

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750030

研究課題名(和文) 数値モデルを用いた食片の粒度分布と食塊物性との関係の解明

研究課題名(英文) On the relation between food fragment distribution and bolus rheology

研究代表者

小林 奈央樹 (KOBAYASHI, Naoki)

日本大学・生産工学部・助教

研究者番号：30453674

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：食品の物性や調理法などが食塊形成にどのように影響を与えるのか、摂食過程の解析を行い、以下の様な結果を得ることができた。

1) 粒度解析その他の方法を用いて、ゲル状食品の食塊形成に関して、平均咀嚼片サイズと咀嚼回数との関係を実験的に明らかにした。2) 食塊の凝集性を評価する際の指標として、食塊の空隙率に着目し、それを評価する数値モデルとして、空間充填モデルを構築した。食片がしたがう統計分布を変化させて、食塊を構成する数値シミュレーションを行うことで、空隙率と特に食塊の凝集性に関する知見を得られた。

研究成果の概要(英文)： This study investigates experimentally and numerically how the food bolus formation is affected by food rheology, cookery and so on.

1) We clarify the correlation between the mean size of gel pieces and the number of chewing cycles examined by the mastication experiments. 2) In order to measure the cohesiveness of food bolus, we propose a random packing model for the food bolus formation. The model produces a fragment with randomly choosing radius according to a particle size distribution. To simulate this model, the relation between the porosity and cohesiveness of food bolus was obtained.

研究分野：食品物理学

キーワード：咀嚼・嚥下 数値モデル

1. 研究開始当初の背景

固体状食品の摂食過程は、捕食 口腔の前方から奥歯への移送 嚥下可能な形態(すなわち食塊)の形成 嚥下、という段階を経る。この中で食塊形成は、食品を嚥下可能状態にする過程であり、この間のダイナミクスを理解し、さらに食塊そのものの物性を調べることはヒトの嚥下機能の理解に欠かすことができない。食品の物性については、食品レオロジーという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は、その複雑さとともに直接観察が困難であることもあり、基礎的な理解が得られているとは言い難い状況だった。

しかし1990年代になって、日本の研究者を中心とした videofluorography、超音波パルスドップラー法、多点シートセンサ等の食品科学への応用によって、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現象論的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いよいよ盛んになってきている。

先行研究で提案者らは、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たのに対し、大きい食片群では指数分布で評価できることが分かった。つまり、食品物性により咀嚼過程が影響を受け、粒度分布が変化したことが示唆されるが、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ほとんどない。

上で挙げた研究の他に提案者らは刻み食に関しての先行研究を行っている。用いた試料は、均一の大きさに刻んだ寒天ゲル2種類(3.5mm および 15 mm 角に刻んだ)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、官能評価を用いて多角的に研究を行った。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。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。また均一な刻み食の中でも、15mm 角よりも大きさの小さい

3.5mm 角の刻み食の大きさが嚥下しにくいというパラドクシカルな結果も得られた

2. 研究の目的

本研究では嚥下過程で重要な役割を果たす食塊に着目し、ヒトの嚥下特性が咀嚼される食品の物性および咀嚼された後にできる食片の粒度分布とどのように相関があるのかを数理モデルにより解明することを目的とする。また提案者の方法を個人の咀嚼・嚥下能力の定量的評価に応用することで、その妥当性を多角的に検討することも目的とする

3. 研究の方法

上で述べた食塊の力学特性の理解のために、研究計画を以下のように作成した。食塊形成に重要な役割を果たす咀嚼・嚥下過程はいまだ第一原理となる理論や方法論が存在しないため、先行研究や今後の研究によって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ながら、現象論形成を目指す。その現象論を多角的に検証することにより、食塊形成およびその力学特性の基礎研究から、最終的には個人の咀嚼・嚥下能力の定量的評価といった応用研究への提案を行うこととした。

平成 25 年度:

(1) 食塊形成の数理モデルの構築と計算機シミュレーション

Prinz-Lucas のモデル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球に似た形状になると推測される。そこで本研究では、腫瘍の成長モデルであるイーデンモデルを食塊形成モデルの出発点とし、構成する粒子を食片と見なす。その食片の粒度分布を先行研究で与えられている確率分布を満たすように生成すると仮定して、イーデンモデルを、咀嚼により破壊された食片が口腔と舌との運動により唾液等と混ざることによって形成される食塊の数理モデルとして再構成する。咀嚼される食品の物性および被験者特性はこの粒度分布の中に含まれるものとする。次にこの構成された数理モデルに対して、食片粒度分布を変化させてシミュレーションし、それにより得られる食塊の力学特性等の変化を考察することで、数值的に粒度分布と食塊特性との関係の解明を目指す。

