

レシピ共有サイトからの食感トピックと食感物性のモデル化

Modeling Texture Topics from a Recipe Sharing Site Combined by Quantitative Characteristics.

上原 宏*¹ 持橋 大地*²
Hiroshi Uehara Daichi Mochihashi

*¹立正大学 データサイエンス学部
Faculty of Data Science, Rissho University

*²統計数理研究所
The Institute of Statistical Mathematics

This study tries to estimate texture of gel related dishes based on both the data of a recipe sharing site, and research results of food science. Most of recipes are accompanied by insufficient information about what kind of texture they realize. We propose a method to estimate characteristics of texture for each recipe by applying a joint topic model to bridge sensory texture terms in a recipe sharing site and corresponding quantitative texture resulting from food science research. The result shows estimated texture terms for dishes are coincident with rheology, the quantitative texture provided by related food science research.

1. はじめに

本研究では、レシピ投稿サイト上の凝固剤（ゼラチン、寒天など）を用いたレシピ（以降、ゲルレシピ）を対象として、個々のレシピでは十分な記述が得られない食感情報を、大量の投稿レシピからのトピックとして獲得（以下、食感情報トピック）し、レシピの食感推定を試みる。しかし、食感の表現は、個人や言語によって多様であり、獲得したトピックの妥当性の客観的評価が難しい。調理科学の研究では、咀嚼を模した測定器により、食感を物性（レオロジー）として測定・評価する実証研究が進められており、ゲルレシピについても多くの実証結果が得られている [2], [3]。そこで、これらの実証における調理条件（凝固剤の種類、濃度、混合材料等）との対応付けを可能とするトピックモデルを提案する。これにより、トピック中の食感表現の妥当性を食感の物性によって評価する。

このように本研究は、レシピ投稿サイト上の食感表現と調理科学研究による食感物性との架橋を試みる。次章で提案手法を述べ、3章で適用対象のデータを説明する。続いて4章にてデータの解析結果および評価を記述し、5章にて結論を述べる。

2. 提案手法

ジョイントトピックモデル [4] を用いて、大量の投稿ゲルレシピから、食感表現語彙ベクトルと、凝固剤とその混合材料の濃度ベクトルのペアからなる食感情報トピックを推定する。濃度ベクトルは調理科学の調理条件と同様なデータ形式であり、食感物性との対応付けが可能となる。以下、投稿レシピからのデータセット作成、本提案でのジョイントトピックモデル、およびトピックと食感物性との対応付けの方法を述べる。

2.1 データセットの作成

2.1.1 食感表現語彙の抽出

日本語の食感用語を網羅的に調査した”日本語テクスチャー用語体系*¹”のうち、本研究での食感物性と関連性がある“噛みごたえ”、“凝集の小ささ”、“変形しやすさ”、“破碎”、“粘りとぬめり”に類型化された 288 語彙について、投稿ゲルレシピに出現したものを抽出した。

連絡先: 上原宏, 立正大学データサイエンス学部, 埼玉県熊谷市万吉 1700, uehara@ris.ac.jp

*¹ <https://www.naro.affrc.go.jp/org/nfri/yakudachi/terms/texture.html>

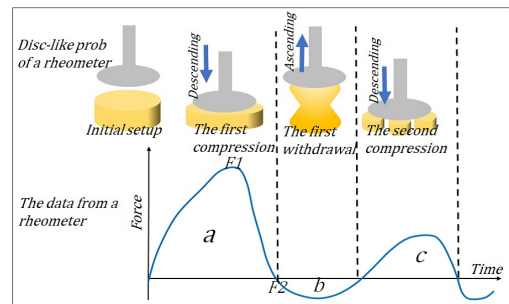


図 1: 食感物性測定機器の動作イメージ。

2.1.2 材料の濃度データセットの作成

投稿レシピでは材料によって、体積 (cc, ml, 小さじ etc.) や重量 (kg, g) など異なる計量単位で表示されるため、全て比重を加味した g に換算し、全重量に対する各材料の割合として濃度を計算した。また、調理科学で扱われたレシピを念頭に、凝固剤は、ゼラチン、寒天、アガールの 3 種類、凝固剤への混合材料はエマルジョン*² とし、凝固剤とエマルジョン濃度の合計が 90% 以上のレシピのみをデータセットとして抽出した。なお、濃度は割合であり、その微小な違いが食感に大きく影響するため、情報量 $-\log(x)$ に変換した特徴量を用いた。

