

米のデンプン構造と醸造特性・気象条件との関係

奥田 将生

清酒醸造では、香味の調和を図るため、ご飯で食べるお米に比べて高度に精米された(玄米を外側から削った)国産米が原料に使われる。平成22酒造年度の平均精米歩合(玄米重量に対する精米後の白米重量の比率)は67%で、玄米の外側から3割も削った米が使われている。原料米の経費が製造コストの大半を占めるため、品質を保ちつつ原料米の利用率を上げることが重要である。清酒の醸造工程は他の酒類と比べ複雑で、米粒のまま仕込み、麹菌の酵素による米の溶解・糖化と酵母によるアルコール発酵が並行して進む“並行複発酵方式”で行われる。原料米の溶解の程度が原料利用率を左右し結果として味の濃淡に大きく影響するため、米の溶解をいかに制御するかが、アルコール発酵とともに工程管理の重要なポイントである。

原料米の溶解には、米の性質が大きく影響する。米の性質は、同じ品種であっても生産年や生産地の気象条件によって左右され、醸造工程や清酒の品質へ影響することが経験的に知られていた。原料米の溶解性がどのような要因で決まるかは、清酒製造業者にとって重大な関心事であるため、その要因解明に向けて古くから研究が進められてきたが、詳細は不明であった。酒類総合研究所では、米の最大成分であるデンプンに着目して研究を行い、イネの栽培時の気温が、デンプンの分子構造を変化させた結果、溶解性に影響することを明らかにした。本稿ではこれらの成果を紹介したい。

デンプンの分子構造と醸造特性

うるち米の大半を占めるデンプンは、ブドウ糖が直鎖状につながったアミロースとブドウ糖の鎖が房状に枝分かれしたアミロペクチンが約1:4の比率で構成されている(図1)。この2成分で構成されるデンプンは、水の存在下で加熱すると、吸水、膨潤し、消化酵素の作用を受けやすくなる。これをデンプンの糊化という。糊化デンプンを低温下で長時間放置すると、結晶性が回復する。この現象をデンプンの老化という。老化したデンプンは水に溶けにくく、消化酵素の作用を受けにくくなる。このデンプンの糊化・老化特性は、その組成・構造と密接に関連し、アミロース含量、アミロースの分岐度、アミロペクチンの側鎖構造(枝の長さ)によって、影響を受

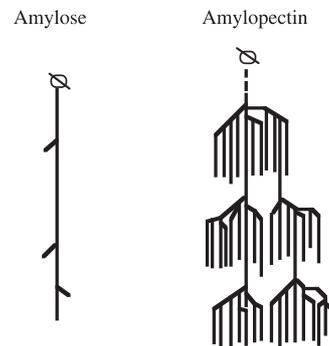


図1. デンプンを構成する成分

けるとされている。

清酒の醸造工程では、低温で長期間発酵させるので、米を蒸すことによって完全に糊化された米中のデンプンは時間の経過とともに老化が進み、老化の影響により蒸米の酵素消化性が低下するものと考えられた。また、デンプンの老化速度はデンプンの組成・分子構造に左右されるので、最終的に蒸米の酵素消化性は、デンプンの分子構造に強く影響されると考えられた。

そこで筆者らはデンプンの分子構造および老化特性と蒸米の酵素消化性との関係について着目し研究を開始した¹⁻³⁾。まずデンプン組成や分子構造が大きく異なった変異体米試料を用い、デンプン分子構造と蒸米の消化性との関係について調べた。その結果、原料米のデンプン中のアミロース含量とアミロペクチンの側鎖構造が、蒸米デンプンの老化と関連があり蒸米の酵素消化性に大きく影響することを見いだした¹⁾。すなわち、アミロース含量が少ない米ほど、また、アミロペクチンの側鎖が短い(短い鎖の割合が多い)ほど、デンプンの老化が遅く米が硬くなりにくいため、消化されやすいことが明らかになった。

次に、酒造用原料米品種を用いて検討した²⁾。酒造用原料米のデンプン構造は、品種間で差異はみられたものの変異体試料ほど顕著ではなかった。一方、蒸した後気中放置させると蒸米の酵素消化性は清酒醸造試験における粕歩合や清酒液量に相関性を示すことが報告されていたため、蒸米酵素消化性試験は老化を反映させた条件で実施した⁴⁾。蒸米を気中放置すると酵素消化性は時間

