

ESCAFE: スマートフォンのフラッシュを利用した表面油分の強調による コーヒー豆の鮮度推定

阿座上 知香* 山田 渉* 落合 桂一*

概要. コーヒー豆は鮮度が低下すると風味が失われるため、消費者は鮮度の高い豆を選ぶか、豆の鮮度に合わせて抽出方法を調整する必要がある。一般的に、鮮度の推定には抽出時の豆の膨らみ具合の観察や、ガスクロマトグラフを用いた香りの測定が用いられるが、前者は抽出前に行うことができず、後者は特殊な装置が必要なため非専門家には困難である。そこで本論文では、スマートフォンのフラッシュを用いて撮影したコーヒー豆の表面画像から鮮度を推定する手法を提案する。本手法は、コーヒー豆が劣化すると油分が表面に染み出す特徴に基づき豆の表面に現れる油分から鮮度を推定することを目的としている。提案手法の有効性を検証するために、30日間にわたり撮影したコーヒー豆の画像を用いて評価を行った。その結果、鮮度を5.24~9.82日以内の誤差で推定できることが確認された。

1 はじめに

世界初のIoT（モノのインターネット）の例はトロイの部屋のコーヒーポットである [7]。これは、大学の研究室でカメラを使ってコーヒーポット内のコーヒーの量を監視し、研究室のメンバーがいつでもコーヒーを楽しめるようにしたシステムである。よりおいしいコーヒーを楽しむためには、量だけでなく、品質も重要となる。なぜなら、品質を決定する一つの要素は鮮度であり、時間の経過に伴いコーヒー豆の香りや味が劣化すると風味が損なわれるためである。

コーヒーはコーヒーチェリーと呼ばれる果実から作られる。まず、収穫後に果肉を除去し、発酵・洗浄を経て生豆となる。その後、焙煎によって特有の香りや味わいが引き出され、さらに挽いて抽出することでコーヒーが完成する [4, 5]。コーヒー豆の鮮度は、この加工・焙煎後の経過時間に依存し、特にコーヒーチェリーから生豆に加工されてからの時間と焙煎後の時間の2つの要因で決まる [4, 5]。生豆の保存期間は3~6か月であるが、一方で焙煎されたコーヒー豆の保存期間は約1か月と短く、初めの数週間以内に消費するのが最良とされる [4]。一般的に生豆よりも焙煎豆の方が人気であるため、焙煎豆の鮮度を把握することが重要となる。

焙煎豆の鮮度を推定する方法の一つは、抽出時の豆の膨らみを観察することである [1]。新鮮な豆には古い豆よりも多くの二酸化炭素が含まれているため、抽出時の豆の膨らみ具合から鮮度を推定できる。しかしこの方法では、抽出前に鮮度を把握する必要があるにもかかわらず、抽出後でなければ鮮度

を判断できないという課題がある。また別の方法として、コーヒー豆の香りを測定する方法もある。新鮮なコーヒー豆は強い香りを放つが、鮮度が低下すると香りも減少する [6]。しかし、香りを測定するにはガスクロマトグラフなどの特殊な装置が必要であり、高価で専門的な機器であるため、非専門家が入手し使用するのには難しい [2]。

本論文では、コーヒー豆が劣化すると油分が表面に染み出してくる特徴に基づき、表面の油の程度を画像から判断することで鮮度を推定する手法「ESCAFE」を提案する [8]。本手法は図1に示す3つのステップから構成されており、まずフラッシュ有り・無しで撮影した画像を入力し、これらの差分を計算して豆の油分の現れを強調する。次に、差分画像と焙煎度を畳み込みニューラルネットワーク（CNN）に入力し、視覚的な特徴を抽出する。最後に、回帰層を用いて焙煎後の経過日数を推定する。

この手法により、特殊な装置を必要とせずスマートフォンのみでコーヒー豆の鮮度を簡単に推定することが可能となり、非専門家でも鮮度の高いコーヒー豆を選択することができるようになる。また、抽出前に鮮度が推定できるため、購入したコーヒーがあまり新鮮でないと判断された場合には再焙煎や抽出方法の調整などの対策を講じることで、おいしいコーヒーを楽しむことができる。さらに、本手法はIoTへの応用も可能であり、たとえばコーヒーポットに画像による豆の鮮度推定機能を追加することで、コーヒー豆の劣化を自動的にユーザに通知することができると言える。

2 実装

コーヒー豆の焙煎度は、一般的にLight, Cinnamon, Medium, High, City, Full City, French, Italianの8段階に分類される。8段階の焙煎度でそれぞれ