2.2 食感情報トピックの推定

2.2.1 生成モデル

図 2 に、食感情報トピック生成に関するグラフィカルモデルを示す。食感情報トピックは、食感表現語彙の潜在トピック Z 、およびそれに対応する凝固剤の濃度ベクトルの潜在トピック Y のペアから構成される。後者は、食感物性と架橋するための情報である。食感表現は、 Z のもとで、 $Dir(\gamma)$ をディリクレ事前分布とする多項分布 $mult(W|\phi)$ に従うとし、一方、凝固剤濃度ベクトル g は、 Y のもとで、 $\mathcal{NW}(\beta_g, \nu_g, S_g)$ をガウスウィシャート事前分布とする正規分布 $\mathcal{N}(g|\mu, \Lambda)$ に従うとする。食品科学では、凝固剤のみによる食感をベースラインとして、エマルジョンを混合した場合にどのような変化が顕れるかを実証したものが多い [3, 4, 10]。そこで、エマルジョンの濃度 e については、凝固剤の潜在トピック Y のもとで、 $\mathcal{NW}(\beta_e, \nu_e, S_e)$ をガウスウィシャート事前分布とする正規

*² 牛乳, 生クリーム, ヨーグルトなど分散質・分散媒が共に液体である分散系溶液

表 1: 調理科学実証研究にもとづくゲルレシピの分析データ.

(a) ゲル素材の濃度別食感性. 機器固有の測定単位は Rheology Unit (RU) に統一した.

データ	凝固剤			食感性 (RU)		
	ゼラチン	寒天	アガー	硬さ	凝集性	粘着性
1	0.018	0	0	0.20	0.6	0.1
2	0.02	0	0	0.3	0.59	0.04
3	0.025	0	0	0.72	0.17	0.57
4	0.03	0	0	2.78	0.31	0.42
5	0.03	0	0.03	3.01	0.35	12.6
6	0	0.008	0	2.2	0.12	0
7	0	0.01	0	3.5	0.1	0
8	0	0.012	0	5.0	0.8	0
8	0	0.02	0	5.67	0.03	0
10	0	0	0.008	1.0	0.48	0
11	0	0	0.01	1.5	0.33	0.01
12	0	0	0.012	2.7	0.28	0.02
13	0	0	0.03	2.21	0.20	1.95

(b) ゲル (ゼラチン)・エマルジョン混合レシピの食感性. (生ク=生クリーム)

レシピ	凝固剤	エマルジョン					食感性 (RU)		
	ゼラチン	砂糖	卵白	卵黄	生ク	牛乳	硬さ	凝集性	粘着性
パンプキン	0.025	0	0	0.08	0.2	0.4	3.86	0.809	0.095
ミルクゼリー	0.025	0.032	0	0	0	0.787	1.83	0.27	0.44

分布 $\mathcal{N}(g|m, L)$ に従うとする. 生成モデル, および生成過程を以下に示す.

生成モデル

$$\begin{aligned}
 & p(\mathbf{W}, \mathbf{Z}, \theta, \phi, \mathbf{g}, \mathbf{y}, \mu, \mathbf{\Lambda}, \mathbf{e}, \mathbf{L}) = \\
 & \text{Dir}(\theta|\alpha) \text{Dir}(\phi|\gamma) \prod_n \text{Mult}(z_{dn}|\theta_d) \text{Mult}(w_{dn}|\theta_k, z_{dn}) \\
 & \times \mathcal{NW}(\mu_k, \mathbf{\Lambda}_k|\mu_0, \beta^g, \nu^g, \mathbf{S}^g) \prod_d \text{Mult}(y_d|\theta_d) \mathcal{N}(\mathbf{g}_d|\mu_k, \mathbf{\Lambda}_k, y_d) \\
 & \times \mathcal{NW}(\mathbf{m}_k, \mathbf{L}_k|\mathbf{m}_0, \beta^e, \nu^e, \mathbf{S}^e) \prod_d \mathcal{N}(\mathbf{e}_d|\mathbf{m}_k, \mathbf{L}_k, y_d) \quad (1)
 \end{aligned}$$