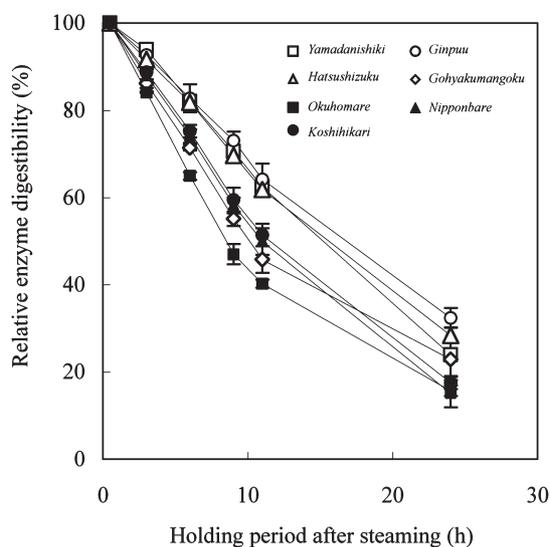


図2. 気中放置した蒸し米の酵素消化性

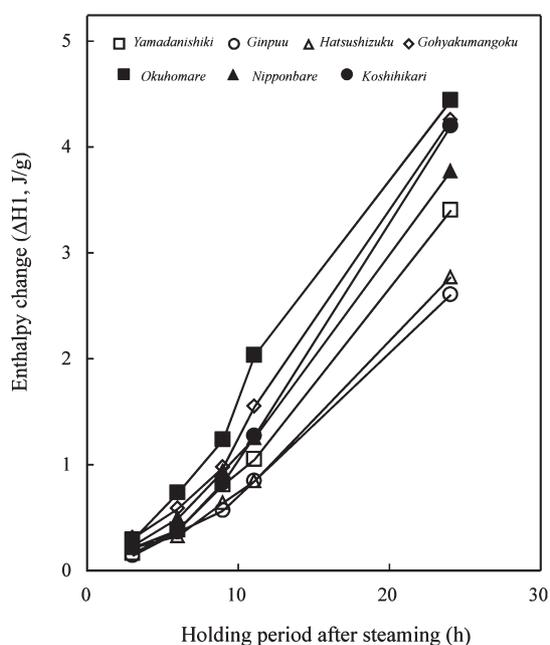


図4. 気中放置蒸米におけるアミロペクチンの老化の進行

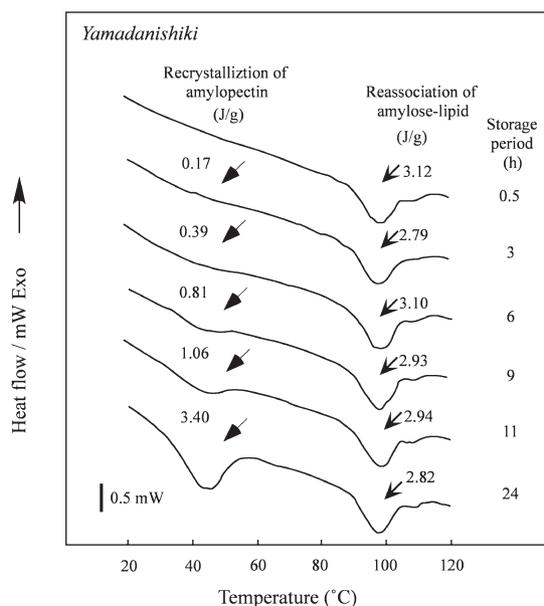


図3. 気中放置蒸米のデンプンの老化

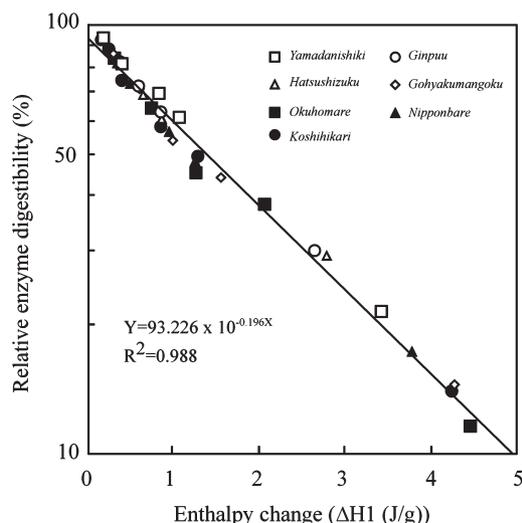


図5. 消化性とアミロペクチンの老化

経過に伴い低下し、その低下速度は品種により異なった(図2)。気中放置蒸米のデンプンの老化を、微弱なデンプンの老化でも検出可能なDSC(示差走査熱量計)で調べると(図3)、いずれの品種も蒸し直後ではアミロース-脂質複合体の再会合に由来する80-100°C付近のピークしかみられなかったが、蒸し後3時間以降では、アミロース-脂質複合体のピークに加え40°C付近にアミロペクチンの再結晶化に由来するピークが現れ、時間

経過とともにそのピークは大きくなった。したがって、時間経過に伴う蒸米の物性変化(硬くなる)は、アミロペクチンの再結晶化(老化)に起因するもので、アミロペクチンの老化により蒸米の酵素消化性が低下するものと考えられた。

