

味覚センサーを用いた清酒もろみの発酵状態の評価

藤原孝之* , 栗田 修*

Evaluation of the Fermentation State of Sake Moromi Using Taste Sensors

Takayuki FUJIWARA* and Osamu KURITA*

The objective of this study was to evaluate the capability of taste sensors, based on the electrical characteristics of the lipid/polymer membranes in response to taste substances, as a simple and quantitative method to monitor the fermentation state of moromi in sake brewing process. The moromi samples with variable fermentation state, which were obtained from a sake brewery, were used for chemical analysis and taste sensors measurements. The ethanol and amino acids concentrations and the pH increased during moromi mashing and fermentation process. The relationships between the values of umami sensor and total amino acids and ethanol concentrations, and the values of sourness sensor and the pH showed high correlations. We conclude that fermentation state of sake moromi can be monitored by the change of concentrations of fermentation products which were estimated using taste sensors.

Key words: Taste sensor, Sake, Moromi, Fermentation

1. はじめに

清酒製造において、もろみの段階では麹菌の酵素によるデンプンの糖化と、酵母によるアルコール発酵が同時に進行する並行複発酵がおり、高いアルコール濃度が得られる^{1,2)}。一方、発酵末期において急激に増加するアミノ酸は、酒質の特徴を形成する重要な成分である反面、多すぎると官能的な品質低下や、貯蔵時の着色が早いなどの欠点を示す³⁾。以上のことから、もろみの発酵管理や上槽（もろみを圧搾して清酒と酒粕を分離する）を行う時期の判断が重要であるが、発酵度合の判断は現場の経験や勘に頼っているのが現状である。須藤ら⁴⁾および高橋ら^{5,6)}は、発酵期間の推移によって清酒もろみが様々な音を発生することに着目し、音響解析が発酵状態の評価に利用可能であると報告している。しかし、生成するアルコールやアミノ酸を定量的に評価する手法ではないため、これら発酵生成物の増加量を簡便かつ客観的に把握できる方法が求められてい

る。

味覚センサーは、脂質と高分子を混合して作製された人工脂質膜を用いて、呈味物質の吸着による脂質膜の膜電位変化から味を数値化する装置である^{7,8)}。また、味覚センサーは、その出力値が清酒もろみの酸度や清酒のエタノール濃度と相関があり、測定においては濾過等の前処理が必要ないため、オンライン用センサーとして使用できる可能性が論じられている⁹⁾。そこで、本報では、清酒もろみの発酵状態、特に発酵生成物の増加量について、市販の味覚センサーを用いて定量的な評価を試みたので報告する。

2. 実験方法

2.1 材料

留後4日から17日（上槽）まで毎日採取した純米酒のもろみ及び製品の純米酒を県内の酒造会社より譲り受け、濾紙（No.2）で濾過した濾液を実験に用いた。原料の米は、三重県農業研究所が育成した‘神の穂’（平成22年8月13日品種登録）であった。

* 医薬品・食品研究課

試料は冷凍保存し、適宜解凍して成分分析および味覚センサー測定に供した。

2.2 成分分析

以下の通り、もろみの成分や特性を分析した。

アミノ酸

高速液体クロマトグラフィー（アミノ酸分析システム Prominence, 島津製作所）により分析を行った。分離は、Na型カラム（Shim-pack Amino-Na）を用い、カラム温度 60℃、流量 0.6ml/min の条件で、移動相に用いたクエン酸系緩衝液の pH を段階的に変化させることにより行った。分離したアミノ酸は、*o*-フタル酸アルデヒドを用いて蛍光誘導体化し、蛍光検出器により測定を行った。試料中のアミノ酸濃度は、既知濃度の標準アミノ酸試料と比較することで決定した。試料中のタンパク質等の高分子成分は、試料溶液と同量のエタノールを加えて沈殿させ、14,000rpm で 20 分間遠心分離することにより除去した。上記の方法により測定した遊離アミノ酸の合計濃度を、以下「アミノ酸」という。

