

IoTを活用した清酒の高品質化研究(第3報)

－飲み頃を指標化する品質管理技術の構築－

吉村明浩、澤井美伯、久松賢太郎、横山哲也*

Development of Storage Management System Using IoT for the Aging of Sake (III)
－Sensory Evaluation and Analysis of the Sake to Check the Maturation Degree－

Akihiro YOSHIMURA, Yoshinori SAWAI, Kentaro HISAMATSU and Tetsuya YOKOYAMA

IoTを活用した清酒貯蔵庫の温度測定システムを構築し、清酒の貯蔵積算温度と成分および官能評価との関係を調べ、火入れ清酒の瓶貯蔵における品質管理技術の確立を目指した。

昨年度に続き、令和4年度に構築した温度測定システムを酒造場の貯蔵庫で運用し、積算温度0℃、1,500℃および3,000℃の清酒を調製した。また、異なる2つの清酒についても、貯蔵温度15℃で積算温度0℃、1,500℃および3,000℃の清酒を調製し、成分分析および官能評価を行った。供試清酒3つはいずれも積算温度の増加に伴い、着色度の増加とグルタミンの減少が認められた。ソムリエによる官能評価では、昨年度と同様に積算温度の増加による着色度の増加や香味の変化を捉えることができた。温度測定システムにより積算温度を算出して熟成期間を制御し、熟成の進捗を着色度で簡単に確認、熟成具合に応じた味わい方を提案することで、ひやおろしのような火入れ熟成酒の長所を消費者に提案できると考えられる。

1. はじめに

清酒の主な提供方法には、仕上がった酒をそのまま瓶詰めし、生の状態で味わう「生酒」、火入れと呼ばれる加熱処理を1回あるいは2回行い、貯蔵熟成させてから味わう「火入れ酒」、3年以上貯蔵熟成させて味わう「長期熟成酒」がある。清酒は熟成による成分変化として、着色度の増加、酢酸エステル類の減少、カルボニル化合物の増加、アミノ酸の増減が認められている^{1～3)}。

県内酒造場では劣化を抑制するため、清酒を瓶詰後に火入れしてそのまま貯蔵熟成する「瓶貯蔵」への移行が進んでいるが、広大な倉庫や複数の倉庫に分けて貯蔵する場合には、従来のタンク貯蔵に比べてロット管理が難しく、飲み頃までの管理を安価かつ安定に行える技術が求められていた。

そこで、我々はIoTを活用して貯蔵庫内の複数センサの温度データを集約し、平均温度や積算温度を算出できる温度測定システムを構築した⁴⁾。また、15℃以下で劣化を抑えて良好に熟成できること⁵⁾、積算温度0℃、1,500℃および3,000℃に調製した清酒は、官能評価による差異が認められることを確認した⁶⁾。

本研究では、積算温度の違いと味わいおよび成分の関係を調べ、火入れ酒を消費者に適切な時期に提供する手法として、積算温度を活用した飲み頃の見える化を目指した。本年度は、昨年度に続いて温度管理システムを運用し、積算温度で管理した清酒を調製して、香味の差異を官能評価で示すと共に、成分の変化を調べて熟成の進行を把握する指標を探した。

2. 実験方法

2.1 供試清酒

本研究に供試する清酒は、協力先の県内酒造場が令和5年度に製造した同一ロットの純米大吟醸酒(720 mL瓶)を用いた。清酒は、酒造場の貯蔵庫にて、庫内温度12℃を目途として、空調と外気導入を併用して、積算温度が3,000℃に達するまで保存した。積算温度0℃の清酒は、貯蔵温度0℃以下で積算温度3,000℃と同じ期間貯蔵したもの、積算温度1,500℃の清酒は、同一の貯蔵庫に保存し、積算温度1,500℃に達した後、貯蔵温度0℃以下で分析まで保存したものである。

また、当所で試験醸造したエキス分の異なる2点の清酒を火入れし、15℃で積算温度1,500℃および3,000℃となるよう調製したものを用いた。供試清酒の詳細を表1に示す。

2.2 温度測定システムによる温度情報の収集

温度測定システムによる温度情報の収集は、昨年度と

表1 供試清酒

供試清酒	市販清酒	試験醸造酒	
		A	B
精米歩合	45%	60%	50%
原料米	美山錦： あきたこまち = 25 : 75	ひだほまれ	一般米
アルコール	15.5%	15.5%	15.0%
日本酒度	+13	±0	+1
エキス分	2.9	5.3	4.9

