

酒造原料米の品質評価へのAIの活用に関する研究

—心白率、心白発現率、胴割率、碎米率の数値化—

齋藤健太* 樋口誠一* 和田健太郎* 横堀正敏*

Study on Utilization of Artificial Intelligence for Quality Evaluation of Rice for Sake Making

—Quantification of White Core Rate, White Core Occurrence Rate, Cracked Rate and Crushed Rice Rate—

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

抄録

酒造原料米の品質を迅速かつ正確に評価するシステムを構築した。白米を碎粒、整粒の心白の有無、大きさ及び位置により11クラスに分類した。別に整粒、碎粒及び胴割の有無により3クラスに分類した。酒造原料米の学習データセットを作成し、YOLOを用いて深層学習を行った。性能評価及び汎化性能の確認を行い、本システムの有用性を検証した。

キーワード：米，清酒，心白，深層学習，YOLO

1 はじめに

酒造原料米（以下、原料米）の品質評価には、心白の有無、大きさ及び位置、胴割粒及び碎粒の割合が重要である。心白とは、米粒の中心にみられる白色不透明部分のことである。心白を有する原料米は吸水性及び消化性が良く、麹菌の破精込みも良くなり、醸造適性に優れる。また、碎粒の存在も重要である。既報¹⁾では重回帰分析による消化性Brix値の予測を行い、碎米率の寄与が大きいことを明らかにした。

従来、原料米の品質は目視及び機械により評価されている。目視による評価では、整粒と未熟粒、心白の有無などを同時に判定することは難しく、また個人差があり、時間と労力を要するといった課題がある²⁾。また、機械による評価では、穀粒判別器等により農産物規格規定³⁾に基づき、判別が行われる。しかし、農産物規格規定には玄米の検査規格はあるが、白米の検査規格は存在しない。

近年、人工知能（以下、AI）の中でも特に深層

学習による画像解析技術が進歩しており、深層学習による玄米の外観品位の自動判定の研究も報告されている⁴⁾。深層学習を用いた物体検出手法の1つであるYou Only Look Once version 3（以下、YOLOv3）は、検出速度及び精度が高い⁵⁾。しかし、これまでにYOLOv3を用いた原料米の判別については報告されていない。

本研究では、原料米を分類するために定義し、学習データセットを作成した。さらにYOLOv3による深層学習を行い、迅速かつ正確な原料米の品質評価システムを構築した。

2 実験方法

2.1 試料

平成30年産、令和元年産の山田錦、さけ武蔵、彩のかがやきの精米歩合70%の白米を学習データセットの作成及び汎化性能の確認に使用した。

2.2 画像の取得

スキャナ（PM-A890、EPSON）の原稿台に数百粒の米を置き、黒画用紙を背景として画像を取り

* 食品・バイオ技術担当

込んだ。画像の取得条件は解像度 200dpi、24bit カラー、416×416pixel、JPEG 形式で保存した。

2.3 画像の処理及び分類

画像編集ソフト GIMP2.10.22 を用いて、米粒の全体像が得られた画像を解析対象とした。画像解析ソフト ImageJ により心白粒、腹白粒、背白粒、

基部及び頭部未熟粒の白色不透明部分と米粒の面積、重心、長径、短径を算出した。整粒は心白の有無、大きさ及び位置により 10 クラスを定義し、砕粒を含めて 11 クラス (c-b、c-m、c-s、h-b、h-m、h-s、k、se、t、no、sry) を定義し分類した (表 1)。別に整粒、砕粒及び胴割の有無により 3 クラス (dw、no-dw、sry) を定義し分類した (表 2)。