pH

pH メーター（D-54, 堀場製作所）により測定した。

酸度（遊離酸）

常法¹⁰⁾により、N/10 水酸化ナトリウム溶液で滴定した場合の滴定量とした。

全糖

フェノール-硫酸法¹¹⁾により測定した。

ブドウ糖

Dehydrogenase-ferricyanide 法¹²⁾により測定した。

エタノール

「F-キット エタノール」(ロシュ・ダイアグノスティックス)を用いた酵素法により定量した。

比重

浮ひょう法¹⁰⁾によりボーメおよび日本酒度を測定した。結果はすべてボーメに換算した。

2.3 味覚センサー測定

もろみおよび純米酒の試料を原液のまま味覚センサー（味認識装置 TS-5000Z, インテリジェントセンサーテクノロジー）による測定に供した。用いたセンサーは、表 1 に示すように、通常食品に用いられる 5 種類と甘味センサーの計 6 種類とした。測定中、試料液の保持部に 20℃ に調整したウォーターバスの水を循環させることにより、試料温度を一定に

保った。味覚センサーにおいては、試料液にセンサーを浸漬し、食品を口に含んだ瞬間の「先味」と、食品を飲み込んだ後の「後味」の 2 種類を評価した。試料液と基準液（30mM 塩化カリウムと 0.3mM 酒石酸からなる水溶液）との電位差を先味として、その後センサーを基準液で軽く洗浄し、基準液中に浸漬して再度測定した時と基準液との電位差を後味として測定した⁸⁾。各センサーの電位データは、装置の付属ソフトウェアにより表 1 に示すそれぞれの味評価値に変換した。なお、1 試料につき GL1 センサーは 5 回、他のセンサーは 4 回測定を行い、後半 3 回分の測定値のみを計算に用いた。これは、初期の測定値は不安定な場合があるための措置である。

また、旨味センサーのアミノ酸への応答性を確認するために、清酒に含まれる各種アミノ酸（グリシン、アラニン、ロイシン、アスパラギン酸、グルタミン酸、アルギニン、フェニルアラニン、ヒスチジンおよびシステイン）⁹⁾ のそれぞれ 100mg を市販清酒 100ml に溶解させた試料を、もろみと同様の方法で測定した。さらに、エタノールが味評価値に及ぼす影響を明らかにするために、市販清酒にエタノールを 0.5, 1.0, 2.0, 4.0ml/100ml の割合で添加した各試料について、同様に味覚センサー測定を行った。

表 1 用いたセンサー

極性	センサー名	味評価値	
		先味	後味
ブレンド	AAE	旨味	旨味コク
	CT0	塩味	-
	CA0	酸味	-
プラス	C00	苦味雑味*	苦味
	AE1	渋味刺激*	渋味
-	GL1	甘味	-

* 計算において、CT0センサーの測定値も使われる。

3. 結果と考察

3. 1 もろみの発酵に伴う成分変化

もろみの発酵進展に伴う成分変化を図1に示す。日数経過に従い、もろみの全糖およびブドウ糖の減少、アミノ酸・エタノールの増加、ポーメの低下およびpH・酸度の上昇がみられ、既報^{1,4)}と同様の傾向であったため、順調に発酵が進んだと判断した。

3. 2 もろみの発酵に伴う味覚センサー測定値の変化

もろみの味覚センサー測定値を図2に示す。日数経過に伴い、「先味」の「酸味」および「渋味刺激」評価値は低下し、「旨味」、「塩味」および「苦味雑味」評価値は上昇した。「後味」の「旨味コク」および「渋味」評価値はほとんど変化がなく、「苦味」評価値は「苦味雑味」評価値と同傾向の増減を示したが、変異幅がかなり小さかった。「甘味」評価値は、初期は減少し、後にやや上昇に転じた。

