

米の品種が米飴の糖化に及ぼす影響

—食文化継承のための教材作成を目指して—

村上 陽子

Effects of Rice Cultivar Characteristics on the Constituent Profile of *Komeame* (Rice Syrup)

MURAKAMI Yoko

Summary

Komeame (rice syrup) is a traditional Japanese malt syrup made only from glutinous rice and barley malt. *Komeame* is used as a material for *wagashi*, one of Japanese traditional cultures. *Komeame* has a light flavor and an amber color. Traditionally, *komeame* is made by adding a small amount of sprouted barley grains (barley malt) to cooked rice in a solution of heated water. It has a light flavor and an amber color. Eight rice cultivars were used to clarify the effects of rice properties on physical properties of *komeame*. For all rice cultivars, sugar and maltose content were increased and reached a balance within 4-10 hours. The saccharification rate of indica rice was higher than that of japonica rice. Maltose content differed depending on the type of rice. The saccharification of *komeame* proceeded faster with glutinous rice than with non-glutinous rice. These results suggest that the amylose content affects saccharification of *komeame*.

キーワード：米飴 *komeame*, 麦芽 malt, 糖化 saccharification, 食文化 food culture, 伝統 tradition, 物理特性 physical property.

1. 緒言

水飴は、我が国最古の甘味料である¹⁾。水飴は、米・粟などの穀類やイモ類などのデンプンを酵素で糖化して作られる液状の飴である²⁾。水飴のうち、米と麦芽を材料とするものを「米飴」（麦芽糖化飴）という。米飴は、麦芽に含まれる糖化酵素が米のデンプンを糖化して作られるもので、特有の旨味や風味、色調を呈する³⁾。主成分である麦芽糖（マルトース）¹⁾は、体内における分解・吸収が緩やかであるため、血糖値が急激に上昇しないという健康上のメリットを有する⁴⁾。また、添加物を含まないため、子どもや高齢者にも優しく安全である⁵⁾。米飴は、古い時代から日常生活の中で食品・調味料・薬品として用いられてきた。加えて、年中行事にも食べられるなど、宮中行事から庶民の習俗にいたるまで人の生活に深く関わってきた²⁾ことから、米飴は我が国の重要な食文化の一つといえる。

近年、水飴は、ジャガイモやサツマイモなどの安価な地下デンプンやコーンスターチなどを原料として工業的に大量生産されている。現在は、精製した糖化酵

素を用いる酵素糖化法が主流であり⁶⁾、麦芽による製法（麦芽糖化法）は激減している²⁾。酵素糖化法による水飴（酵素糖化飴）は、安価という経済的利点を有する反面、原料（デンプン）の輸入依存の高さ⁷⁾やそれにかかる輸送コスト、製造過程におけるエネルギーと水の大量消費⁸⁾など、食料需給や環境面における課題が多く、環境への負荷が大きいことが指摘されている。

一方、麦芽糖化法による米飴の製造では、材料は国内自給が可能であり²⁾、大規模な設備や大量のエネルギーも不要である。伝統的製法による米飴づくりに着目することは、材料や製法を見直すことであり、文化継承、および、持続可能な社会構築の面から意義があるといえる。

伝統文化については、近年、その継承が重視されており、食育基本法（平成 17 年）では食育による食文化継承、平成 29 年告示の学習指導要領では伝統や文化に関する教育の充実が求められている^{9) 10)}。米飴が我が国固有の甘味料であること、食文化である和菓子や和食に用いられること、材料が我が国の基幹作物

である米であること、伝統的製法により調製されることなどから、米飴の材料や製法に着目して理解を深めることは、食文化の理解と継承に繋がると考えられ、ひいては食育や環境教育の充実にも寄与することができるといえる。

一方、米飴の製法に関する課題は、用いる材料（米、麦芽）の種類や配合割合、調製方法などは経験によるものが大きく^{4) 11-14)}、詳細が検討されていないことが挙げられる。米飴に関する先行研究はいくつかあるが、糖化過程の変化や食嗜好性に関する報告はほとんどないのが現状である^{15) 16)}。また、検討されていても、別の用途、すなわち、糖化した液（あめ水）をそのまま飲んだり舐めたりする水飴の調製法¹⁷⁾であり、通常の米飴とは利用方法が大きく異なっている。

既報¹⁸⁾において、伝統的製法による米飴の調製方法に関する文献調査を行うとともに、米飴調製における米の品種と麦芽の添加割合の影響について検討した。その結果、調製方法は文献により異なり、米の品種や糖化時間などの詳細が検討されていないこと、麦芽添加量の増加に伴い、糖化に関わる糖成分（マルトース）が増加すること、米の品種により食嗜好性が異なることなどが明らかとなった。

また、前報¹⁹⁾において、米飴の主材料である米に着目し、搗精度の異なる有色米を用いた場合の物理特性と嗜好性を検討した。その結果、搗精度が低いほど糖化は緩慢であり、玄米よりも精白米の方がマルトース生成量は高かった。また、用いる米の種類や搗精度により、米飴の食嗜好性が異なった。

これらのことから、米飴の材料の選択は、嗜好性の高い米飴づくりに際して重要といえる。主材料である米に着目すると、我が国には様々な種類の米が存在する。米の主要成分であるデンプン組成をみると、デンプンにはアミロースとアミロペクチンがあり、組成により、うるち種ともち種に分けられる²⁰⁾。うるち種（うるち米）は、アミロースとアミロペクチンを含むのに対し、もち種（もち米）はアミロペクチンのみから成る。アミロースは α -1,4 グリコシド結合による直鎖分子であるのに対し、アミロペクチンは α -1,4 結合と α -1,6 結合を含む分岐分子であり⁸⁾、アミロース含量が少なくなるほど粘りが強くなる²⁰⁾。うるち種においては、炊飯米としての食味はアミロース含量に関係しており、17~19%が美味とされる⁸⁾。前報¹⁹⁾の結果から、こうした米デンプン組成の違いは米飴の成分や食嗜好性に影響を及ぼすと考えられる。