平成 26 年度:

(1) 数理モデルを用いた食片粒度データによる食塊形成とその解析

先行研究の実験によって得られた実際の食片粒度データを用いて数理モデルをシミュレーションし、食塊を生成することで、前

年度数値的に解析してきた食塊解析と実データの解析結果とを比較する。両者を検討することで、実データにおいても粒度分布と食塊特性との関係の解明を目指す。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特性の評価が可能になる。

(2) 個人の食片データを用いた咀嚼・嚥下能力の定量化

上で述べた数理モデルを個人の食片粒度データに応用し、そこから形成される食塊の特性を調べることは、その個人の咀嚼・嚥下能力の定量的な指標の一つになるのではないかと予想される。そこで何人かの被験者を募集して、実際に咀嚼実験を行いデータを取得し、数理モデルでシミュレーションすることにより、咀嚼・嚥下能力の定量化を目指す。その結果と被験者特性および官能評価等の主観的解析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。咀嚼実験に関しては共同研究者である森高初恵氏(昭和女子大)のグループの協力を得て、提案者が実験を立案・実行する予定である。

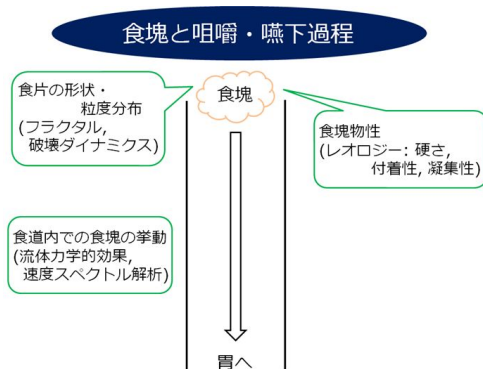


図1 研究イメージ

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) ゲル状食品の食塊形成

ゲル状食品の食塊形成に関して、平均咀嚼片サイズと咀嚼回数との関係を実験的に明らかにした。ゲルは15mmおよび3.5mm角に調理されたものを用いた。その結果、15mm角に調理されたゲルが、一定回数の咀嚼後は3.5mm角に調理されたゲルよりも食塊の凝集性が高いと評価された。小さく均一に調理された方が一見まとまりやすいと考えられるが、それとはパラドクシカルな結果が

得られた。本成果については、共同研究者らと共著で日本食品科学工学会誌に論文として掲載されている。

(2) 食塊形成およびその物性を再現するモデル化

食塊の凝集性を評価する際の指標として、食塊の空隙率に着目し、それを評価する数理モデルとして、よく知られている空間充填モデルを構築した。具体的には、疑似食塊を構成する食片群のサイズが実験的に与えられた統計分布にしたがうとして、それを用いてランダムサイズの食片を生成し、それらのある定められた空間内に、一定の方法で充填することで食塊を再構成した。食片がしたがう統計分布を変化させて、食塊を構成する数値シミュレーションを行うことで、空隙率と特に食塊の凝集性に関する知見を得られた。これらの成果の一部は、共同研究者らとの研究集会で発表され、さらに現在論文として準備中である。

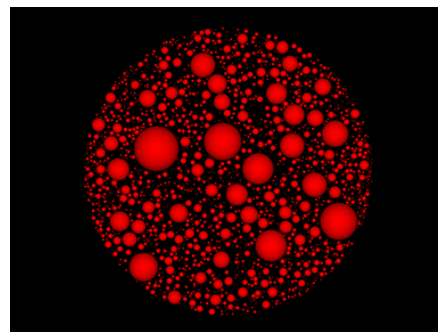


図2 ランダムな食片群から構成された疑似食塊

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1件)

(1) 北出晶美, 小林奈央樹, 森高初恵, "寒天ゲルの咀嚼回数と食片サイズの関係", 日本食品科学工学会誌, 査読有 60 (2013) 554-562.

〔学会発表〕(計2件)

(1) 小林奈央樹, "食の安全と食品物理学", 第47回日本大学生産工学部学術講演会オーガナイズドセッション, 2014年12月6日, 日本大学(千葉県習志野市)

(2) 小林奈央樹, 森高初恵, "咀嚼・嚥下現象の物理学的研究", 第46回日本大学生産

工学部学術講演会，2013年12月5日，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・助教

研究者番号：30453674