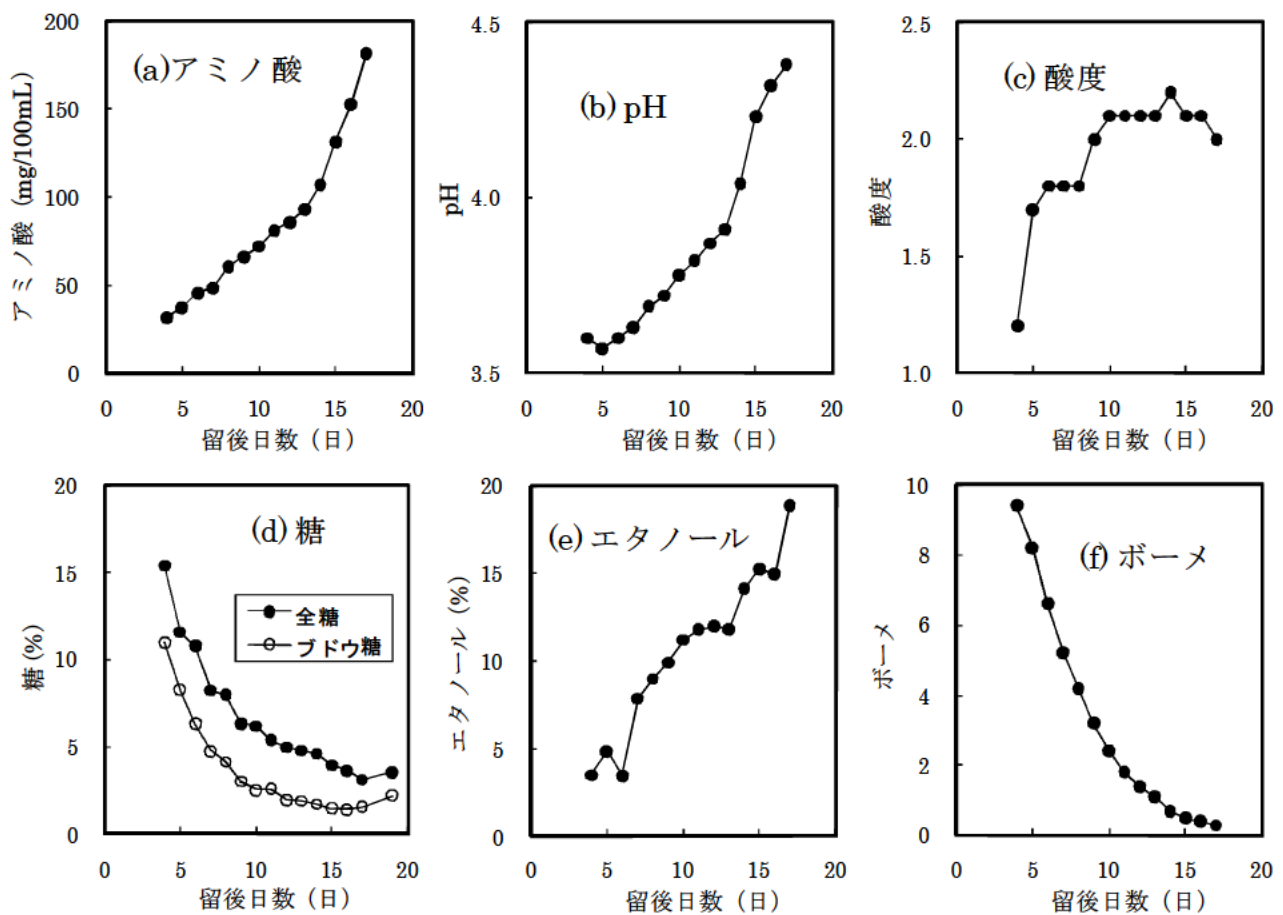


図1 清酒もろみの成分の変化

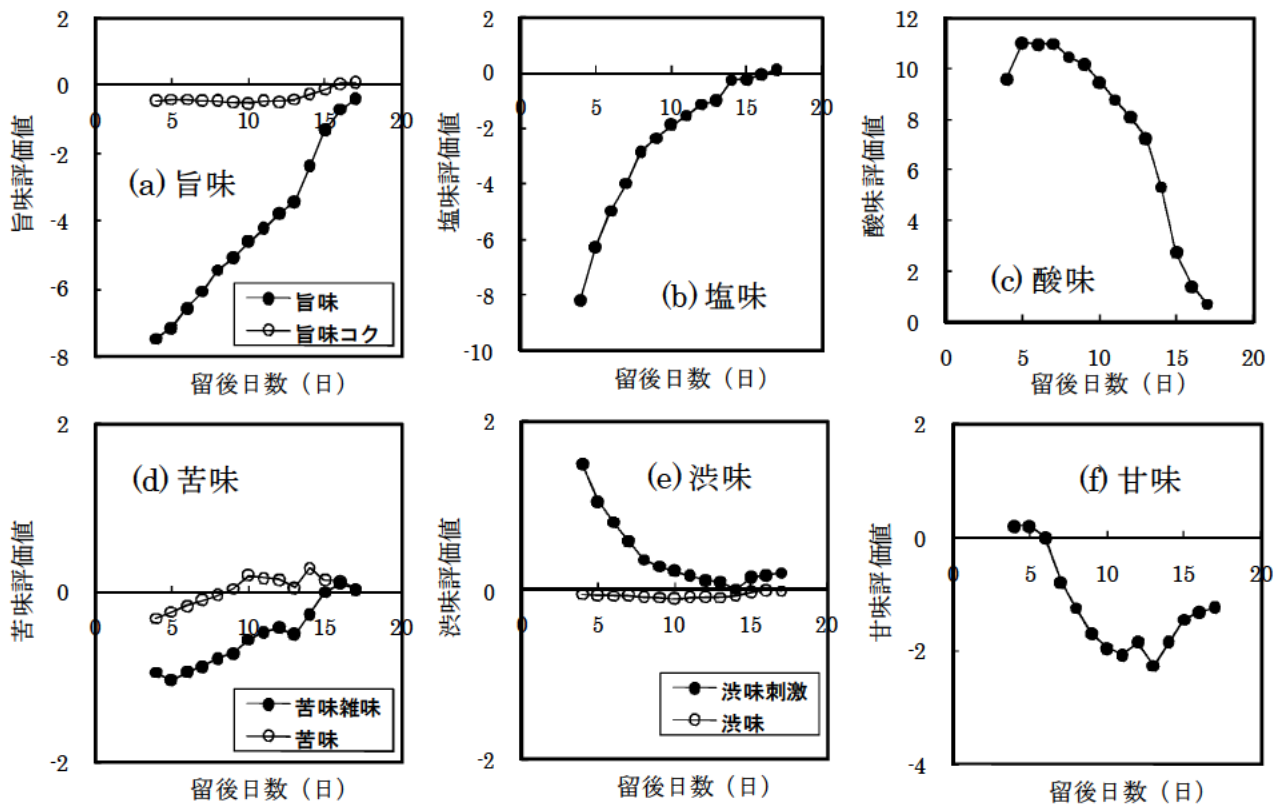


図2 清酒もろみの味覚センサー測定値

●：先味，○：後味

清酒製品を0とした場合の相対値

3. 3 もろみの味覚センサー測定値と成分値との関係

もろみ全試料における味覚センサー測定値と成分分析値との相関係数を表2に示す。「旨味」評価値とアミノ酸との間には高い正の相関が、「酸味」評価値とpHの間には高い負の相関が認められ、納得できる結果であった。「甘味」評価値は、図2に示したように、発酵過程の後半に全糖、ブドウ糖の減少(図1)と相反する動向を示したこともあり、これら成分との相関は比較的lowかった。「塩味」評価値と全糖およびブドウ糖の間には極めて高い負の相関、「渋味刺激」評価値とこれら成分の間には高い正の相関が認められたが、その原因は不明であった。「後味」である「旨味コク」、「苦味」および「渋味」については、各成分との間に特に高い相関はみられなかった。

市販清酒にエタノールを添加した場合の味覚センサー測定値の変化を図3に示す。エタノール濃度が高くなるほど、「旨味」、「塩味」および「甘味」評価値が上昇し、「渋味刺激」評価値はやや低下した。

市販清酒に各種アミノ酸を添加した試料のpHと味覚センサー測定値との関係を図4に示す。試料のpHと味覚センサーの「旨味」評価値の間には極めて高い正の相関が認められた。もろみ試料についても、同様な相関がみられた(表2)。

これらのことから、味覚センサーの「旨味」評価値は、単に各種アミノ酸の合計濃度のみを示すものではなく、エタノール濃度およびpHの変化にも大きく影響を受けることがわかった。清酒もろみにおいては、アミノ酸の増加とともに、エタノールの増加、pHの上昇がoccur(図1)、これらは図3および図4の結果から、全て味覚センサーの「旨味」評