アミロペクチンの老化速度(図4)は、アミロペクチン側鎖が短く酵素消化性の低下しにくかった品種が遅いものに対し、アミロペクチン側鎖が長く酵素消化性が低下

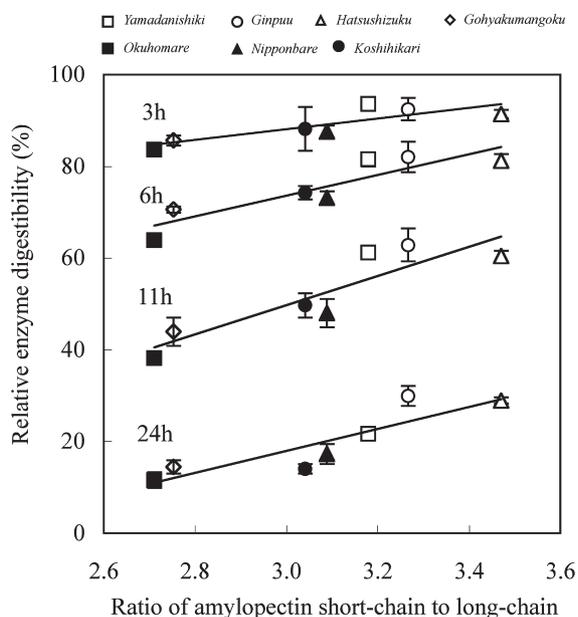


図6. アミロペクチンの側鎖構造と酵素消化性

しやすかった品種が速かった。さらにアミロペクチンの老化度（再結晶化熱量）と酵素消化性には高い相関がみられるとともに（図5）、デンプン構造と酵素消化性には高い相関があり、アミロペクチン側鎖の短い品種ほど、酵素消化性が低下しにくかった（図6）。また、実際の麹造りや醸などの清酒醸造工程においても、経時的に蒸米中のアミロペクチンの老化が進むことを確認した³⁾。デンプン変異体ではアミロース含量の違いも老化および消化性に大きく影響したが、酒造用原料米品種ではアミロース含量の差は小さいので、アミロペクチンの側鎖構造に起因する老化性の差異が醸中での蒸米の酵素消化性に大きく影響することが明らかとなった。

これらの結果を踏まえ、蒸米消化性の簡便な推定法についても見いだした。デンプン分子構造に高い相関性を示すDSCやRVA（ラピッドビスコアアナライザー）で測定した糊化温度が蒸米の酵素消化性と極めて高い相関性を示した。DSCやRVAによる分析は簡単に短時間でできるので、これらの装置を用いれば迅速かつ簡便に米の酵素消化性を推定できることが明らかとなった³⁾。

気象条件と醸造特性との関係

上述の研究と平行して人工気象室を用いてイネ登熟期気温（イネ出穂後の気温）が米の酒造適性へ及ぼす影響について研究を行った^{5,6)}。その結果、イネ登熟期の温度が高いと、アミロペクチンの側鎖（枝）が長くなり、デンプンの老化が速く（蒸米が硬くなりやすく）、消化

されにくい（米の溶解が悪い）ものとなっていた。一方登熟期が低温のときはアミロペクチンの枝が短く、老化がゆっくり進むため消化されやすいものとなっていた。イネ登熟期気温のデンプン分子構造への影響は1980年代に見いだされ⁷⁾、近年ではデンプン生合成遺伝子レベルでの解析も行われている⁸⁾が、イネ登熟期の気温は清酒醸造における原料米の溶解性にまで影響することが明らかになった。これらは、天候の良い年の米は硬くもろみで溶けにくく、逆に冷夏の年は溶けやすいという過去の清酒醸造における経験則とぴったりと一致しており、イネの栽培時の気象条件で原料米の酒造適性が予測できる可能性が見いだされた。

気象データによる酒造適性の予測

9年間の統計資料を解析したところ、清酒醸造における全国加重平均の粕歩合はイネの登熟期の気温と正の高い相関性を示した⁹⁾。すなわち、実際の酒造現場においても、イネの登熟期の気温が高い年は米の溶解性が悪く酒粕が多くなっていた。このことから、イネ登熟期の気温が米のデンプンの性質に影響を及ぼした結果、清酒醸造での米の溶解性に影響した可能性が考えられた。

