

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00797

研究課題名(和文)食塊の粒度分布を用いた摂食能力の定量化

研究課題名(英文)Quantification for food mastication and swallowing using by fragment-size distribution

研究代表者

小林 奈央樹 (KOBAYASHI, Naoki)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号：30453674

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、固形食品の咀嚼過程で形成される食片の集合体である食塊に着目し、その構成要素である咀嚼食片の粒度特性を再現するモデルを用いて、個人の摂食能力の定量化に関する基礎研究である。

本研究期間にわたり、特に以下の研究を行った。1) 任意の統計分布にしたがうランダムな半径を持つ食塊粒子群を生成し、それに基づいて擬似的な食塊を形成する数理モデルを提案した。2) 1)のモデルを用いて、特に正規分布にしたがう食片群からなる食塊を形成し、それらの空間充填率を計算し、食塊物性との関連を検討した。これらの成果については論文や学会発表として社会に還元されている。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focus on the food bolus which is aggregation of food particles generated by the chewing process of solid foods, and using a model that reproduces the particle size characteristics of food particles which are its constituent elements. Over the period of this study, the results are following:1) A mathematical model is proposed to generate the food bolus with the random-size particles according to arbitrary statistical distribution. 2) Using the model of 1), the food bolus consisting of particles according to Gaussian distribution are formed, the packing fraction is calculated and the relation with the physical properties of the bolus is examined.

研究分野：食品物理学

キーワード：咀嚼と嚥下 粒度分布 数理モデル

1. 研究開始当初の背景

咀嚼および嚥下過程とは、食品を認知し、口腔内へ取り込んでから食塊を形成し、嚥下されるまでに起こる全ての過程として定義される。この中で食塊は、歯によって破壊された食片群と口腔内で分泌される唾液等の凝集物であり、この形成ダイナミクスを理解し、さらに食塊そのものの物性を研究することはヒトの摂食機能の理解に欠かすことができない。食品物性については、食品レオロジーという一大分野が形成されており活発に研究が行われているが、口腔内に取り込まれてからの動態について直接観察が難しいこともあり、基礎的な理解が得られているとは言いがたい状況であった。しかし 1990 年代になって、日本の研究者を中心に直接観察・ダイナミクスの実験的な研究が活発に行われるようになった。さらに、1997 年に Prinz - Lucas によって咀嚼・嚥下過程への数理モデルによるアプローチが行われたことにより、咀嚼・嚥下過程のダイナミクス研究が大変盛んに行われるようになってきている。先行研究で提案者らは、咀嚼による破碎食片の粒度分布からそのダイナミクスを実験および数理モデルより解析した。これらの研究では、堅いが砕けやすい食品の典型例として生ニンジン、ゲル状食品の典型例として魚肉ソーセージを試料として、被験者に指定回数咀嚼させた後に口腔内から食片を回収し、その粒度分布を画像処理によって解析した。この研究の結果、咀嚼回数や個人にほぼ依らず咀嚼された食片の粒度分布は、生ニンジンでは対数正規分布によって評価できることが分かった。一方魚肉ソーセージは、小さい大部分の食片群が対数正規分布で評価されるのに対し、大きい食片群では指数的に減衰することが分かった。これは対数正規分布と正規分布の混合分布として粒度分布が与えられることを示している。食品物性により咀嚼過程が影響を受け、粒度分布が変化することがこれらの成果から示唆されるが、これら粒度分布が食塊形成にどのように影響があるのか、定量的に調べた例は提案者らの研究発表の時点ではほとんど見られなかった。そこで提案者らは食片粒度が食塊形成にどのような影響を及ぼすか調べるため、刻み食の咀嚼実験を行うことでその影響を考察した。用いた試料は、均一の大きさに刻んだ寒天ゲルとミートグラインダーによって不均一に刻まれた寒天ゲルである。それらについて、咀嚼実験、機器測定、官能評価を用いて食塊物性を多角的に評価した。その結果、不均一に刻まれたゲルが最も嚥下しやすいのに対し、等しい大きさに切った刻み食は嚥下しにくいことが分かった。さらにこの不均一に刻まれたゲルの粒度分布を解析すると、上で与えられたような対数正規分布と正規分布の混合分布で与えられることが確認された。これら一連の実験で(多角的な視点から考えて)