表 1 整粒の心白の有無、大きさ及び位置、砕粒による 11 クラスの定義

クラス	心白			砕粒の有無
	有無	心白の位置	心白の大きさ	
中心心白粒 (大)	c-b	有	50/100米面積 ≤ 心白面積	無
中心心白粒 (中)	c-m	有	心白重心 ≤ 2/5米粒重心	無
中心心白粒 (小)	c-s	有	1/100米面積 ≤ 心白面積 < 6/100米面積	無
腹白粒 (大)	h-b	有	1/2粒長 ≤ 心白長径 ∩ 1/2粒幅 ≤ 心白短径	無
腹白粒 (中)	h-m	有	心白重心 > 2/5米粒重心 ∩ 腹側	無
腹白粒 (小)	h-s	有	1/2粒長 ≤ 心白長径 ∪ 1/2粒幅 ≤ 心白短径 ∪ 15/100米面積 ≤ 心白面積	無
基部未熟粒	k	有	h-b、h-m以外 ∩ 1/100米面積 ≤ 心白面積	無
背白粒	se	有	心白重心 > 2/5米粒重心 ∩ 基部	無
頭部未熟粒	t	有	心白重心 > 2/5米粒重心 ∩ 背側	無
無心白粒	no	無	心白重心 > 2/5米粒重心 ∩ 頭部	無
砕粒	sry	—	—	有

表 2 胴割の有無及び砕粒による 3 クラスの定義

クラス	胴割の有無	砕粒の有無
胴割粒	dw	有
非胴割粒	no-dw	無
砕粒	sry	有

2.4 データセットの作成

アノテーションツール labelImg を用いて⁶⁾、表 1 及び表 2 で定義したクラスを名付けた。背白粒、頭部未熟粒及び中心心白の小さい粒の数が少なかつたため、GIMP2.10.22 を用いて画像を編集しデータセットとした。学習データセットの分割と検証方法にホールドアウト法を用いて、8 割を訓練用、2 割を検証用とした。心白及び砕粒判別に用いた学習データ数を表 3 に示した。胴割及び砕粒

判別に用いた学習データ数を表 4 に示した。

表 3 心白及び砕粒判別に用いた学習データ数

クラス	学習データ数 (粒)
c-b	509
c-m	671
c-s	390
h-b	820
h-m	769
h-s	450
k	721
se	341
t	320
no	333
sry	1084

表 4 胴割及び砕粒判別に用いた学習データ数

クラス	学習データ数 (粒)
dw	863
no-dw	4847
sry	1616

2.5 深層学習

物体検出アルゴリズムに YOLOv3 を用いた⁷⁾。物体検出を行う層の直前の畳み込み層のフィルター数は、11 クラスで 48 層、3 クラスで 24 層とした。最大バッチ回数は学習するクラス数×2000 以上とした。Google Colaboratory の GPU 環境を表 5 に示した。ソフトウェアは CUDA Toolkit v8.0.61、CuDNN v8.0.4、OpenCV v4.1.2.30 を使用した。

表 5 GPU 環境

名称	詳細
OS	Ubuntu 18.04.5LTS
CPU	Intel (R) Xeon (R) CPU 2.30GHz
GPU	NVIDIA Tesla T4、P4またはK80
Memory	11-13GB

2.6 性能評価

評価指標は Intersection over Union (以下、IoU) を 50%に固定した時の平均適合率 (以下、AP) mean Average Precision (以下、mAP)、再現率、F 値、正解率を用いた⁴⁾。損失 (以下、Loss) は正解とモデルによる予測のずれの大きさを表した。

2.7 汎化性能の確認

汎化性能の確認には、100~200 粒の未学習の画像の心白率、心白発現率、砕米率及び胴割率の実測値とモデルによる予測値を比較した。下記の式を用いて、認識率 70%以上の心白率、心白発現率、砕米率及び胴割率を算出した²⁾。

$$\text{心白率} = \frac{5 \times (c-b) + 4 \times [(c-m) + (h-b)] + 2 \times (c-s)}{5 \times (\text{調査粒数})} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{心白発現率} = \frac{(c-b) + (c-m) + (h-b) + (c-s)}{(\text{調査粒数})} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{胴割率} = \frac{(dw)}{(\text{調査粒数})} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{砕米率} = \frac{(sry)}{(\text{調査粒数})} \times 100 \quad (4)$$

精度評価の指標としては、決定係数 (以下、 R^2)、二乗平均平方根誤差 (以下、RMSE)、平均絶対誤差 (以下、MAE) とした。

3 結果及び考察

3.1 学習過程及び性能評価

心白及び砕粒を判別するために 11 クラスに分類した学習過程を図 1 に示した。Loss の低下に伴い、mAP の変動が小さくなり収束した。過学習なく、mAP80%以上かつ正解率 75%以上を達成した。

