

日本バイオレオロジー学会誌 (B & R, 電子版) 第32巻 第1号, 2018年4月12日発行 (年3回発行)

Journal of Japanese Society of Biorheology

ONLINE ISSN: 2186-5663

BR



日本バイオレオロジー学会

<http://www.biorheology.jp>

日バイレオ誌 (B & R, 電子版) 第32巻 第1号

J. Jpn. Soc. Biorheol. 32(1) (2018)

日本バイオレオロジー学会誌 (B & R, 電子版)
第32巻, 第1号, 2018

目次

παντα ρει

Journal of Biorheology Editor-in-chief 就任にあたって ・・・・・・・・・・金田 勇・・・・・・・・・・	1 (1)
--	-------

総説

食のバイオレオロジー - 40年の変遷と課題- ・・・・・・・・・・西成 勝好, 方 亚鹏・・・・・・・・・・	2 (2)
シカ肉の加工・調理とレオロジー ・・・・・・・・・・吉村 美紀・・・・・・・・・・	22 (22)

研究室紹介

東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター ・・・・・・・・・・喜多 理王・・・・・・・・・・	30 (30)
--	---------

学会参加記

第28回食品ハイドロコロイドシンポジウムと食品ハイドロコロイドセミナー2017 ・・・・・・・・・・松川 真吾・・・・・・・・・・	32 (32)
ISMCS2017に参加して ・・・・・・・・・・迫田 大輔・・・・・・・・・・	33 (33)
日本機械学会 第30回バイオエンジニアリング講演会 ・・・・・・・・・・坂元 尚哉・・・・・・・・・・	34 (34)

会告・行事案内

第41回日本バイオレオロジー学会年会のご案内	
第33回バイオレオロジー・リサーチ・フォーラムのご案内	
協賛学会などの予定	
(岡小天基金寄付金納付者)	
(新入会員)	
(学会入会申込書)	
(学会誌投稿規定)	
(学会誌投稿票)	
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	35 (35)

Journal of Biorheology Editor-in-chief 就任にあたって

金田 勇*

この度、英文誌 Journal of Biorheology の Editor-in-Chief に就任することになりました。歴代 Editor-in-Chief のご尽力を思い起こしますと、その重責に身が引き締まる思いと同時に、より発展させなければならない大きな使命感を感じております。日本バイオレオロジー学会は 1977 年に創立され 1987 年に学会誌 B&R が刊行され、2009 年に学会誌は英文誌 Journal of Biorheology (JBR) と和文誌 B&R として新たなスタートを切りました。両学会誌は日本バイオレオロジー学会の両翼として学会の発展に大きく寄与してまいりました。

本誌 JBR は日本バイオレオロジー学会がカバーする広範な学問分野に対応した学際的な学術雑誌です。具体的には「血管障害と流体力学」、「循環器系ダイナミクスと疾患」、「血液レオロジーと微小循環」、「細胞・分子のメカノバイオロジー」、「ティッシュエンジニアリング・人工臓器」、「生体物質の構造形成と機能発現・制御」、「食品およびソフトマターのレオロジー」を重点領域としてこれらの分野の論文を収載しております。近年の学問体系の深化・複雑化はまさに境界領域の多様性に依ります。本誌がバイオレオロジーを中心とする幅広い学問分野を受け入れ、実り多き議論ができる魅力的なプラットフォームとしますます発展していくよう尽力する所存です。

JBR をバイオレオロジー学会会員の先生方にとって「使い勝手の良いジャーナル」、例えば学位申請への活用や日本バイオレオロジー学会論文賞への応募を見据えた投稿など、研究成果の発信にご活用いただけるように工夫を重ねてゆきたいと考えております。そこで、当面の目標として以下の 2 点に集中して編集業務を進めてゆきたいと考えております。

1) 年 2 号（6 月および 12 月）の定期的な発刊：現在 JBR は J-STAGE で公開されるオープンアクセスの電子ジャーナルとなっており、編集上は大きなフレキシビリティがあります。そこで投稿論文数にかかわらず必ず 6 月および 12 月に発刊します。これにより投稿論文の公開時期が予測可能になります。

2) 査読プロセスの迅速化：査読期間の不適切なケースを真摯に反省して問題を解決してゆきます。JBR は Editorial Manager® (EM) を利用して編集業務を行っておりますが、Associate Editor を担っている先生方に EM の操作法を再度ご案内し、また適度なタイミングでの reminder の発信などの手を打っていきます。3 週間程度の 1 回の原稿改訂であれば査読者の査読 3 週間×2 回を含めて投稿から採択まで 3 か月以内としてゆきたいと考えております。投稿される先生方への tip としては査読候補者を具体的に挙げていただくと査読プロセスがスムーズに進行する傾向にあることを申し添えておきます。また現在はオープンアクセスになっておりますので、被引用数が大きく伸びるという期待もできます。

本ジャーナルの国際誌として認知度は年々高くなってまいりましたが、Impact Factor (IF) の取得は本ジャーナルの地位をさらに向上させるためには必須の課題です。そのためには、投稿論文数の増加、審査体制の充実が求められます。上の 1) で述べた JBR の定期的発行により IF 取得への最低条件をクリアできることとなります。今後とも、本ジャーナルの発展のために皆様の積極的なご投稿ならびに審査へのご協力を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

(JBR への投稿は次の web site へアクセスして下さい：<http://www.biorheology.jp/jb.html>)

*酪農学園大学 [〒069-8501 北海道江別市文京台緑町 582]

食のバイオレオロジー -40年の変遷と課題-

西成 勝好*, 方 亚鹏*

Biorheology of Food, Eating and Related Area -An Overview

Katsuyoshi NISHINARI* and Yapeng FANG*

*湖北工業大学軽工学部食品薬品工業学科 [湖北省武汉市洪山区李家墩 1-1]

*Glyn O. Phillips Hydrocolloids Research Centre, Department of Food and Pharmaceutical Engineering
School of Light Industry, Hubei University of Technology, Wuchang, Wuhan 430068 P.R. China

In commemorating the 40th anniversary of Japanese Society of Biorheology, studies on food texture, oral processing, and the relation between microstructure and macroscopic properties of biomacromolecules are overviewed. To contribute some problems in the aged society where the number of persons with the difficulty in mastication and deglutition is increasing, preparation of test solutions to judge the risk of aspiration, evaluation of rheological properties of gels by artificial tongue and related problems are discussed. The studies on the relation between the structure and rheological properties are also reviewed taking an example of the rheological modification by alginate short chains, lactobacillus microencapsulation by alginate, structural rearrangement in gels of gellan, pectin and milk proteins. Relation between structure and properties of β -lactoglobulin, hyaluronan, schizophyllan, dietary fibre, and microrheology of mucin, gellan, agarose, methylcellulose and xanthan have been described. Research agendas which should be studied further, the relation between the instrumental measurement and sensory evaluation, collaboration among different disciplines are proposed.

