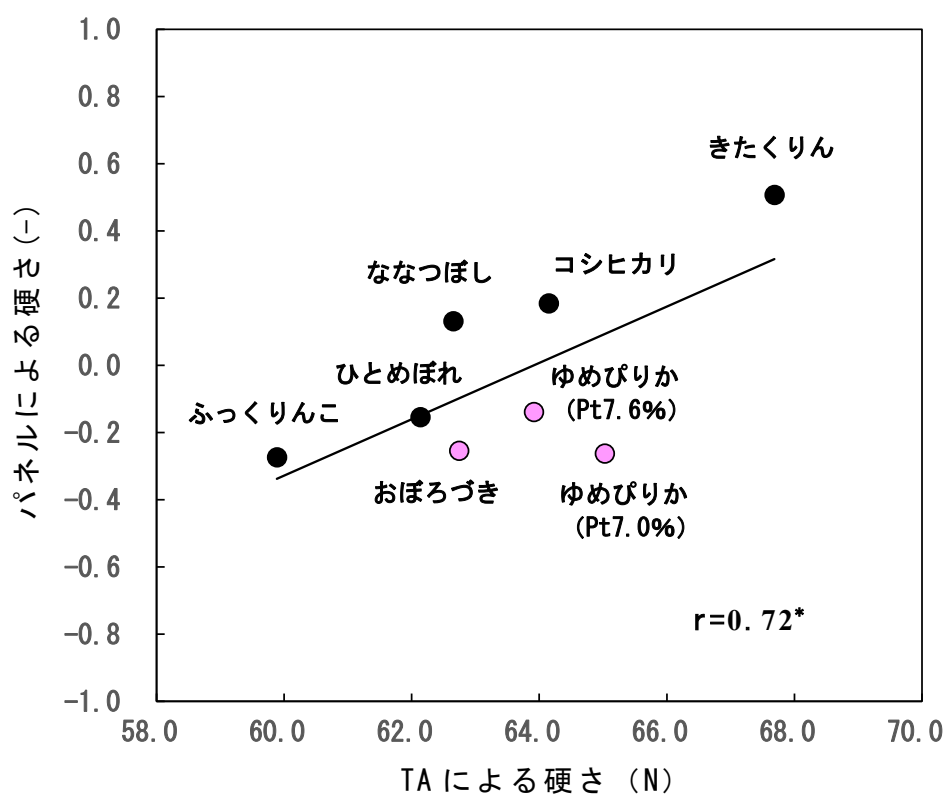


図 5-5 パネルによる硬さの評価と TA による硬さ

*: 項目間において危険率 5% で有意な相関があることを示す。

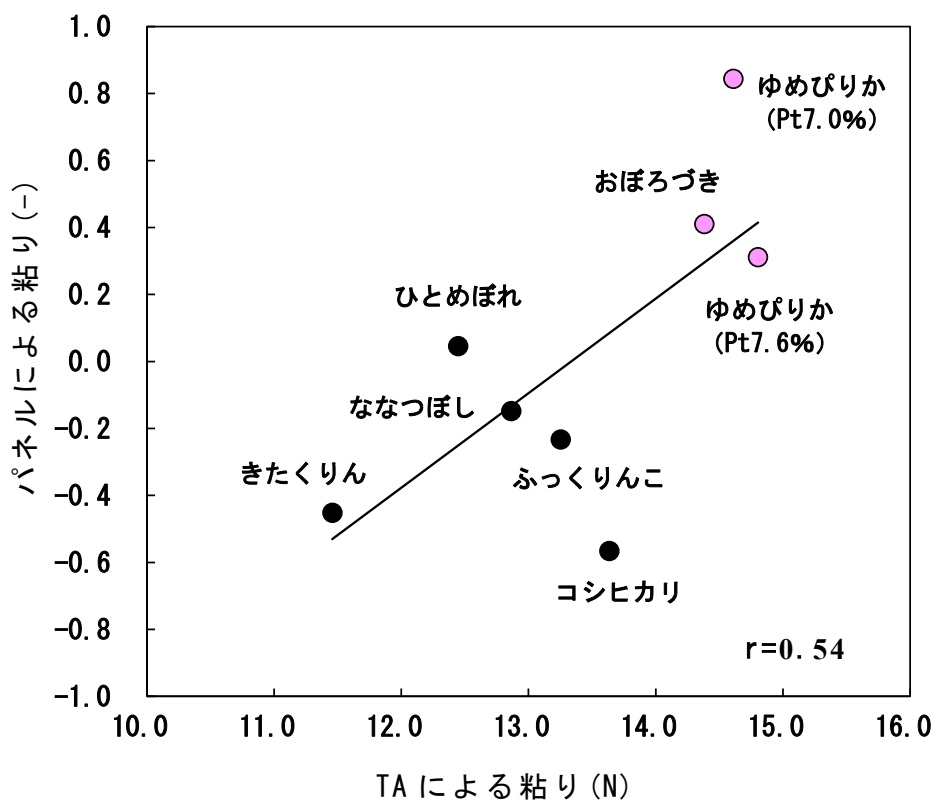


図 5-6 パネルによる粘りの評価と TA による粘り

(ウ) ラピッド・ビスコ・アナライザー（以下、RVA）による糊化特性

表 5-7 に単一品種の糊化特性値を示した。RVA の測定項目のうち、最高粘度は澱粉糊化液の粘度の上限値、最低粘度は澱粉糊化液の粘度の下限値、最終粘度は機器の温度を下げることにより澱粉が老化した際の粘度を示す。最終粘度と最低粘度の差であるセットバックは、値が大きいほど老化性が高いことを意味する（久野ら，2000；大坪，2018）。

本試験において、パネルによる崩れの評価とセットバックとの間には有意な正の相関（ $r=0.82$, $p<0.05$ ）が示され、老化性の高い試料ほど崩れの程度が大きくなることが明らかとなった。さらに、試料の糊化特性測定によりチルド米飯の耐老化性を予測可能であることが示唆された。

また、最高粘度およびブレイクダウン（最高粘度と最低粘度の差）は試料の膨潤性を表し、その値が大きいほど良食味とされる（久野ら，2000）。本試験では、タンパク質含量とブレイクダウンとの間に有意な負の相関（ $r=-0.81$, $p<0.05$ ）が示された。すなわち、タンパク質含量の低い試料ほど膨潤性が高い傾向が示された。

前述の通り、米飯の老化は低温保存により進む(鈴木ら，1989)ことから、チルド米飯においては試料の耐老化性の有無が重要になると考えられる。

従来、低アミロース系統品種は一般うるち系統品種とアミロペクチンの鎖長分布が異なり(五十嵐ら，2008)、もち米に近似しており(松田ら，2003)耐老化性があるとされる（高見ら，1998；鈴木ら，2006）。本試験においても低アミロース系統品種である「ゆめびりか」、「おぼろづき」のセットバックは低く、老化しにくい品種であることが確認された。このことは、チルド米飯における課題の一つである低温保存に起因する米飯のパサつきの抑制に効果的であると考えられた。

表 5-7 RVA による糊化特性の測定結果

試料	糊化開始 温度(°C)	最高粘度 (RVU)	ブレーク ダウン(RVU)	最低粘度 (RVU)	セット バック(RVU)	最終粘度 (RVU)
ゆめぴりか (Pt7.0%)	66.9±0.4	364.6±2.1	198.8±1.7	165.9±0.6	98.9±0.8	264.8±1.3
ゆめぴりか (Pt7.6%)	67.1±0.1	373.1±2.7	204.7±8.1	168.4±5.4	98.2±1.2	266.6±6.2
おぼろづき	66.3±0.4	363.9±1.0	213.8±6.2	150.1±5.4	89.3±2.5	239.4±3.0
ななつぼし	67.0±0.1	360.7±3.2	190.1±4.0	170.6±2.7	108.6±0.2	279.2±2.4
ふっくりんこ	66.5±0.1	352.6±1.3	158.0±8.3	194.5±8.7	122.8±0.8	317.3±9.4
きたくりん	65.8±0.0	309.5±1.6	158.7±1.3	150.8±1.5	119.8±0.5	270.6±1.1
コシヒカリ	69.8±0.4	412.6±4.5	259.3±5.0	153.3±3.8	103.9±2.6	257.2±2.1
ひとめぼれ	65.8±0.1	362.9±5.8	195.9±3.6	167.0±4.3	119.3±0.8	286.3±4.3

(2) ブレンド米

ア. 官能評価

表 5-8 に官能評価結果を示した。米粒の崩れが最も少ないと評価されたのは、「ゆめぴりか：ななつぼし＝5：5」のブレンド米で、基準との間に有意差 ($p<0.01$) が認められた。次に崩れの少ない「ゆめぴりか：ななつぼし＝8：2」のブレンド米も基準との間に有意差 ($p<0.05$) が認められた。一方で甘味は、「ゆめぴりか：ななつぼし＝5：5」のブレンド米が最も弱いとされ、基準との間に有意差 ($p<0.05$) が認められた。粘りは、「ゆめぴりか：ななつぼし＝8：2」のブレンド米が最も強く、基準との間に有意差 ($p<0.05$) が認められた。これには「ゆめぴりか」単体の粘りの強さが影響したと考えられた。硬さは、基準のブレンド米（「ゆめぴりか：コシヒカリ＝3：7」）が最も強い傾向にあったが、比較試料間との有意差は認められなかった。

ブレンド米は、単一品種での評価結果から想定される特性をおおよそ示したことから、単一品種の特性を基に目標とするブレンド米の大まかな比率を決定することが可能であると考えられる。

表 5-8 官能評価結果

試料	パネルによる評価結果			
	崩れの 程度(-)	甘味の 程度(-)	粘りの 程度(-)	硬さの 程度(-)
ゆめぴりか：コシヒカリ=3:7	0.54±0.39	0.38±0.51	-0.17±0.46	0.34±0.22
ゆめぴりか：コシヒカリ=2:8	0.26±1.10	-0.09±0.98	-0.13±0.96	-0.15±0.99
ゆめぴりか：コシヒカリ=4:6	0.15±0.85	0.02±0.89	-0.29±1.02	0.03±0.96
ゆめぴりか：ななつぼし=5:5	-0.72±0.90 ^{**}	-0.39±1.02 [*]	0.04±1.21	-0.01±1.29
ゆめぴりか：ななつぼし=8:2	-0.24±1.08 [*]	0.09±0.91	0.55±0.89 [*]	-0.21±1.05

基準に対して有意差があることを示す (Dunnett's test)
(*:p<0.05, **:p<0.01)

ブレンド米に占める「ゆめぴりか」の比率の変化が、粘りと硬さの評価に及ぼす影響を、「コシヒカリ」とのブレンド米 (図 5-7), 「ななつぼし」とのブレンド米 (図 5-8) のそれぞれについて図に示した。

「ななつぼし」とのブレンドにおいては、「ゆめぴりか」の比率が増えた場合に粘りが強く、軟らかくなる傾向にあった。「コシヒカリ」とのブレンドにおいては、「ゆめぴりか」の比率が増えた場合に粘りが強くなる傾向にあったが、比率が 20%～40% の間の差はわずかで、細かな比率の違いによる特性差が明確に表れなかった。