生成過程

1. For $k \in 1, \dots, K$:
 - (a) $\phi_k \sim \text{Dir}(\gamma)$
 - (b) $\mu_k, \mathbf{\Lambda}_k \sim \mathcal{NW}(\mu_0^g, \beta^g, \nu^g, \mathbf{S}^g)$
 - (c) $\mathbf{m}_k, \mathbf{L}_k \sim \mathcal{NW}(\mu_0^e, \beta^e, \nu^e, \mathbf{S}^e)$
2. For $d \in 1, \dots, D$:
 - (a) Draw $\theta_d \sim \text{Dir}(\alpha)$
 - (b) For $n \in 1, \dots, N_d$:
 - i. Draw $z_{dn} \sim \text{Mult}(\theta_d)$
 - ii. Draw $w_{dn} \sim \text{Mult}(\phi_{z_{dn}})$
 - (c) Draw $y_d \sim \text{Mult}(\theta_d)$
 - (d) Draw $g_d \sim \mathcal{N}(\mu_{y_d}, \mathbf{\Lambda}_{y_d})$
 - (e) Draw $e_d \sim \mathcal{N}(\mathbf{m}_{y_d}, \mathbf{L}_{y_d})$

ここで,

ϕ_k : トピック k 毎の食感表現語彙分布. 事前分布パラメータ γ .
 $\mu_{y_d}, \mathbf{\Lambda}_{y_d}$: k 毎のゲル濃度分布. 事前分布パラメータは, $\mu_0^g, \beta^g, \nu^g, \mathbf{S}^g$
 $\mathbf{m}_{y_d}, \mathbf{L}_{y_d}$: k 毎のエマルジョン濃度分布
 θ_d : 文書 d (レシピ) 毎のトピック分布パラメータ. 事前分布パラメータは, α .
 z_{dn} : 食感表現語彙 w_{dn} の潜在トピック.
 y_d : ゲル濃度 g_d の潜在トピック
 e_d : エマルジョン濃度

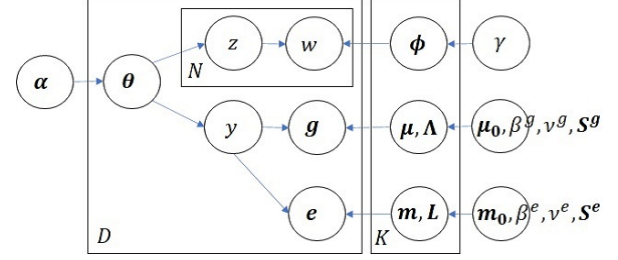


図 2: 食感情報トピック (食感表現語彙トピック, 凝固剤濃度トピック) 生成のグラフィカルモデル

2.2.2 トピックの推定

Gibbs sampling により, 潜在トピック z_{dn}, y_d および, トピック毎の分布パラメータ $\phi_k, \mu_{y_d}, \mathbf{\Lambda}_{y_d}, \mathbf{m}_{y_d}, \mathbf{L}_{y_d}$ を推定する. 収束判定は, perplexity, および, ϕ_k の語彙確率の大小関係がほぼ一定になることによる.

1. 食感表現の潜在トピック z_{dn}

$$\begin{aligned}
 & p(z_{dn} = k | \mathbf{W}, \mathbf{Z}^{-dn}, \alpha, \gamma, \mathbf{Y}, \mathbf{X}, \mu, \mathbf{\Lambda}, \mu_0^g, \beta^g, \nu^g, \mathbf{S}^g) \\
 & \propto (N_{dk}^{-dn} + M_{dk} + \alpha) \frac{N_{k, w_{dn}}^{-dn} + \gamma}{N_k^{-dn} + \gamma V} \quad (2)
 \end{aligned}$$

ここで,

N_{dk}, M_{dk} : d で k に所属する食感表現語彙数および, 凝固剤ベクトルの数

N_k : k に所属する食感表現語彙の数

N_d, M_d : d の食感表現語彙の数および, 凝固剤ベクトルの数 (コンスタントに 1)

N_{kw} : k に所属する食感表現語彙別の数

N_{dk}^{-dn} : d において, dn を除き k に所属する食感表現語彙の数 (以降, 左上添え字 “-” は同様な除外を意味する)

