

位相的データ解析による料理空間の構造解明と おいしい新料理の客観的な提案への応用

代表研究者 神戸大学大学院人間発達環境学研究科 助教 ESCOLAR Emerson Gaw

共同研究者 神戸大学大学院人間発達環境学研究科 助教 湯浅正洋

〔研究の概要〕

通常、新しい料理は料理人のセンスやインスピレーションにより考案されるが、料理人の主観を客観的なアイデア創出で補うと、これまでにない食材・味付け・調理法の新たな組み合わせの提案が容易になると考えられる。そこで本研究では、既存の料理で用いられるレシピのデータセットに位相的データ解析を適用して、「料理空間」の構造を数学的に解明し、新料理をその空間の「穴」から構成する手法を提案した。この手法で得られた食材の組み合わせから、実際にビスケット様焼き菓子を調理することができた。また、この焼き菓子は官能評価では受容されるおいしい菓子であることが明らかとなった。本研究により、位相的データ解析は新しいレシピ生成法構築に有用な解析方法であることが示唆された。

〔研究経過および成果〕

「データの形」に着目した位相的データ解析は、材料科学、経済学、生物学など、諸科学の問題に応用され、目覚ましい発展を遂げてきた。本解析は、対象データが持つ「穴」や「枝分かれ」といった構造や形を正確に捉える、適用範囲が広い解析手法である。本研究では、既存の料理で用いられるレシピデータに本解析を適用することで、「料理空間」の構造を数学的に解明し、新しいレシピをその空間の「穴」から構成することに成功した。一方、通常は、新しい料理は料理人のセンスやインスピレーションにより考案されるが、1人の料理人が提案できる料理レシピ数に限界がある。本研究成果はこのような料理人が新しい料理提案する際に、客観的アイディアとなることが期待される。

本研究の提案手法は、以下の通りである(図1)。

- (1) パーシステントホモロジー解析[3]を用いてレ

シピデータの穴をサイクルとして特定する。

- (2) 最適化問題を解いてサイクルから新たなレシピを生成する。

- (3) 得られたレシピの調理と評価を行う。

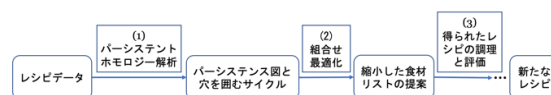


図 1: 本研究の概要

本論文では、先行研究[1]のレシピデータ(約5万個のレシピ, Supp. Dataset 2)に適用して得た解析結果と、実際に調理した料理の嗜好性を解説する。

- (1) パーシステントホモロジー解析

パーシステントホモロジー解析の詳細に関しては、テキスト[5]を参照されたい。本研究では、レシピデータの各レシピを0-1ベクトル(特性ベクトル)として扱い、レシピ間の距離としてコサイン非類似度を適用した。ripser[2]というソフトウェアを用いて、レシピデータの Vietoris-Rips フィルトレーションを構成し、その1次パ

一システム図 (PD) 及び代表サイクルを計算した (図2). 各代表サイクルはレシピの列であり, レシピデータのある「穴」を囲んでいるものである. PD の各点 (b,d)は生成消滅対と呼び, それぞれの「穴」の生成スケール b と消滅スケール d を表している. また, $d-b$ はその寿命と呼ぶ. 図2では, 1から9番目に長い寿命の生成消滅対は星印で表している.

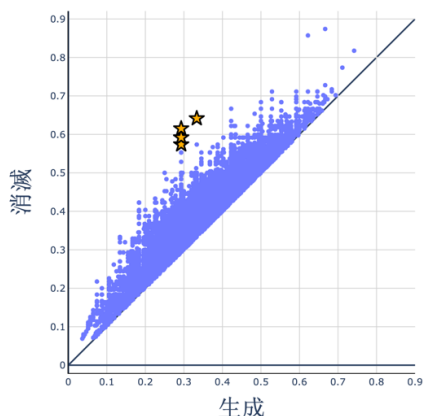


図 2: レシピデータの PD

(2) サイクルから新たなレシピを生成する

パーシステントホモロジー解析から得られた穴の周りにあるレシピの食材を, 候補食材(集合 S)として, 次の最適化問題を構成した.

$$y_* = \operatorname{argmax}_{y \in S, |y|=t} d_{\cos}(y, X)$$

この最適化問題は, 既存のレシピのデータセット X と最も似ていない y を見つけ出す問題である. ただし, 制限として, y は候補の食材集合 S から t 個の食材を選んだ部分レシピである. この定式化はパーシステントホモロジー解析における従来の optimal cycle 解析[4]と違い, レシピの特性に合わせた最適化問題である. 計算機を用いて一番長い寿命を持つサイクルに対して上の最適化問題を解くと, 次のような解が得られた(食材数 5 つのレシピ案を示す.).

```

('cranberry', 'cream cheese', 'gin', 'olive oil', 'raisin')
('cranberry', 'cream cheese', 'gin', 'raisin', 'starch')
('cranberry', 'cream cheese', 'gin', 'raisin', 'whole grain wheat flour')
('cranberry', 'cream cheese', 'gin', 'starch', 'whole grain wheat flour')
('cranberry', 'cream cheese', 'raisin', 'starch', 'whole grain wheat flour')
...

```

(3) 得られたレシピの調理と官能評価

得られたレシピをもとに, ビスケット様焼き菓子を調理し, その嗜好性を官能評価により明らかにした. 材料の異なる 5 種の焼き菓子で評価したところ, 全試料でおいしさと総合評価の評点が 7 件法 (-3~+3) の +1 前後であり, 焼き菓子として受容可能と判断された.

以上より, 位相的データ解析は新しいレシピ生成法構築に有用な解析方法であることが示唆された.

[参考文献]

- [1] Y. Ahn, et al. Sci. Rep., 1(1):1-7, 2011.
- [2] U. Bauer. J. Appl. Comput. Topol., 5(3):391-423, 2021.
- [3] H. Edelsbrunner, et al. Discrete Comput Geom, 28:511-533, 2002.
- [4] E.G. Escolar, Y. Hiraoka. In: Optimization in the Real World, pp 79-96. Springer Japan, 2016.
- [5] 池祐一, E.G.エスカラ, 大林一平, 鍛冶静雄. 位相的データ解析から構造発見へ: パーシステントホモロジーを中心に. サイエンス社, 2023.

[発表論文]

1. Emerson Gaw ESCOLAR, 湯浅 正洋. 料理空間の位相的データ解析 ~ 新しい料理の提案への応用 ~, 2023 年度応用数学合同研究集会, 口頭発表(2023/12/15, 龍谷大学)
2. 湯浅正洋, Emerson Gaw ESCOLAR. 位相的データ解析で生成した料理レシピの調理と有用性, 日本調理科学会近畿支部第 49 回研究発表会, 口頭発表(2023/12/3, 滋賀大学)
3. Emerson Gaw ESCOLAR, 湯浅 正洋. A Topological Analysis of the Space of Recipes, 日本数学会 2023 年度秋季総合分科会, 口頭発表(2023/09/22, 東北大学)