米飴に用いられる米は、古くから経験的に、もち米がよいとされ、うるち米が用いられることは少ない。

その理由として、うるち米はもち米に比べて粒が硬いため、製造の操作が難しいこと、タンパク質を多く含む一方で、デキストリンが少ないため、糖化液を煮詰めるのに時間がかかり品質が劣ること、一方で、もち米は糖化が容易で、風味がよい水飴が得られることなどが挙げられる²¹⁾。本間ら²²⁾は、うるち米を用いた場合の糖化状態をもち米と比較し、もち米は糖化しやすいことを報告しているが、実験規模が小さ過ぎたため（米 0.5g に麦芽抽出液 3ml 添加）、最終糖化産物量に相違がみられなかったと言及している。

通常、米飴の調製において、デンプン糖化の材料である麦芽は、粉碎したものを用いるのが主流である^{4) 11-14)}。さらに、糖化した液（あめ水）は、米飴として供するにあたり、粘りが出るまで煮詰める工程が必須である。この工程を経ることにより、米飴の甘味が強化されるとともに、保存性も増すからであり、本研究で検討している米飴もこれに該当する。しかし、本間ら²²⁾は、粉末麦芽を用いずに麦芽抽出液を用いており、米飴を煮詰める工程を行っていない。

そこで、本研究では、米の種類として、もち米とうるち米に着目して、米の種類や品種の違いが米飴の成分に及ぼす影響を検討することとした。また、米飴としての仕上げ工程（加熱濃縮）において、米の種類や品種によって相違があるかについても検討した。我が国固有の甘味料である米飴の伝統的製法を明らかにすることにより、文化的側面・科学的側面から米飴を理解し、食文化継承に繋げることができると考えられる。得られた成果をもとに、学校教育における食育教材開発につなげ、食文化理解・継承の一助としたい。

2. 方法

(1) 材料

米の種類の比較として、ジャポニカ型もち種（もち米）とジャポニカ型うるち種（うるち米）を用いることとした。もち米として、こがねもち（新潟県産）、ヒメノモチ（岩手県産）、ヒヨクモチ（佐賀県産）、はくちようもち（北海道産）を用いた。うるち米は、アミロース含量の異なる3種を用いた。すなわち、低アミロース米としてミルキークイーン（新潟県産）、中アミロース米としてつや姫（山形県産）、および、ヒノヒカリ（高知県産）とした。いずれも平成29年産の精白米を用いた。うるち米の実験では、もち米（こがねもち）を対照として用いた。

また、イネの品種群の比較の一つとして、インディカ型もち種のタイ米（タイ産）を用いて、ジャポニカ型もち種との違いを検討した。ジャポニカ型もち種と

して、こがねもちを用いた。

乾燥麦芽は、「オーガニック麦芽」（ピルスモルト, Certified Organic Malt, Weyermann）を用い、ミルサー（IFM-800, 岩谷産業）にて粗く粉碎した。水は蒸留水を用いた。

（２）米飴の調製方法

米飴の調製方法は、前報¹⁸⁾に従った。調製方法は以下の通りである。

もち米（または、うるち米）100g を蒸留水で数回洗浄後、5倍量の水を加えて常温で16時間吸水させた後、おかゆモード（象印炊飯器 IH 式 極め炊き 1 升, NP-VQ18-TA, 象印）で炊飯した。炊飯後、滅菌容器に移し、米飯の温度が 60℃になるまで冷まし、麦芽を加えてよく混合した。麦芽は、米の乾物重量 100g に対して 15% 添加した。これを直ちに 60℃で保温した（KAMOSICO KS-12, タニカ電器）。糖化の変化を把握するために、経時的に試料をサンプリングした。

（３）各種成分の測定方法

麦芽水飴の主な甘味成分はマルトースである（マルトース 57%, デキストリン 40%, グルコース 3%）⁶⁾。経時的に採取した試料について、マルトース生成量を麦芽糖濃度計（PAL-20S, ATAGO）により測定した。ここで測定した試料は、煮詰める前のもの（24時間糖化液）である。

米のアミロース含量は、JULIANO の簡易ヨード比色定量法²³⁾により測定した。

米のタンパク質含量は、ケルダール法によって、窒素量の測定を行い、換算係数 5.95 を乗じてタンパク質含量とした。

米の千粒重は、形の整った米粒 100 粒を選んで重量を測定し、1,000 粒に換算した。

（４）色彩構成

色彩構成は、色彩色差計（CR-400/410, コニカミノルタセンシング）を用いて、L*a*b*値を測定した。L*a*b*値表色系では、L*値は明度を示し、値が大きいほど明るいことを示す。a*値、b*値は色度を示し、a*値はプラス側で赤、マイナス側で緑を示す。b*値はプラス側で黄色、マイナス側で青を示す。

測定試料は、煮詰める前の 24 時間糖化液と、それをさらし布で濾過し、濾液を 4 分の 1 量に加熱濃縮したもの（濃縮糖液）とした。

（５）統計処理

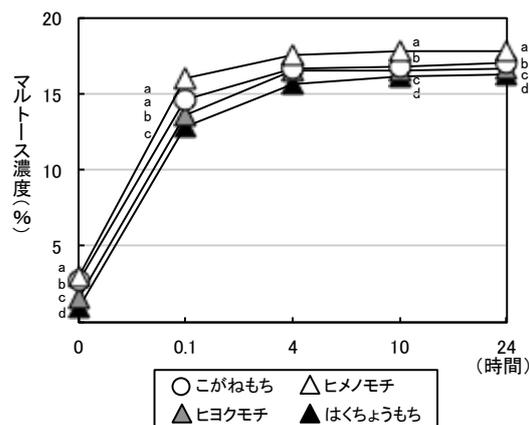


図1 もち米の品種が米飴のマルトース濃度に及ぼす影響
※同じ糖化時間におけるもち米の品種の影響を検討した。
異なるアルファベットは有意差があることを示す ($p < 0.01$)。