嚥下しやすいと評価された食片群はほとんどこの混合分布になっていることも確認された。対数正規分布および混合分布は大まかにいえば、食片サイズが小さいものがほとんどである一方で、少なからず大きいサイズの食片が存在しているという意味で不均一性を有している。経験的にサイズに不均一性があると嚥下しにくいと考えられるが、この研究の結果、むしろ不均一性により嚥下しやすくなるということが分かった。

2. 研究の目的

本研究では摂食過程で重要な役割を果たす食塊に着目し、その構成要素である食片の粒度分布を再現するモデルを用いて、咀嚼・嚥下過程の定量化を目指す。

3. 研究の方法

上で述べた食塊物性との関連を踏まえた摂食能力の定量化に向け、平成 27 年度から平成 29 年度まで 3 年間の研究計画を以下に作成した。摂食能力の定量化に重要な役割を果たす咀嚼・嚥下過程はこれまで第一原理となる理論や方法論が存在しないため、これまでに得られた知見等を踏まえて、それぞれをフィードバックさせつつ、現象論による基礎的な理解から摂食能力評価といった応用的な研究を目指す。分野を超えた様々な研究との比較検討を研究計画に含めることで、本研究が本質的に有している学際研究としての側面も強調する。

平成 27 年度:

(1) 食片生成モデルによる咀嚼・嚥下能力の評価法の検討

Prinz-Lucas のモデルでも仮定しているように、固体状食品から形成される食塊はおおよそ球形状になると推測される。そこで本研究では、先行研究等で与えられている統計分布から食片を生成し、それらを任意半径の円(包含円)内にランダムに、かつ重ならないように配置することで擬似的に食塊を再構成する。この再構成された食塊に対して、包含円とそれら食片が占める面積比を計算することで、擬似的な食塊の空間充填率を求めることができる。先行研究によって得られた食塊の凝集性と食片粒度分布の関係を基に、様々に変化させた食片粒度分布と擬似的食塊の充填率との相関や、食片数や分布のパラメータと充填率との関係を考察することで、普遍的な法則として食塊物性と充填率との関係の解明を目指す。

平成 28 年度以降:

(1) 個人の食片データを用いた咀嚼・嚥下能力の定量化

提案者らの先行研究によって得られた実際の食片粒度データを用いて空間充填率を

シミュレーションにより得ることで、前年度数値的に検討してきた食塊物性と空間充填率との関係について、実データの解析結果を用いて比較検討する。また実データに関しては、その他の実験(レオメータによる力学測定、直接観察による速度スペクトルの評価、官能評価)による結果が得られるため、それらと比較することでより総合的な食塊物性と空間充填率の評価が可能になる。

(2) 被験者属性と咀嚼・嚥下能力との関係性の理解

(1) で述べられた研究は、主に 20-30 歳の健康な歯を有している被験者を対象に行われるものである。摂食能力の定量化の指標が最も影響を受けると考えられる被験者属性としては、義歯や歯の欠損などの状態の歯を有している人や高齢者が挙げられる。そこで上記被験者を対象に行われた先行研究を調査し、食片の粒度分布を仮定することで、数理モデルで充填率をシミュレーションすることにより、咀嚼・嚥下能力への被験者属性の影響の評価を目指す。その結果と健康な歯を有している被験者との研究結果を比較検討することで、個人の咀嚼・嚥下能力の指標となり得るかどうか議論を行いたい。

