

ハイパースペクトルカメラを用いた近赤外分光反射率測定によるアルコール濃度推定の検討

富田 洋文[†] 平間 毅[†] 河原 航[†] 飛田 啓輔[†]

茨城県産業技術イノベーションセンター[†]

1. はじめに

酒造においてアルコールを始めとする成分の構成は重要である。しかし、手作業による成分分析は時間と手間がかかってしまい、品質の安定化が困難といった課題がある。そこで本研究はIoTを活用した酒造工程における省力化、及び品質の安定化を目指す。

近年、近赤外光を利用した酒の品質評価が行われている。糸崎[1]や永吉ら[2]は、近赤外光をアルコール飲料に当てた際の吸光度の違いに関する調査を実施した。これらの研究から近赤外吸収スペクトルからアルコール濃度を推定できることが確認された。また、末原らも酒類に関して赤外分光法は総合的な特徴量把握に適した手法であると指摘している[3]。しかし、液体の吸光度を測定するために、専用の容器にサンプルを取り出す必要がある。

そこで本研究は、より簡便な評価を実施することを目的とし、ハイパースペクトルカメラを用いた試料表面の反射光の測定を行い、得られたデータから試料の品質評価を行う手法を検討した。これにより、将来、酒造工程でサンプルを取り出すことなく、カメラの測定結果のみでリアルタイムかつその場での評価が可能となる。

2. ハイパースペクトルカメラを用いた反射率測定実験

本研究では、水とエタノールの混合液を対象とし、エバ・ジャパン社製ハイパースペクトルカメラ(SIS-NI)を用いて近赤外線反射率を測定した。

2.1 ハイパースペクトルカメラと被測定物

図1にハイパースペクトルカメラと実験時の様子を示す。このカメラは近赤外光の反射率を測定でき、波長は900 nmから1700 nmまでの10 nm間隔であり、各波長での反射光の分解能は4000である。また一度の撮影で640×400ピクセル分の

Investigation of Alcohol Concentration Estimation by Near-infrared Spectral Reflectance Measurement Using Hyperspectral Camera

[†]Hirobumi Tomita, Takeshi Hirama, Wataru Kawahara, Keisuke Tobita, Industrial Technology Innovation Center of Ibaraki Prefecture.

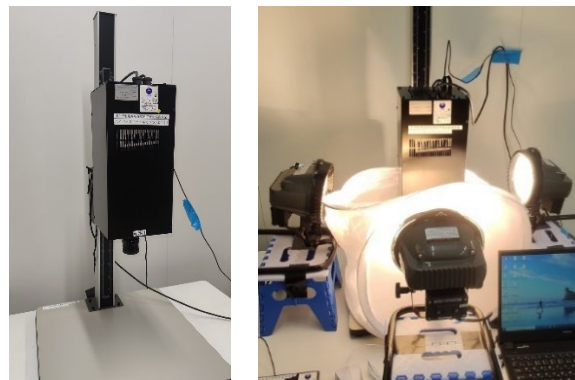


図1 ハイパースペクトルカメラ(左)と実験時の様子(右)

情報の取得が可能である。なお、実験では光源としてハロゲンランプ(500 W)を使用した。

撮影される被測定物としてエタノールと純水の混合液を用意した。本実験では、12種類(エタノール濃度4.9%, 9.0%, 14.8%, 20%, 30.6%, 40.6%, 51.6%, 62.3%, 72.3%, 82.3%, 91.6%, 99.9%)の混合液と純水を加えた計13種類の被測定物を容器に20 mlずつ入れ、ほぼカメラの真下になるように設置した。

2.2 実験手順

混合液の設置後、ハロゲンランプを三方向から照射し、カメラのピントや絞り、露光時間、ノイズ除去の調整を行い、本撮影を実施した。撮影後、撮影データの被測定物が映る範囲内の50×50ピクセルの反射率データを抽出した。これらの工程を各エタノール濃度で測定した。なお、実験は気温21.5℃、湿度38%の環境で実施した。

2.3 実験結果と考察

撮影データから抽出した50×50ピクセル分の反射率データを平均した結果を図2に示す。図2のグラフは横軸が波長、縦軸が反射率を示す。この反射率が低いほど、液体がその波長の光を多く吸収したことを示す。

実験の結果、どの混合液も波長1200 nm付近と1400 nm以降で反射率が低くなる傾向を確認した。また960 nm付近と1300 nm付近では各濃度で反射率が異なる傾向があり、特に1300 nmにおいて

