

酒造原料米の溶解性予測システムの確立に関する研究

—酒造原料米の消化性Brix予測値の活用—

齋藤健太* 樋口誠一* 和田健太郎* 横堀正敏*

Study on Establishment of Prediction System of Rice Solubility for Sake Making

—Practical Applications of Enzyme Digestibility Prediction of Rice for Sake Making—

SAITO Kenta*, HIGUCHI Seiichi*, WADA Kentaro*, YOKOBORI Masatoshi*

抄録

清酒の酒質に影響を及ぼす酒造原料米の溶解性を、迅速に予測するシステムの確立を目指した。その溶解性に関連する酒造原料米の消化性Brix予測値を得るため、メッシュ農業気象データ及び近赤外分析で得た迅速分析値などを入力変数とした部分的最小二乗回帰分析を行い、精度の高い予測が可能となった。得られた予測値を基に原料処理を変えるなどした清酒製造試験を行い、本システムの有用性を検証した。

キーワード：米，清酒，溶解性，消化性，PLS回帰分析

1 はじめに

酒造原料米（以下、原料米）の溶解性は、麴の酵素による蒸米の消化性Brix値で評価される。麴や原料処理などを調整することで、醪（もろみ）の段階で蒸米の溶け方が制御されている。

原料米の溶解性は、同じ品種であっても生産年や生産地の気象条件に左右され、醸造工程や清酒の品質に影響する¹⁾。清酒の品質向上のために、仕込み前に原料米の溶解性を把握することが望まれる。しかし、原料米の分析には時間と手間がかかるため、多くの酒造現場で行われていない。また、酒米研究会の酒造用原料米全国統一分析値は酒造期後に提供されるため、仕込み前には活用できていない。そのため、新米の溶解性は把握されないまま仕込まれ、造り手の経験則で管理されている。

そこで本研究では、仕込み前に原料米の溶解性の情報を提供するシステムの確立を目指した。

既報²⁾では重回帰分析による消化性 Brix 値の予測を行い、砕米率及び吸水性 20 分値の寄与が大きいことを明らかにした。本研究では、砕米率及び吸水性 20 分値に加えて、迅速分析が可能な近赤外分析（以下、NIR）及び白米水分、並びにメッシュ農業気象データ³⁾から部分的最小二乗（以下、PLS）回帰分析を行い、消化性 Brix 予測値の精度の向上を目指した（1）。さらに、消化性 Brix 予測値が異なる原料米を用いた清酒製造試験を行い、清酒の酒質及び原料利用の指標の違いを明らかにして、本システムの有用性を検証した（2）。

2 実験方法（1）

2.1 試料

品種、生産地及び生産年の異なる原料米 21 点を、酒造用原料米全国統一分析法⁴⁾に従い、精米歩合 70%、白米水分 13.5±0.3%に調製し、予測システム作成に使用した（表 1 参照）。

* 食品・バイオ技術担当

2.2 原料米分析

水分、砕米率、吸水性 20 分、蒸米吸水率、及び消化性 Brix 値の測定は酒造用原料米全国統一分析法⁴⁾に準じた。各測定は 2 回繰り返し、平均値を求めた。

2.3 NIR

既報²⁾のとおり。

2.4 メッシュ農業気象データ

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構のメッシュ農業気象データシステム³⁾の平均気温より、出穂後 20 日間、30 日間及び 40 日間の平均気温を求めた。

2.5 統計解析

PLS 回帰分析では R (version 3.6.1) のパッケージ pls を使い、leave-one-out cross-validation で入力変数を選択した。入力変数は、白米水分、砕米率、吸水性 20 分、NIR 及び出穂後の平均気温を用い

た。標準化係数により入力変数を絞り込み、モデルの予測性を表す Q² 値の上昇幅が 0.03 を下回る直前の潜在変数の数を選択した。

3 結果及び考察 (1)