*岐阜県産業技術総合センター

同様に実施した⁶⁾。すなわち、貯蔵庫内の4か所に温度センサを1個ずつ配置し、10分間隔で計測したデータから1日毎の平均温度を算出した。これを積み上げることで積算温度0℃、1,500℃および3,000℃を求めた。

2.3 官能評価

官能評価は、当所の官能評価室（室温：22℃、品温15℃）で行った。当所酒造技術指導担当職員3名およびSAKE DIPLOMAの資格を持つソムリエ3名からなるパネルで行った。方法は昨年度と同様に、当所職員による評価は、蛇の目猪口で供試清酒を提供し、総合評価、味の熟成度、香りの熟成度および着色度を7段階で尺度評価した。

ソムリエによる評価は、ISO国際規格テイスティンググラスで供試清酒を提供し、各清酒の評価とペアリング料理を自由記載した。

2.4 機器分析

着色度の測定は、酒類総合研究所標準分析法注解⁷⁾に従って測定した。

アミノ酸の定量は、高速液体クロマトグラフ（日本分光株式会社）を用い、OPAプレカラム誘導体化法により行った。カラムはCrestPak C18S（4.6 mmI.D.×150 mL, 5 μm）を用い、カラム温度は40℃、流速は1.0 mL/min、検出はEx 345 nm、Em 455 nmの蛍光検出を行った。溶出は溶離液A [50 mM 酢酸ナトリウム (pH6.0)/メタノール/THF = 89/10/1] と溶離液B [メタノール/THF = 90/10]を用い、次のグラジエント条件で行った。0 min (A 85%), 7 min (A 56%), 23 min (A 48%), 29 min (A 48%), 30 min (A 0%), 35 min (A 0%)。

3. 結果と考察

3.1 温度測定システムを用いた積算温度管理

昨年度と同様に、温度測定システムにより、貯蔵庫の温度情報を収集し、積算温度を管理した清酒を調製した。

温度センサは庫内の搬入出口に近い位置2か所と遠い2か所に高さ1 mで設置した。

図1に、令和6年5月の貯蔵開始から積算温度3,000℃到達時期（令和7年3月）までの、各温度センサの日平均温度と積算温度を示す。図中の積算温度を参考に、貯蔵庫での供試清酒（市販清酒）の保存を実施した。貯蔵中の9月上旬はメンテナンスのため空調が停止して温度が上昇し、終了後に復旧対応を行った。温度情報はスレート型端末等を利用して、複数名により遠隔で確認できることから、貯蔵庫の異常検知と復旧対応にも有効であった。

3.2 成分分析

清酒は熟成の進行により、メイラード反応で着色度が増加する¹⁾。昨年度の官能評価において、7名のパネルは積算温度の増加に伴い、着色度が増加することを指摘した。また、吸光度による着色度測定においても、増加傾向が認められた。本年度は異なる清酒を用いて再現性を確認し、変化の程度を調べた。

供試清酒3点の積算温度0℃の着色度は、それぞれ異なるが、いずれも積算温度の増加と共に増加し、積算温度3,000℃では 1.4 ± 0.18 倍に増加した（図2）。いずれも貯蔵温度が15℃以下で、貯蔵期間も短いため、長期熟成酒と比べて着色度は低いものの、進行は捉えられることが確認できた。いずれも褐色瓶を使用し、段ボール箱内で貯蔵しており、日光着色の可能性は避けている。

清酒は、貯蔵によりアミノ酸が増減することが知られている³⁾。そこで、3つの供試清酒のアミノ酸の増減を調べた。その結果、いずれの供試清酒も積算温度の増加とともにグルタミンが減少し、積算温度1,500℃は、0℃の70%、積算温度3,000℃は、0℃の50%まで低下した（図3）。グルタミン酸を含む、測定した他のアミノ酸量に変化は認められなかった。