2. 凝固剤濃度の潜在トピック y_d

$$\begin{aligned}
 & p(y_d = k | \mathbf{W}, \mathbf{Z}, \alpha, \gamma, \mathbf{Y}^{-d}, \mathbf{G}, \mu, \mathbf{\Lambda}, \mu_0^g, \beta^g, \nu^g, \mathbf{S}^g) \\
 & \propto \frac{N_{dk} + M_{dk}^{-d} + \alpha_k}{N_d + M_d - 1 + \sum_k \alpha_k} \times \mathcal{N}(\mathbf{e}_d | \mu_{y_d}, \mathbf{\Lambda}_{y_d}) \quad (3)
 \end{aligned}$$

3. 凝固剤濃度のトピック別分布 $\mu_{y_d}, \mathbf{\Lambda}_{y_d}$

$$\begin{aligned}
 & p(\mu_k, \mathbf{\Lambda}_k | \mathbf{Y}, \mathbf{G}, \mu^{-k}, \mathbf{\Lambda}^{-k}, \mu_0, \beta, \nu^g, \mathbf{S}^g) \\
 & \propto \mathcal{N}(\mu_k | \mu_c, (\beta^g \mathbf{\Lambda}_c)^{-1}) \mathcal{W}(\mathbf{\Lambda}_k | \nu_c^g, \mathbf{S}_c^g) \quad (4)
 \end{aligned}$$

ここで,

$$(\mathbf{S}_c^g)^{-1} = (\mathbf{S}^g)^{-1} + \sum_{\mathbf{g}_d \in \text{topic } k} (\mathbf{g}_d - \bar{\mathbf{g}})(\mathbf{x}_d^g - \bar{\mathbf{g}})^T + \frac{N_k \beta^g}{N_k + \beta^g} (\bar{\mathbf{g}} - \mu_0)(\bar{\mathbf{g}} - \mu_0)^T$$

$$\bar{\mathbf{g}} = \frac{1}{N_k^g} \sum_{\mathbf{g}_d \in \text{topic } k} \mathbf{g}_d, \quad \mu_c = \frac{N_k^g \bar{\mathbf{g}} + \beta^g \mu_0}{N_k^g + \beta^g}$$

$$\mathbf{\Lambda}_c = (N_k^g + \beta^g) \mathbf{\Lambda}_k, \quad \nu_c^g = \nu^g + N_k^g$$

4. エマルジョン濃度のトピック別分布 $\mathbf{m}_{y_d}, \mathbf{L}_{y_d}$

凝固剤濃度のトピック別分布と同様. ただし, トピック k への所属は, ゲル濃度の所属に従う. すなわち,

$$\sum_{\mathbf{e}_d \in \text{topic } k} = \sum_{\mathbf{g}_d \in \text{topic } k}$$

なお, 食感表現のトピック別分布パラメータ ϕ_k , およびレシピ毎のトピック分布パラメータ θ_d は, Gibbs sampling 収束後, 以下により求める.

$$\phi_{kv} = \frac{N_{kv} + \gamma}{N_k + \gamma V}, \quad \theta_{dk} = \frac{N_{dk} + M_{dk}}{N_d + M_d + \sum \alpha} \quad (5)$$