価値が高くなる変化である。このことは、表2のように「旨味」評価値とアミノ酸との相関が極めて高かったことの一因であると考えられる。

また、「旨味」評価値は、表2に示したようにエタノールとの間にも比較的高い相関が認められたため、「旨味」評価値により、もろみのエタノール生成量を概算することが可能と考えられる。

なお、「塩味」および「渋味刺激」評価値についてはエタノール濃度の影響を受け(図3)、さらに「苦味雑味」評価値については試料の pH との相関が高いため(表2)、これら評価値は、それぞれの味特性を示す物質だけでなく、pH またはエタノール濃度の変化を反映した可能性が高いと考えられる。

表2 清酒もろみの味覚センサー測定値と成分値との相関係数 (n=14)

成分	味覚センサー評価値								
	旨味	旨味コク	塩味	酸味	苦味雑味	苦味	渋味刺激	渋味	甘味
アミノ酸	0.98	0.89	0.83	-0.96	0.96	0.59	-0.66	0.67	-0.47
pH	0.98	0.90	0.81	-0.99	0.98	0.59	-0.63	0.71	-0.45
酸度	0.72	0.28	0.92	-0.46	0.67	0.92	-0.96	-0.03	-0.84
全糖	-0.89	-0.51	-0.99	0.68	-0.85	-0.87	0.96	-0.21	0.83
ブドウ糖	-0.83	-0.41	-0.99	0.60	-0.79	-0.90	0.99	-0.10	0.87
エタノール	0.96	0.70	0.93	-0.85	0.94	0.78	-0.83	0.44	-0.71
ボーメ	-0.91	-0.51	-0.99	0.72	-0.88	-0.90	0.96	-0.21	0.86