昨年度の有機酸分析において、検出限界に近く、わずかなではあったがピログルタミン酸の増加傾向がみられた。

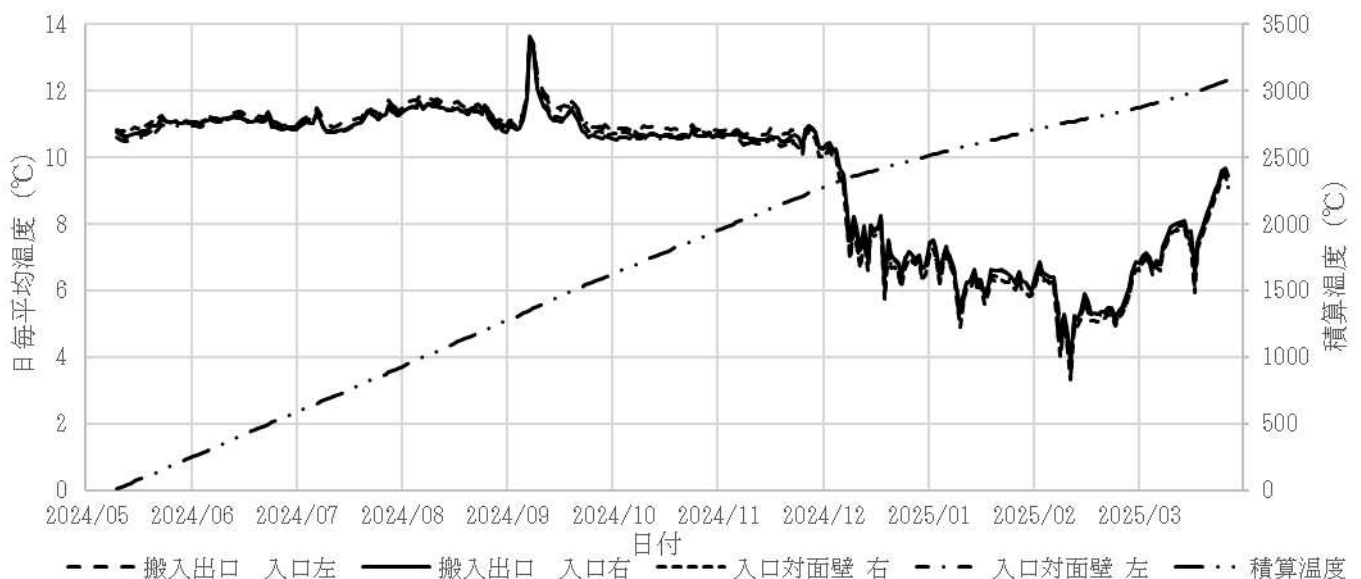


図1 温度測定システムによる貯蔵庫の温度情報の収集

ピログルタミン酸は、グルタミンあるいはグルタミン酸に由来することが示唆されている⁸⁾。今回、グルタミンの減少が明らかとなったことから、グルタミンからピログルタミン酸への非酵素的変換が進んだと推察された。

磯谷らおよび清野らは熟成年度の異なる清酒について、複数のアミノ酸の増減を調べ、グルタミンが減少することを示しており、この結果と一致している^{1,3)}。今回、グルタミン酸の減少は認められなかったことから、グルタミンのピログルタミン酸への変換は、グルタミン酸よりも早く、また熟成の早い段階で進行することが示唆された。

3.3 官能評価

積算温度の異なる清酒について、当所職員3名とソムリエ3名による官能評価を行った。

当所職員は、品質管理の観点から尺度評価を実施し、若いものを1、熟したものを7として、平均値を算出した。パネル数は少ないため参考値であるが、積算温度0℃、1,500℃、3,000℃の順に、味の熟成は1.7、3.3および4.0、香りの熟成は1.3、3.3および4.0、着色度は1.0、3.0および3.3となり、積算温度が増加すると共に、味と香りの熟成が進み、外観では着色度の増加が確認できた。

ソムリエは、昨年度と同一のパネルを選定し、テイスティング評価とペアリング料理提案を行った（表2）。積算温度の違いや増加による味わい、香りや着色度の差異や変化が指摘され、当所職員と同様に、熟成の進行を捉えていた。また、積算温度の異なる清酒に対し、異なるペアリング料理が提案されたことから、熟成により香味の特徴が変化することが支持された。

評価パネル6名は、いずれも香味と外観に共通の熟成の進行を指摘し、消費者も熟成酒であることを適切に提示することで、酒質の変化を理解できると期待された。

4. まとめ

温度測定システムを酒造場の現地貯蔵庫で運用し、積算温度の管理や貯蔵庫の異常検知に有効であることを確認した。原料米、醸造条件の異なる清酒を貯蔵して、成分を調べ、熟成の進行により着色度が増加すること、グルタミンが減少することがわかった。着色度は簡便に測定できることから、品質管理の指標にできると考えられた。