物理特性について、得られたデータは tukey 法により統計的に分析した。

3. 結果および考察

（１）もち米の品種が米飴のマルトース生成に及ぼす影響

もち米の品種の違いが米飴の糖化に及ぼす影響について検討した。もち米として、こがねもち、ヒメノモチ、ヒヨクモチ、はくちょうもちを用いて、糖化液中のマルトース生成量の経時変化を検討した。同一品種における経過時間の間の有意差は、文中で述べる。

結果をみると、マルトース量は時間の経過とともに増加した（図1）。詳細を見ると、もち米の品種に関わらず、米飯に麦芽を添加後 0.1 時間で急激に増加した ($p < 0.01$)。10 時間まで有意に増加したが、それ以降は有意な増加は見られず、平衡状態であった。これは、いずれの品種でも同様であったが、ハクチョウモチは他品種よりもやや糖化が遅い傾向が見られた。

糖化時間が同一の場合、品種によってマルトース生成量に相違があり、ヒヨクモチが最も高く、次いで、こがねもち、ヒヨクモチ、はくちょうもちと続いた ($p < 0.01$)。このことから、もち米において、品種の違いはマルトース生成量に影響を及ぼすといえる。

米飴調製時にデンプンを分解するのは、麦芽に含まれる糖化酵素（アミラーゼ）である¹⁷⁾。デンプンの分解や糖化に関与する酵素には、 α -アミラーゼ、 β -アミラーゼ、枝切り酵素、 α -グルコシダーゼなど種々あり、それぞれ作用部位や作用が異なる^{17) 24) 25)}。糖化の主な過程として、まず、デンプンは α -アミラーゼの作用によりランダムに切断され、可溶性デンプン（デキストリン）に分解される^{17) 24)}。次に、可溶

性デンプン（デキストリン）に枝切り酵素や β -アミラーゼなどの他の酵素が作用し、より小さな分子に分解する。この際、 β -アミラーゼが補助的に作用し、可溶性デンプンはこれら酵素によりマルトース（麦芽糖）に分解される²⁴⁾。さらに、マルトースは α -グリコシダーゼの作用により、最終的にグルコースに分解される²⁵⁾。 α -アミラーゼはデンプンの分解初期に主導的役割を果たすとともに、ジアスターゼ力（デンプン分解酵素力）²⁶⁾の主体である β -アミラーゼが作用し得るデンプン非還元末端を増加させ、分解反応を促進する役割をもつことから²⁷⁾、 α -アミラーゼの役割は大きいといえる。

もち米のデンプンはアミロペクチンのみから成る。もち米は用途により求められる特性が異なり、その一つに餅硬化性があり、これはアミロペクチンの構造（鎖長分布）と関連するといわれている²⁸⁾。本研究で用いたもち米についてみると、餅硬化性は、こがねもち、ヒメノモチ、ヒヨクモチ、はくちょうもちの順で高いことが報告されており²⁸⁾、中でもこがねもちは、他の品種よりも硬化性が高いことが知られている²⁹⁾。これは、こがねもちのアミロペクチン鎖長の長鎖比が、他のもち米より高いためと考えられている³⁰⁾。上述したように、麦芽に含まれる糖化酵素はデンプンを分解する。もち米の場合にはアミロペクチンに作用するため、アミロペクチンの構造が糖化の違いに影響しているとも考えられる。本研究において、硬化性とマルトース生成量の関連をみると、硬化性が低いヒヨクモチ、はくちょうもちは、マルトース生成量がやや低かったことから、アミロペクチンの鎖長分布の相違が関係しているとも考えられる。これについては、今後、検討していく必要がある。

（２）うるち米の品種が米飴のマルトース生成に及ぼす影響

うるち米の品種の違いが米飴の糖化に及ぼす影響について検討した。うるち米として、アミロース含量の異なる3種類（ミルクキークイーン、つや姫、ヒノヒカリ）を用いて、糖化液中のマルトース生成量の経時的変化を検討した。対照として、もち米（こがねもち）を用いた。同一品種における経過時間の間の有意差は、文中で述べる。

表1に、うるち米のアミロース含量を示す。尚、もち米にはアミロースはほとんど含まれておらず、アミロペクチンのみである。ミルクキークイーンは、米のアミロース含量が低いため、低アミロース米と呼ばれる³¹⁾。低アミロース米は、米のアミロース含量が3～

表1 うるち米のアミロースおよびタンパク質の含有率

品種	アミロース(%)	タンパク質(%)
ミルクキークイーン	10.3 a	7.3 a
つや姫	17.1 b	7.1 a
ヒノヒカリ	19.8 c	7.3 a

※有意差検定はtukey法を用いた(n=5)。異なるアルファベットは有意差があることを示す(p<0.01)。

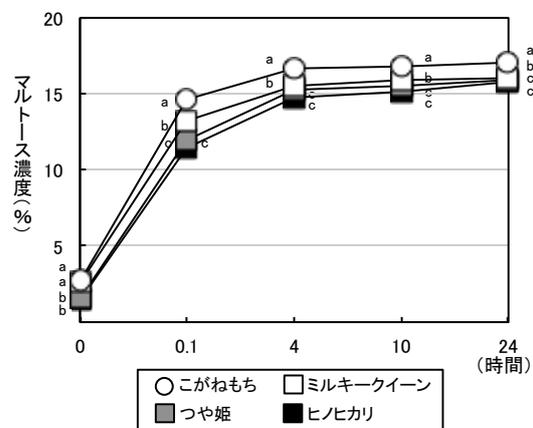


図2 うるち米の品種が米飴のマルトース濃度に及ぼす影響
※同じ糖化時間におけるうるち米の品種の影響を検討した。
異なるアルファベットは有意差があることを示す(p<0.01)。

17%程度で、もち米とうるち米の中間の米である。一方、日常の飯米として用いられるうるち米のアミロース含量は17～23%程度で、中アミロース米といわれ、本研究ではつや姫とヒノヒカリがこれに当たる。

結果をみると、マルトース量は時間の経過とともに増加した(図1)。詳細を見ると、うるち米の品種に関わらず、米飯に麦芽を添加後0.1時間で急激に増加した(p<0.01)。