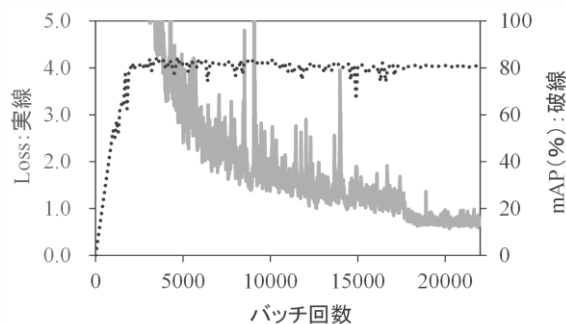


図 1 心白及び砕粒判別用 11 クラスの学習過程

表 6 心白及び砕粒判別用 11 クラスの AP、再現率及び F 値

クラス	AP (%)	再現率 (%)	F値 (%)
c-b	85.9	77.5	84.9
c-m	79.1	78.3	76.6
c-s	90.5	90.4	83.0
h-b	81.1	77.3	75.3
h-m	76.9	76.7	74.6
h-s	72.0	66.7	70.0
k	69.5	67.4	67.1
se	91.7	85.9	87.0
t	79.2	72.1	75.4
no	70.3	61.6	68.2
sry	97.8	97.2	97.4

心白及び砕粒判別用 11 クラスの AP、再現率、F 値を表 6 に示した。c-m、h-m、h-s、k、t、no クラスの AP が 80%以下と低く、判定に偏りが確認された。このことは、中心心白粒 (中)、腹白粒 (中)、腹白粒 (小)、基部未熟粒、頭部未熟粒

の白色部分の位置、大きさ、形状が似ているため、誤検知が発生したためと考えられる。また無心白粒の外周部分が白色になっていたことも誤検知の増加の原因と考えられる。一方、砕粒の判定の精度は高かった。砕粒の形状が他のクラスと異なったため、高い精度で判定できたと考えられる。心白判定に必要な c-b、c-m、c-s、h-b、その他の 5 クラスに絞ることで、判定精度を高められると考えられる。

胴割及び砕粒を判別するために 3 クラスに分類した学習経過を図 2 に示した。心白及び砕粒判別用 11 クラスの Loss 低下よりも緩やかであったため、最大バッチ回数を学習するクラス数 3×2000×3 倍とした。Loss の低下に伴い、mAP の変動が小さくなり収束した。過学習なく、mAP90%以上かつ正解率 84%以上を達成した。

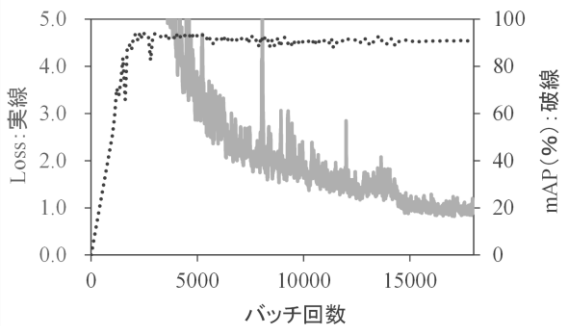


図 2 胴割及び砕粒判別用 3 クラスの学習過程

表 7 胴割及び砕粒判別用 3 クラスの AP、再現率及び F 値

クラス	AP (%)	再現率 (%)	F 値 (%)
dw	79.8	82.2	81.2
no-dw	93.8	94.1	93.1
sry	98.6	97.3	98.3

胴割及び砕粒判別用 3 クラスの AP、再現率、F 値を表 7 に示した。非胴割粒より胴割粒の方が、AP が低く、判定の偏りが確認された。心白及び砕粒判別用 11 クラス同様に、砕粒の判別の精度は高かった。

3.2 汎化性能の確認

心白率、心白発現率及び砕米率の実測値、並び

に 11 クラス判別モデルによる予測値を図 3 に示した。11 クラス判別モデルによる心白率、心白発現率及び砕米率の R^2 、RMSE 及び MAE を表 8 に示した。心白率、心白発現率及び砕米率の実測値、並びに予測値のプロットが対角線付近に位置したこと、 R^2 が 0.96 以上であったことから、未学習の画像に対して 11 クラス判別モデルにより心白率、心白発現率及び砕米率を高い精度で算出できた。