そこで、イネ登熟期の気象データの明らかな日本各地から収集された試料を用いて、気象データとデンプン特性および蒸米消化性との関係を解析し、気象データにより蒸米の酵素消化性（米の利用率）を予測できるかを検討した^{10,11)}。その結果、イネ登熟期の平均気温は、日照時間や気温日較差よりデンプンの性質（アミロペクチンの側鎖構造）および蒸米の酵素消化性と高い相関関係を示すことが明らかになった（図7）。この結果は人工気象室を用いた結果^{5,6)}と一致しており、イネ登熟期の気温によりかなり高い精度で原料米の溶解性に関する酒造適性を予測できる可能性が示唆された。実際に、平成21,22年産米について気象データと米の溶解性の関係をみると、夏場が比較的涼しかった平成21年産米は溶解しやすかったのに対し、猛暑であった平成22年産の米は老化しやすく溶解しにくかった。このことから気象データにより米の溶解性が予測できることが裏付けられた。産地近隣の気象データはアメダスから簡単に入手できるため、酒造前に容易に米質を把握した上で清酒製造ができるようになり、原料米の利用率や清酒の品質向上に大きく貢献できると考えられる。

おわりに

今回の研究から、イネの登熟期の気温がデンプンの分子構造を変化させその結果米の溶解に影響すること、さ

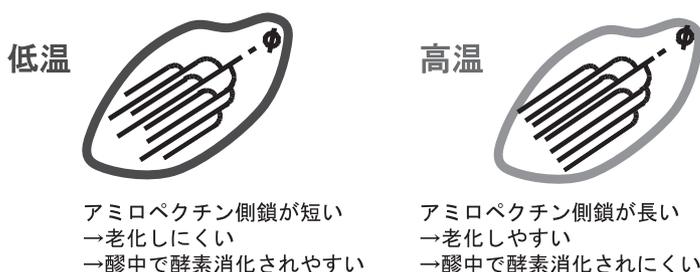
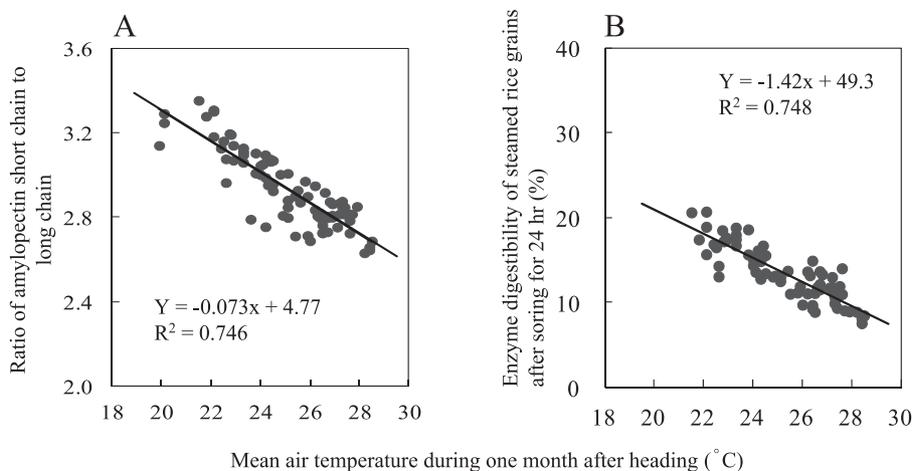


図7. イネ登熟期気温による清酒醪中の米の溶解性の予測

らにイネの登熟期の気温により米の溶解性が予測できることが明らかになった。

多くの酒造現場では、米の分析は手間がかかるためほとんど行われず、酒造初期は米の性質がよくわからないまま仕込んでみて、様子を見ながら醪の管理を行っている。今回の知見を活用すれば、これからは重要な米の性質をよく知った上で清酒醸造できるようになると考えられる。特に近年イネの登熟期にあたる夏から秋にかけて高温になる年が多いため、酒造期前に米の性質を予測できれば、清酒の品質や原料利用率の向上に役立つものと思われる。今後、これらの成果が酒造現場や酒造用原料米の育種に応用されるよう、さらなる研究の進展が期待

される。

文 献

- 1) Okuda, M. *et al.*: *Cereal Chem.*, **82**, 361 (2005).
- 2) Okuda, M. *et al.*: *Cereal Chem.*, **83**, 143 (2006).
- 3) Okuda, M. *et al.*: *J. Appl. Glycosci.*, **56**, 185 (2009).
- 4) 若井芳則ら：生物工学, **75**, 99 (1997).
- 5) 小関卓也ら：醸協, **99**, 591 (2004).
- 6) 米原由希ら：醸協, **100**, 650 (2005).
- 7) Asaoka, M. *et al.*: *Starch/Stärke*, **36**, 189 (1984).
- 8) Yamakawa, H. *et al.*: *Plant Physiol.*, **144**, 258 (2007).
- 9) 橋爪克己, 奥田将生：醸協, **103**, 945 (2008).
- 10) 奥田将生ら：醸協, **104**, 699 (2009).
- 11) 奥田将生ら：醸協, **105**, 97 (2010).