アミロース含量との関連をみると、低アミロース米であるミルクキークイーンは、もち米（こがねもち）同様、10時間まで有意に増加した後、それ以降は有意な増加は見られず、平衡状態であった。中アミロース米（つや姫とヒノヒカリ）は、24時間まで緩やかにマルトース量が増加していた。また、24時間後のマルトース量は、もち米（こがねもち）に比べて、うるち米はいずれも有意に低く、ミルクキークイーン、つや姫、ヒノヒカリの順であった(p<0.01)。

この要因として、米デンプンの組成の違いが考えられる。うるち米はアミロースを10～20%含んでいる(表1)。アミロースはD-グルコースが α -1,4結合した直鎖状高分子で、重合度は数十～数千である³²⁾。一方、アミロペクチンは、 α -1,4グリコシド結合のほか、4～6%の α -1,6グリコシド結合により高度に分岐した重合度数十万～数百万の巨大分子である

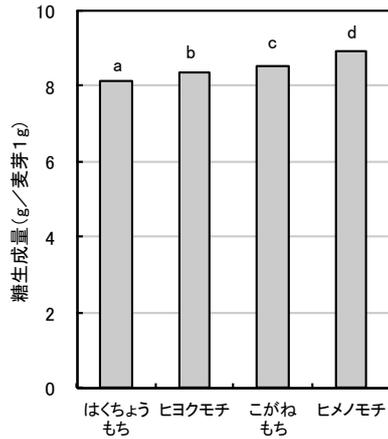


図3 もち米の品種が麦芽1gあたりのマルトース生成量に及ぼす影響

※異なるアルファベットは有意差があることを示す ($p < 0.01$)。

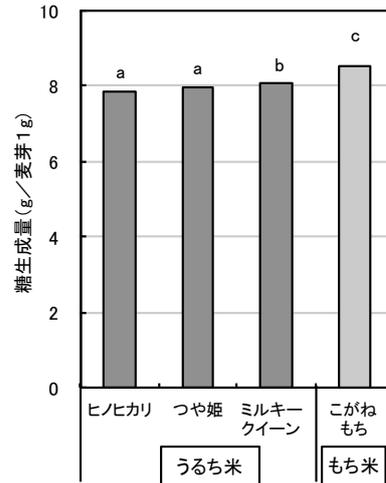


図4 うるち米の品種が麦芽1gあたりのマルトース生成量に及ぼす影響

※異なるアルファベットは有意差があることを示す ($p < 0.01$)。

³²⁾。両者を比較すると、アミロースは、アミロペクチンに比べて重合度が低く、分解される部分が少ないといえる。これらのことから、うるち米は、アミロースを含まないもち米に比べて、糖生成量が低いと考えられる。

また、両者の違いについては、米デンプンの理化学的性質の相違、すなわち、うるち米ともち米のデンプンの糊化温度の違いと、それに伴うデンプン崩壊度の影響も考えられる。庄司ら³³⁾は、米デンプンの糊化温度を検討し、もちデンプンは63℃、うるちデンプンは72℃となっており、デンプン粉末・精白米粉粉末いずれにおいても、うるち米の方がもち米よりも糊化温度が高いことを報告している。さらに、デンプン粒の崩壊度では、もち米デンプンは崩壊しやすく、うるち米デンプンは崩壊しにくい性質であることも言及している³³⁾。また、本間ら²²⁾は、炊飯米の場合、アミロペクチンのみで構成されるもち米デンプンよりもアミロースを含むうるち米デンプンの方が老化されやすいため、うるち米デンプンが糖化されにくくなっていると推測している²²⁾。

以上のことから、うるち米はもち米より糖化されにくいこと、うるち米はアミロース含量によってマルトース生成量が異なること、アミロース含量が高くなるにつれて糖化が遅くなるといえる。

(3) 麦芽1gあたりの糖生成量

麦芽の配合割合は、参考文献により約10%~33%など、表記は曖昧である^{4) 11-14)}。既報¹⁸⁾において、麦芽1g当たりの糖生成効率の面では、より少ない麦

芽添加割合で効率よく糖生成が行われることが明らかとなっている。そこで、本研究では、麦芽添加量を15%とし、麦芽1gあたりの糖生成量を検討した。

まず、もち米をみると、品種間で相違があり、ヒメノモチが最も高く、次いで、こがねもち、ヒヨクモチであり、はくちょうもちが最も低かった ($p < 0.01$) (図3)。

次に、うるち米をみると、低アミロース米(ミルキークイーン)は、中アミロース米(ヒノヒカリ、つや姫)より有意に高かった(図4)。ヒノヒカリとつや姫の間に有意差はなかった。また、うるち米はいずれの品種も、もち米(こがねもち)よりも低かった。

米の種類間で比較すると、うるち米よりももち米の方がマルトース生成量が高く、もち米においては品種間で相違が見られた。米の種類や品種間でマルトース生成量に差があった要因として、先述したデンプン組成の相違に加えて、米に含まれる酵素活性の相違が考えられる。もち米の内在アミラーゼの活性量は、うるち米より大きいこと^{34) 35)}、また、アミラーゼ活性はもち米の品種によって異なること³⁶⁾が報告されている。 α -アミラーゼはデンプンを可溶性デンプンに、 β -アミラーゼは可溶性デンプンをマルトースに、 α -グルコシダーゼはマルトースをグルコースに分解するため、酵素活性の強弱は米飴の糖生成や成分組成に大きく関与する³⁷⁾。このことから、米の酵素活性の差異が糖生成の結果に関係していると考えられる。

(4) 米の種類が米飴の色彩構成に及ぼす影響

調製した米飴の色彩構成を検討した。表2は24時

表2 米の種類が米飴の色彩構成に及ぼす影響(24時間糖化液)