3.1 各種分析値

一例として、さけ武蔵 (平成 29 年産、埼玉県川越市鴨田 No.1) の NIR の反射率及び 2 次微分値を図 1 に示した。

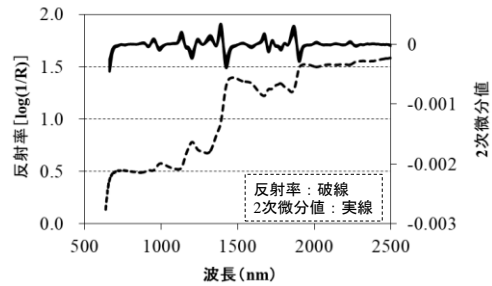


図 1 NIR の反射率及び 2 次微分値

酒造用原料米全国統一分析値及びその他の分析値の一部を表 1 に示した。入力変数は X で示し、表 1 以外に種々の波長の NIR の反射率を用いた。

表 1 酒造用原料米全国統一分析値、NIR 分析値及び出穂後の平均気温の一部抜粋

原料米			原料米全国統一分析値					NIR分析値										メッシュ気象	
品種	生産地	生産年	砕米率	白米水分	吸水性 20 分	消化性 Brix		2次微分ピーク面積 (×10 ⁻⁵)										平均気温	
						実測	予測	915 nm	1200 nm	1776 nm	1825 nm	1936 nm	2058 nm	2174 nm	2282 nm	2320 nm	30日	40日	
			X ₁	X ₂	X ₃	Y _{obs}	Y _{pred}	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	
五百万石	小千谷市	H28	3.4	13.6	26.1	8.5	8.8	25.2	478	260	10.2	821	29.8	24.9	122	25.2	25.4	25.0	
五百万石	出雲崎	H29	1.9	13.4	28.2	9.6	9.3	35.2	547	269	11.6	891	37.6	28.1	140	28.3	25.4	24.8	
さけ武蔵	熊谷市	H28	13.8	13.5	28.6	10.9	10.7	36.0	578	228	11.3	664	23.0	25.3	93	20.8	25.5	24.7	
さけ武蔵	川越市	H28	14.5	13.6	28.3	10.0	10.3	41.6	612	265	11.4	807	27.8	29.4	113	24.4	25.3	24.5	
さけ武蔵	鴨田No.1	H29	9.4	13.6	29.1	10.1	10.0	54.0	658	235	11.8	648	20.8	28.3	80	15.9	24.3	23.6	
さけ武蔵	鴨田No.2	H29	11.5	13.7	28.9	10.2	10.1	45.2	612	233	12.8	682	23.2	26.1	95	17.9	24.3	23.6	
さけ武蔵	鴨田No.3	H29	8.8	13.4	29.8	10.2	10.3	44.2	594	239	11.8	743	27.0	27.0	112	21.1	24.1	23.4	
さけ武蔵	鴨田No.4	H29	9.6	13.7	28.1	10.2	9.9	47.2	625	235	11.9	667	20.7	27.0	89	18.9	23.4	22.8	
さけ武蔵	鴨田No.5	H29	10.7	13.7	28.7	10.3	10.2	44.0	621	234	12.1	656	19.7	27.9	84	19.5	23.4	22.8	
さけ武蔵	菅間	H29	12.7	13.6	28.7	10.3	10.3	38.3	574	250	11.2	760	25.2	24.7	113	25.6	24.3	23.6	
さけ武蔵	増形	H29	11.0	13.6	28.9	10.1	10.4	42.5	617	234	12.7	678	23.8	28.1	92	17.7	23.9	23.1	
さけ武蔵	古谷本郷	H29	7.8	13.6	29.0	10.0	10.1	43.6	632	251	13.3	691	21.7	28.7	86	14.9	24.7	24.1	
さけ武蔵	鯨井No.1	H29	10.2	13.6	28.3	10.1	10.0	41.6	602	254	12.5	744	25.2	29.0	100	18.2	23.6	23.0	
さけ武蔵	鯨井No.2	H29	9.5	13.6	28.5	10.1	10.0	43.3	600	271	10.9	850	32.6	31.8	123	22.0	23.6	23.0	
さけ武蔵	狭山市	H29	12.1	13.5	29.7	10.4	10.5	45.6	614	233	12.3	720	29.0	27.1	106	27.9	22.1	21.5	
彩のかがやき	羽生市	H28	3.9	13.6	24.0	8.3	8.5	33.2	582	209	12.2	508	8.2	22.7	56	14.7	26.1	25.0	
彩のかがやき	嵐山町	H28	5.8	13.4	23.9	8.4	8.5	43.6	643	222	13.4	541	11.3	21.6	56	17.5	25.6	24.6	
彩のかがやき	羽生市	H29	5.4	13.5	25.5	8.5	8.7	44.9	621	245	13.5	716	24.3	24.2	102	21.1	25.1	24.8	
彩のきずな	嵐山町	H28	5.3	13.5	24.3	9.5	8.8	35.5	583	227	12.7	570	14.6	27.0	62	14.2	25.6	24.6	
彩のみのり	羽生市	H28	5.4	13.8	26.9	9.2	9.2	43.8	664	244	15.0	614	15.6	24.6	62	14.2	26.1	25.1	
彩のみのり	羽生市	H29	5.3	13.6	26.1	8.6	9.0	45.4	646	223	13.3	566	14.1	26.6	60	16.3	25.1	24.8	