Key Words: food, oral processing, structure-property relation, proteins, polysaccharides

1. 緒言

40年前, 日本バイオレオロジー学会が岡, 深田らにより創立された頃は, 食品関連研究者は非常に少なかった. 日本の食品レオロジーの魁とも言えるバターのレオロジーに関する論文が1960年に出ている¹⁾. バターはおよそ80%の脂肪と16%の水からなるが, 水分を均一に分散させ, 適当な柔らかさで伸びやすくするために, ローラーにより練圧するが, その過程で脂肪結晶が破壊され, 粘度が減少する. 深田ら¹⁾は練圧過程中的動的粘弾

性及び脂肪の結晶化度測定を行い, 練圧の反復により粘度, 降伏値の減少を認めている. 脂肪結晶が残る限り降伏値が認められた. さらに, 練圧後のバターをセッティングすると粘度および降伏値が元の値に回復し, 同時に脂肪の結晶化度も進行することを報告している. これらのチクソトロピー現象はAvrami理論により説明された^{2, 3)}. しかし, このような定量的な研究は少なく, 日本における食品レオロジーでは, テクスチュロメータあるいはその類似の装置が広く用いられていた. これは

咀嚼の模擬試験であり、平板により食品を二度繰り返して圧縮して得られる力-時間曲線を解析するものであった。横軸が時間でなく距離であれば、物理的な意味としては仕事になるのだがと不思議に思った。日本における食品関係のレオロジーの歴史については、松本の総説⁴⁾が詳しい。

レオロジーを勉強し始めたばかりの筆者には、破壊を伴う大変形の問題は難しすぎると思い、先ず微小変形領域でのゲルの振動解析を始めることとした^{5,6)}。豆乳の凝固過程なども動的粘弾性測定により解析できるので、豆腐の製造工程理解に役立つと思われた。大豆タンパク質の専門家と協力して国産大豆について豆腐製造に適する品種を選別するため、サブユニット組成の異なる大豆たんぱく質溶液のゲル化過程を調べた⁷⁻⁹⁾。微小変形粘弾性測定の利点は微小変形の範囲内では、再現性の良い値も得やすく、他の試料との比較などもしやすい。特に動的測定法は測定時間が短く、経時変化の著しい食品でも測定することができる。あるいはまた、経時変化そのものを測定することができる。さらに、破壊測定では分離して測定するのが困難な弾性と粘性を同時に分離して測定できる利点があった。

こんにゃく、寒天、豆腐のようなゲル状食品の品質評価において、レオロジー測定がなされてきたのは、(i)食品の力学的性質を調節するテクスチャ・モディファイヤとして、(ii)力学的性質がもっと複雑な他の食品のテクスチャを調べるためのモデル物質として、(iii)それ自体、デザートゼリーとして、また食品の素材として重要である、(iv)蛋白質や炭水化物、油脂など基本成分からいろいろな食品を組立てる際の参考となるからであると考えられる¹⁰⁾。

そのうち、国内でも、動的粘弾性測定による食品研究が盛んになった。食べ物の物理特性と組織構造との関係に関する研究は活発になされてきた。感覚評価との対応では物理特性だけではなく、味や香りなどの化学的特性の影響も考慮に入れる必要がある¹¹⁻¹⁴⁾。大変形・破壊・非ニュートン流動

の研究は難しくてなかなか進まないが、高齢者人口の増大に伴う咀嚼・嚥下困難者のための食事が緊急の課題となってきた。食べ物自体のレオロジーと並んで、食べる過程のレオロジーが盛んに研究されている¹⁵⁻²¹⁾。

2. 食べる過程のレオロジー

2005 年本学会誌にもこの問題について書かせていただいた¹⁵⁾。日本では 1990 年代に日本咀嚼学会が世界に先駆けて設立され、咀嚼の重要性が認められ、歯科、食品研究領域の共同研究が進み、成書なども刊行された^{20, 21)}。

2016 年には残念なことに、食品のテクスチャ研究の二人のパイオニア、Alina Szczesniak および Malcolm Bourne が亡くなられ、筆者は J. Texture Studies の追悼特集号の編集に携わることになってしまった。彼らの業績の中心は、食べ物の特性として、味や香りと並んでテクスチャが重要であることを示し、テクスチャを客観的に評価する方法としてテクスチャ・プロファイル・アナリシス (TPA) を提案したことである¹⁹⁾。その影響力は甚大で Szczesniak の論文²²⁾が米国の食品工学会 IFT の出版する J. Food Science で二番目に多く引用された論文であることからわかる²³⁾。しかし、この TPA にはいろいろな問題点が含まれており、注意しなければならないことが多い²⁴⁾。例えば、TPA の凝集性というパラメータ（連続して 2 回行う一軸圧縮試験における、最初の圧縮のエネルギーに対する二度目の圧縮に要するエネルギーの比）は食品のまとまりやすさ、力を除いた時の回復の度合いを表すと解釈されている。例えば、ゴムならこの値は 1 となり、2 回目の圧縮（咀嚼）でも 1 回目の圧縮と同じエネルギーが必要である。これでは咀嚼した甲斐がないため、ヒトはこのような食感を好まない。普通の食品では 1 回目の圧縮（咀嚼）で幾分か構造が崩壊するので、2 回目の圧縮ではエネルギーが小さくなる。このような TPA におけるパラメータである凝集性を無批判的に液体の場合にも適用すると、とんでもないこと

になる。しかもこのような測定法が厚生労働省の咀嚼・嚥下困難者食品の測定法として公示されていることは驚くべきことであり、見ないふりをするわけにもいかず警告的論文を書かざるを得なくなった²⁵⁾。また、TPAを気軽に使うのは良いのだが、非常に頻繁に見かける困ったことで、力を表示するのに、試料の大きさを書かないで表示するという、これまた信じられないようなことが横行している。例えば、一粒の豆のTPAの場合、断面積など簡単には書けないが、大きさと形、どのような試料を固定して圧縮したのか書いておくことは必要であろう。現在、筆者は世界各国の食品のテクスチャ特性についての書籍を編集集中であるが、紹介される各食品についてのデータについてもこのような不備に出くわす。実験法の節にも記載がなく、出版後にはそのようなデータの力とはどのようなものか意味がなくなることを忘れてはいけない。幸い、J. Texture Studiesの編集委員たちは筆者のこの注意事項を重要なものとして認め、投稿の際に著者らに注意することを承認したので、今後はこのような誤りがなくなることを期待したい。