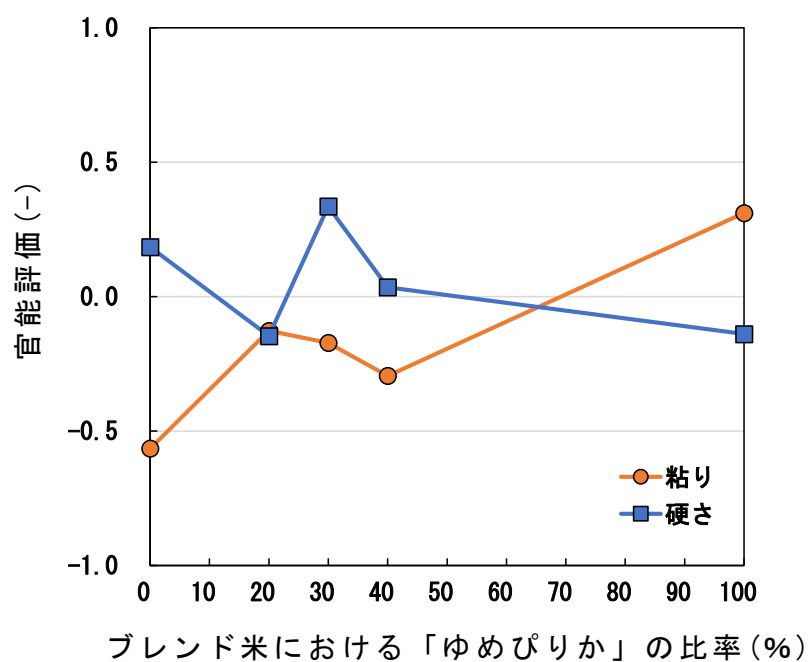


図 5-7 「ゆめぴりか」と「コシヒカリ」のブレンド米における
粘りと硬さの変動

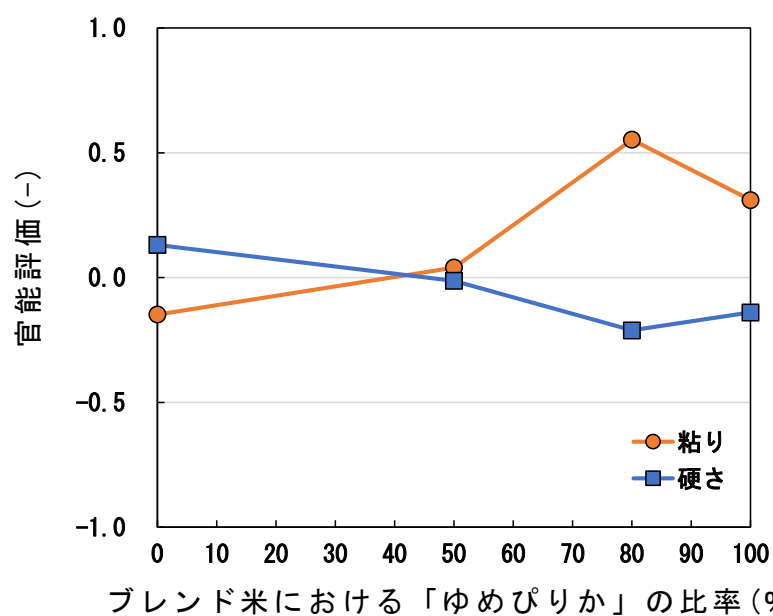


図 5-8 「ゆめぴりか」と「ななつぼし」のブレンド米における
粘りと硬さの変動

イ．理化学分析

(ア) 食味計による測定結果

表 5-9 に試料のタンパク質含量，パネルによる崩れの程度の評価結果および炊飯食味計による食味値を示した。単一品種と同様に，食味計による各測定値とタンパク質含量との間には有意な相関が認められた。また，ブレンド米のタンパク質含量とパネルによる米粒の崩れの評価結果との間には有意な負の相関 ($r=-0.88$, $p<0.05$) が示された。すなわち，タンパク質含量の高い試料ほど米粒の崩れが少ない傾向が明らかとなった。

表 5-9 タンパク質含量，崩れの程度および食味値

試料	タンパク質 含量 (%)	パネルの評価	炊飯食味計
		崩れの程度 (-)	食味値 (-)
ゆめぴりか：コシヒカリ=3:7	6.45	0.54 ± 0.39	88.0 ± 1.0
ゆめぴりか：コシヒカリ=2:8	6.28	0.26 ± 1.10	87.7 ± 0.7
ゆめぴりか：コシヒカリ=4:6	6.61	0.15 ± 0.85	87.0 ± 0.6
ゆめぴりか：ななつぼし=5:5	7.65	-0.72 ± 0.90	78.8 ± 1.1
ゆめぴりか：ななつぼし=8:2	7.70	-0.24 ± 1.08	79.0 ± 0.8

※ ブレンド米のタンパク質含量は，単一品種試料の含量から計算した理論値

(イ) TA による物性値

表 5-10 に 60℃で保管した供試試料の物性値（硬さ，粘り，付着性）を示した。TA による硬さの測定値とパネルによる硬さの評価との間に正の相関関係 ($r=0.87$) が示されたが，有意ではなかった。単一品種ではチルド米飯の物性について，分析機器によりある程度の予測が可能であると考えられたが，ブレンド米において本試験のようにブレンド比率の違いがわずかである場合，物性の差異を分析機器で示すのは難しいと考えられる。

表 5-10 パネルによる評価結果と TA による測定結果

試料	パネルによる評価結果		TAによる測定結果の平均値		
	硬さの程度 (-)	粘りの程度 (-)	硬さ (N)	粘り (N)	付着性 (N・m)
ゆめぴりか：コシヒカリ=3:7	0.34±0.22	-0.17±0.46	63.8±4.4	15.1±1.7	6.9±1.2
ゆめぴりか：コシヒカリ=2:8	-0.15±0.99	-0.13±0.96	59.7±3.9	14.0±1.9	6.5±1.1
ゆめぴりか：コシヒカリ=4:6	0.03±0.96	-0.29±1.02	58.2±4.9	14.2±1.8	6.4±1.3
ゆめぴりか：ななつぼし=5:5	-0.01±1.29	0.04±1.21	59.3±4.2	13.0±1.3	5.6±0.8
ゆめぴりか：ななつぼし=8:2	-0.21±1.05	0.55±0.89	57.4±2.8	14.4±1.5	6.3±1.2

(ウ) RVA による糊化特性

表 5-11 にブレンド米の糊化特性値を示した。

パネルによる崩れの評価と糊化開始温度 ($r=0.91<0.05$)、崩れの評価と最高粘度 ($r=0.90$, $p<0.05$) との間に有意な正の相関が示された。すなわち本試験では、糊化開始温度や最高粘度の高い「ゆめぴりか」と「コシヒカリ」とのブレンド米において、米粒の崩れが多いことが予測可能と考えられる。また、アミロースとセットバックとの間に有意な正の相関 ($r=0.90$, $p<0.05$) が認められた。これにより、ブレンド米のアミロース含量が低いほど老化性が低いことを予測可能と考えられる。よって、ブレンド米の米粒の崩れや老化性の指標として RVA の測定値を利用可能であることが示唆された。

表 5-11 RVA による糊化特性の測定結果

試料	糊化開始 温度(°C)	最高粘度 (RVU)	最低粘度 (RVU)	ブレーク ダウン(RVU)	最終粘度 (RVU)	セット バック(RVU)
ゆめぴりか：コシヒカリ=3:7	70.0±0.1	416.3±5.0	174.1±5.4	242.2±0.5	274.1±2.4	100.0±3.2
ゆめぴりか：コシヒカリ=2:8	70.0±0.0	424.6±6.4	166.8±6.6	257.8±3.1	269.5±6.4	102.7±1.4
ゆめぴりか：コシヒカリ=4:6	69.3±0.0	412.6±4.1	173.4±9.3	239.2±5.8	273.2±5.9	99.7±3.4
ゆめぴりか：ななつぼし=5:5	66.5±0.0	372.0±1.3	167.9±1.8	204.1±3.0	275.2±2.6	107.3±0.8
ゆめぴりか：ななつぼし=8:2	66.5±0.0	374.8±1.6	162.9±0.3	211.9±1.7	263.5±1.6	100.5±1.4

4. 考察

本試験ではチルド米飯に求められると考えられる要素を予め絞り込み、単一品種およびブレンド米を対象とした適性評価をおこなった。その結果、低アミロース系統品種である「ゆめぴりか」、「おぼろづき」は冷却・保存・加熱した際に米粒の崩れが少なく、粘りも担保されることが明らかとなった。また、ブレンド米の適性評価では、単一品種での評価結果から想定される特性をおおよそ示したことから、単一品種の特性を基に目標とするブレンド米の大まかな比率を決定することが可能であると考えられた。特に、「コシヒカリ」の崩れや「ゆめぴりか」の粘りといった明確な特性は、ブレンドした際にも強く影響することが示唆された。ただし、ブレンド比率の違いがわずかな試料間では、それぞれの特性の差が明確に表れなかった。

さらに、「ゆめぴりか」、「おぼろづき」はRVAにおいて老化性が低い傾向が示された。このことは、チルド米飯における課題の一つである、低温保存によるパサつきの抑制に効果的であると考えられた。

理化学分析では、チルド米飯の崩れ、硬さ、耐老化性を予測可能であることが示唆された。しかし、現時点では分析機器のみによるチルド米適性の評価は困難である。今後、評価をより迅速かつ客観的に行うためには、官能評価結果との関連性について検証を重ねていくことが必要であると考えられた。

5. 要約

「チルド弁当」向け原料米（チルド米飯）の適性評価法を構築し、北海道米の単一品種での品種間差および複数品種を混合（ブレンド）した際の特性を明確化することで、「チルド弁当」用途における北海道米の利用拡大に貢献することを目的として研究をおこなった。その結果、低アミロース系統品種である「ゆめぴりか」と「おぼろづき」は米飯を冷却・保存・再加

熟した際に米粒の崩れが少なく、粘りも保持されることが明らかとなった。また、ブレンド米の適性評価では、単一品種での評価結果とブレンド比率から推定されるブレンド米の特性がおおよそ一致した。「ゆめぴりか」の粘りなどの特徴的な特性は、ブレンド米にも強く影響することが示唆され、単一品種の特性を基にブレンド米の比率を決定し、最終目標とする米飯特性を推定することが可能と考えられた。ラピッド・ビスコ・アナライザーによる糊化特性評価において、低アミロース系統品種の米飯の老化が少ない傾向が示され、チルド米飯における課題の一つである低温保存によるパサツきの抑制効果を評価する際の指標になると考えられた。

第6章 糖質カット炊飯器で炊飯した北海道米の 理化学特性と食味

1. 目的

近年、ダイエットや生活習慣病予防などを目的とした糖質制限が注目されており（朝妻ら，2018），その観点から糖質が多い食品の代表例である米飯は避けられる傾向にある（大澤ら，2008；市川，2011；農林水産省，2020b）。ところが，いくつかの家電製造企業から家庭用の糖質カット炊飯器が販売されており，低糖質な米飯の需要はあると考えられる。しかしながら，国民生活センター（2023）より，「糖質を低減できるとうたった電気炊飯器で炊飯した場合，同じ量の米から炊いたごはんに含まれる糖質の総量は通常の炊飯の場合と大きな差はみられない」と消費者へのアドバイスが出されている。それを受けて消費者庁（2023，2024）は2度にわたり，糖質カット炊飯器の販売事業者4社に対する景品表示法に基づく措置命令をおこなっている。