3.2 PLS 回帰分析による予測

PLS 回帰分析による消化性 Brix の予測値 (Y_{pred}) と実測値 (Y_{obs}) を表 1 に示した。入力変数は標準化回帰係数の絶対値により、4949 変数から 92 変数に絞り込み、 Q^2 値の上昇幅が 0.03 を下回る直前の潜在変数の数は 6 であり、このときの RMSEP 値 (平方平均二乗誤差) は 0.32 であった。モデルの精度は $R^2=0.816$ 、モデルの予測性は $Q^2=0.812$ であった。既報²⁾の重回帰分析の補正 $R^2=0.75$ よりも実測値に近い予測となり、本研究の PLS 回帰分析の方がより妥当なモデルを得られたと考えられる。

次に、本システムの有用性を検証する。

4 実験方法 (2)

4.1 清酒製造試験

精米歩合 60%の平成 30 年産彩のかがやき (羽生市産) の PLS 回帰分析による消化性 Brix 予測値及び実測値を表 2 に示した。同一の品種でも精米ロットによって、碎米率、白米水分、吸水性 20 分等が変わり、消化性 Brix 予測値が異なった原料米 2 種 (表 2 の A 及び B) を用いて清酒製造試験を行った。

表 2 消化性 Brix 予測値及び実測値

精米 ロット	精米日	原料米全国統一分析値				
		碎 米 率	白米 水分	吸水性 20分	消化性Brix	
					実測	予測
X_1	X_2	X_3	Y_{obs}	Y_{pred}		
A	H30.10.17~20	3.2	12.8	28.7	9.3	9.5
B	H30.10.22~26	2.5	12.3	29.3	9.5	10.0

仕込み方法は、表 3 に示した仕込み配合のアンブル仕込、種麴はハイ・G (樋口松之助商店)、酵母は埼玉 C 酵母を用いた。

留添の掛米及び原料処理の違いを表 4 に示した。Ctrl、Trt2 及び Trt3 の留添の掛米には消化性 Brix 予測値 9.5 の原料米 A、Trt1 には溶けやすいと予測された消化性 Brix 予測値 10.0 の原料米 B を用いた。Ctrl を対照区、Trt2 を浸漬時間を長くして蒸米吸水率を多くした試験区、Trt3 を蒸米の冷却時間を短くした試験区として、清酒の酒質及び原料利用の指標について検討した。醪における

アルコール及び比重を表すボーメ度の変化が同じになるように、温度を管理し、留後 7 日目の追水は表 5 に示した量で行った。

表 3 仕込み配合

	酒母	初添	仲添	留添	合計
総米 (kg)	1.5	9.0	18.0	31.5	60.0
掛米 (kg)	—	7.5	14.0	25.5	47.0
麴米 (kg)	1.5	1.5	4.0	6.0	13.0
水 (L)	6.0	8.0	20.0	47.0	81.0
乳酸 (mL)	36.0	24.0	—	—	60.0

表 4 留添の掛米及び原料処理の違い

	Ctrl	Trt1	Trt2	Trt3
白米水分 (%)	12.8	12.3	12.8	12.8
消化性Brix予測値	9.5	10.0	9.5	9.5
浸漬時間 (min)	17.8	17.8	29.0	17.8
蒸米吸水率 (%)	44	44	48	42
蒸米の冷却時間 (H)	3.0	3.0	3.0	0.5

4.2 醪及び製成酒の成分分析

醪のアルコールの測定にはアルコメイト (AL-2 型、理研計器製) を用いた。製成酒のアルコール、醪及び製成酒の日本酒度、酸度、アミノ酸度及び香气成分は国税庁所定分析法⁵⁾に従った。グルコースの測定にはバイオケミストリー・アナライザー (MODEL 2700 SELECT、フェニックスサイエンス製) を用いた。香气成分の測定は 3 回、その他の各測定は 2 回繰り返し、平均値を求めた。

5 結果及び考察 (2)

5.1 醪の経過

醪日数、追水量及び最高ボーメを表 5 に示した。Trt1、Trt2 及び Trt3 は、Ctrl より原料米がよく溶解し、最高ボーメが高くなったため、追水量を増やした。また Trt1、Trt2 及び Trt3 は醪日数が Ctrl より長く、発酵パターンが Ctrl よりも前緩傾向であったことを示した。

表 5 醪日数、追水量及び最高ボーメ

	Ctrl	Trt1	Trt2	Trt3
醪日数	26	29	27	28
追水 (L)	2.0	3.4	3.2	3.3
醪の最高ボーメ	7.6	7.8	7.8	7.8