咀嚼中の咀嚼筋の筋電位測定 Electromyography が使われて、食べ物の咀嚼前の物理特性とどのような関係があるか盛んに調べられている。食べ物の咀嚼速度は食べ物がかたいと速くなるのか遅くなるのか、どの程度影響を受けるのか、色々と分からないことが多い¹⁹⁾。弾性率が大きくても、小さな変形で破壊する食べ物もあるし、弾性率が小さくても、大きな変形で破壊するために破壊応力が大きい食べ物もある（例えば、4%寒天ゲルと25%ゼラチンゲルの圧縮試験で、初期勾配から求められる弾性率の大小と、破壊応力の大小関係は逆である⁶⁾）ので、食べ物が最初に歯により僅かに変形した瞬間にどのような判断をするかは一般的には言えないようである。また、弾性的か塑性的かによって違うようでもあり、試験に用いる食べ物が違うとこの挙動が違うようでもある¹⁹⁾。歯科、口腔生理学研究者は歯、舌、口蓋、唾液などの挙動に関心があり、食品研究者は食べ物の特

性の方に関心があるので、共同研究もなかなか噛み合った形で進行しているとは言えない。

2・1 誤嚥機構の解明と防止対策

咀嚼・嚥下困難者の増大に伴い、誤嚥性肺炎が死因の高位を占め、その防止が求められているが、誤嚥の機構がはっきりとわかってはいない。筆者らは医学関係者の指示を得ながら、レオロジー挙動の異なる液体の嚥下時のレントゲンビデオ観察 Videofluorography (VF) により、誤嚥の発生確率と液体の粘性との関係を調べた。嚥下時のずり速度がどの程度のものであるか、確定しにくい、広く概算値として認められている 50/s において同じ粘度を示すが、ずり流動化挙動の異なる3種の多糖類溶液（いずれも肺無毒性のヨウ素系造影剤イオパミドールを含む）の嚥下(Fig. 1)を調べた²⁶⁾。

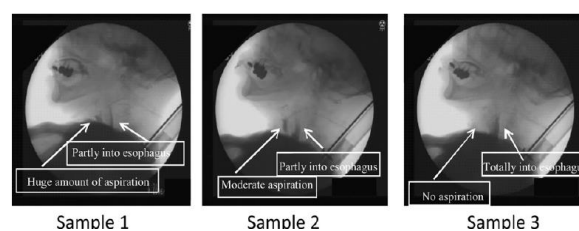


Fig. 1 VF of a patient who showed aspiration for two samples, sample 1 (high molar mass guar solution), sample 2 (low molar mass guar solution), and without aspiration for sample 3 (xanthan)²⁶⁾.

被験者の症歴は脳梗塞 13 例、脳出血 1、認知症 6、パーキンソン病 2、統合失調症 4、頸椎症 3、脳性麻痺 1、既往症なし 2 であったが、3種類の液体すべてを誤嚥することなく嚥下できた人もあれば、3種類の液体すべてを誤嚥してしまう人もいた。また、誤嚥の程度も少量から大量まで分布していた。この3種類の多糖類溶液について、解析できた32例について、誤嚥発生の確率はキサントガム (β -(1 $\rightarrow$ 4)-結合グルコース2個にマンノース2個、グルクロン酸1個の側鎖がついている多糖類で粘弾性が調味料の添加あるいは温度変化であまり変わらないので使いやすく汎用されている) 溶液では 4/32、高分子量グアーガム（直鎖状

マンノース 2 個にガラクトースが 1 個側鎖として付いており、増粘剤として広く用いられている) 溶液では 5/32, 低分子量グアーガム溶液では 7/32 であった. 低ずり速度での粘度が高くなるに従い、誤嚥の発生確率が低下すると言える. 古くから、嚥下困難者にはお茶などにとろみをつけて飲ませると良いと思われていたが、そのとろみが強すぎるとお茶を飲んだ気にならないので、患者さんに嫌われたりする. キサンタンガムのようなずり流動化の著しい液体は、低分子化したグアーガム溶液とかなり異なり、比較的飲みやすいようである.

以上の結果はまだ完全とは言えず、今後さらに調査数を増やし、過去の症例との関連性を調べるなど、課題が残っている. 嚥下時のレントゲンビデオ観察を少なくとも 2 方向から行わないと、定量性は確保できないし、一方で被爆のことを考えると、なるべく短時間で少ない線量で観察するべきであろうし、VF に代わる他の方法も改良・開発するべきであろう.

東北大学のグループ²⁷⁾が提案してきたようにカプサイシン、ミントなどの化学的刺激により、嚥下時の反射時間を短くすることもできるとすれば、流動学的方法と化学的方法とを組み合わせると有効で安全な誤嚥防止策が見つかることを期待したい. 一般的には、粘度が高くなると味などの化学的刺激は弱く感じられるので、この点を考慮して進める必要がある.

2・2 人工舌によるゲル状食品のかたさなどの評価

柔らかいゲルなどは歯を用いなくて、舌と硬口蓋との間で潰されることは知られているが、このような事態を評価するには通常使われている材料の一軸圧縮試験を修正する必要があると考えられる. Ishihara²⁸⁾は硬化剤の割合を変えて、様々なかたさのシリコンゴム系の人工舌を作成した. 圧縮試験機の台の上に人工舌（直径20mm、厚さ10mmの円盤）を固定し、その上に同じ大きさと形状の食品ゲルを置き、直列に置いた二個のゲル

をプランジャー（硬口蓋と見立てる）により圧縮する.

ヒトの舌の見かけの弾性率は弛緩状態で $1.22 \pm 0.42 \times 10^4$ Pa, 緊張状態では $12.25 \pm 5.85 \times 10^4$ Paであったので、この値と近い弾性率の人工舌を3種類作成した²⁸⁾. 弛緩状態に近いS40（見かけの弾性率 1.83×10^4 Pa）、緊張状態に近いS60（見かけの弾性率 11.30×10^4 Pa）とその中間のS50の3種類である.