糖質カット炊飯器の原理は大きく2種類に分けられる。第1は，炊飯中に炊飯液を除去して蒸す方法，いわゆる湯取り法であり（安田ら，1976；花城ら，2004），炊飯中に溶出する澱粉が取り除かれることで糖質が低減していると考えられる。第2は，通常炊飯より多量の水で炊き上げ，米飯中の水分量を増やすことで糖質の割合を相対的に減らす方法である。このように，通常とは異なる炊飯方法を用いる糖質カット炊飯器において，炊飯米の特性変化（糖質（炭水化物）増減率，米飯物性，食味品質）は品種によって異なると予想され，それらを明らかにすることは消費者への正しい情報の提供と今後の米利用拡大の一助になると考えられる。そこで，本研究では糖質カット炊飯器の代表的な2機種を用いて，北海道米の品種ごとの特性変化を明らかにすることを目的に研究をおこなった。

2. 方法

(1) 供試試料

表 6-1 に供試試料を示した。試料はすべて 2022 年産の玄米を用いた。

なお、「ななつぼし」は一般うるち系統品種、「ゆめぴりか」は低アミロース系統品種、「大地の星」は冷凍米飯等加工向適性品種である。

表 6-1 供試試料

試料	玄米水分 (%)	精白米	
		タンパク質 含量 (%)	アミロース 含量 (%)
ななつぼし	15.2	7.3	21.0
ゆめぴりか	14.8	7.0	17.2
大地の星	14.1	6.0	22.4

(2) 試料の調製

ア. 搗精

搗精は縦型摩擦式精米機（株式会社山本製作所製 RICE PAL VP-32T）を用い、搗精歩留まりが 90.0%～90.1%となるように、かつ、精白米白度が 40 程度となるように搗精した。なお、玄米白度および精白米白度は、白度計（ケット科学研究所製 C-300-3）を用いて測定した。

イ. 炊飯条件

炊飯には通常の炊飯器（通常炊飯）および 2 種類の糖質カット炊飯器（糖質カット A、糖質カット B）を用いた。各々の詳細な炊飯方法を下記にまとめた。

また、表 6-2 に精白米質量に対する炊飯時の加水倍率を示した。

(ア) 通常炊飯

通常炊飯はいわゆる炊き干し法である。日本では江戸時代から炊き干し

法が用いられている（森井，2021）。精白米 450 g を洗米後，常温で 1 時間浸漬し，水切り後は品種ごとに設定した加水倍率で炊飯した。炊飯には家庭用 IH 炊飯器（Panasonic 製 SR-HB185-W）を用いた。

（イ）糖質カット A

炊飯中に炊飯液を除去する方法であり，いわゆる湯取り法である。海外とくに東南アジア，南アジアでのインディカ米の調理方法は湯取り法が主流である（森井，2021）。精白米 450 g を洗米後，常温で 1 時間浸漬した。外釜を 540 g の水で満たし，水切り後の試料を内釜に入れ，品種ごとに設定した加水倍率で炊飯した。炊飯には糖質カット炊飯器（ZHENMI 製 Healthy Rice Cooker X6）を用いた。炊飯中の溶出液は当該炊飯器の下部トレイに排出された。

（ウ）糖質カット B

通常炊飯より多量の水で炊き上げ，米飯中の水分量を増やすことで糖質の割合を相対的に減らす方法である。精白米 450 g を洗米後，常温で 1 時間浸漬し，水切り後は品種ごとに設定した加水倍率で炊飯した。炊飯には糖質カット炊飯器（IRIS OHYAMA 製 IJH50 型）を用いた。

表 6-2 炊飯時の加水倍率

試料	炊飯方法	炊飯時 加水倍率(倍)
	通常炊飯	1.35
ななつぼし	糖質カットA	1.17
	糖質カットB	1.38
	通常炊飯	1.25
ゆめぴりか	糖質カットA	1.08
	糖質カットB	1.28
	通常炊飯	1.50
大地の星	糖質カットA	1.30
	糖質カットB	1.54

※「ななつぼし」は、北海道米の品質評価時に一般うるち米（炊飯釜の目盛り）に対して加水量を 10.0% 減らしていることから、糖質カット A、糖質カット B も同様に通常炊飯より 10.0% 減の加水量となるよう調整した。

※「ゆめぴりか」は、北海道米の品質評価時に一般うるち米（炊飯釜の目盛り）に対して加水量を 16.7% 減らしていることから、糖質カット A、糖質カット B も同様に通常炊飯より 16.7% 減の加水量となるよう調整した。

※「大地の星」は、供試したすべての炊飯器において炊飯釜の目盛りに合わせた加水倍率とした。

（3）官能評価

下記方法により、「ななつぼし」と「ゆめぴりか」は 2 反復、「大地の星」は 1 反復の官能評価を実施した。

ア．供試炊飯米

炊き上がり直後の炊飯米を速やかに攪拌し、1 試料につき 40 g ずつ、1 皿（直径 23 cm）につき 4 点を盛り付け、プラスチックカップで覆ったのち紙皿全体をラップで包んだ。

イ．保温

紙皿ごと 60℃のインキュベーターに入れ、全体温度が 60℃で一定となるよう 30 分間程度保温した。

ウ．パネル（評価者）

パネルは18名（男女各9名）とした。

エ．評価項目

総合評価，白さ，つや，香り，甘み，硬さ，粘りの7項目とし，7段階の尺度で評価した。

オ．評価方法

官能評価の基準試料はすべて「ななつぼし」の通常炊飯米とし，品種ごとに評価を実施した。パネルに対してサンプル情報は公表せず，各試料の識別には3桁の乱数を用いた。

カ．解析方法

評価結果を数値化した後，統計解析ソフト JMP®15（SAS Institute Japan）を用いて官能評価および理化学分析における各群間の有意差についての統計解析を行った。官能評価結果の解析には Steel-Dwass 法を採用した。Steel-Dwass 法は，二群を対にして，すべての対について差があるかどうか検定する手法で，Tukey 法のノンパラメトリック版である（若杉，2004）。本研究の官能評価では，基準試料の評価値を予めすべての項目で「0」と設定したことにより正規分布ではなくなることから，ノンパラメトリック検定が適すると判断した。一方，理化学分析ではパラメトリック手法である Tukey 法を採用し，すべての対について有意差検定をおこなった。

（4）理化学分析

ア．玄米水分，精白米のタンパク質含量，アミロース含量

近赤外分析計（静岡製機(株)製 SGE-3000）を用いて測定した。

イ．米飯水分（炊飯直後）

炊飯前の精白米水分および炊き上がり直後の炊飯米重量から炊飯米水分を算出した。

ウ．米飯色調

分光測色計（コニカミノルタ製 CM-3500d）を用いて， L^* （明度）， a^* （赤

緑軸), b^* (黄青軸) の値を測定した。

エ. 米飯物性

炊き上がり直後の米飯を木杓に測り取り, 専用リングに 10 g ずつ充填したのち, 60℃で保管した。テクスチャーアナライザー (Stable Micro Systems 社 TA-XT plus, 以下 TA) を用いて物性を測定した。

オ. 炭水化物 (糖質)

水分を常圧加熱乾燥法 (135℃, 2 時間) で, たんぱく質をケルダール法で, 脂質を酸分解法で, 灰分を直接灰化法 (600℃, 5 時間) でそれぞれ測定した。そして, 米飯 100 g 中の炭水化物を次式により算出した。

$$\text{炭水化物 (g)} = 100 - (\text{水分} + \text{たんぱく質} + \text{脂質} + \text{灰分})$$

3. 結果

(1) 官能評価

表 6-3~表 6-5 に官能評価結果 (平均値±標準偏差) を示した。また, 図 6-1 に官能評価結果の数値を基に作成したグラフを示した。

ア. ななつぼし

糖質カット A は通常炊飯より有意に総合評価が低かった ($p<0.01$)。加えて, 通常炊飯より有意に白さが劣り ($p<0.05$), つやが弱く ($p<0.01$), 粘りが弱かった ($p<0.05$)。

糖質カット B は通常炊飯より有意に総合評価が低かった ($p<0.01$)。加えて, 通常炊飯より有意に白く ($p<0.05$), つやが強く ($p<0.05$), 軟らかかった ($p<0.01$)。

糖質カット A および糖質カット B にて, 総合評価に影響を与えた要因はそれぞれ異なるものの, 糖質カット炊飯により総合評価が低くなることが明らかとなった。また, 米飯の水分量が増加する糖質カット B の総合評価が最も低かった。

表 6-3 官能評価結果

試料	総合 評価(-)	白さ (-)	つや (-)	香り (-)	甘み (-)	硬さ (-)	粘り (-)
ななつぼし(通常炊飯)	0.00a±0.00	0.00b±0.00	0.00b±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00a±0.00	0.00a±0.00
ななつぼし(糖質カットA)	-0.72b±0.88	-0.33c±0.76	-0.89c±0.89	-0.11±0.57	-0.22±0.80	-0.17a±1.06	-0.50b±1.08
ななつぼし(糖質カットB)	-1.53c±1.30	0.36a±0.87	0.31a±0.71	-0.11±0.67	-0.19±0.98	-2.44b±0.69	-0.42ab±1.96

異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Steel-Dwass 検定, n=36)

イ. ゆめぴりか

糖質カット A は通常炊飯より有意に軟らかかった ($p<0.05$)。

糖質カット B は通常炊飯より有意に総合評価が低く ($p<0.01$), 白く ($p<0.05$), 甘みが弱く ($p<0.05$), 軟らかかった ($p<0.01$)。

糖質カット A, 糖質カット B とともに通常炊飯より総合評価が低くなったが, 有意差が示されたのは糖質カット B のみであった。このことから, 糖質カット炊飯で米飯水分が増加する場合は米飯が過度に軟らかくなるため, 明確に食味が劣ることが明らかとなった。

表 6-4 官能評価結果

試料	総合 評価(-)	白さ (-)	つや (-)	香り (-)	甘み (-)	硬さ (-)	粘り (-)
ななつぼし(通常炊飯)	0.00a±0.00	0.00c±0.00	0.00b±0.00	0.00±0.00	0.00ab±0.00	0.00a±0.00	0.00b±0.00
ゆめぴりか(通常炊飯)	0.11a±0.98	0.28bc±0.74	0.31ab±0.71	0.25±0.91	0.36a±0.99	0.08a±0.94	0.58a±1.02
ゆめぴりか(糖質カットA)	-0.47a±1.18	0.42ab±0.91	-0.11b±1.06	0.06±0.53	-0.06ab±1.04	-0.92b±1.54	0.19ab±1.26
ゆめぴりか(糖質カットB)	-1.69b±1.24	0.86a±0.96	0.72a±0.97	-0.11±0.89	-0.31b±1.09	-2.42c±0.81	-0.08ab±1.95

異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Steel-Dwass 検定, n=36)