		L*		
		Avg ± SD	a*	b*
もち米	こがねもち	48.0 ± 0.11 a	1.08 ± 0.05 c	-0.15 ± 0.02 bc
	ヒメノモチ	48.6 ± 0.05 b	1.02 ± 0.01 b	-0.16 ± 0.05 bc
	はくちょうもち	48.4 ± 0.08 ab	1.03 ± 0.03 b	-0.19 ± 0.02 b
	ヒヨクモチ	47.8 ± 0.15 a	1.01 ± 0.06 b	-0.17 ± 0.02 b
うるち米	ミルキークイーン	48.7 ± 0.08 b	0.63 ± 0.05 a	-0.12 ± 0.02 c
	つや姫	49.9 ± 0.14 c	1.13 ± 0.06 d	-0.16 ± 0.05 bc
	ヒノヒカリ	48.2 ± 0.05 a	1.09 ± 0.07 c	-0.24 ± 0.01 a

※有意差検定はtukey法を用いた。異なるアルファベットは有意差があることを示す(p<0.01)。

表3 米の種類が米飴の色彩構成に及ぼす影響(濃縮糖液)

		L*		
		Avg ± SD	a*	b*
もち米	こがねもち	44.4 ± 0.17 e	2.14 ± 0.07 b	6.55 ± 0.06 d
	ヒメノモチ	45.5 ± 0.21 f	1.92 ± 0.04 a	8.62 ± 0.13 g
	はくちょうもち	44.1 ± 0.02 e	2.48 ± 0.05 e	6.82 ± 0.05 e
	ヒヨクモチ	43.3 ± 0.06 d	3.06 ± 0.01 d	8.48 ± 0.04 f
うるち米	ミルキークイーン	42.1 ± 0.03 c	3.05 ± 0.05 d	4.32 ± 0.02 c
	つや姫	40.6 ± 0.01 a	2.14 ± 0.06 b	1.91 ± 0.02 a
	ヒノヒカリ	41.3 ± 0.05 b	2.32 ± 0.07 c	3.55 ± 0.02 b

※有意差検定はtukey法を用いた。異なるアルファベットは有意差があることを示す(p<0.01)。

間糖化したものを濾過した原液(24時間糖化液)、表3は24時間糖化液を加熱濃縮した糖液(濃縮糖液)の結果を示す。尚、この濃縮糖液が米飴に該当する。

1) 24時間糖化液(原液)

まず、24時間糖化液(原液)の結果について述べる。もち米についてみると、L*値は品種による相違がみられ、ヒメノモチがこがねもちやヒヨクモチよりも有意に高かった(p<0.01)。a*値は、こがねもちが他品種より有意に高かった。b*値は、品種間における相違は見られなかった。

うるち米についてみると、L*値、a*値、b*値において品種間で差異が見られ、いずれにおいてもつや姫が最も高かった(p<0.01)。

2) 濃縮糖液(米飴)

濃縮糖液(米飴)の結果を見ると、もち米のL*値は、ヒメノモチが他品種より有意に高く、高い明度を示した(p<0.01)(表3)。a*値は、ヒヨクモチ、はくちょうもち、こがねもち、ヒメノモチの順で高く、ヒメノモチは赤みが他よりも有意に低かった。b*値は、ヒヨクモチ、ヒメノモチ、はくちょうもち、こがねもちの順で高く、ヒヨクモチやヒメノモチは黄みが強い色調を呈していた。

うるち米では、L*値、a*値、b*値いずれも、低アミロース米(ミルキークイーン)が中アミロース米(つや姫、ヒノヒカリ)より有意に高かった(p<0.01)。

もち米とうるち米を比べると、L*値とb*値はうるち米の方が有意に高かった(表3)。

このことから、もち米を材料とする米飴は、うるち米を材料とする米飴よりも明度が高く、かつ黄みが強い色調を呈するといえる。

(5) 米の種類が米飴の見た目および加熱濃縮のしやすさに及ぼす影響

1) 見た目の相違

もち米(こがねもち)とうるち米3種(ミルキークイーン、つや姫、ヒノヒカリ)を用いて調製した米飴を図5に示す。

もち米を用いた米飴に比べて、うるち米を用いた米飴はいずれも濁りが見られ、明度が暗く、色味(赤み、黄み)の薄いものであった。一方、もち米は、透明感があり、粘り気の高い米飴となった。

従来から、麦芽を用いて水飴をつくる際に、もち米を原料とした場合には糖化液が透明で、圧搾濾過が容易であるといわれており^{21) 38)}、本研究においても同様の結果が得られた。

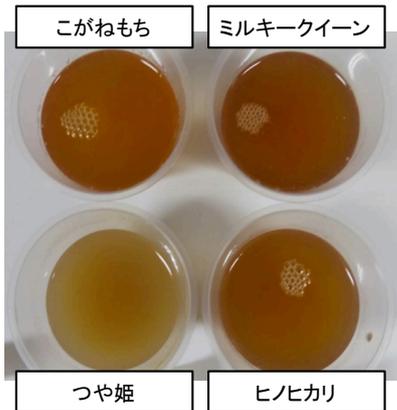


図5 アミロース含量の異なる米飴

※24時間糖化液を加熱濃縮した糖液(米飴)を示す。
こがねもち以外は、うるち米由来の米飴である。



図6 うるち米飴の加熱濃縮工程

※24時間糖化液を加熱濃縮する工程の様子を示す。
うるち米を原料とした米飴の場合、加熱による泡立ちが激しく、その程度がもち米を原料とする米飴よりも著しく大きかった。

うるち米を用いた米飴がもち米を用いた米飴よりも色調が薄い理由として、生成された糖類の組成の相違が考えられる。米デンプンは麦芽に含まれる糖化酵素により分解され、デキストリンを経て、マルトース、グルコースなどが生じる。加熱により、米飴の色が濃くなるのはメイラード反応によるものであるが、これに関与するのはマルトースやグルコースなどの還元糖である。その生成量はもち米の方が多いため、もち米を原料とした米飴の色は濃く、反対にうるち米を原料とした米飴の色は薄くなるといえる。

うるち米を用いた米飴に見られた濁りについては、デンプン、特にアミロースが要因と考えられる。小巻³⁹⁾は、酵素糖化水飴中に生ずる混濁物質の性質を調査して、これがヨウ素反応青色を呈する難溶性デンプン(残渣)であり、強固なデンプンミセルを形成していると報告している。前沢ら³⁸⁾は、難溶性デンプンが