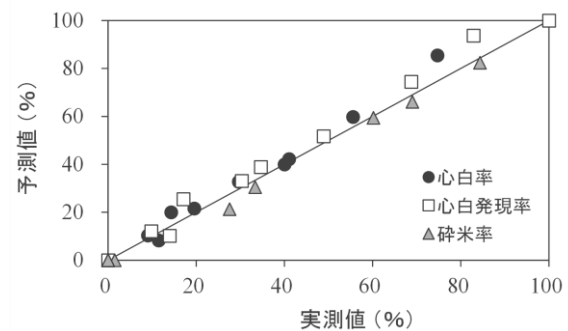


図 3 心白率、心白発現率及び砕米率の実測値、並びに 11 クラス判別モデルによる予測値

表 8 11 クラス判別モデルによる心白率、心白発現率及び砕米率の R^2 、RMSE 及び MAE

	R^2	RMSE	MAE
心白率	0.96	9.76	3.16
心白発現率	0.97	13.76	4.09
砕米率	0.99	3.10	1.61

胴割率及び砕米率の実測値、並びに 3 クラス判別モデルによる予測値を図 4 に示した。3 クラス判別モデルによる胴割率及び砕米率の R^2 、RMSE 及び MAE を表 9 に示した。3 クラス判別による砕米率の RMSE 及び MAE が、11 クラス判別より大きかった。このことから、11 クラス判別による砕米率の精度が高かった。一方、胴割率の R^2 は低く、RMSE 及び MAE が高かったことから、胴割率の精度が低かった。図 4 において、胴割率の実測値が 46-48%であったにも関わらず、予測値 13-14%を示した画像には、心白粒かつ胴割粒であることを非胴割粒と誤検知していた。これは、心白の白色部分に胴割が重なった粒の判定が難しいためと考えられる。そのため、穀粒判別器による透過光

写真で機械学習を行えば、胴割の判定精度を改善できると考えられる。

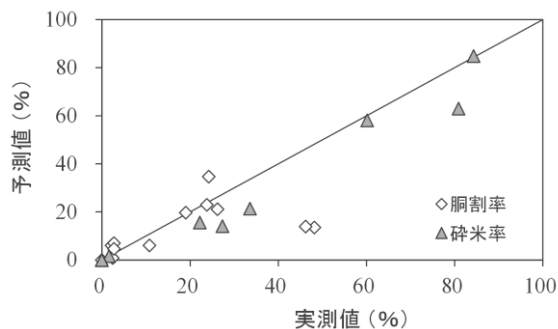


図4 胴割率及び碎米率の実測値、並びに3クラス判別モデルによる予測値

表9 3クラス判別モデルによる胴割率、及び碎米率のR²、RMSE及びMAE

	R ²	RMSE	MAE
胴割率	0.23	101.84	8.38
碎米率	0.94	28.97	4.39

4 まとめ

原料米の砕粒は高い精度で判定できた。心白の有無、大きさ及び位置、胴割の有無については判定に偏りが確認された。

また、11クラス判別モデルにより、心白率、心白発現率及び碎米率を迅速かつ精度よく算出できた。一方、心白粒かつ胴割粒であるものを非胴割粒と誤検知する確率が大きいため、3クラス判別モデルでは胴割率を算出できなかった。

参考文献

- 1) 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
- 2) 佐藤弘一, 佐々木園子, 大寺真史, 菊地伸広: 酒造好適米における品質判定器による玄米品質評価, 日本作物学会東北支部会報, **61**, (2018)5
- 3) 農産物規格規定(平成13年2月28日農林水産省告示第244号)

- 4) 高堂泰輔, 西村隆雄, 藤原久志, 若井芳則: 深層畳み込みニューラルネットワークによる酒造好適米外観品位の自動判定, 日本醸造協会誌, **116**, 6(2021)415
- 5) Joseph Redmon, Ali Farhadi: YOLOv3: An Incremental Improvement, Computer Science, arXiv:1804.02767, (2018)1
- 6) tzutalin/labelImg, <https://github.com/tzutalin/labelImg>, 2021.7.6
- 7) Alexey/darknet, <https://github.com/AlexeyAB/darknet>, 2021.7.6