ウ. 大地の星

糖質カット A は通常炊飯より有意に軟らかかった ($p<0.05$)。

糖質カット B は通常炊飯より有意に総合評価が低く ($p<0.01$), 軟らかかった ($p<0.01$)。

糖質カット A は通常炊飯より有意に軟らかかったものの総合評価に影響しない程度であった。一方, 糖質カット B は米飯水分の増加により過度に軟らかくなり, 総合評価が低下した。

表 6-5 官能評価結果

試料	総合 評価 (-)	白さ (-)	つや (-)	香り (-)	甘み (-)	硬さ (-)	粘り (-)
ななつぼし (通常炊飯)	0.00a±0.00	0.00b±0.00	0.00b±0.00	0.00±0.00	0.00a±0.00	0.00a±0.00	0.00±0.00
大地の星 (通常炊飯)	-0.56b±0.86	0.00ab±0.59	0.00abc±0.69	0.00±0.34	0.00ab±0.59	-0.89b±1.18	0.17±1.20
大地の星 (糖質カットA)	-0.61b±0.85	-0.22ab±0.81	-0.67c±0.77	0.11±0.58	-0.22ab±0.65	0.17a±0.92	-0.61±1.33
大地の星 (糖質カットB)	-2.33c±0.69	0.56a±0.86	0.28a±1.02	-0.17±0.51	-0.61b±1.04	-2.89c±0.32	-0.39±2.06

異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Steel-Dwass 検定, n=36)

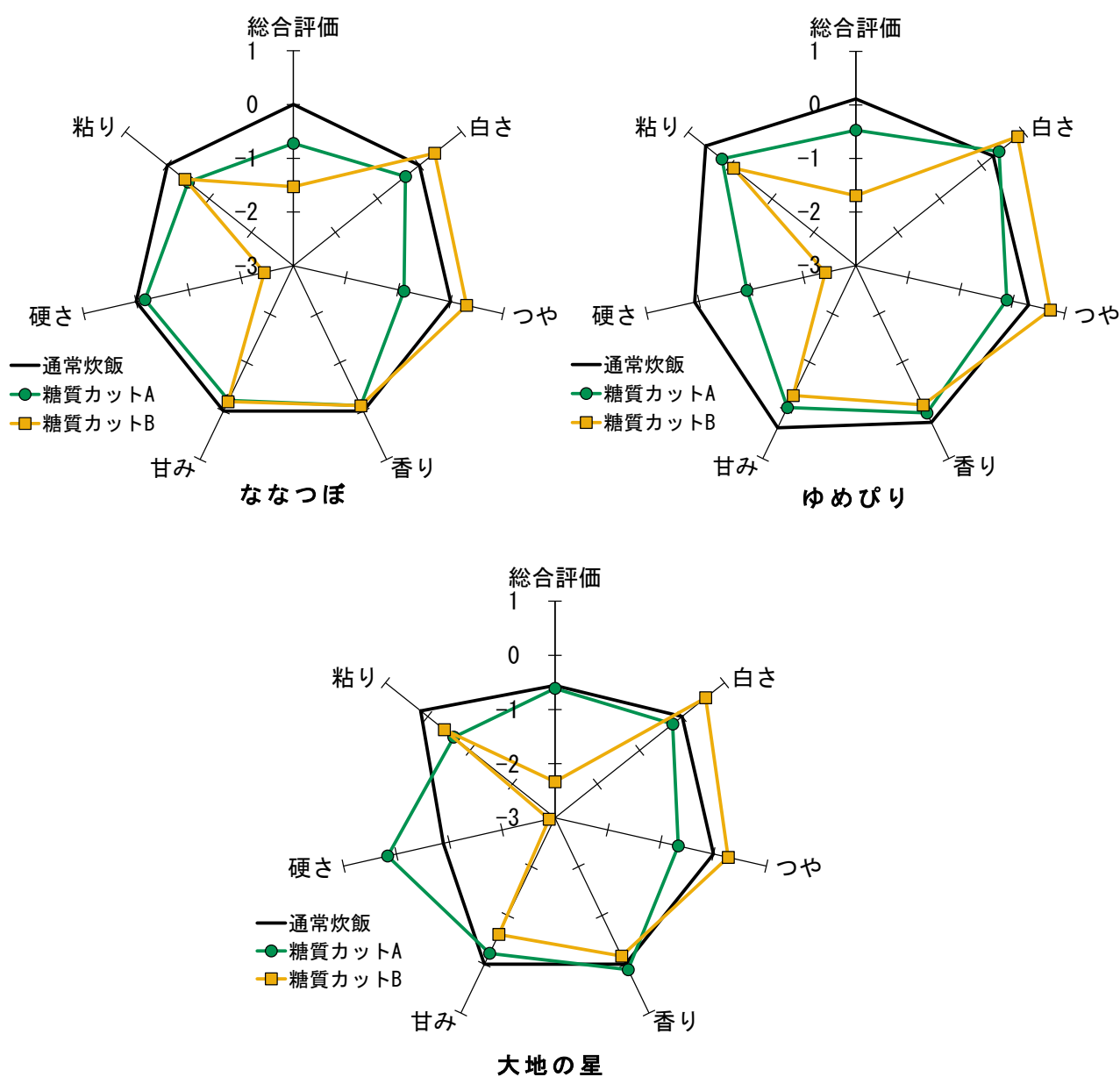


図 6-1 通常炊飯と糖質カット炊飯の官能評価結果

(2) 理化学特性

ア. 米飯水分（炊飯直後）、米飯色調、米飯物性

表 6-6 に結果を示した。また、表 6-6 の数値を基に図 6-2 に米飯水分と色調 b^* の関係を、図 6-3 に米飯水分と物性（TA 硬さ）の関係を示した。

糖質カット A では、品種ごとに米飯水分が通常炊飯よりも高くなる場合と低くなる場合があった。糖質カット B では、すべての品種において米飯水分が通常炊飯より 5% 前後増加し、最も水分が高かった。

色調 b^* 値は黄色みの指標で、値が小さいと黄色みが弱い（無彩色に近づく）ことを示す。「ななつぼし」、「ゆめぴりか」の糖質カット A および糖質カット B の色調 b^* 値は、通常炊飯よりも有意に小さく黄色みが減少した（「ななつぼし」、 $p<0.05$ ；「ゆめぴりか」、 $p<0.01$ ）。すなわち、糖質カット炊飯では米飯水分が増加することで、米飯色調が変化し無彩色に近づいた。

TA による米飯物性は、品種によらず糖質カット B が最も硬さが低く軟らかかった。これは米飯水分が増加したことによる結果であると考えられる。

表 6-6 米飯水分（炊飯直後）、米飯色調、米飯物性

試料	炊飯方法	米飯水分 (%)	色調 b^* (-)	TA硬さ (N)
ななつぼし	通常炊飯	61.0	8.6a $\pm$ 0.2	54.3a $\pm$ 2.8
	糖質カットA	62.2	8.2b $\pm$ 0.1	54.3a $\pm$ 3.1
	糖質カットB	66.4	8.0b $\pm$ 0.3	39.1b $\pm$ 1.3
ゆめぴりか	通常炊飯	59.8	8.5a $\pm$ 0.4	57.0a $\pm$ 2.8
	糖質カットA	63.3	7.6b $\pm$ 0.3	44.2b $\pm$ 2.2
	糖質カットB	65.2	7.5b $\pm$ 0.1	39.7c $\pm$ 2.2
大地の星	通常炊飯	63.2	7.9a $\pm$ 0.2	49.9b $\pm$ 1.8
	糖質カットA	62.8	7.9a $\pm$ 0.2	52.9a $\pm$ 3.2
	糖質カットB	67.7	7.5a $\pm$ 0.6	36.7c $\pm$ 2.1

異なるアルファベット間で有意差があることを示す（Tukey 検定）

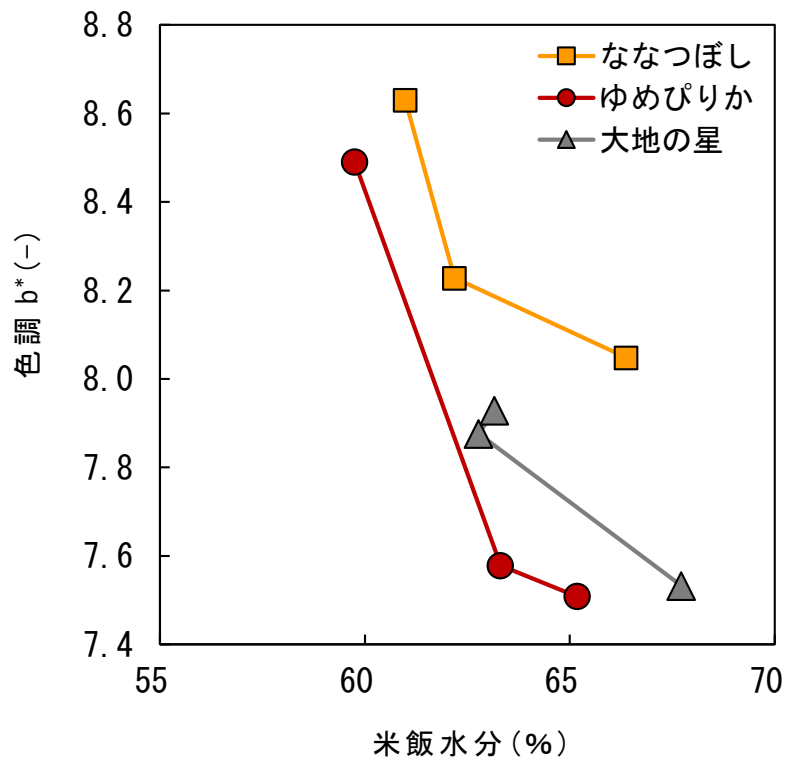


図 6-2 米飯水分と米飯色調の関係

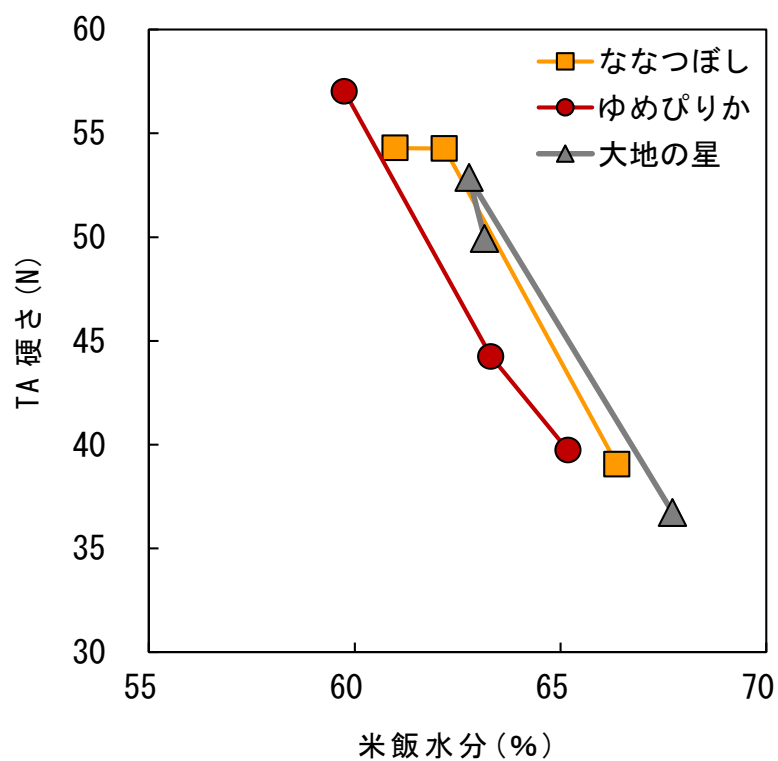


図 6-3 米飯水分と TA 硬さの関係

イ. 炭水化物

表 6-7 に各試料の米飯 100 g あたりの栄養成分を示した。本試験では炭水化物を糖質として捉える。なお，表 6-7 中の水分は，炊飯後の試料を常温に戻し，栄養成分として測定した際の数字であり，前述の米飯水分（炊飯直後）とは異なるものである。