強固なデンプンミセルを形成するには、成分としてアミロペクチンよりもアミロースが関与すると推測し、液化酵素を用いて、もち米とうるち米の液化性を検討し、もち米(アミロペクチン)からは難溶性デンプンが生じないが、うるち米(アミロースとアミロペクチンを含む)からは大量の難溶性デンプンが生じることを報告している。これについて、大橋^{40) 41)}は、もち米デンプンのアミロペクチンには、ヨウ素呈色青色の長鎖長部は存在せず、また、中間鎖長部の量も極めて少ないため、難溶性デンプンが出来にくいと考察している。

以上のことから、米デンプンの組成の違いは米飴の見た目(色や濁り)にも影響を与えるといえる。

2) 加熱濃縮のしやすさ

24時間糖化・濾過した糖液を加熱により濃縮する工程の様子を示したのが図6である。

うるち米を原料とした場合、沸騰と同時に泡が立ち始め、加熱とともに泡が著しく増加した。もち米を原料とする場合と比べて、加熱による泡立ちが激しく、もち米と同じ火力では煮詰めることが困難であった。そのため、弱火で加熱濃縮する必要があり、加熱濃縮する工程では、もち米の場合よりも時間を要することが明らかとなった。

これは、うるち米はもち米に比べて製造の操作が難しく、最後に煮詰めるのに時間がかかるという文献²¹⁾の内容と一致していた。

糖化液の加熱濃縮工程において、うるち米を原料とした場合、もち米を原料とした場合よりも操作が難しいことの要因として、デンプンの分解産物であるデキストリンの少なさとタンパク質が挙げられている²¹⁾。デキストリンは、デンプンが麦芽中に含まれる糖化酵素により生成するが、アミロペクチン含量の少ないうるち米では、デキストリン生成量もちち米より少ないと考えられる。

庄司ら³³⁾は、米デンプンの粘度について、もち米の最高粘度は小、うるち米は大であることを報告し、その違いの理由として、もち米デンプンに対して脂質あるいはタンパク質が影響を与えるためではないかと考察している。米のタンパク質はグルテリン、グロブリン、アルブミン、プロラミン、プロテオース、不溶性タンパク質などから成り、全タンパク質の約半分が各種溶媒に溶解しやすいタンパク質であるが、その含量はもち米の方多いとされる⁴²⁾。

以上のことから、うるち米を原料とする糖化液の粘りの少なさは、生成される糖の量の少なさと、タンパ

ク質組成の違いが考えられるが、これらについては今後さらに検討する必要があるといえる。

(6) インディカ型もち種とジャポニカ型もち種におけるマルトース生成の相違

現在、世界で栽培されている米には、インディカ（インド型）とジャポニカ（日本型）などがある²⁰。前者は、籾の実の形が細長い長粒米である（長粒種）。後者は、我々日本人が食べている米で、丸く短粒であり（短粒種）、インディカに比べて粘りがある。世界の生産量を見ると、圧倒的にインディカが多いが、日本では食味の点でジャポニカが好まれ、利用されている。そこで、インディカ型もち米、および、ジャポニカ型もち米について、麦芽糖化餅を調製することとした（以下、インディカ米、ジャポニカ米と記す）。尚、ジャポニカ米は、こがねもちとした。

経時変化をみると、インディカ米・ジャポニカ米、いずれにおいても、時間の経過とともにマルトース濃度が増加した。両者を比べると、いずれの糖化時間においても、インディカ米の方がジャポニカ米より有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。

千粒重を比較すると、インディカ米は $17.63 \pm 0.10\text{g}$ 、ジャポニカ米は $19.55 \pm 0.04\text{g}$ であり、相違が見られた（ $p < 0.01$ ）。このことは、米重量が同じ場合、インディカ米の方が米粒の数が多いことを示す。さらに、重量に対する表面積はインディカ米の方がジャポニカ米より大きくなるため⁴³、糖化酵素が作用する面積が広くなり、糖化が進んだと考えられる。

また、アミロペクチンの構造から考えると、インディカ型もち米とジャポニカ型もち米では、アミロペクチンの鎖長分布が異なることが報告されている^{44) 45)}。Suzuki ら⁴⁴⁾ は、インディカ型もち米は、ジャポニカ型もち米に比べて、低重合度画分（DP6~12）の短鎖比率が低く、中鎖（DP12~24）が多く、高重合度画分（DP13 以上）の長鎖比率が高いことを報告しており、アミロペクチン分子鎖長の長鎖部分が、デンプンの物理特性を規定している因子の一つとして推測している。一方、ジャポニカ型もち米においても、品種間で鎖長分布パターンに差異があることから^{44) 45)}、これについては今後検討していく。

(7) 食育教材としての活用

上記結果より、米の種類（や品種によってマルトース含量など成分が異なることが明らかとなった。本研究で得られた成果の教材化については、材料の米の種類や品種が食品加工に及ぼす影響について着目し、食