Table 1 Mechanical characteristics of agar gels²⁸⁾

gel	F. strain (%)	F. force (N)	E _a (10 ⁴ Pa)
A3	57.30 ± 0.41	6.92 ± 0.46	1.47 ± 0.23
A4	58.92 ± 0.93	8.03 ± 0.84	1.75 ± 0.04
A5	59.35 ± 0.68	22.54 ± 0.33	5.35 ± 0.30
A6	59.32 ± 1.02	36.21 ± 2.21	9.79 ± 0.17

Diameter of gel, 20mm; Diameter of plunger, 100mm; F., fracture; E_a, apparent elastic modulus.

Fig. 2に寒天ゲル(直径20mm、高さ10mm) A3–A6を人工舌(a) S40, (b) S50 または (c) S60で圧縮した時の力–歪曲線を示す. Fig. 2に示されるように、最もやわらかいゲルA3はいずれの人工舌でも破壊されるが、最もかたいゲルA6は緊張状態に近い人工舌S60によっては破壊されるものの、それよりやわらかい人工舌S40, S50では破壊されない.

被験者に聞き取り調査をすると、食品がどの程度のかたさになると舌で潰すのではなくて歯を使うようになるかは、食品ゲルと人工舌の変形を感じしながら決められているらしいことが分かった. 実際の咀嚼は一軸運動でもなければ、一定の圧縮速度でもないであろうが、それをどのように考慮すべきかは今後の課題である.

咀嚼ロボットの開発も盛んで、ヒトの咀嚼運動に近い動きのロボットなどの機械は開発されているが、解析方法は確立しているとは言えない. 摂食嚥下障害の診断法の一つとして舌圧の測定も盛んに行われている. バルーン（小型風船）を口腔内に挿入して、それを舌で硬口蓋に対して最大限に押し付ける力によって測定されている. また、舌圧センサーシートを口腔内に装着して測定する

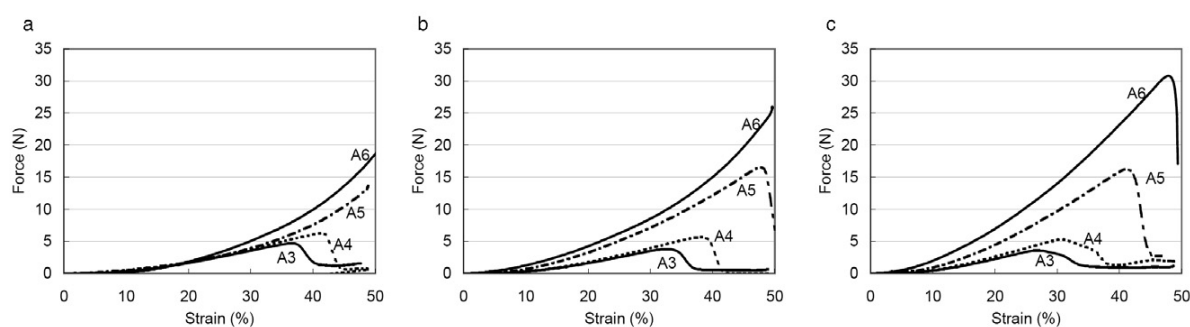


Fig. 2 Force-strain curves of agar gels on an artificial tongue at a crosshead speed of 10mm/s. Both an agar gel and an artificial tongue were molded into cylindrical shape of 20 mm in diameter and 10 mm in height. Agar gels A3–A6 were compressed on each artificial tongue (a) S40, (b) S50 or (c) S60 (Ishihara *et al.*, 2013)²⁸⁾

方法も使われている。最近、頤（おとがい）舌筋の表面筋電図，レントゲンビデオによる咽頭運動と同時に頸部に貼付した圧電フィルムからの出力電圧の測定もなされている。この圧電法により反復唾液嚥下運動が確実に検出できることが示された。本学会が設立された当時，理研の深田研究室では圧電フィルムを巻いた動物の関節の骨が成長することが認められており，深田先生が血液レオロジーや圧電関連の業績などによりイエローストーンで開催された国際バイオレオロジー学会でポアズイユメダルをご受賞されたことが思い出される。咀嚼嚥下は非常に複雑なので，今後も様々な測定法が提案されて，多角度からの観察により解明が進んでいくものと期待される^{19, 29-31)}。

3. 分子構造と物性の関係

言うまでもなく巨視的な物性は微視的な構造に規定されるので，その関係を解明したいというのはレオロジストの願望であろう。食品のモデルとしても研究されてきたゲルについてはかなりの進展が見られ，成書^{32, 33)}や膨大な知見を集めたハンドブック³⁴⁾なども刊行されている。ジェランのゲル化に関する日本国内での共同研究により，レオロジーの他にも光散乱，浸透圧，SAXS，NMR，ESR，熱測定などの手法により，構造と物性の関係について，かなりの前進が見られた³⁵⁾。

3・1 アルギン酸によるレオロジー制御

アルギン酸は人工イクラの材料などとしてお馴染みのゲル化剤であるが³⁶⁾，嚢胞性線維症（Cystic Fibrosis, CF）患者の肺で日和見菌 *Pseudomonas aeruginosa* が作り出すアルギン酸は気管内の痰を高粘性にして，絨毛の掃引では除去しきれなくなり，呼吸器の異常を引き起こすとされている³⁷⁾。CF 患者の痰の弾性率は短鎖アルギン酸の添加により劇的に減少する³⁸⁾。

このことをもう少し詳しく調べることは意味がある。よく知られているように，アルギン酸はグルロン酸とマンヌロン酸の共重合体であり，グルロン酸がカルシウムを抱え込んでエッグボックス構造を作ることによりゲル化するとされている^{32, 36)}。Liao ら³⁹⁾ はアルギン酸に長さの異なるグルロン酸ブロック GB を加えて，カルシウム濃度を変えてレオロジー特性を調べた。Fig. 3 に示すよう

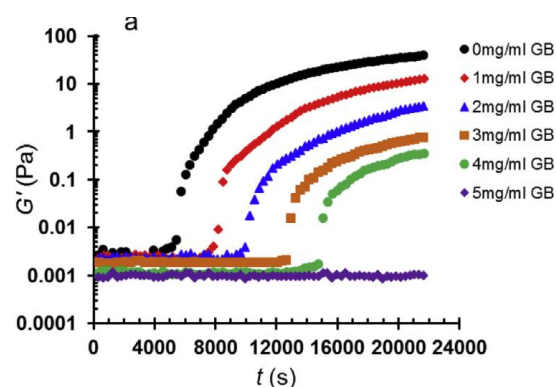


Fig. 3 Gelation profiles at [ALG]= 5 mg/mL; [Ca-EDTA]= 10.24 mM as affected by the addition of different concentrations of GB (Liao *et al.*, 2015)³⁹⁾。