米飯 100 g あたりの炭水化物（糖質）は，糖質カット A において，「ゆめぴりか」では通常炊飯より 1.7 g 減少したが，「ななつぼし」で 0.6 g，「大地の星」で 1.0 g 増加した。糖質カット B は品種によらず炭水化物の減少が 5 g 前後であり最も大きかった。各試料の栄養成分のうち，たんぱく質，脂質，灰分は炊飯方法による差がわずかであった。

表 6-7 各試料の栄養成分

試料	炊飯方法	水分 (g)	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	炭水化物 (g)	灰分 (g)
ななつぼし	通常炊飯	59.8±0.21	3.0±0.04	0.5±0.00	36.6±0.25	0.1±0.00
	糖質カットA	59.2±0.02	3.0±0.01	0.5±0.02	37.2±0.03	0.1±0.00
	糖質カットB	64.1±0.60	2.7±0.01	0.4±0.00	32.7±0.60	0.1±0.00
ゆめぴりか	通常炊飯	56.4±0.93	3.2±0.02	0.4±0.01	39.9±0.95	0.1±0.01
	糖質カットA	58.3±1.08	3.0±0.09	0.4±0.00	38.2±1.17	0.1±0.00
	糖質カットB	62.7±0.15	2.7±0.01	0.3±0.00	34.2±0.14	0.1±0.01
大地の星	通常炊飯	61.7±0.92	2.4±0.03	0.4±0.00	35.4±0.90	0.1±0.01
	糖質カットA	60.6±0.43	2.5±0.01	0.4±0.01	36.4±0.44	0.1±0.01
	糖質カットB	66.2±0.38	2.1±0.00	0.3±0.00	31.3±0.38	0.1±0.00

(米飯 100 g あたり)

ウ．糖質増減率と官能評価における総合評価

表 6-8 に糖質増減率と官能評価における総合評価結果を示した。

本試験において通常炊飯に対する糖質増減率は，糖質カット A では品種による増減が認められたが，糖質カット B では，すべての品種で 10%～15% の低減率であった。すなわち，糖質増減率の変動は米飯水分による相対的な結果であると考えられる。

糖質カット B では糖質カット A よりも糖質増減率が高かったものの，総合評価は明確に低下した。また，同量の精白米を炊飯し，それを全量食した場合は，炊飯中に炊飯液が除去される糖質カット A の糖質量が減少すると考えられる。

表 6-8 糖質増減率と総合評価（官能評価）

試料	炊飯方法	糖質増減率 (%)	総合評価 (-)
ななつぼし	通常炊飯	0.0	0.00±0.00
	糖質カットA	1.6	-0.72±0.88
	糖質カットB	-10.7	-1.53±1.30
ゆめぴりか	通常炊飯	0.0	0.11±0.98
	糖質カットA	-4.3	-0.47±1.18
	糖質カットB	-14.3	-1.69±1.24
大地の星	通常炊飯	0.0	-0.56±0.86
	糖質カットA	2.8	-0.61±0.85
	糖質カットB	-11.6	-2.33±0.69

4. 考察

本研究では、2種類（糖質カット A、糖質カット B）の糖質カット炊飯器を用いて、北海道米 3 品種（「ななつぼし」、「ゆめぴりか」、「大地の星」）の通常炊飯に対する米飯の食味と理化学特性の比較を行った。

糖質カット炊飯器の原理はそれぞれ異なるものの、米飯水分の増加に伴って官能評価において軟らかいと評価され、TA による物性も軟らかくなった。通常炊飯（炊き干し法）に比較して湯取り法では米飯が軟らかくなることは過去にも報告されている（鈴木ら、1983）。また、安田ら（1976）は、湯取り法で「おねば」が流失した代わりに水分が入り通常炊飯よりも米飯水分が多くなったと報告している。本研究において、いわゆる湯取り法での炊飯である糖質カット A では、通常炊飯に対して沸騰時間や蒸し時間が異なること、炊飯器からの水蒸気の漏出量が異なること、炊飯途中で炊飯液と共に溶出固形物が除去されたことなどが米飯水分への影響要因として考えられ、米飯水分が増加したことで軟らかくなったと示唆される。

さらに、本研究では米飯水分の増加によって米飯色調が変化し無彩色に近づく傾向が示された。貝沼ら（1987）は、炊飯時の加水比の増加に伴い飯の水分含有量が多くなり、米飯の黄色みが減少することを報告しており、本研究でも同様の傾向が示されたと言える。

糖質カット A では、品種により炭水化物（糖質）が増減し、明確な糖質カット効果は得られなかった。一方、糖質カット B は、米飯水分を増加させることにより米飯 100 g あたりの炭水化物を相対的にカットさせる原理であり、米飯が過度に軟らかくなることで総合評価が明らかに劣った。

以上、糖質カット炊飯による食味や理化学特性への影響は、品種により異なる可能性があることが示唆された。低糖質炊飯米に適した品種を選定する際には、糖質カット率と品質食味のバランスを考慮する必要があると考えられる。

5. 要約

本研究では2種類の糖質カット炊飯器を用いて、北海道米の品種ごとの特性変化（糖質（炭水化物）増減率，米飯物性，品質食味）を明らかにすることを目的に，米飯の食味と理化学特性について通常炊飯との比較を行った。

糖質カット炊飯器2種類の原理はそれぞれで異なるものの，官能評価および機器による物性評価ではいずれの米飯も軟らかい結果となった。さらに，糖質カット炊飯器による米飯の黄色みや炭水化物量の変化も明らかとなった。いわゆる湯取り法である糖質カットAでは，品種により炭水化物が増減し，そのカット効果は明確ではなかった。一方，糖質カットBは米飯水分を増加させることにより米飯100gあたりの炭水化物を相対的にカットさせ，その結果，米飯が過度に軟らかくなり総合評価が明らかに劣った。以上の物性，米飯色調，炭水化物の変化はいずれも米飯水分の変化に伴う相対的な結果であると考えられ，こうした影響は品種によって異なる可能性が示唆された。糖質カット炊飯米に適した品種を選定する際には，糖質低減率と品質食味のバランスを考慮する必要があると考えられる。

第7章 総合考察

1. 北海道米

令和4年（2022年）の北海道における水稻の作付面積は93,600ha、収穫量は553,200tであり、いずれも全国第2位である（ホクレン，2022）。また、北海道を代表する良食味ブランド米である「ゆめぴりか」、「ななつぼし」は、日本穀物検定協会が実施する米の食味ランキング（日本穀物検定協会，2024）にて最高ランクの特Aを14年連続で獲得しており、現在、北海道は日本有数の“米どころ”と呼ばれる。

しかし、本州以南に比較して北海道はイネの登熟期間が短く、登熟期の気温も低く高緯度であることからイネにとって生育条件が厳しい環境であり、かつて北海道米は品質食味が悪く売れないお米の「やっかいどう米」とも揶揄されてきた（川村，2010）。そのような中で北海道庁は1980年に「優良米の早期開発試験」プロジェクトチームを発足し、良食味米品種の育成を強化し（佐々木，1990）、米成分のうちタンパク質含量とアミロース含量に着目した品種改良（米の成分育種）を進めた（太田原，2011）。それ以降、品種改良、栽培管理技術、収穫後技術などの開発と、それら技術の生産現場における実装（稲津ら，2005）により、北海道米の品質食味は大きく向上した（ホクレン，2008；沼尾，2009；北海道米販売拡大委員会，2009；横江ら，2009；川村，2012，2013a，2013b，2013c；青島，2020；木下，2021；柳原，2021）。米の食味は、炊飯時の硬さや粘りをはじめとする食感に大きく影響される（江幡ら，1982）。さらに、タンパク質含量とアミロース含量は、炊飯米の食感と味に影響を与える重要な要因である（大坪，1995；岡留ら，1999；飯野ら，2023）。

2. 「ゆめぴりか」の理化学特性と食味

北海道のブランド米「ゆめぴりか」は低アミロース系統品種であり、一

般うるち系統品種に比べてタンパク質含量とアミロース含量のバランス（組み合わせ）がその食味に大きく影響を与えることが明らかとなっている。そのため、高品質で良食味となる「ゆめぴりか」の品質基準値がこの2成分により定められ（長田ら，2013），ブランド維持に欠かせないルールとして現在も適用されている。この品質基準値，すなわち「アミロース含量が19%未満の場合はタンパク質含量が7.5%未満であり，アミロース含量が19%以上の場合はタンパク質含量が6.8%以下」は，「ゆめぴりか」の一般栽培が開始された2009年から2011年までの3ヵ年で食味官能試験を実施した結果を基に定められた（長田ら，2013）。この3ヵ年において，北海道では2009年は冷害年，2010年は猛暑年，2011年は通常年と気象条件が大きく異なり，「ゆめぴりか」の品質にも影響を与えたと考えられる。

そこで第2章では，冷害年，猛暑年，通常年における「ゆめぴりか」の理化学特性と食味評価の年次変動について研究をおこなった。その結果，「ゆめぴりか」のアミロース含量は，タンパク質含量よりも年次変動幅が大きい傾向にあり，気象変動は玄米，精白米および炊飯米の理化学特性に影響を与えたことが明らかとなった。しかし，本研究の範囲では食味評価には大きく影響はしない程度であることが示された。また，冷害年，猛暑年ではタンパク質含量とアミロース含量のバランスが崩れ，炊飯米の物性に大きく影響するが，通常年ではそれらのバランスが保たれることで，適度な炊飯米物性となることも示唆された。世界的に異常気象が頻発し、今後も気象変動が予想される中で，冷害や猛暑などによる品質食味の変動幅を把握し，対策を講じることは重要である。本研究により，「ゆめぴりか」のような低アミロース系統品種は，生育時の気象の影響を受けやすく，粘りの年次変動が大きいことが示された。このような低アミロース系統品種を高品質かつ安定的に生産していくためには，ロット毎にタンパク質含量およびアミロース含量を測定し，適切なブレンドをおこなうなどが対応策

の一つとして挙げられる。そのためには、米の共同乾燥調製貯蔵施設（共乾施設）や精米工場などの生産現場において、タンパク質含量やアミロース含量を高精度かつ簡易迅速に測定する技術が求められる。