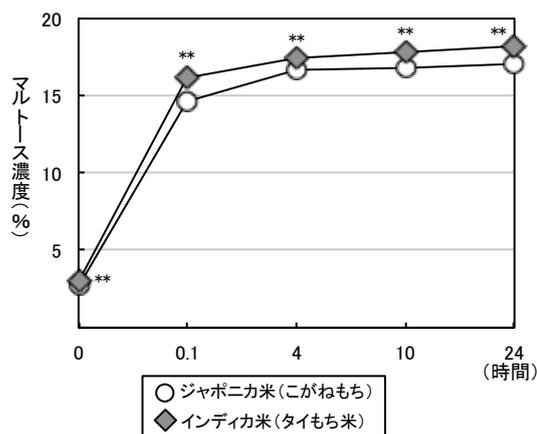


図7 米の種類が米飴のマルトース濃度に及ぼす影響
※同じ糖化時間における米の種類の影響を検討した。
有意差はt検定により求めた(** $p < 0.01$)。

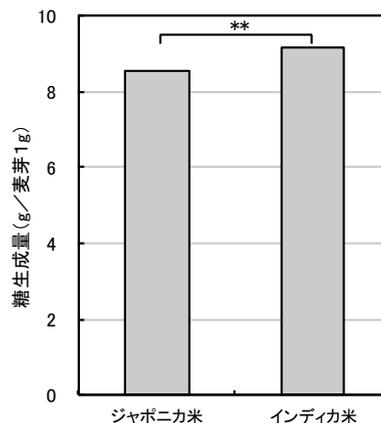


図8 米の種類が麦芽1gあたりのマルトース生成量に及ぼす影響
※有意差はt検定により求めた(** $p < 0.01$)。

育の充実⁴⁶⁾を図ることができる。

麦芽による糖化は短時間で進む（図1、図2、図7）ことから、粘りのある炊飯米が、麦芽（酵素）によるデンプン分解作用により、粘度が速やかに低下するという状態変化を観察することができる。これにより、視覚的・感覚的に酵素の働きを理解することができる。また、もち米とうち米では、糖化前の炊飯米の粘着性（粘り）が異なるため、米の物理的性質（粘り）と化学的性質（デンプン組成）との関連について、体験的に学習することができる。これについては、家庭科の調理実習や、小学校理科第6学年「B 生命・地球 (1) 人の体のつくりと働き」の「消化」や、「B (2) 植物の養分と水の通り道」の「でんぷんのでき方」⁴⁷⁾ などと関連づけて学ぶことにより、系統的な学びに繋がる。

材料の品種や産地などは、生活科や総合的な学習の時間、社会科や理科、中学校・技術分野などと関連づけることができる。例えば、もち米とうち米を原料

とする米飴の製造過程（図6）などを比較することで、加工のしやすさや製品の仕上がりには原材料が大きく影響していること、材料の選択が重要であることに気付き、経験的に行われてきた製法の中に科学的根拠があり、先人達の知恵と工夫が生かされていることを実感をもって理解することができる。

さらに、伝統的製法と工業的製法を比較することにより、食文化や食料生産・加工、郷土や地域に関する教育、消費者に関する教育、環境の学習などに関連づけられる。これらは、家庭科、社会科⁴⁸⁾、技術科⁴⁹⁾、理科⁴⁷⁾などでの学びにも関連しているため、教科横断的に取り組むことにより学びを深め、食文化教育（食育）を効果的に行うことができる。これらは一例であるが、米飴の伝統的製法に着目することで多面的・多角的な学びが期待できるといえる。尚、教材化と実践については、次報にて報告する予定である。

4. まとめ

米飴の原材料として、米の種類や品種が米飴の糖化に及ぼす影響について検討した。また、糖化液の加熱濃縮工程において、米の種類や品種によって相違があるかについても検討した。以下3点が明らかになった。

第一に、うるち米はもち米に比べてマルトース生成量が低かった。これは、両者のデンプン組成の違いによるものと考えられる。重合度の高いアミロペクチンの含有率が高いもち米の方が糖生成量が多いといえる。

第二に、うるち米・もち米、いずれにおいても品種によって糖生成量に相違が見られた。うるち米では、アミロース含量の低い方が糖生成量は高かった。

第三に、うるち米を原料とした場合、糖化液を加熱濃縮する工程において、もち米を原料とした場合よりも手間がかかった。

以上のことから、米飴の材料の選択は、最終生成物の収量や物理特性のみならず、作成過程にも影響を与えるといえる。米飴は伝統的に受け継がれてきた日本の食文化の一つであり、米飴の伝統的製法が衰退していくことは、食文化継承の面から懸念すべき状態である。今後は、得られた成果をもとに、学校教育における食育教材開発につなげ、食文化理解・継承の一助としたい。

本研究の一部は、鈴木ひなのさん（当時、静岡大学教育学部4年）の尽力による。

引用・参考文献

1) 日高秀昌, 岸原士郎, 斎藤祥治編: 砂糖の事典,

東京堂出版, p. 16, p. 108, p. 139 (2009)

2) 牛嶋英俊: 飴と飴売りの文化史, 弦書房, p. 11, pp. 22-23, p. 64, p. 137, p. 165 (2009)

3) 日成産業株式会社: 飴の糖化製法について, <http://www.nissei-sangyou.co.jp/touka.html> (2019. 3. 19 取得)

4) 農山漁村文化協会: 蔵王のおばあちゃん直伝! 麦芽あめづくり, 食農教育, **77**(11), 6-9 (2010)

5) のむらゆかり: やさしい季節の和菓子, 日東書院本社, p. 7 (2014)

6) 橋本仁, 高田明和編: 砂糖の科学, 朝倉書店, p. 217 (2006)

7) 農畜産業振興機構: 日本のでん粉事情, <https://www.alic.go.jp/content/000088026.pdf> (2019. 8. 10 取得)

8) 高橋禮治: でん粉製品の知識, 幸書房, pp. 16-17, pp. 38-39 (1996)

9) 文部科学省: 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 総則編, 東洋館出版, pp. 29-30 (2018)

10) 文部科学省: 中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 総則編, 東山書房, pp. 29-30 (2018)

11) 伊野アイ, 中川原美智子, 十文字トシ: 家庭でつくるこだわり食品 5, 農山漁村文化協会, pp. 100-101 (1990)

12) いわたの文化情報大事典: 麦芽水あめ, <http://www.bunka.pref.iwate.jp/archive/food114> (2019. 9. 15 取得)

13) 岡本靖史: ひらめき! 食べもの加工, 農山漁村文化協会, pp. 26-27 (2015)

14) 農山漁村文化協会編: 農家が教える手づくり加工・保存の知恵と技, 農山漁村文化協会, pp. 72-73 (2015)

15) 岡田茂孝, 北畑寿美雄: 蔗糖を結合した水あめの製造とその性質, 日本食品工業学会誌, **22** (9), 420-424 (1975)

16) 小林明晴, 清水恒, 大坪研一: 紫黒米色素の特性と紫黒米色素を用いた着色水飴の製造, 北陸作物学会報, **30**, 55-57 (1995)