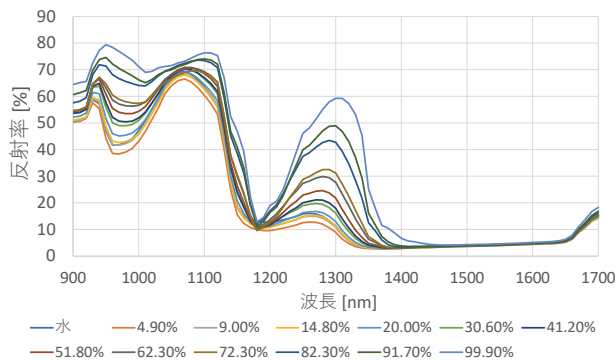


図2 各濃度における反射率の測定結果

は平均反射率の最大差が約 50 ポイントあった。
 この結果に関して、1300 nm 付近の吸光度は水分子の伸縮振動の結合音に起因することが報告されており [4]、このため水を多く含む低濃度エタノールは光の吸収度が高く、低い反射率が観測されたと考えられる。

このように、エタノール濃度に起因した反射率の変化が観測されたが、今回の実験結果から濃度に依存した反射率の差異を明確化することは難しく、反射率情報から濃度推定へのモデル化が不明瞭である。そこで本研究では、機械学習によるハイパースペクトルカメラの測定結果からエタノール濃度を推定する手法を検討した。

3. 機械学習を用いた濃度分類精度の検証

各濃度の混合液で測定された反射率データを機械学習器であるランダムフォレストで学習し、エタノール濃度の分類精度を検証した。

3.1 機械学習で使用するパラメータとデータ

本研究で扱うランダムフォレストでのモデル構築において、パラメータとして木の深さを 30、木の本数を 30、ランダムステートを 42 とした。

各濃度で得られた 50×50 ピクセル分のデータからランダムに 80 ピクセル分のデータを選び、全濃度分のデータを学習用データと検証用データで 7 対 3 の割合に分けた。各データは濃度ごとにラベル付けされており、学習済みのモデルに検証用データを入力し、データの内容とラベルが一致するかを検証した。

3.2 検証結果

検証したエタノール濃度の分類結果を図 3 に示す。各枠内の数字は分類した結果の割合を示す。本実験での平均正答率は 97.4% であった。これにより、今回使用した機械学習器を用いることで低濃度でも正答率の高いエタノール濃度の分類が可能であることが分かった。

		推定したエタノール濃度												
		純水	4.9%	9.0%	14.8%	20.0%	30.6%	40.6%	51.6%	62.3%	72.3%	82.3%	91.6%	99.9%
撮影した実際のエタノール濃度	純水	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4.9%	0	95.5	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9.0%	0	5.3	94.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14.8%	0	0	6.1	87.9	6.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	20.0%	0	0	0	0	96.2	3.8	0	0	0	0	0	0	0
	30.6%	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
	40.6%	0	0	0	0	0	3.8	96.2	0	0	0	0	0	0
	51.6%	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
	62.3%	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
	72.3%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
	82.3%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
	91.6%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
	99.9%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

図3 ランダムフォレストによる分類結果

4. まとめと今後の課題

本研究は酒造におけるアルコールの簡易的な成分分析の手法を検討するために、ハイパースペクトルカメラを用いたエタノールの濃度推定の可能性を検証した。検証した結果、960 nm や 1300 nm 付近の波長帯において、各エタノール濃度で反射率の違いが表れる傾向が確認された。また機械学習を用いたエタノール混合液の分類精度を検証し、この結果、97.4% の正答率で分類することができた。

今後は本手法を用いて、グルコースや乳酸菌、そのほかアルコール以外の成分が含まれた条件における液体の成分分析の可能性を検証する。

参考文献

- [1] 糸崎秀夫, “近赤外線による日本酒と焼酎の分析”, 生産と技術, Vol. 67, No. 3, pp. 70-73, 2015.
- [2] 永吉賢次, 中司賢一, “アルコールの近赤外吸収特性の 2 波長での測定”, 電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, p. 272, 2019.
- [3] 末原憲一郎, 亀岡孝治, 橋本篤, “赤外分光情報に基づいた嗜好飲料のスペクトル特性把握”, 日本醸造協会誌, Vol. 113, No. 3, pp. 133-141, 2018.
- [4] 池羽田晶文, “アルコール水溶液中の水の水素結合-モル吸光係数の拡張概念によるスペクトル解析”, 分析化学, Vol. 59, No. 1, pp. 13-21, 2010.