3. 米のアミロース含量の測定

米のタンパク質含量の測定については、1990年代半ばから近赤外分光法による非破壊測定技術が実用化されてきた。北海道では、可視光分析計（穀粒判別器）と近赤外分析計（成分分析計）を組み合わせた米の自動品質検査システムが開発され、全国に先駆けて1999年から米の品質仕分（タンパク仕分）が導入された（Kawamura et al, 2003； Li et al, 2013）。これにより、米の品質とくにタンパク質含量に対する生産農家の意識が高まり、その結果、日本国内の米市場における北海道米の品質評価向上にも寄与した。一方、米のアミロース含量は近赤外分析計による測定精度が低いことが長年の大きな課題であった（川村, 2017）。Olivares Díaz ら（2019a, 2019b, 2022）によって近赤外分析計と穀粒判別器の組み合わせで、アミロース含量の測定精度が大幅に向上することが示されたものの、測定手順の複雑さなどから近赤外分析計のみによる簡便な品質検査システムが必要とされていた。このような状況の中、従来の近赤外分析計よりも波長分解能が高く、自動波長校正機能を持ち、受光素子の精密温度制御をおこなう高性能な近赤外分析計が新たに開発された（青島, 2020）。

そこで、第3章ではこの新たな近赤外分析計を用いて、米のアミロース含量を高精度かつ安定的に測定するための新たな検量線モデルを開発し、米の共乾施設や精米工場に実装することを目的として研究をおこなった。新たな近赤外分析計を供試して開発した検量線モデルは、高精度で安定したアミロース含量測定が可能であることが実証された（Iino et al, 2024）。本研究で供試した近赤外分析計と検量線モデルは、北海道内の共乾施設や精米工場に実装され、日本全国の米生産現場にも波及しており、米の生産

現場でアミロース含量の実測が普及し始めている。タンパク質含量とアミロース含量を同時に測定することは、高品質米の選別と仕分に活用できるため、米および米を原料とする製品の品質と価値の向上に繋がると考えられる。さらにはタンパク仕分の導入と同様に北海道が全国に先駆けて取り組むことで、国産米全体の品質向上と利用拡大にも繋がると期待される。

4. タンパク質含量とアミロース含量の地域間年次間変動

第4章では、米の品質検査装置（成分分析計、近赤外分析計）を使用する北海道内の共乾施設等における、米のタンパク質含量およびアミロース含量の実測値から、北海道米の品質の地域間変動（各地域の差異）や年次間変動（気象による変動）を明らかにするために研究をおこなった。その上で品質検査装置および得られるデータの効果的な利活用方法を検討した。北海道内8農協の8施設における調査の結果、タンパク質含量およびアミロース含量の地域間変動や年次間変動が認められた。さらに、タンパク質含量に比較してアミロース含量の地域間変動や年次間変動の方が大きく、品種別に見ると「ゆめぴりか」の変動が最も大きいことが示された。

タンパク質含量およびアミロース含量の地域間変動や年次間変動は食味品質のバラツキがあることを意味する。また、コンビニ、外食産業などの実需者が取り扱う最終商品の形態は、白飯だけでなく丼飯、炒飯、加工米飯、チルド米飯、冷凍米飯など多岐に亘り、各形態において要求される米品質は異なる。そのため、共乾施設などから出荷する玄米において、水分、タンパク質含量、アミロース含量などの成分情報を付与することが品質保証（成分保証）として重要となる。また、精米工場においてはタンパク質含量とアミロース含量の情報を基に、最終商品を想定した適切なブレンドをおこなうことが可能となる。したがって、生産現場でタンパク質含量とアミロース含量を実測し、成分情報を付与して流通することが米の利用拡大にも繋がると考えられる。

5. チルド米飯の適性評価

実需者が取り扱う最終商品の一つであるチルド米飯は、製造直後から10℃以下で管理をおこなう「チルド弁当」向けの原料米である。「チルド弁当」は、従来の常温弁当よりも消費期限を延長できるほか、おかずとして使用可能な食材のバリエーションを広げることができる。さらに物流面で人材不足、輸送コスト増などいわゆる物流の2024年問題（星野，2023）により店舗への配送頻度が減る中で、販売可能期間（消費期限）の長いチルド弁当の製造販売は今後も増加すると予想される（東洋経済，2023）。「チルド弁当」は低温流通後に電子レンジで長時間加熱する。すなわち、製造段階から消費に至るまでの冷却・保存・加熱の工程によって、澱粉の老化と水分の蒸発が起こり、その結果ご飯がパサつくという課題が生じる。

そこで、第5章では「チルド弁当」向け原料米（チルド米飯）の適性評価法を構築し、北海道米の単一品種での品種間差および複数の品種を混合（ブレンド）した際の特性を明確化することで、「チルド弁当」用途における北海道米の利用拡大に貢献することを目的とし研究をおこなった。その結果、低アミロース系統品種である「ゆめぴりか」と「おぼろづき」は米飯を冷却・保存・再加熱した際に米粒の崩れが少なく、粘りも保持されることが明らかとなった。また、ブレンド米の適性評価では、単一品種での評価結果とブレンド比率から推定される特性が実際のブレンド米の特性とおおよそ一致することから、単一品種の特性を基にブレンド米の比率を決定し、最終目標とする米飯特性を推定することが可能と考えられた。ラピッド・ビスコ・アナライザーによる糊化特性評価において、低アミロース系統品種の米飯の老化が少ない傾向が示され、チルド米飯における課題の一つである低温保存によるパサつきの抑制効果を評価する際の指標になると考えられた。

6. 糖質カット炊飯器による米飯の理化学特性と食味

既述したように米の生産現場では、高品質米の安定的な生産や、用途別適性評価等による米の利用拡大に向けた取り組みをおこなっている。一方で、日本における一人あたりの米の年間消費量は1962年の118.3kg（精白米）/人をピークに年々減少の一途をたどり、2022年は50.9kg/人と半減している（農林水産省，2023）。さらに近年では、ダイエットや生活習慣病予防などを目的とした糖質制限が注目され、その観点から糖質が多い食品の代表例である米飯は避けられる傾向にある（大澤ら，2008；市川，2011；農林水産省，2020）。一方で、メーカー数社から家庭用の糖質カット炊飯器が販売されていることを踏まえると、低糖質な米飯の需要はあると考えられる。しかしながら、国民生活センター（2023）からは、「糖質を低減できるとうたった電気炊飯器で炊飯した場合、同じ量の米から炊いたごはんに含まれる糖質の総量は通常の炊飯の場合と大きな差はみられない」と消費者へのアドバイスが出されている。それを受けて消費者庁（2023）は、糖質カット炊飯器の販売事業者4社に対する景品表示法に基づく措置命令をおこなっている。以上のことから、通常とは異なる炊飯方法を用いる糖質カット炊飯器による炊飯米の特性を把握することは、消費者への正しい情報の提供と今後の米利用拡大の一助になると考えられる。

そこで、第6章では糖質カット炊飯器の代表的な2機種（2つの炊飯方法）を用いて、北海道米3品種の品種ごとの特性変化（糖質（炭水化物）増減率、米飯物性、品質食味）を明らかにすることを目的に、通常炊飯との比較をおこなった。糖質カット炊飯器2機種の原理はそれぞれで異なるものの、官能評価および機器による物性評価ではいずれの米飯も軟らかい結果となった。さらに、糖質カット炊飯器による米飯の色調や炭水化物量の変化も明らかとなった。いわゆる湯取り法を用いた糖質カット炊飯器では、品種により炭水化物が増減し、その糖質低減効果は明確ではなかった。

一方、米飯水分を増加させる糖質カット炊飯器を用いると、米飯 100 g あたりの炭水化物を相対的に低減させ、その結果、米飯が過度に軟らかくなり総合評価が明らかに劣った。以上の物性、米飯色調、炭水化物の変化はいずれも米飯水分の変化に伴う相対的な結果であると考えられ、こうした影響は品種によって異なる可能性が示唆された。糖質低減炊飯米に適した品種を選定する際には、糖質低減率と品質食味のバランスを考慮する必要があると考えられる。

7. 北海道米の品質食味の向上および利用拡大

以上、本論文は北海道米の品質食味の向上および利用拡大に関する研究と題し、第2章から第6章までの研究をおこないまとめたものである。北海道の自然環境は稲作に対して厳しく、北海道米は品質食味が劣るとされた時代から米生産に携わる数多くの人々の長年の努力により、多数の良食味品種を育成し北海道独自の栽培技術や収穫後技術を開発して、現在は日本の“米どころ”という評価を得るまでに至った。

米の品質食味にはタンパク質含量とアミロース含量のバランスが大きく影響することから、これらを生産現場で簡易迅速かつ精度良く実測可能となったことは、今後、北海道における高品質米の安定生産に貢献すると考えられる。また、1人1か月あたりの精白米消費量のうち30%強を中食・外食が占める現状（米穀安定供給確保支援機構，2024）を踏まえると、丼物やチルド米飯、冷凍米飯をはじめ各種用途で求められる米の品質食味に対して的確な特性を持つ米を供給することが必要である。そのためには、北海道米の各品種の用途別適性を明確にすることが重要となる。

前述の通り、日本における一人あたりの米消費量は年々減少している。しかし、こうした状況であっても食事における米食の割合は4割以上を占めるなど（農林水産省，2024c）、日本人にとって米が主食であることには変わりはない。さらに、海外における日本食レストランやおにぎり店などは

増加傾向にあり，それに伴って米の輸出数量，輸出額ともに大きく増加している（農林水産省，2024a）。米の国内における需要を維持し，海外への輸出を拡大していくためにも，まずは全国に先駆けて北海道が米の品質食味の向上と利用拡大に取り組み，今後も日本有数の米どころとして全国の米産地を牽引していくことを目指すことが重要である。本論文がそのための一助となることを期待したい。

謝辞

本研究の遂行および本論文の作成にあたり，終始多大なる御指導、御鞭撻をいただき，主査として本論文の御校閲を賜った北海道大学大学院農学研究院教授小関成樹博士に対し，心より御礼を申し上げます。また，本研究の遂行にあたり御協力、御助言をいただき、副査として本論文の御校閲を賜った北海道大学大学院農学研究院教授岩渕和則博士，北海道大学大学院農学研究院准教授小山健斗博士に心から感謝の意を表します。

また，本研究の遂行および本論文の作成にあたり，終始多大なる御指導，御鞭撻をいただき，本論文の御校閲を賜った元北海道大学大学院農学研究院教授川村周三博士に深く御礼を申し上げます。

本研究の遂行および本論文の作成にあたり，共同で研究をおこない，多大なる御協力、御助言をいただいた Edenio Olivares Díaz 氏，静岡製機株式会社石津裕之氏，ホクレン農業総合研究所吉田慎一氏，武田貴宏氏に対し心より感謝申し上げます。さらに北海道立総合研究機構農業試験場の五十嵐俊成氏および長田亨氏にはアミロース含量の化学分析に御協力をいただき，米の品質に関して多くのことを御教授いただき感謝申し上げます。

また，ホクレン農業総合研究所、米穀部，パールライス部，施設資材部の皆様および北海道内各地の農業協同組合と米の共乾施設の皆様には，本研究の遂行，本論文を作成する上で多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