に、カルシウム存在下で濃度 5 mg/mL のアルギン酸溶液に GB を添加していくと、GB 濃度の増加に伴いゲル化が阻害され、GB 濃度が 5 mg/mL に達すると全くゲル化が起こらなくなる。

ところが、カルシウム濃度を高くすると GB の添加によりゲル化が促進されることが見出された。カルシウムとグルロン酸のモル比 R (Ca/G) を変えて詳しく調べ、GB 添加によるアルギン酸分子の会合状態について、Fig. 4 に示すような機構を提案した。

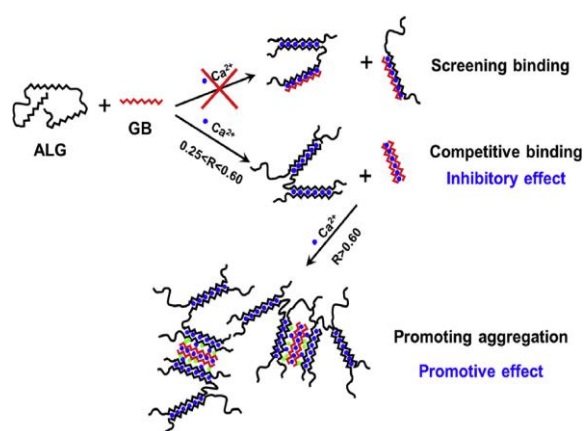


Fig. 4 Proposed mechanisms of GB modulating the gelation of ALG in the lower Ca concentration regime ($0.25 < R(\text{Ca}/\text{G}) < 0.60$) and higher Ca concentration regime ($R(\text{Ca}/\text{G}) > 0.60$). The blue dots represent Ca^{2+} and the green dots represent Na^{+} and H_2O etc. G, guluronic acid; GB, oligoguluronate³⁹⁾.

3・2 アルギン酸による乳酸菌のマイクロカプセル化

Lactobacillus（乳酸桿菌）、*Bifidobacterium*（ビフィズス菌）など乳酸菌群は腸内微生物のバランスを改善するプロバイオティクスとして体調節に重要な役割を果たしているが、胃酸に弱いためカプセルなどにより保護する試みがなされてきた⁴⁰⁾。

アルギン酸をゲル化させるカルシウムとして Ca-EDTA または CaCO_3 を用いた場合、前者の方が後者より大きさの揃ったマイクロカプセルが形成された (span factor : 0.96 および 1.20)⁴¹⁾。後者のマイクロカプセルの方が力学強度が高く、乳酸菌の模擬胃液 simulated gastric juice, SGJ および胆汁酸塩 bile salt, BS 中での生存率は 後者の方が

高かった。ここで生存率は、

$$R_{\text{SGJ}} = (N_{\text{SGJ}} / N_{0\text{-SGJ}}) \times 100\%,$$

$$R_{\text{BS}} = (N_{\text{BS}} / N_{0\text{-BS}}) \times 100\%,$$

によって算出した。ここで、 N_{SGJ} は SGJ に浸漬した後の生存細胞の数、 $N_{0\text{-SGJ}}$ は SGJ の代わりに等張塩溶液に浸漬したときの生存細胞の数、 N_{BS} は BS に浸漬した後の生存細胞の数、 $N_{0\text{-BS}}$ は BS の代わりに等張塩溶液に浸漬したときの生存細胞の数である。

Table 2 Cell survival rate R_{SGJ} in SGJ and R_{BS} in BS of alginate-Ca-EDTA and alginate- CaCO_3 microcapsules

	alginate-Ca-EDTA	alginate- CaCO_3
N_{SGJ}	$2.24 \pm 0.12 \times 10^7$	$4.29 \pm 0.27 \times 10^7$
$N_{0\text{-SGJ}}$	$3.17 \pm 0.68 \times 10^8$	$1.93 \pm 0.11 \times 10^8$
$R_{\text{SGJ}} (\%)$	7.1 ± 2.73	22.2 ± 0.18
N_{BS}	ND	$1.80 \pm 0.23 \times 10^6$
$N_{0\text{-BS}}$	$1.55 \pm 0.16 \times 10^9$	$6.90 \pm 0.88 \times 10^9$
$R_{\text{BS}} (\%)$	0	$2.60 \pm 0.13 \times 10^{-2}$

N_{SGJ} , N_{BS} : The number of viable cells in microcapsules after exposure to SGJ and BS, respectively.

$N_{0\text{-SGJ}}$, $N_{0\text{-BS}}$: The initial counts from the blank control test, using saline solution instead of SGJ and BS⁴¹⁾.

生存率は、 CaCO_3 の場合、それぞれ 22.2% および $2.6 \times 10^{-2}\%$ 、Ca-EDTA の場合、それぞれ 7.1% および 0% であった。マイクロカプセルによる乳酸菌の保護効果はマイクロカプセルの力学強度と関連していることが示唆されたが、浸透圧などの影響も調べる必要がある。

3・3 ゲルにおける構造の形成と崩壊

ゲルの弾性率の温度依存性は古来関心の的であり、寒天ゲルに関してエントロピー弾性であるか、エネルギー弾性であるか多くの論文が出された。中川⁴²⁾ および平井⁴³⁾ の一連の論文が戦後直後の忙しい復興期の日本において書かれたことは、昨今の忙しい日本における研究状況と異なるような気がする。筆者らは寒天ゲルのような熱可逆性ゲルにおいては、温度上昇とともに架橋領域から分子鎖が解け出し、温度が低下すれば解けだした鎖が架橋領域にたぐりこまれるというリール・チェ

インモデルにより、弾性率の温度依存性を理解しようとした^{44, 45)}。このモデルでは大変形も解析できることを期待して、分子鎖を Langevin 鎖で近似しており、後に河合ら^{46, 47)}はこのモデルを拡張してショ糖入りジェランゲルの圧縮挙動を解析している。寒天ゲルなどの多糖類ゲルにショ糖を入れると透明度が増し、しなやかなゲルになることは知られている⁷⁰⁾。

