

Eden model を用いた食塊物性評価

日大生産工 ○小林奈央樹, 山崎紘史

1. 摂食過程の科学

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[1]。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[2]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[3], 超音波パルスドップラー法[4], 多点シートセンサ[5]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[6]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[7]。

本講演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の関係について議論を行いたい。

2. 食塊モデルとしてのEdenモデル

ヒトは固形食品を摂食する際には、口腔と舌の運動によって、咀嚼された食片を集め、食塊を形成して嚥下を行う。誤嚥リスクを考えると、この食塊がバラバラにならないような安全な調理法や食べ方について議論をすることは大変重要である。先行研究において我々は食片粒度が食塊形成にどのような影響を与えるか調べるため、きざみ食の咀嚼実験を行い、等しい

大きさに切った食品よりも不均一にきざまれた食品が嚥下しやすいことが分かった[8]。この結果は、咀嚼食片の粒度分布が食塊物性に大きく影響を与えていることを示唆している。

このような食塊物性を調べるために、我々は腫瘍や癌での細胞増殖をモデル化したものである、Edenモデル[9]を用いて、食塊形成のモデルを作成した。Edenモデルの発展規則は単純で、クラスターの周囲に隣接するサイトをランダムに選んでクラスターに取り込み成長する。これを何度も何度も繰り返すことで、図1のような、界面が荒れた特徴的なパターンを形成する。単純なモデルであるが、自然に現れる

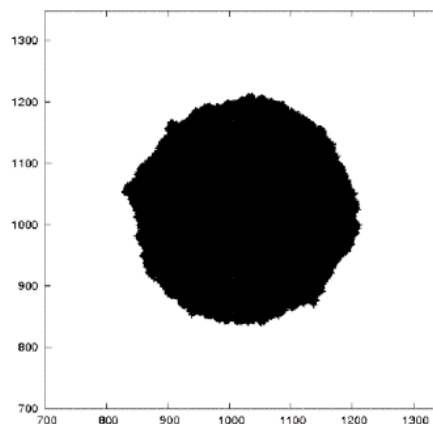


図1 正方格子上的点粒子から成長させたEdenクラスター。

ランダムパターンのフラクタル物理や非平衡統計物理学との関連でさまざまな場面で登場する重要な確率モデルである[10]。口腔内における食塊形成を第0近似すれば、唾液等によってぬれた咀嚼食片同士が衝突・凝集していく過程として見なすことができ、その過程をEdenモデルをベースに再現することは適当であると我々は考えている。

本研究では、より現実の食塊へ近づけるために、クラスターに凝集させる粒子の大きさをある確率分布にしたがってランダムに生成する。

Physical properties of food bolus using random size and off-lattice Eden model

Naoki KOBAYASHI, Hiroshi YAMAZAKI

それにより生成した粒子をもととの Eden モデルの発展規則によって、正方格子など決まった格子を持たない off-lattice の条件で結合させてクラスターの成長を行っている。たとえば適当なパラメータの Gauss 分布をもとに作成されたランダム Eden クラスターを図2に示す。

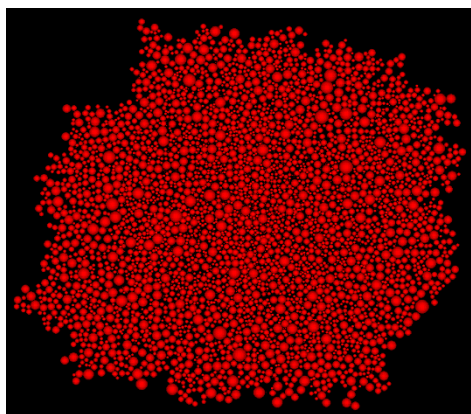


図 2 ランダムサイズ Eden クラスター (粒子数 5000, 平均値 1, 分散 1 の Gauss 分布にしたがって粒子サイズを生成. 粒子はもっとも単純な円形であるとした)

Eden クラスターは自己アフィン・フラクタルである[10]. これらのクラスターの性質を表す特性量はいくつか知られているが, ここでは Kepler 予想に代表される空間充填問題で扱われる充填率を計算する[11]. 充填率 ϕ とは図3に示した $d_{\max}$ を半径とした円の面積 $A_{\max}$ を用いて

$$\phi = \frac{\sum_{j=1}^N A_j}{A_{\max}}$$

で与えられる. ここで N は生成した粒子総数, A_j はそれぞれ生成した粒子の面積を表す. た

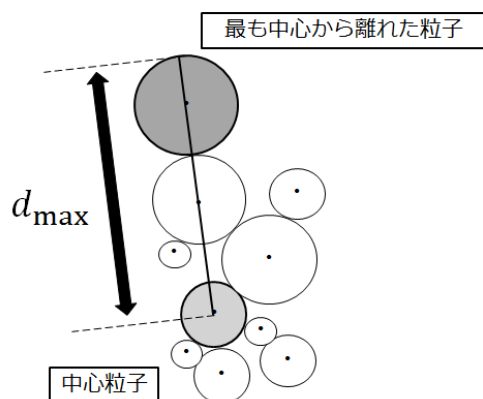


図 3 充填率の求め方

たとえば図2のクラスターの充填率は 0.52 である。

講演では確率分布やそのパラメータを変化させたときの充填率と, 先行研究で得られた実験結果を比較することで, 食塊物性に関してこのモデルを用いる妥当性について議論を行いたい。

参考文献

- [1] K. Hiemae, J. Texture Stud. **35** (2004) 171.
- [2] 西成勝好, 日本レオロジー学会誌 **31** (2003) 41.
- [3] E. Arai and E. Yamada, Jpn. J. Oral Biol. **35** (1993) 312.
- [4] 中沢文子, 大野真由子, 盛田明子, 高橋淳子, 家政誌 **51** (2000) 1067.
- [5] 神山かおる, 日本食品科学工学会誌, **47** (2000) 341.
- [6] J. F. Prinz and P. W. Lucas, Proc. R. Soc. Lond. B **264** (1997) 1715.
- [7] T. Funami, Food Hydrocolloids **25** (2011) 1904.
- [8] 北出晶美, 小林奈央樹, 森高初恵, 日本食品科学工学会誌 **60** (2013) 554.
- [9] M. Eden, in *Proc. 4th Berkeley Symp. Mathematical Statistics and Probability* **4** (University of California Press, Berkeley, 1961) 223.
- [10] 本田勝也, 「フラクタル」(朝倉書店, 2002); 松下貢, 「フラクタルの物理 (I)」(裳華房, 2002).
- [11] J. Conway and N.A.Sloane, *Sphere Packings, Lattices and Groups* (Springer, 1999)