表 2: 食感情報トピックの検出結果と調理科学レシピとの対応

トピック	凝固剤	食感表現語彙	レシピ数	表 1 との対応
7	gelain:0.005	柔らかい (変形しやすさ):0.877 ほわっ (凝集の小ささ):0.123	73	
4	gelain:0.007	軽い (変形しやすさ):0.93 ふっくら (凝集の小ささ):0.07	74	
0	gelain:0.012	もちもち (噛みごたえ):1.0	152	
8	gelain:0.014	ふるふる (変形しやすさ):1.0	300	1,2
3	gelain:0.054	硬い (噛みごたえ):0.307 むちむち (噛みごたえ):0.245 ぐちゃっ (変形しやすさ):0.129 ぼったり (凝集の小ささ):0.089 ぶるんぶるん (噛みごたえ):0.062 ぼそぼそ (凝集の小ささ):0.06 ぼてっ (凝集の小ささ):0.055 シャクシャク (破碎):0.029 ぶるぶる (噛みごたえ):0.022	38	3,4, ババロア, ミルクゼリー
5	agar(0.009) gelain(0.009)	ぶるぶる (変形しやすさ):1.0	1046	5
2	agar(0.016)	ねっとり (粘りとぬめり):0.445 ぶりっ (変形しやすさ):0.255 もったり (凝集の小ささ):0.21 ほろほろ (凝集の小ささ):0.08 ねっちり (粘りとぬめり):0.01	62	10,11,12,13
6	gelain:0.003 kanten:0.002	ふわふわ (凝集の小ささ):1.0	1200	
1	kanten:0.004	ゆるゆる (変形しやすさ):0.487 べちゃっ (粘りとぬめり):0.432 ふかふか (凝集の小ささ):0.027 ぶりっ (噛みごたえ):0.027 弾力がある (噛みごたえ):0.026	60	
9	kanten:0.021	どっしり (破碎):0.27 ぶにぶに (変形しやすさ):0.1 くたっ (変形しやすさ):0.074 ぶりんぶりん (噛みごたえ):0.069 コリッ (噛みごたえ):0.064 だらだら (変形しやすさ):0.057 からっ (破碎):0.055 はじける (変形しやすさ):0.055 重い (破碎):0.054	31	6,7,8,9

2.3 食感表現と食食物性との対応評価

調理科学実証でのゲルレシピの濃度条件と、ジョイントトピックモデルで推定する濃度分布とのカルバックライブラー情報量を計算することによって、調理科学ゲルレシピにトピックを対応付ける。その結果、調理科学での食食物性と、トピックの食感表現分布の対応関係が得られる。なおここで、トピックの対応付けには凝固剤濃度のトピック分布を用いる。エマルジョン濃度のトピック分布は、対応付けられたトピック中での食感のバリエーションを分析する際に用いる。詳細は、分析結果と評価にて述べる。

3. データ

3.1 投稿レシピの収集

国内最大級のレシピ投稿サイト Cookpad*³ より、タイトル、要約、および作り手によるレビュー（つくれば）に上述した食感表現を含むゲルレシピ、約 10,000 件を抽出した。更に、3 種類の凝固剤のいずれかを含み、かつエマルジョン濃度との合計が 90%以上のものを抽出した結果、対象データ数は約 3,000 となった。

3.2 調理科学実証データの収集

材料と濃度の異なるゲルレシピに関する食食物性の測定結果を、調理科学実証研究から抽出した [6-11]。表 1(a) は、3 種類の凝固剤について異なる濃度条件での測定結果を、表 1(b) は、ゼラチンと、異なる濃度のエマルジョンを混合した場合の測定結果である。いずれも濃度欄に実験設定条件を、食食物性欄に測定結果を示している。なお、食食物性は、人の咀嚼を模した物性測定器具を用いて、食品サンプルを圧縮、伸張を繰り返した時 (図 1 上) に検出される応力 (レオロジー) の測定結果 (図 1 下) で、以下の 3 種類の物性を表している。

硬さ：1 回目の圧縮時に検出される最大応力 (図 1 F1)、最初の咀嚼時に感じる硬さに相当する。

凝集性：1 回目の圧縮時の総応力に対する 2 回目圧縮時の総応力の割合 (図 1 $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$)。凝集性の小ささは、飲み込みやすさ、

もろさに相当する。

粘着性：1 回目の伸張時に検出される負の総応力 (図 1 b)。

4. データ分析結果と評価

4.1 食感表現トピックと食食物性との対応付け

表 2 に食感情報トピック推定結果および、調理科学実証研究ゲルレシピ (表 1(a)(b)) へのトピック対応付けの結果を示す。凝固剤、食感表現語彙は、それぞれ濃度、語彙分布確率の降順に小数点 3 位の値を持つものまで表記した。食感表現語彙に続く [] 内は日本語テクスチャー用語体系による類型である。表 1 との対応欄は、提案手法で述べた KL 情報量で対応付けた、表 1(a)(b) の各レシピの番号およびレシピ名である。