4. 研究成果

以下に助成期間に得られた研究成果を述べる。

(1) ランダムな食片サイズを持つ食塊形成モデルの提案

腫瘍やがん細胞の成長モデルとして古くから知られているイーデンモデルをもとに、任意のランダムな粒子径分布にしたがう食塊モデルを提案した (図 1)。

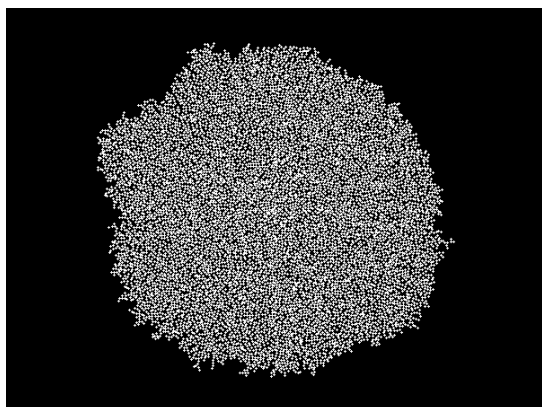


図 1 イーデンモデルをもとにした擬似的食塊。粒子径分布として正規分布を仮定している。

(2) 食塊形成モデルの充填率の計算

(1) のモデルについて、バックグラウンドの格子系を仮定せず (off-lattice 系)、粒子径分布として正規分布を採用したとき、クラスター内がどれだけ構成粒子によって充填されているか、充填率を計算することによって数値的に計算をおこなった。その結果、モデルによって作られた擬似的食塊クラスターの空間充填率は標準偏差を無次元化したパラメータの関数として表現でき (図 2)、粒子数を無限にした漸近解析を行うことで、その充填率が 0.703 の値をとることが分かった。この結果はイーデンモデルの先行研究の結果とコンシステントである (図 3)。簡単な拡張として、粒度分布を、自然科学や社会科学など複雑系とよばれる系で頻繁に現れる対数正規分布として充填率を計算することができる。これは現在研究が進行中である。

これらの成果については、論文 2 報および各種学会発表で社会に公表されている。

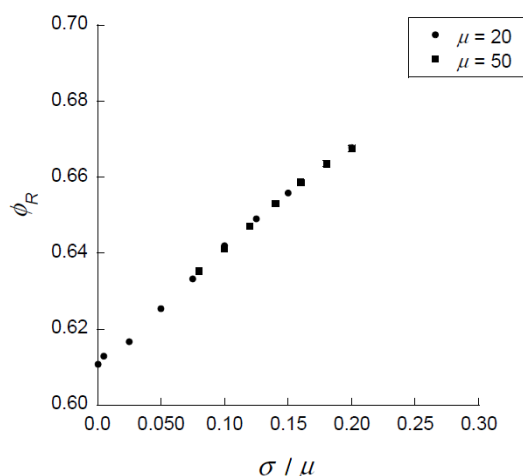


図 2 モデルの充填率は無次元標準偏差の関数として表現できる。

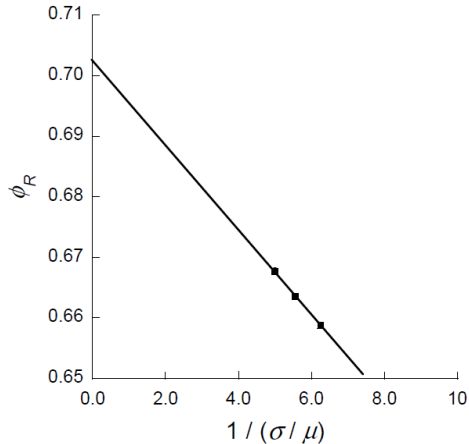


図3 図2の結果から充填率の漸近値を計算. 物理学での先行研究とコンシステントな結果が得られた.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2件)

Naoki Kobayashi and Hiroshi Yamazaki, "Packing Fraction of a Two-dimensional Eden Model with Random-Sized Particles", Journal of the Physical Society of Japan **87** (2017) 014005/1-6, <https://doi.org/10.7566/JPSJ.87.014005>

小林奈央樹, 山崎紘史, "2次元ランダムサイズイーデンモデルの充填率", 日本大学生産工学部研究報告 A **50** (2017) 1-7.

〔学会発表〕(計 3件)

Naoki Kobayashi, "Physical Property of Food Bolus Produced by Human Mastication", The 7th Asian Particle Technology Symposium, 2017年8月, Taoyuan, Taiwan

小林奈央樹, "健康長寿社会における食欲の維持・増進をめざした摂食過程の研究 - 複雑系物理の視点から -", 日本大学生物資源科学部学術助成研究費大型研究プロジェクト・先端食機能研究センター共催 平成28年度 公開シンポジウム "食機能としての「食欲」を考える", 2016年12月, 日本大学(神奈川県藤沢市) 招待講演

小林奈央樹, 山崎紘史, "Eden model を用いた食塊物性評価", 第49回日本大学生産工学部学術講演会, 2016年12月, 日本大学(千葉県習志野市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 奈央樹 (KOBAYASHI, Naoki)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号: 30453674