本研究の遂行にあたり御協力いただいた，北海道立総合研究機構中央農業試験場、上川農業試験場，静岡製機株式会社に対し謝意を表します。

その他，本研究の遂行にあたり様々な形で御協力いただいた，北海道大学農学部食品加工工学研究室の先輩，同輩，後輩の皆様は心より御礼申し上げます。

引用文献

- 青島由武，米の自動品質検査システムの開発．農業食料工学会誌，82（2），112-116（2020）
- 朝妻桃子，笠岡誠一，糖質制限ダイエットの妥当性．文教大学湘南総合研究所紀要「湘南フォーラム」，22，147-150（2018）
- 安東郁男，荒木均，清水博之，黒木慎，三浦清之，永野邦明，今野一男，極良食味の低アミロース米水稻品種「おぼろづき」．北海道農業研究センター研究報告，186，31-46（2007）
- 飯野遥香，川村周三，吉田慎一，武田貴宏，小関成樹，異なる気象条件下における北海道米「ゆめぴりか」の理化学特性と食味.美味技術学会誌，22（2），41-48（2023）
- 五十嵐俊成，神田英毅，木下雅文，登熟温度が米のアミロペクチン単位鎖長分布と超長鎖（LC）含量に及ぼす影響．日本応用糖質科学会誌，55，191-197（2008）
- 石突裕樹，松江勇次，尾形武文，齊藤邦行，遮光・高温条件下に生育した水稻玄米の粒厚と外觀品質が米飯の食味と理化学的特性に及ぼす影響．日本作物学会紀事，82，252-261（2013）
- 市川陽子，食事の Glycemic Index と生活習慣病一次予防．日本調理科学会誌，44（4），259-262（2011）
- 稲津脩，夏賀元康，竹倉憲弘，川村周三，特集：高品質米の生産技術．農業機械学会誌，67（1），3-23（2005a）
- 稲津脩，高品質米（低タンパク質米）の栽培技術．農業機械学会誌，67（1），4-9（2005b）
- 稲津脩，水野直治，北海道稲に対するケイ酸の役割と重要性．北農，79（3），264-280（2012）

- 今林惣一郎，尾形武文，松江勇次，米の理化学的特性における年次間および産地間変動．日本作物学会紀事，67，30-35（1998）
- 江幡守衛，平沢恵子，柴田哲，米飯のテクスチャーに関する研究 第2報 粒形，成熟度，粒質の影響．日本作物学会紀事，51（2），242-247（1982）
- 大澤実，井上直人，近赤外分光法による米デンプンの消化性とグリセミック・インデックスの推定．日本作物学会紀事，77（4），443-448（2008）
- 太田原高昭，総合農政下の北海道稲作：北海道米の技術開発・ゆめぴりかへの道（3）．開発論集，88，113-123（2011）
- 大坪研一，米の品質評価．農業機械学会誌，57（2），93-98（1995）
- 大坪研一，利用用途に応じた米の特性と選択（1）．日本調理科学会誌，51（3），180-186（2018）
- 岡田佳菜子，佐藤佑樹，河合輝，角田憲一，寒地北海道における水稻への尿素の側条施肥．北農，88（1），18-24（2021）
- 岡留博司，栗原昌之，楠田宰，豊島英親，金静逸，下坪訓次，松田智明，大坪研一，窒素施肥の異なる炊飯米の多面的物性評価法．日本作物学会紀事，68（2），211-216（1999）
- 尾崎洋人，佐藤毅，沼尾吉則，吉村徹，木下雅文，品田博史，粕谷雅志，木内均，前川利彦，平山裕治，佐々木忠雄，相川宗嚴，菊池治己，丹野久，田中一生，新橋登，水稻新品種「ゆめぴりか」の育成．北海道立総合研究機構農試集報，102，1-13（2018）
- 貝沼やす子，江間章子，加水量が炊飯に及ぼす影響．日本家政学会誌，38（7），567-575（1987）
- 鎌田裕子，松島知昭，米の品質分析に関する研究 第2報 玄米の粒厚構成がアミロース含有率，タンパク質含有率に及ぼす影響．北陸

- 作物学会報, 27, 10-13 (1992)
- 川村周三, 夏賀元康, 河野慎一, 伊藤和彦, 機器分析法と官能試験法
とによる米の食味評価. 農業機械学会誌, 58 (4), 95-104 (1996)
- 川村周三, 竹倉憲弘, 伊藤和彦, 近赤外透過型分析計による米の成分
測定の精度とその改善. 農業機械学会誌, 64 (1), 120-126 (2002)
- 川村周三, 吉田慎一, 大沼拓矢, 藤田秀夫, 中野裕, 低アミロース米
「おぼろづき」のアミロース含量とタンパク質含量が食味評価へ
及ぼす影響. 日本食品科学工学会北海道支部会平成20年度大
会, 札幌 (2009)
- 川村周三, 北海道米食味向上の軌跡とその実力. 農家の友, 62 (8),
38-41 (2010)
- 川村周三, 北海道から発信するフード・イノベーションー北海道米の
食味向上の軌跡と奇跡. 学術の動向, 17 (1), 55-60 (2012)
- 川村周三, 米の外観品質・食味研究の最前線〔24〕米の収穫後技術に
よる品質食味の向上ー自動品質検査と粳の精選別ー. 農業および
園芸, 88 (4), 453-458 (2013a)
- 川村周三, 米の外観品質・食味研究の最前線〔25〕米の収穫後技術に
よる品質食味の向上ー粳の超低温貯蔵と玄米の精選別ー. 農業お
よび園芸, 88 (5), 562-570, (2013b)
- 川村周三, 米の外観品質・食味研究の最前線〔26〕米の収穫後技術に
よる品質食味の向上ー北海道米の食味向上のあゆみー. 農業およ
び園芸, 88 (6), 648-654, (2013c)
- 川村周三, 飯野遥香, 吉田慎一, 藤川咲子, 武田貴宏, 美味しさはバ
ランス感覚ー米のタンパク質含量とアミロース含量のバランスが

- 食味評価に与える影響－. FOOMA JAPAN 2013 アカデミックプラザ研究発表要旨集, 20, 273-276 (2013d)
- 川村周三, 解説, 農産物・食品の安全と品質の確保技術 (第7回)－官能評価: 人間の五感をセンサとした計測技術－. 農業食料工学会誌, 76, 374-378 (2014)
- 川村周三, 近赤外米麦成分分析装置の検量線の作成と測定精度の検証. 北海道農業施設, 30, 31-46 (2016)
- 川村周三, 農業施設に関わる研究・技術の最近の展開－米の調製と貯蔵および精米とトレーサビリティ－. 農業施設, 48 (4), 197-210 (2017)
- 川村周三, 米の共同乾燥調製貯蔵施設における品質検査, 貯蔵, 調製技術. 精米工業, 303, 10-22, (2020)
- 川村周三, 米のアミロース非破壊計測システムの測定精度 (第3報)－2019, 2020, 2021年産米 (未知試料) によるアミロース含量測定精度の検証－. 北海道農業施設, 36, 1-15 (2022a)
- 川村周三, 飯野遥香, オリバレス D. エデニオ, 石津裕之, 長田亨, 小関成樹, 米の共乾施設や精米工場でアミロース含量を実測可能 (第3報)－2019～2021年産米によるアミロース含量測定精度の検証－. 日本水稻品質・食味研究会, 第14回講演会要旨集, 20-21, 2022年11月5日, 鹿児島大学稲盛会館 (2022b)
- 川村周三, 飯野遥香, オリバレス D. エデニオ, 石津裕之, 長田亨, 小関成樹, 近赤外分光法による米のアミロースの測定 (第3報)－3年間の未知試料による精度検証－. 第38回近赤外フォーラム講演要旨集, O-13. 2022年11月15日～17日, 東京大学弥生講堂 (2022c)
- 木下雅文, 道総研における水稻育種の現状と展望. 北農, 88 (3), 19

5-205 (2021)

黒木 慎，清水博之，安東郁男，横上晴郁，松葉修一，三浦清之，今野一男，荒木均，多収で極良食味の低アミロース系統品種「ゆきがすみ」の育成．北海道農研研報，204，19-33（2015）

黒田晃，松本範裕，米の粒厚と外観品質が食味関連諸特性に及ぼす影響．北陸作物学会報，31，11-12（1996）

国民生活センター，糖質を低減できるとうたった電気炊飯器の実際．

https://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20230315_1.html，2023 年 3 月 15 日公表，（2024 年 9 月 15 日）

後藤英次，木下雅文，長田亨，水稻品種「おぼろづき」の食味特性と石狩・空知南部地域における栽培指標．北農，76，21-30（2009）

笹川正樹，島宗知行，手代木昌宏，福島県山間地における低アミロース品種の登熟温度と精米白度との関係．東北農業研究，61，23-24（2008）

佐々木多喜雄，佐々木一男，柳川忠男，沼尾吉則，相川宗巖，水稻新品種「きらら 397」の育成について．北海道立農業試験場集報，60，1-18（1990）

佐藤弘一，斎藤真一，平俊雄，味度メーターおよびラピッド・ビスコ・アナライザーを利用した水稻良食味系統選抜．日本作物学会紀事，72，390-394（2003）

佐藤毅，新品種「ゆめぴりか」の育成と今後の北海道稲育種．北農，76，343-357（2009）

消費者庁，糖質カット炊飯器の販売事業者 4 社に対する景品表示法に基づく措置命令について．<https://www.caa.go.jp/notice/entry/036249/>，2024 年 2 月 8 日，（2024 年 9 月 15 日）

食糧庁，米の食味試験（米の食味試験要綱および米の食味試験実施要

- 領). 41 食糧第 3332 号 (1966)
- 鈴木一成, 米飯の老化に及ぼす保存温度の影響. 日本家政学会誌, 40 (11), 983-985 (1989)
- 鈴木啓太郎, 岡留博司, 中村澄子, 大坪研一, 茨城県産「ゆめひたち」の品質特性および低アミロース米とのブレンド効果. 日本食品科学工学会誌, 53 (5), 296-304 (2006)
- 鈴木裕, 志岐淳一, 井上タツ, 湯取法と普通炊法とで炊飯した印度亜種糯 (モチ) および粳 (ウルチ) 米と日本亜種粳米の硬さと粘りについて. 日本栄養・食糧学会誌, 36 (5), 389-392 (1983)
- スマートオコメチェーン, データ駆動型の米流通を創造する. <https://www.maff.go.jp/j/syouan/keikaku/soukatu/okomechain.html> (2024 年 7 月 30 日)
- 高見幸司, 郡山剛, 大坪研一, 低アミロース米飯の低温保存中における硬化性とその評価方法. 日本食品科学工学会誌, 45 (8), 469-477 (1998)
- 舘山元春, 坂井真, 須藤充, イネ低アミロース系統の登熟気温による胚乳アミロース含有率変動の系統間差異. 育種学研究, 7 (1), 1-7 (2005)
- 丹野久, 國廣泰史, 江部康成, 菊地治己, 新橋登, 菅原圭一, 水稻新品種「彩」の育成について. 北海道立総合研究機構農試集報, 72, 37-53 (1997)
- 東洋経済, セブン, 首都圏で「弁当チルド化」急ぐ意外な背景 フードロス削減に加え, 迫りくる「危機」に対応. 東洋経済オンライン, toyokeizai.net, 2023 年 8 月 6 日 (2024 年 8 月 26 日)
- 豊島英親, 岡留博司, 大坪研一, 須藤充, 堀末登, 稲津脩, 成塚彰久, 相崎万裕美, 大川俊彦, 井ノ内直良, 不破英次, ラピッド・