例えば、トピック 8 が割り当てられたレシピ 1,2 は比較的低濃度のゼラチンで、食食物性上の硬さは比較的小さく (表 1(a))、これに対応して食感表現語彙は、変形しやすさを意味する“ふるふる”となっている。これに対して、トピック 3 が割り当てられたレシピ 3,4 は比較的高濃度のゼラチンで、食食物性上の硬さは比較的大きく、凝集性は比較的小さい (表 1(a))。トピック 3 の食感表現語彙の上位には、“硬い”、“むちむち”のように噛みごたえに関する語彙が出現し、また凝集の小ささを意味する“ぼったり”が出現する。これらの結果は、調理科学レシピと対応するトピック間での、食食物性と食感表現との意味的な一致性を示している。

4.2 エマルジョン混合レシピの食食物性と食感表現特徴

ババロア、ミルクゼリー (表 1(b)) およびレシピ 3 (表 1(a)) は、いずれもゼラチン濃度 2.5% のレシピでトピック 3 が割り当てられている。しかし、それらの食食物性値は大きく異なっており、混合したエマルジョンの影響を示唆している。

図 3 は、トピック 3 に所属する投稿レシピ集合に出現した、硬さ、柔らかさ、弾力性、凝集に関する語彙頻度を、これらレシピのエマルジョン濃度と、表 1(b) のババロア、ミルクゼリーのエマルジョン濃度との KL 情報量順に集計表示したものである。硬さは、日本語テクスチャー用語体系で、“噛みごたえ”に類型された語彙、柔らかさは、“変形のしやすさ”に類型された語彙とした。弾力性、凝集も同様な類型情報にもと

*3 <https://cookpad.com/>

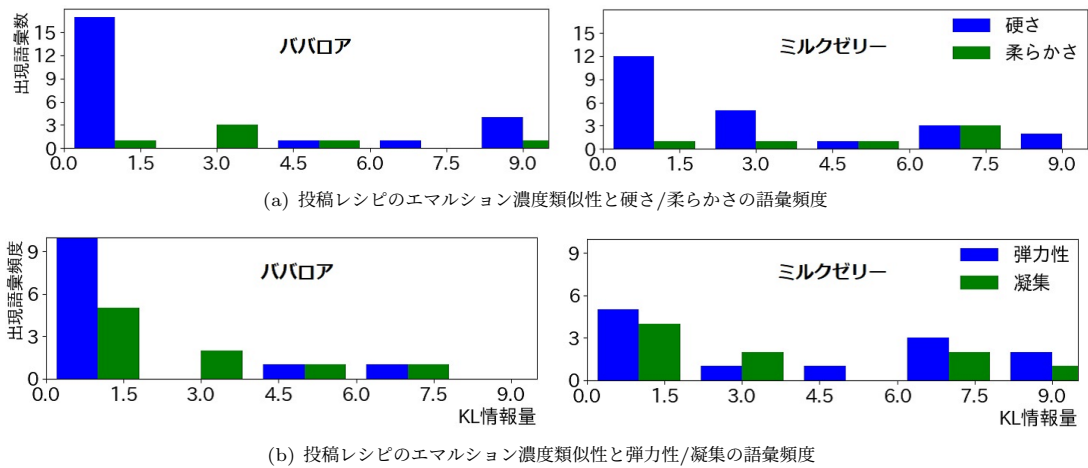


図 3: ババロア, ミルクゼリーの調理科学実証レシピと投稿レシピのエマルジョン濃度の比較

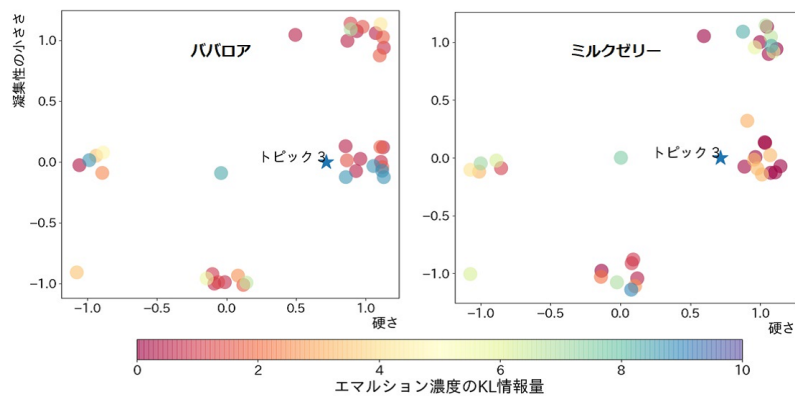


図 4: ババロア・ミルクゼリー調理科学レシピと投稿レシピとのエマルジョン濃度別食感特徴

づく集計である。ババロア, ミルクゼリーとも, エマルジョン濃度が類似した投稿レシピほど, 硬い食感が顕著に出現することがわかる。また, ババロアは, ミルクゼリーに比較して, 類似した投稿レシピに弾力性(凝集が大きい)の語彙が顕著に出現する。