5.2 清酒の成分

製成酒の成分を表6に示した。Ctrlと比較して、Trt1、Trt2及びTrt3のカブロン酸エチル濃度が0.3~0.5ppm高くなった。カブロン酸エチルの弁別閾値が0.12ppmである⁹⁾ことから、この差は人が知覚できる差であると考えられる。

表6 製成酒の成分

	Ctrl	Trt1	Trt2	Trt3
アルコール (%)	18.2	17.8	18.2	18.0
グルコース (%)	0.9	0.9	0.9	0.9
日本酒度	+2.0	±0	+2.5	+1.5
酸度 (mL)	2.0	2.0	2.0	2.0
アミノ酸度 (mL)	1.2	1.2	1.3	1.2
酢酸エチル (ppm)	41.0	38.7	39.1	34.9
イソアミルアルコール (ppm)	139	136	140	139
酢酸イソアミル (ppm)	1.5	1.5	1.5	1.3
カブロン酸エチル (ppm)	3.5	4.0	3.9	3.8

5.3 原料利用の指標

製成酒の原料利用の指標を表7に示した。Ctrlと比較して、Trt1、Trt2及びTrt3の粕歩合が低かった。純アルコール取得量は、Ctrlと比較して、Trt2では10.7L/t、Trt3では1.4L/t多かった。Trt1のアルコール取得量が低かった原因としては、醪の発酵パターンが前緩傾向になったためと考えられる。Trt1は、醪日数を延ばすことで、更に蒸米の溶解が進み、粕歩合も低くすることができると考えられる。

表7 製成酒の原料利用の指標

	Ctrl	Trt1	Trt2	Trt3
純アルコール取得量 (L/t)	325.7	320.4	336.4	327.1
粕歩合 (%)	38.5	37.1	37.3	37.5

5.4 溶解性予測システムの有用性

消化性 Brix 予測値 9.5 と低い原料米を用いた Ctrl と比較して、消化性 Brix 予測値 10.0 と高い原料米を用いた Trt1 においてカブロン酸エチル濃度が増加し、粕歩合が減少した。予測値から酒質を考えるなど、本システムの利用の可能性が示された。

Trt2の結果は、蒸米の水分が多いと仕込み後の吸水性がよく溶けやすい⁷⁾ことと一致した。

蒸米を冷却、放置すると硬化し、酵素による消化を受けにくくなる⁷⁾と言われている。Trt3は蒸米が硬化する前に仕込むことで、醪中で蒸米が溶けやすくなり、カブロン酸エチル濃度が高くなったと考えられる。

以上のことから、消化性 Brix 予測値を把握して原料処理を調整することで、原料米の溶解性を制御できる可能性があり、本システムの有用性が示された。

今後は酒造好適米や高精白米への適用性を確認する。また蒸米の冷却時間による老化の度合いも検討したい。

6 まとめ

6.1 消化性 Brix 値の予測

砕米率、白米水分、吸水性 20分及び NIR 測定値並びにメッシュ農業気象データを入力変数として、従来分析に時間がかかっていた消化性 Brix を、PLS 回帰分析により予測した。既報²⁾の重回帰分析より精度の高い予測が可能となった。

6.2 溶解性予測システムの有用性

PLS 回帰分析によって予測した原料米を用いて、清酒製造試験を行った。高い消化性 Brix 予測値を示した原料米では、カブロン酸エチル濃度が増加し、原料利用の指標が向上した。さらに、低い消化性 Brix 予測値を示した原料米でも、浸漬時間や蒸米の冷却時間を調整することで、カブロン酸エチル濃度を増加させ、原料利用の指標を向上させることが可能であることが示唆された。これらのことから、本システムの有用性が示された。

謝辞

メッシュ農業気象データシステムをご提供いただきました国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 奥田将生：米のデンプン構造と醸造特性・気象条件との関係，生物工学会誌，**90**，5(2012)227
- 2) 齋藤健太，横堀正敏，樋口誠一，和田健太郎：酒造原料米の溶解性予測システムの確立に関する研究—酒造原料米の吸水性及び消化性の重回帰分析による予測—，埼玉県産業技術総合センター研究報告，**17**，(2019)30
- 3) 農研機構 メッシュ農業気象データシステム，<https://amu.rd.naro.go.jp/>，2020.3.18
- 4) 酒米研究会編：酒造用原料米全国統一分析法，酒米研究会，(1996)
- 5) 標準分析法注解編集委員会編：酒類総合研究所標準分析法注解，日本醸造協会，(2017)
- 6) 宇都宮仁，磯谷敦子，岩田博：清酒に添加した匂い物質の閾値（第2報），日本醸造協会誌，**99**，10(2004)729
- 7) 公益財団法人 日本醸造協会編：増補改訂清酒製造技術，日本醸造協会，(2016)