同ロットの清酒でも、積算温度の違いで異なるペアリング料理が挙げられたことから、適切な貯蔵管理による熟成により、消費者に出荷時期に合わせた飲み方を提案でき

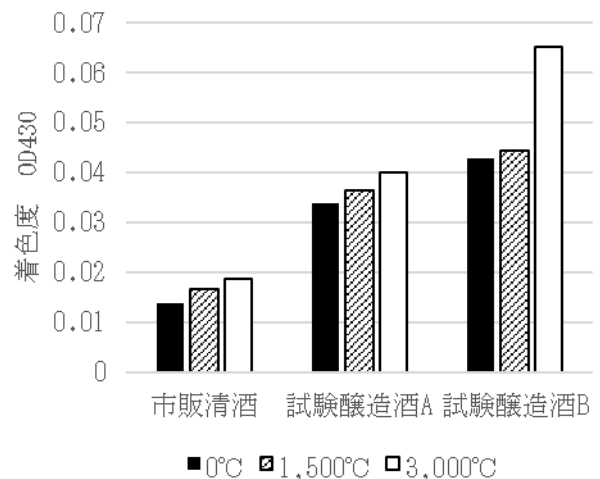


図2 着色度の推移

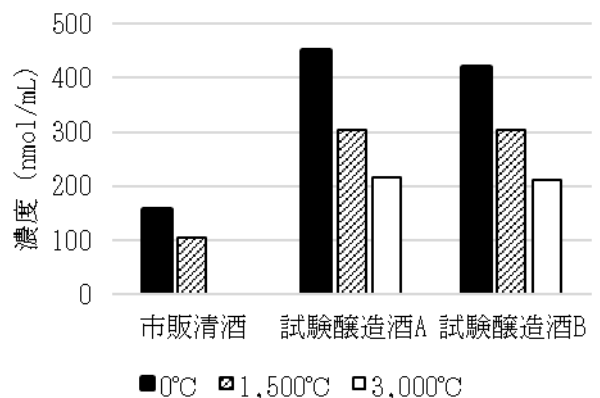


図3 グルタミンの推移

ると考えられた。実際に、協力企業の開催したイベントで積算温度0℃、1,500℃および3,000℃に調製した清酒を提供したところ、消費者間で嗜好性の違いはあるものの、差異を捉えたとの感想を多く得ることができた。

ただし、一昨年度の試験において、貯蔵温度20℃以上では劣化と感じられる場合がある。また、35℃、6ヶ月の貯蔵により老香が強くなることも報告されている⁹⁾。適切な管理の下、熟成を経た清酒は消費者にも良い評価を得られることから、積算温度の管理による、適切な貯蔵・出荷管理を進めたい。

表2 自由記述による各清酒の評価結果の抜粋

項目	0℃	1,500℃	3,000℃
外観 ^{*)}	イエロークリスタル・シルバー	イエロークリスタル	淡いイエロー
味わい ^{*)}	口当たり柔らか、穏やかな苦味、ドライ	優しい酸味、コクを与える苦味、余韻長い	ドライ
香り ^{*)}	グレープフルーツ、白桃、メロン、	洋ナシ、上新粉、白玉団子	洋ナシ、上新粉、アーモンド
ペアリング料理	白身魚のカルパッチョ、稚鮎の天ぷら、他	野菜の炊合せ、白身魚や白身肉にミルクィーなソースを合わせる、他	おでん、温度が温かいもの、魚介類のムース、他

^{*)}2名以上が指摘したものを記載した

【謝 辞】

本研究の実施にあたり、ご協力いただきました株式会社
三千盛様、JSA認定 SAKE DIPLOMAの安藤理香様、安
藤深雪様及び青山紀子様深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 大場俊輝, マテリアルライフ, 3(2), pp.96-103, 1991
- 2) 磯谷敦子, 醸協, 104(11), pp.847-857, 2009
- 3) 清野珠美ら, 京都市産業技術研究所研究報告, 6,
pp.57-59, 2016
- 4) 横山哲也ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告,
No.4, pp.89-90, 2023
- 5) 澤井美伯ら, 岐阜県食品科学研究所研究報告, No.4,
pp.6-8, 2023
- 6) 吉村明浩ら, 岐阜県食品科学研究所研究報告, No.5,
pp.19-22, 2024
- 7) 標準分析法注解委員会, 酒類総合研究所標準分析法
注解, (公財) 日本醸造協会, 2017
- 8) 佐藤信ら, 醸協, 69(9), pp.595-598, 1974
- 9) 磯谷敦子ら, 醸協, 99(5), pp.374-380, 2004
- 10) 磯谷敦子ら, 醸協, 118(9), pp.649-657, 2023