図 3 にもとづき, 投稿レシピ毎に, 硬さの語彙頻度をプラス, 柔らかさの語彙頻度をマイナスし, $-1 \sim 1$ の範囲にスケールリングしたものを硬さの軸, 凝集も同様に, 凝集, 弾力性の語彙頻度をスケールリングしたものを凝集の軸としてプロットした結果を図 4 に示す。赤色が濃いプロットほどエマルジョン濃度が類似した (KL 情報量が小さい) レシピである。

エマルジョン濃度がババロア, ミルクゼリーに類似する投稿レシピほど硬い領域に集中し, かつ, ババロアに類似する投稿レシピのほうが凝集が大きい領域に集中している。いずれもトピック 3 自体のプロットよりも硬い領域, 凝集の大きい領域に位置する。これら結果は, 上述したババロア, ミルクゼリーおよびレシピ 3 の物性特徴 (表 1) との一致性を示している。

5. 結論

本研究では, 大量の投稿ゲルレシピから獲得した食感情報トピックと, 調理科学レシピの食感物性との対応関係の分析を試みた。その結果, 食感表現語彙と, 食感物性には以下のような一致性があることが確認された。

- トピックの食感表現語彙と対応する食感物性は, 凝固剤の濃度に応じて特徴が一致する。
- エマルジョンを混合した調理科学レシピと類似する投稿レ

シピとは, 食感物性と食感語彙の特徴に一致性がある。

以上の結果は, 提案手法により, レシピの材料濃度から食感をトピックとして予測できることを示唆している。より多くのレシピサンプルを用いて提案手法の汎用性を確認することが今後の課題である。

参考文献

- [1] A.S.Szczesniak, and D.H.Kleyn, "Consumer Awareness of Texture and Other Food Attributes," Food Technology, Vol.17, pp.74-77,1963.
- [2] T.Farjamia, and A.Madadlou, "An overview on preparation of emulsion-filled gels and emulsion particulate gels," Trends in Food Science & Technology, Vol.86, pp.85-94,2019.
- [3] 川端 晶子, 澤山 茂, "低メトキシルペクチンを用いたババロアのテクスチャーについて," 栄養と食糧, Vol.27, pp.55-63,1974.
- [4] 茂木 美智子, "ゼリー食品のテクスチャーについて," 調理科学, Vol.1, pp.28-35,1975.
- [5] D.Mimno, H.M.Wallach, J.Naradowsky, D.A.Smith, and A.McCallum, "Polylingual topic models," EMNLP '09, Vol.2, pp.880-889,2009.
- [6] 鈴野 弘子, 澤山 茂, 川端 晶子, "愛玉子ゲルのテクスチャープロフィール," 日本家政学会誌, Vol.43, pp.525-531,1992.
- [7] F.Kawamura, and S.Takayanagi, "Properties of Gelatin Gel and Sol Mixed with Whipped Cream," Science of cookery, Vol.13, pp. 284-288,1980.
- [8] 大村 公仁子, 赤羽 ひろ, 中浜 信子, "寒天ゲルの破断特性について," 家政学会誌, Vol.29, pp.22-27,1978.
- [9] 栗本 公恵, 森高 初恵, 藤井 恵子, 大越 ひろ, 中濱 信子, "κ-カラギーナン-ゼラチン混合ゲルの熱および力学特性," 日本家政学会誌, Vol.48, pp.885-892,1997.
- [10] 河村 フジ子, 中島 茂代, 幸野 礼子, "エマルジョン混合ゼラチンゾルとゲルの特性について," 家政学会誌, Vol.29, pp.356-361,1978.
- [11] 村山 篤子, "カラギーナンゼリー," 調理科学, Vol.25, pp.353-359,1992.