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 株式会社 NTT ドコモ

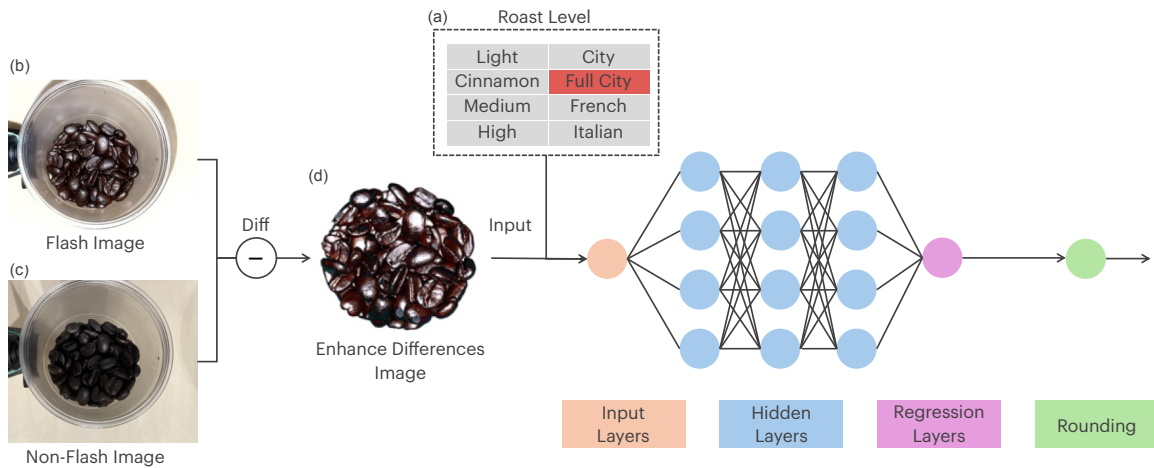


図 1. コーヒー豆の鮮度予測のための CNN ベースの回帰モデルアーキテクチャの概要

れ鮮度を推定するための方法として、図 1(a) に示す通り、焙煎度ごとに 8 つのモデルを用意し、モデルの学習や利用する際にはあらかじめ豆の焙煎度を選択することで、適切なモデルが学習・適用されるようにした。モデルの出力は連続値として予測するようにし、焙煎から経過した日数を推定するために最も近い整数値に丸められるようにした。

データセット: モデルの学習には、8 段階の焙煎度ごとにフラッシュ有り・無しの画像 (図 1(b), (c)) をそれぞれ 500 枚、1 日計 1000 枚撮影し、30 日間にわたって記録したデータセットを使用した。撮影はスマートフォン (iPhone 12, iOS 17.5) で、一貫した屋内照明下で固定距離から豆を真上から行った..

前処理: 画像は豆のみにフォーカスするよう切り抜き、サイズを調整した。また、図 1(d) のようにフラッシュの有無による画像の差分を計算することで、表面油分の光沢や質感の変化を強調し捉えやすくした。さらに、画像データセットは学習用 (70%)、テスト用 (15%)、検証用 (15%) のセットに分割した。**使用モデル:** 各焙煎度における焙煎後の日数を推定するために、出力層を回帰用に改良した 50 層の ResNet を用いた [3]。ResNet は、連続して接続された残差ブロックを通して一連の残差をモデル化することで、深層学習の精度を向上させる深層 CNN モデルである。ResNet の学習には、学習率 0.001、バッチサイズ 32 で、誤差逆伝播法と確率的勾配降下法を用いた。

3 評価

本手法の性能は、推定した焙煎後の日数と実際の日数の差分に対して平均絶対誤差 (MAE) および二乗平均平方根誤差 (RMSE) を用いて評価した。また、モデルの信頼性を確認するために交差検定を実施した。本手法に基づく鮮度推定にはベースライン手法が存在しないため、フラッシュなしで撮影した写真のみを使用したモデルとの比較を行った。

結果: 本手法の性能評価の実験結果として、MAE および RMSE の値を表 1 に示す。表 1 の通り、提案手法はフラッシュを使用しない方法と比較して誤差が小さくなった。

考察: 8 段階の焙煎度の中で、Cinnamon および City の焙煎度において誤差が大きくなった。これは、他の焙煎度に比べてコーヒー豆の表面に油分があまり染み出していないためと考えられる。提案手法ではフラッシュを用いて豆の表面に現れる光を強調する方法であるため、油分の染み出しが少ない豆において予測誤差が大きくなる可能性がある。今後の課題として、画像の前処理方法を再検討することで、予測が難しい焙煎度の予測精度を向上させることを目指す。

4 おわりに

本研究では、スマートフォンのフラッシュを利用して、豆の表面に現れる油分の変化を強調することでコーヒー豆の鮮度を推定する手法を提案した。提案手法は焙煎豆の鮮度を正確に推定する有効な手段であることが示された。本手法は、消費者が新鮮なコーヒー豆を選び、最も良い状態で抽出できるようにする実用的なツールとしての可能性を有している。

表 1. 焙煎レベル別のモデル評価結果.

Roast Level	proposed method		without flash	
	RMSE	MAE	RMSE	MAE
01_light	7.88	6.58	10.3	9.5
02_cinnamon	10.31	9.82	18.9	16.8
03_medium	6.39	5.24	18.5	16.6
04_high	8.49	7.23	17.7	15.3
05_city	11.38	9.24	16.9	14.6
06_full_city	9.73	8.21	18.7	16.6
07_french	8.85	7.53	17.7	15.5
08_italian	7.41	6.07	18.3	16.2

参考文献

- [1] A. Awang, I. Yassin, and et al. M. Mahmood. Intelligent method for classifying the freshness of coffee. In *IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA)*, 2023.
- [2] K.D. Deibler, T.E. Acree, and E.H. Lavin. Aroma analysis of coffee brew by gas chromatography-olfactometry. *Developments in Food Science*, 40:69–78, 1998.
- [3] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun. Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 770–778, 2016.
- [4] J. Hoffmann. *The World Atlas of Coffee: From beans to brewing - coffees explored, explained and enjoyed*. Octopus Publishing Group, 2nd edition, 2018.
- [5] A. Moldver. *The Coffee Book: Barista tips, recipes, beans from around the world*. Dorling Kindersley Publishing, 2021.
- [6] S. Smrke. The science of coffee freshness. <https://sca.coffee/expo-lectures-2019>, 2019. Specialty Coffee Association, Expo Lectures 2019, [Accessed: Jul. 15, 2024].
- [7] Q. Stafford-Fraser and P. Jardetzky. The trojan room coffee pot. <http://www.cl.cam.ac.uk/coffee/coffee.html>, 1991. University of Cambridge Computer Laboratory.
- [8] C. Yeretizian, S. Smrke, and et al. M. Wellinger. *The Coffee Freshness Handbook*. Specialty Coffee Association, 2018.