ジェランゲルの降温過程における弾性率の温度依存性を Fig. 5 に示す⁴⁸⁾。この弾性率は円柱状に成形したゲルの縦振動から求められるので、広く用いられている円錐平板または二重円筒などのジオメトリで起こりがちな滑りの問題を回避できている^{5, 6, 24)}。また、各温度においておよそ 15 分間保持している。しかし、ゲルは各温度において平衡状態にあるとは言えず、昇温時の弾性率は降温時の値と異なり、5°C では一致するものの、高温域では降温時の値の方が昇温時の値より小さい。つまり、一度高温域で乱れた構造は 15 分間では回復しないと考えられる。30°C 付近で貯蔵弾性率、損失弾性率、力学的損失正接が階段状に増加しているが、これはコイルヘリックス転移を反映するもので、ゾルゲル転移ではない。このゲルは測定上限温度の 55°C までは円柱形を崩さず維持している。このことは、外見上円柱状の形を崩さず保持したまま固体であるゲル中においてコイル分子がヘリックスに巻き戻ることを意味すると考えられる。これは、Fig. 5 の下の図において、同じ程度の降温速度で観測した DSC 曲線がほぼ同じ温度で発熱ピークを示し、円偏光二色性の比分子楕円率がこの温度域で急激な変化を示すことに対応している。

このような分子鎖の再配列あるいは組み換えはあまり報告例がないので、ここで少し詳しく述べたい。カラギーナン水溶液の弾性率が降温時に極大を示すことが報告されたが、滑りの起こらないジオメトリ（滑らないように二重円筒だが円筒側面に穴があいている）で測定すると、このような極大は観測されず、この極大は見かけのものである

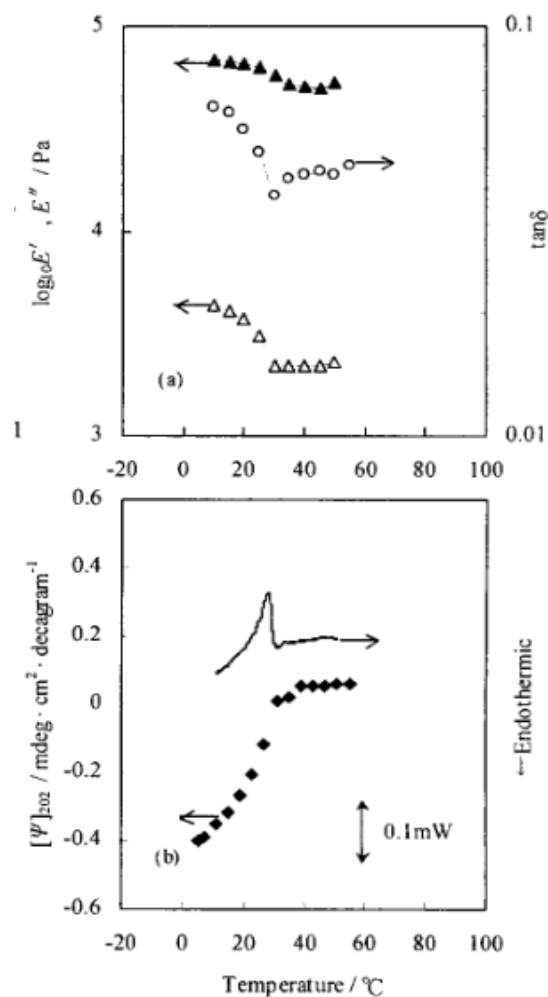


Fig. 5 Upper, Temperature dependence of storage and loss Young's moduli, E' ($\blacktriangle$) and E'' ($\triangle$), and $\tan \delta$ ($\circ$). Lower, A DSC curve (solid line) and the specific ellipticity Ψ at 202 nm ($\blacklozenge$) for a 1.2 % gellan gum gel. Scan rate for DSC and CD measurements was 0.5°C/min, and the equilibration time for measurements of E' and E'' was 15min⁴⁸⁾.

ることが報告されている⁴⁹⁾。Zhang ら⁵⁰⁾は高温でアルカリによりコンニャクグルコマンナンのゲル化において、通常用いられる円錐平板ジオメトリでは弾性率の極大が出るが、滑りの起こらないような圧縮測定ではこの極大は見られず、やはり滑りのために起こったものであるとしている。

Lapasin ら⁵¹⁾はカルシウムイオンによるペクチンのゲル形成過程において、貯蔵剛性率 G' の極大を観測している。彼らは架橋領域の形成において、形成する反応と同時に崩壊する反応も起こるので、形成反応定数と崩壊反応定数の比の大小関係により極大が現れるとしている。最近、Yuliarti ら⁵²⁾は

カルシウムイオンによる低メトキシペクチンのゲル化において、 G' の極大を報告している。

Ako⁵³⁾ はカラギーナン水溶液の弾性率が降温時に極大を示すのはシネレシスにより水が滲み出るためであるから、シネレシスを定量的に測定すべきであると考え、ゲル表面からピペットによる吸い取りと、ろ紙による拭き取りの両方の方法で測定している。前者の方法では吸い取りきれない部分があるため後者に比べて低めの値が出る。また、滲み出た水を取り除くかそのままにするかでもシネレシスの値は異なる。滲み出た水によりゲルは膨潤を始めるが、ゲルから放出された水が再びゲルに吸い込まれる理由について明確な理解が得られていない。ゲルの膨潤と収縮が釣り合うときに、シネレシスは一定になるというゼラチンゲルについての 1927 年の Northrop の結果⁵⁴⁾ が引用されている。

Ako は Lapasin らの研究に言及していないが、秩序構造が形成される反応と形成されつつあるその構造が逆反応により崩壊する向きにも進むという考えは、シネレシスにおける水の放出と再吸収という過程と対応しているかもしれない。

ゲル形成過程における貯蔵剛性率 G' の極大は乳タンパク質においても報告されている。乳タンパク質のゲル化については膨大な報告がある。Scott Blair & Burnett, Douillard, Carlson *et al.* などいずれのモデルでもゲル化に伴い弾性率は増加するだけである。Horne⁵⁵⁾ (1998) は 20°C から 45°C の温度域におけるレンネットによるゲル化において、ゲル強度 (ゲル化開始時間の 2 倍の時間における G' と定義している) が温度の関数として 35°C 近辺で極大を示すことについて論じている。低温域では温度上昇により、疎水性相互作用が強まる、カルシウムの結合が促進され、タンパク質の電荷が減少して静電反発が弱まることなどの要因を挙げている。しかし、他方、昇温により磷酸カルシウムの溶解性が悪くなり、カゼインに結合しているカルシウムが離れてタンパク質の電荷が増加し、ミセルの解離にまでは至らなくとも結合が弱められ、