- ビスコ・アナライザーによる米粉粘度特性の微量迅速測定方法に関する共同試験．日本食品科学工学会誌，44，579-584（1997）
- 道総研中央農業試験場水田農業グループ，北海道大学大学院農学研究院食品加工工学研究室，静岡製機株式会社，近赤外分光分析による米のアミロース含量計測技術．北海道農業試験会議（成績会議）資料，平成30年度，1-21（2019）
- 長田亨，五十嵐俊成，吉田慎一，ブランド米生産に向けた「ゆめぴりか」の栽培指針．北農，80，2-9（2013）
- 日本穀物検定協会，米の食味ランキング表．https://www.kokken.or.jp/data/rank_sanchi.pdf，（2024年9月18日）
- 沼尾吉則，北海道米の良食味品種育成について．北農，76（3），336-342（2009）
- 農機API共通化コンソーシアム，システムの壁を越えた農業データ連携の実現へ．<https://www.naro.affrc.go.jp/org/brain/iam/API/index.html>，（2024年8月7日）
- 農林水産省，米の輸出をめぐる状況について2024年8月．[kome_yusutu-325.pdf](https://www.affrc.go.jp/kome_yusutu-325.pdf)，[maff.go.jp](https://www.maff.go.jp)（2024年8月26日 a）
- 農林水産省，米の消費動向に関する調査の結果概要 令和2年3月．[index-14.pdf](https://www.affrc.go.jp/index-14.pdf)，[maff.go.jp](https://www.maff.go.jp)（2024年9月15日 b）
- 農林水産省，食生活ライフスタイル調査～令和3年度～ 調査報告書2022年3月10日．[koudou-1.pdf](https://www.affrc.go.jp/koudou-1.pdf)，[maff.go.jp](https://www.maff.go.jp)（2024年9月15日 c）
- 農林水産省，米に関するマンスリーレポート令和6年3月号．<https://www.maff.go.jp/j/seisan/keikaku/soukatu/attach/pdf/mr-780.pdf>（2024年9月18日 d）
- 農林水産省，令和5年度食料需給表（概算）．<https://www.maff.go.jp/j/>

- zyukyu/fbs/attach/pdf/index-26.pdf, 令和 6 年 8 月 (2024 年 9 月 18 日 e)
- 農林水産省, 2024 年 8 月食料安全保障月報 (第 38 号). https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_rep/monthly/attach/pdf/r6index-32.pdf, 令和 6 年 8 月 30 日 (2024 年 9 月 19 日 f)
- 農林水産省, 米の消費及び生産の近年の動向について. 240305-15.pdf, [maff.go.jp](https://www.maff.go.jp), 令和 6 年 3 月 (2024 年 9 月 19 日 g)
- 農林水産省, 作況調査 長期累年統計表一覧 作物統計 (普通作物・飼料作物・工芸農作物) [e-Stat]. https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/index.html#r (2024 年 9 月 19 日 h)
- 花城 勲, 太田 健介, 竹田 千重乃, 水上 浩之, 竹田 靖史, 炊飯時に溶出する澱粉成分の構造と米飯の付着性. *Journal of Applied Glycoscience*, 51 (4), 349-354 (2004)
- 久野 三智子, 貝沼 圭二, 高橋 節子, 低アミロース米澱粉の理化学特性. *日本応用糖質科学会誌*, 47, 319-326 (2000)
- 米穀安定供給確保支援機構, 米の消費動向調査結果 (令和 6 年 3 月分). [shouhi-doukou_24042581.pdf](https://www.komenet.jp/shouhi-doukou_24042581.pdf), [komenet.jp](https://www.komenet.jp), (2024 年 5 月 15 日)
- ホクレン, 継続的な食味試験でわかった北海道米の実力. 北のごはん倶楽部, Vol.6, 9-10 (2008)
- ホクレン, きらら 3 9 7 誕生 30 年。北海道米の歴史とこれから. 北のごはん倶楽部, Vol.25, 1-7 (2018)
- ホクレン, 北海道米二〇二二. 1-42 (2022)
- ホクレン, 北海道米二〇二四. 1-42 (2024)
- 星野 治彦, 物流の 2024 年問題ートラック運送業界の取り組みー. 連合総研レポート DIO, 36 (6), 10-14 (2023)

北海道米販売拡大委員会，おいしさをつくる品質管理技術．ごはん大陸，Vol.3，10-11（2009）

北海道米販売拡大委員会，#4 振り返る 北海道米の歴史.<https://www.hokkaido-kome.gr.jp/about/history/2024>（2024 年 9 月 18 日）

北海道立総合研究機構農業研究本部，中央農業試験場，上川農業試験場，ブランド米生産に向けた「ゆめぴりか」の栽培指針．北海道農業試験会議（成績会議）資料，1-45（2013）

松江勇次，北部九州産米の食味に関する研究 第 5 報 1993 年の低温，寡照条件下における米の食味と理化学的特性．日本作物学会紀事，64，709-713（1995）

松江勇次，佐藤大和，内村要介，尾形武文，低アミロース米品種における登熟温度が精米のアミロース含有率および玄米の白濁に及ぼす影響．日本作物学会紀事，71（4），463-468（2002）

松田佳奈，高橋節子，低アミロース米の理化学的性質．日本家政学会誌，54（11），889-897（2003）

松本伸子，松元文子，食べ物の味 — その評価に関わる要因 —．調理科学，10，97-101（1977）

宮野法近，鈴木保宏，低アミロース米品種「たきたて」の精米白度とアミロース含量および水分含量の関係．日本作物学会紀事，74，72-75（2005）

森井沙衣子，炊飯における浸漬に関する研究．日本調理科学学会，54（2），85-90（2021）

森田敏，白土宏之，高梨純一，藤田耕之輔，高温が水稻の登熟に及ぼす影響—穂・茎葉別の高夜温・高昼温処理による解析—．日本作物学会紀事，73，77-83（2004）

森田敏，水稻の高温登熟障害の克服に向けて．北陸作物学会報，47，

127-129 (2012)

安田淑子，下村道子，山崎清子，湯取り法による米飯について．家政学雑誌，27 (1)，29-32 (1976)

柳原哲司，藤井はるか，北海道米の業務用適性評価とその活用．日本食品科学工学会誌，64 (5)，243-255 (2017)

柳原哲司，土から生まれる美味しさと安心とは 北海道米のおいしさを支える技術開発 ～土壌肥料分野からのアプローチ～．日本土壌肥料学会講演要旨集，67，161 (2021)

山口弘道，吉永悟志，白土宏之，神田英司，福嶋陽，福田あかり，長田健二，浅野真澄，八島由美，三上雄史，和泉佳，今川彰教，安藤正，白米アミロース含有率の推定による白濁が少ない低アミロース米生産のための栽培適地・適作期の推定法．日本作物学会紀事，81，281-291 (2012)

横江未央，川村周三，北海道米と府県米の品質と食味の評価．日本作物学会紀事，78 (2)，180-188 (2009)

李家眞理，令和3年産米の全道総括．北海道農政部生産振興局技術普及課（上川農業試験場技術普及室），1-5 (2022)

若杉晃介，生物・社会調査のための統計解析入門：調査・研究の現場から（その5）．農業土木学会誌，72 (12)，1051-1056 (2004)

Delwiche, S. R., Bean, M. M., Miller, R. E., Webb, B. D., Williams P. C., Apparent Amylose Content of Milled Rice by Near-Infrared Reflectance Spectrophotometry. Cereal Chemistry, 72 (2), 182-187 (1995)

Iino, H., Kawamura, S., Olivares, Díaz, E., Ishizu, H., Nagata, T., Koseki, S., Non-destructive measurement of rice amylose content using near-infrared spectroscopy for application at grain elev

- ators and milling plants. *J. Food Measurement and Characterization*, published online, <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02800-7> (2024)
- Iino, H., Kawamura, S., Olivares Díaz, E., Ishizu, H., Nagata, T., Koseki, S., Validation of Near-infrared Spectroscopy Calibration Models to Determine the Rice Amylose Content in Unknown Samples of Rice over a Three-year Production Period. The XX CIGR World Congress 2022, OS-3-08, 1-2. December 5-9, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan (2022)
- Kawamura, S., Natsuga, M., Takekura, K. and Itoh, K., Development of an automatic rice-quality inspection system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 40, 115-126 (2003)
- Kondo, N., Kawamura, S., Postharvest automation, in *Agricultural Automation: Fundamentals and practices*. ed by Zhang, Q., Pierce, F. J., CRC Press, Boca Raton FL, 367-383 (2013)
- Li, R., Kawamura, S., Fujita, H. and Fujikawa, S., Near-infrared Spectroscopy for Determining Grain Constituent Contents at Grain Elevators. *Journal of Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 6 (1), 20-26 (2013)
- Martens, H., Naes, T., in *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. 2nd edn. ed. by P. Williams, K. Norris, Am. Asso. Cereal Chem., St. Paul, MN, 79-84 (2001)
- Natsuga, M. and Kawamura, S., Visible and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy for Determining Physicochemical Properties of Rice. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 49 (4), 1069-1076 (2006)

- Olivares Díaz, E., Kawamura, S., Kato, M., Nagata, T., Koseki, S., Combined use of a near-infrared spectrometer and a visible light grain segregator for accurate non-destructive determination of amylose content in rice. *Journal of Cereal Science*, 90, 1-7 (2019a)
- Olivares Díaz, E., Kawamura, S., Matsuo, M., Kato, M., Koseki, S., Combined analysis of near-infrared spectra, colour, and physicochemical information of brown rice to develop accurate calibration models for determining amylose content. *Food Chemistry*, 286, 297-306 (2019b)
- Olivares Díaz, E., Kawamura, S., Matsuo, M., Koseki, S., Diversity of Physicochemical Properties of Different Rice Varieties Produced in Regions of Hokkaido, Japan through Eight Years. *Environmental Control in Biology*, 58, 123-130 (2020)
- Olivares Díaz, E., Kawamura, S., Ishizu, S., Nagata, T., Koseki, S., Non-destructive assessment of amylose content in rice using a quality inspection system at grain elevators. *Food Chemistry*, 379, 132-144 (2022)
- Ozaki, Y., Huck, C., Tsuchikawa, S., Engelsen, S. B., in *Near-Infrared Spectroscopy : Theory, Spectral Analysis, Instrumentation, and Applications*. Springer, Singapore, 128-137 (2021)
- Pelliccia, D., Moving window PLS regression. *The NIRPY Res. Blog*, 2019, [https : //nirpyresearch.com/moving-window-pls-regression/](https://nirpyresearch.com/moving-window-pls-regression/). (Accessed 11 April 2024)
- Torit Baran, B., Srigopal, S., Krishnendu, C., Development of NIRS models to predict protein and amylose content of brown rice and

proximate compositions of rice bran. Food Chemistry, 191, 21-27 (2016)

Williams, P, C., in Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. 2nd edn. ed. by P. Williams, K. Norris, Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, 2001, 164-165 (2001)

Williams, P., Antoniszyn, J., Manly, M., Near infrared technology : getting the best out of light. SUN PReSS, AFRICAN SUN MeDI A, 44-53 (2019)