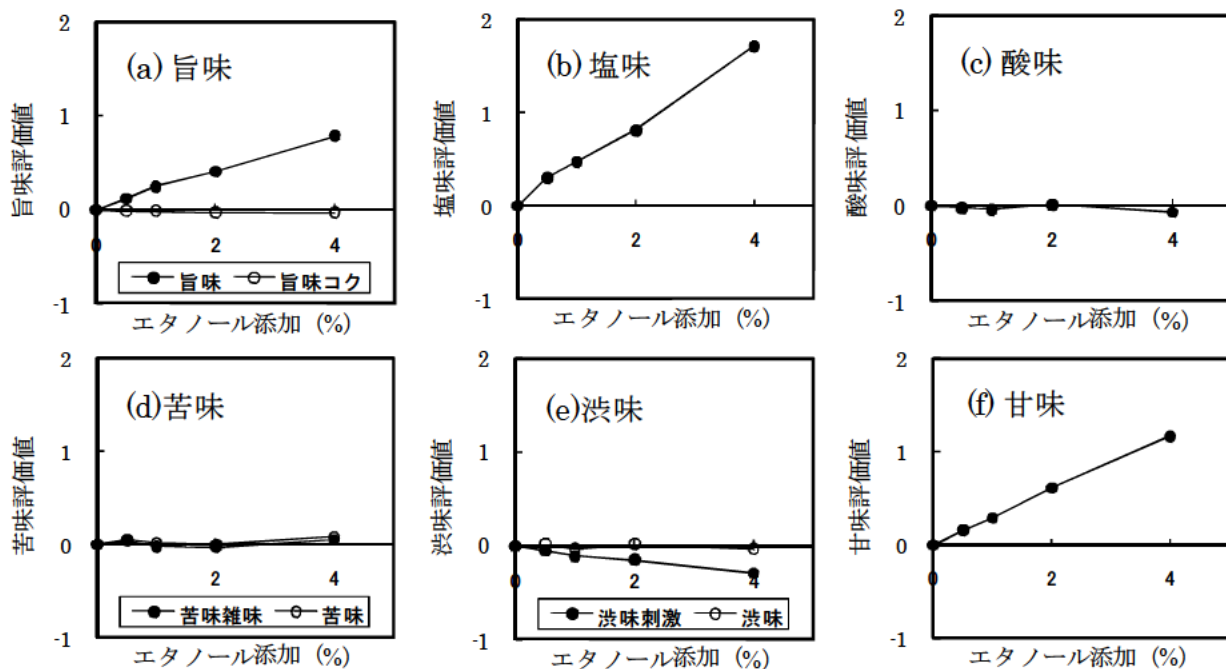


図3 市販清酒にエタノールを添加した場合の味覚センサー測定値の変化

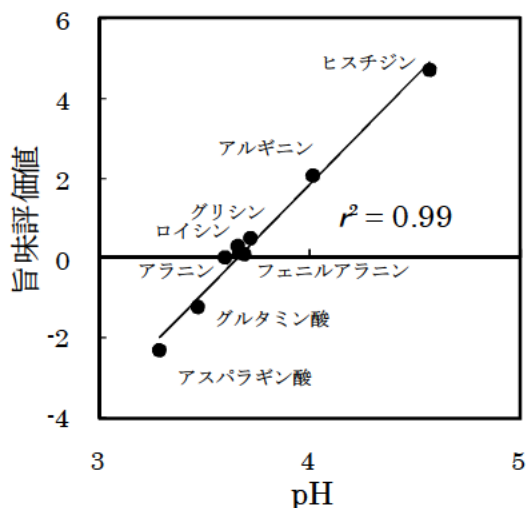


図4 市販清酒にアミノ酸を添加した試料のpHと味覚センサー測定値との関係

非添加試料を0とした場合の相対値

4. まとめ

清酒もろみの発酵状態を把握するために、市販の味覚センサーを用いて定量的な評価を行った結果、味覚センサーの「旨味」評価値と清酒もろみのアミノ酸との間には高い正の相関が、「酸味」評価値とpHとの間には高い負の相関が認められた。「旨味」評価値は試料のpHおよびエタノール濃度と正の相関を示す傾向があり、単にアミノ酸の濃度のみを示すものではないと考えられる。また、「旨味」評価値と、もろみのエタノール濃度との間には、比較的高い相関が認められた。もろみの日数経過に伴い「塩味」および「苦味雑味」評価値の上昇および「渋味刺激」評価値の低下が認められたが、これはpHまたはエタノール濃度の変化を反映した可能性が高いと考えられる。

以上より、間接的な推定が必要な場合もあるが、味覚センサーを用いて清酒もろみのアミノ酸およびエタノール濃度の増加、ならびにpHの上昇を観測することにより、発酵状態を定量的に把握することが可能であることがわかった。今後、オンライン用センサーが開発されれば、醸造現場における発酵管理や上槽時期の判断等に大きく貢献できると考えられる。

謝辞

供試試料および分析データの一部を提供いただいた株式会社油正の皆様にご心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 福田 央：“醸造物の成分”. 日本醸造協会. p1-20 (1999)
- 2) 山根雄一ほか：“積算温度の概念を用いた清酒もろみにおけるボーメおよびアルコール濃度の予測”. 生物工学会誌, 76(9), p381-388 (1998)
- 3) 岩野君夫ほか：“吟醸酒, 純米酒, 本醸造酒及び普通種のアミノ酸組成の特性”. 日本醸造協会誌, 99(7), p526-533 (2004)
- 4) 須藤尚子ほか：“音響解析による清酒もろみの発酵状態の判定”. 平成15年度 福島県ハイテクプラザ試験研究報告, p87-89 (2003)
- 5) 高橋 昌ほか：“音響解析による清酒もろみの発酵状態の判定”. 平成16年度 福島県ハイテクプラザ試験研究報告, p72-74 (2004)
- 6) 高橋 昌ほか：“音響解析による清酒もろみの発酵状態の判定”. 平成17年度 福島県ハイテクプラザ試験研究報告, p72-74 (2005)
- 7) 都甲 潔：“味覚センサーの開発”. ぶんせき, 2010(12), p647-652 (2008)
- 8) 安食菜穂子ほか：“味認識装置による生菓並びに食品の客観的な味評価”. FFI ジャーナル, 215(2), p176-183 (2010)
- 9) 都甲 潔：“食品分析”. ぶんせき, 2002(11), p608-613 (2002)
- 10) 注解編集委員会：“第四回改正国税庁所定分析法注解”. 日本醸造協会. p13-23 (1993)
- 11) 目黒 熙ほか：“新・食品分析法”. 光琳. p531 (1996)
- 12) 福井作蔵：“還元糖の定量法 第2版”. 学会出版センター. p158-160 (1990)

(本研究は法人県民税の超過課税を財源としていません)