結果としてゲル強度が低下する。昇温によるミセルの内部構造の緩みは NMR でも観測されている。これらの相反する作用のために温度の関数として G' の極大が生ずるということである。また、Horne⁵⁶⁾ (2003) はグルコノデルタラクトン GDL により pH を低下させて起こるスキムミルクのゲル化において、弾性率が極大を示すことを等電点沈殿の結果であるとしている。Schuldt ら⁵⁷⁾ は大豆たんぱく質の GDL 添加によるゲル化過程において、同様の弾性率の極大を認めている。

Mellema ら⁵⁸⁾ はカゼイン粒子のレンネットによるゲル化過程における構造要素の再配列を長さの尺度により次の 4 つに分類している。A) 粒子内再配列 (0.2 μm 以下), B) 粒子間再配列 (0.2~1 μm), C) クラスター間再配列 (1~40 μm), D) シネレシス。

3・4 ゲルの崩壊

ゲルを溶媒に浸漬すると膨潤または収縮することが観察されているが、物理ゲルでは非架橋鎖が放出される。ジェランゲルを各種溶媒に浸漬したときの弾性率の時間経過を Fig. 6 に示す⁵⁹⁾。

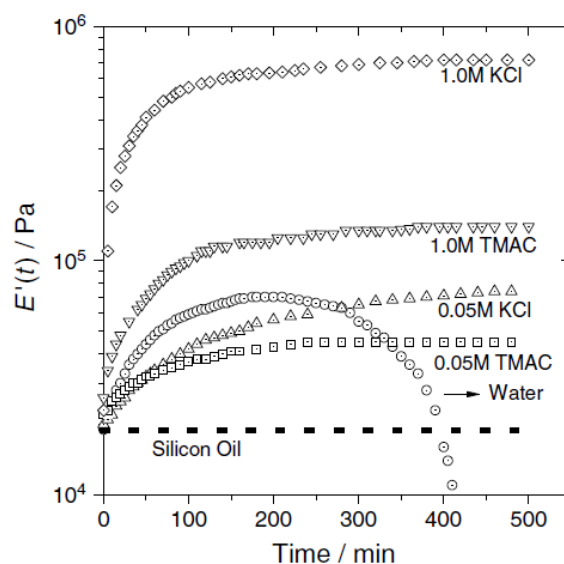


Fig. 6 Plot of the storage Young's modulus $E'(t)$ as a function of time of 2.0 wt% gellan gel immersed in various salt solutions. The dotted line represents $E'(t)$ of gellan gels immersed in silicon oil⁵⁹⁾.

水中に浸漬の場合も弾性率は初めのうち増加することは注目すべきである。塩化カリウム KCl や塩化テトラメチルアンモニウム TMAC でも増加する。カリウムイオンがジェランゲルの内部に浸透しヘリックス形成、その会合を促進するためと思われるが、ヘリックスの会合を阻害すると言われていた TMAC でも短い時間の間は E' が増加する。これらの溶媒にゲルを浸漬すると、非架橋鎖がゲルから溶媒へ放出されることが確認された⁶⁰⁾。放出された鎖の長さを調べると、短い鎖から先に放出される事が分かった。物理ゲルからのこのような分子鎖の放出はジェランゲルに限らず、ポリビニルアルコールでも報告されている⁶¹⁾。後に、de Silva ら⁶²⁾ はカルシウムで架橋されたジェランゲルを用いて 37°C において 28 日間に渡り分子鎖の放出を測定している。Fig. 6 に示したデータは 10°C におけるものであるが、カリウム型ジェランを使用しているため、それほど長くゲルの形態を維持せず、分子鎖の放出がある程度以上進むとゲルが崩壊する。de Silva らは Fig. 6 の場合と比べて、カルシウム架橋ジェランゲルでは非架橋鎖が少ないためであろうとしている。彼らは murine dermal fibroblasts を用いて、ゲルの細胞成長阻害 CGI を調べている。彼らはゲルの CGI がゲルの質量減少、すなわち放出鎖の増加に比例することを見出している。

3・5 β -ラクトグロブリンのフィブリルのゲル化

球状タンパク質は希薄溶液でも固体的な力学スペクトルを示し^{63, 64)}、そのゲル化挙動は詳しく調べられているが不明なことも多い。アルツハイマー病との関連でアミロイドに関する研究が盛んであるが、乳清タンパク質 β -ラクトグロブリン (BLG) のフィブリルに関して、食品分野でも盛んに研究がなされている。BLG フィブリルは剛直で長い（持続長は数ミクロンにも達する）ので、低濃度でゲル化する。ここでは食品分野で広く使われているトランスグルタミナーゼ (TGase) によるゲル化について述べる⁶⁵⁾。このフィブリルは pH

2, 80°C で 10 時間加熱により得られ、アミロイドに似ているので食品などには使えないかどうか心配になるが、Bateman ら⁶⁶⁾ は人工胃液中でペプシンにより 2 分以内に分解されることを報告している。TGase は還元剤 DTT (dithiothreitol) などの存在下で作用することが知られている⁶⁷⁾。DTT 存在下および DTT と TGase の存在下でゲル化させた時の貯蔵剛性率 G' の飽和値の平方根を濃度の関数として Fig. 7 に示す。予想通り非常に低濃度でもゲル化することが確認された。DTT は SS 結合を切断すると言われており、BLG の TGase によるゲル化において、DTT を添加しない場合について、今後調べる必要がある。

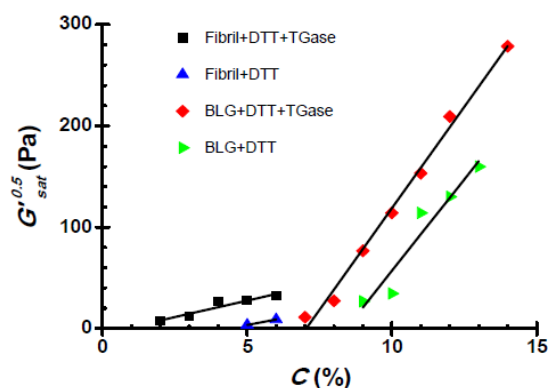


Fig. 7 Determination of critical gelation concentration: plot of the square root of the saturated value of the storage modulus against the concentration of BLG and BLG fibrils. The concentrations of DTT and TGase are 20 mM and 20 U, respectively⁶⁵⁾.