17) 本間裕子, 角野猛, 真鍋久: 福島県南会津地域に伝わる「麦芽水あめ」の特性, 日本食生活学会誌, **22** (2), 106-113 (2011)

18) 村上陽子: 伝統的製法による米飴の調製方法が成分および食嗜好性に及ぼす影響, 教科開発学論集, **8**, 117-116 (2019)

19) 村上陽子: 米の搗精度が麦芽糖化飴(米飴)の糖化および食嗜好性に及ぼす影響: 玄米および有色米

- に着目して，静岡大学教育実践総合センター紀要，**30**，175-184 (2020)
- 20) 貝沼やすこ：お米とごはんの科学，建帛社，pp. 12-14 (2012)
- 21) 生活科学研究會編：水飴，國民工業學院，pp. 47-51，p. 77 (1947)
- 22) 本間祐子，眞鍋久：伝統的甘味料「麦芽水あめ」製造時の糖化材料の検討—もち米とうち米の糖化状態の比較—，日本食生活学会誌，**28** (3)，153-158 (2017)
- 23) B.O. Juliano: A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Sci. Today*, **16**, 334-340 (1971)
- 24) 前田巖，自見信子，谷口肇，中村道徳：大麦枝切り酵素の精製と澱粉粒分解におけるその役割，澱粉科学，**26** (2)，117-127 (1979)
- 25) 水野昭博，篠田典子，野村佳司： α -グリコシダーゼを利用したビールの高濃度醸造 (第4報) α -グリコシダーゼを利用した並行複発酵の利用，日本醸造協会誌，**99** (12)，873-877 (2004)
- 26) 加島典子，石川直幸，大塚勝，小玉雅晴，谷口義則，河田尚之，早乙女敏規：ビール大麦の原麦ジアスターゼ値からと他形質との関係，栃木県農業試験場研究報告，**48**，47-52 (1999)
- 27) 栃木農業試験場栃木分場：麦芽 α -アミラーゼの品種間差異及びその麦芽品質との関係，(独)農業・食品産業技術総合研究機構作物研究所，平成17年度成果情報冬作物部会，http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/seika/kanto17/11/17_11_26.html (2019. 9. 15 取得)
- 28) 平山裕治，前川利彦，品田博史，佐藤博一，木内均，佐藤 毅，吉村 徹，粕谷雅志，尾碓洋人，木下雅文，沼尾吉海則，佐々木忠雄，藤井はるか：水稻糯新品種「きたふくもち」の育成，北海道立総合研究機構農業試験場集報，**102**，15-27 (2018)
- 29) 石崎和彦：もち品種の困う特性に関する研究 (第1報) もち硬化性の簡易測定法，北陸作物学会報，**29**，26-28 (1994)
- 30) 佐藤弘一，斎藤真一，吉田智彦：水稻糯品種の餅硬化性，糊化特性，および尿素崩壊性による選抜方法，日本作物学会記事，**74** (3)，310-315 (2005)
- 31) 農研機構：冷めてもおいしい低アミロース米，<http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/tarc/contents/lamy/index.html> (2020. 12. 8 取得)
- 32) 宮本武明，赤池敏宏，西成勝好編：21世紀の天然・生体高分子材料，シーエムシー，35 (1998)
- 33) 庄司一郎，倉沢文夫：モチ米，ウルチ米ならびにそれぞれのデンプンのアミログラム特性について，家政学雑誌，**30** (3)，292-294 (1979)
- 34) 庄司一郎，倉沢文夫：米ならびに米デンプンの調理科学的研究 (13報) 新米と古米の若干の理科学生について，家政誌，**39** (2)，159-163 (1988)
- 35) 庄司一郎，倉沢文夫：米ならびに米デンプンの調理科学的研究 (14報) もちおよびうるち米粉のアミログラム粘度におよぼす水洗，硫酸銅添加の影響，家政誌，**39** (3)，237-241 (1988)
- 36) 辻井良政，北村亮子，内野昌孝，高野克己：モチ米の加工特性に及ぼす胚乳アミラーゼの影響について，日本食品保蔵科学会誌，**33** (2)，63-69 (2007)
- 37) 宝酒造：こうじに関する基礎知識，<https://www.takarashuzo.co.jp/products/seasoning/basicinfo/005.htm> (2019. 1. 24 取得)
- 38) 前沢辰雄，早川幸男，大久保増太郎，福田稔夫：澱粉の液化について (第2報) 難溶性澱粉の性質，澱粉工業学会誌，**10** (1)，20-23 (1962)
- 39) 小巻利章：酵素糖化水飴中の濁濁物質の成因について，澱粉工業学会誌，**4** (1)，9-12 (1956)
- 40) 大橋一二：アミロースの重合度とヨード反応との関係，日本農芸化学懐紙，**33** (7)，576-580 (1959)
- 41) 大橋一二：アミロペクチンの微細構造について (第1報) アミロペクチンの鎖長，日本農芸化学会誌，**34** (11)，900-905 (1960)
- 42) 竹生新治郎：米の科学，高分子，**9**，302-305 (1960)
- 43) 米穀安定供給確保支援機構情報部：国産長粒米の生産，販売等の動向，https://www.komenet.jp/pdf/chousa-rep_H28-2.pdf (2017. 3. 13 取得)
- 44) K. Suzuki, S. Nakamura, H. Satoh, and K. Ohtsubo: Relationship between Chain-length Distributions of Waxy Rice Amylopectins and Physical Properties of Rice Grains. *J. Appl. Glycosci.*, **53**, 227-232 (2006)
- 45) 農研機構：もちの硬化性とアミロペクチン構造の関連，<https://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H12/tnaes00021.html> (2020. 12. 20 取得)
- 46) 文部科学省：小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 家庭編，東洋館出版，pp. 40 (2018)
- 47) 文部科学省：小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 理科編，東洋館出版，pp. 84-89 (2018)
- 48) 文部科学省：小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 社会編，日本文教出版，pp. 48-69 (2018)
- 49) 文部科学省：中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 技術・家庭編，開隆堂，p. 20 (2018)