3・6 ヒアルロン酸—関節液

ヒアルロン酸と呼ばれていたが、現在ではヒアルロナン HA という呼称にしようとしてされている。HA はグルクロン酸と N-アセチルグルコサミンの二糖を構成単位とする共重合体である。HA は眼、関節液、臍帯などにおいて重要な役割を果たしている。関節液においては、衝撃吸収および潤滑の役割を果たしており、盛んに研究がなされている。加齢により関節液中の HA の濃度が減少したり、分子量の低下が起こるなどして、支障が生じると考えられている。そのため、低分子の HA が高分

子の HA と共存した時のレオロジー変化は重要な問題である. 英国の研究グループ⁶⁸⁾ は低分子 HA の添加により, HA 溶液の G' および G'' が劇的に減少すること (Fig. 8 の上の図) を報告し, これを競争的阻害効果により説明した. つまり, 低分子で短鎖の HA は長鎖の HA の絡み合いや会合を阻害するために, G' および G'' が減少すると考えた. しかし, これに疑問を持った岡本ら⁶⁹⁾ は HA の低分子化を酵素による切断だけではなく, 熱処理または超音波処理による方法でも行い, 長さの異なる HA を使って, 長鎖の HA と短鎖の HA の共存する試料について, レオロジー測定を行った. その結果を Fig. 8 の下の図に示す.

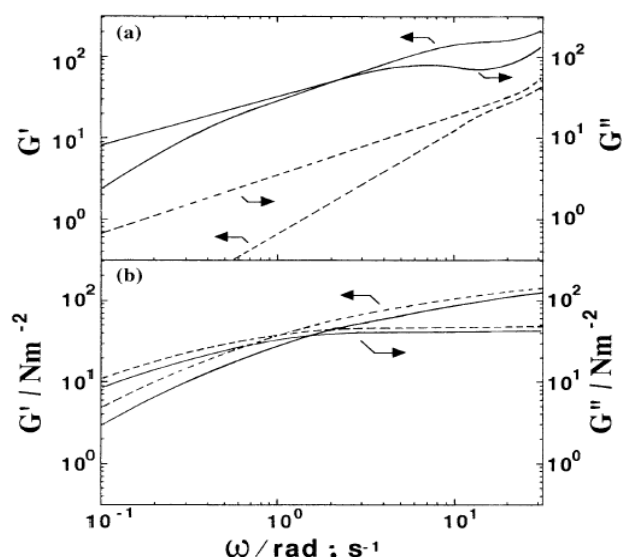


Fig. 8 Frequency dependence of storage and loss moduli G' and G'' for 1 wt % HA physiological saline solution with 1 wt % sHA (total saccharide concentration 2 wt %; broken lines) and without sHA (solid lines): (a) with sHA (60 disaccharide units)⁶⁸⁾ and (b) with sHA (50 disaccharide units)⁶⁹⁾.

その結果では, ニ糖が 50 個つながった短鎖の HA を添加しても (Fig. 8b), ニ糖が 60 個つながった短鎖を加えた場合 (Fig. 8a) に見られた G' および G'' の劇的な減少どころか, むしろ僅かに増加が見られた. この結果は構成単位の構造を鑑みるに, 糖添加効果, 塩添加効果, そして鎖添加効果として考えるべきであることを示唆する. 単糖や

二糖, オリゴ糖などの添加による多糖類のレオロジー変化は詳しく研究されており, その機構は不明な点も多いが, G' および G'' の増加が報告されている⁷⁰⁾. なお, 最近, 清水は小さい糖と多糖類との相互作用は不明なのではなく, Kirkwood-Buff の統計力学理論を用いれば説明できるとして, しどろもどろな西成の優柔不断を批判している⁷¹⁾. 塩添加あるいはイオン効果による多糖類のレオロジー変化についてはジェランについての総説³⁵⁾に譲る. また, 分子鎖の効果については高分子レオロジーの成書に譲りたい. Fig. 8b の結果から, 短鎖の HA は長鎖の HA の絡み合いや会合をむしろ促進することもあると考えて Fig. 9 が提案された.

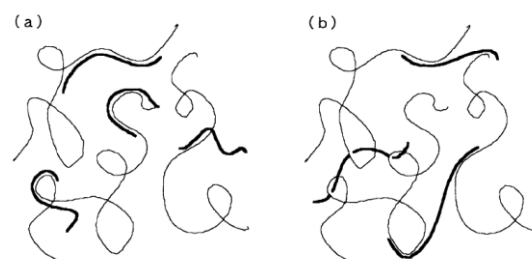


Fig. 9 States of solution of HA with sHA (a) competitive inhibition, and (b) enhancing entanglement, and/or association⁶⁹⁾.

3・7 シゾフィラン

β (1 $\rightarrow$ 3)-グルカンは燕麦, 大麦などの穀類やアガリクスや霊芝などのきのこ類に含まれており, 免疫賦活作用, 制癌作用などがあるとされて, 多くの研究がなされてきた⁷²⁾. 側鎖の無いカードランは水に溶けないので溶液物性の研究は難しいが, レンチナン, シゾフィランなどは側鎖のあるために溶解するので, 大阪大学の研究グループにより詳しい研究がなされてきた. シゾフィラン (SPG) は D-グルコースの β -1, 3 結合した多糖類 (カードラン) に β -1, 6 結合によるグルコースがついているため溶解し, 水中では 3 重らせん構造, ジメチルスルホキシドやアルカリ溶媒ではランダムコイル構造となることが知られている⁷³⁾. SPG は 6°C および 135°C で構造転移を起こすことが知られているが, 後者は 3 重螺旋が 3 本のコイル状態に解

離するもので、不可逆的であり、前者は 1 型の 3 重螺旋と 2 型の 3 重螺旋の間の分子内転移であるとされている。

Fang ら⁷⁴⁾ は SPG のソルビトール水溶液の冷却による熱可逆性ゲル化のレオロジー、DSC、旋光分散 ORD をソルビトール濃度を変えて測定し (Fig. 10)、降温過程における G' の増加開始温度、降温 DSC の発熱開始温度、ORD の増加開始温度を、ソルビトール濃度ゼロに外挿すると 6°C になることから、レオロジー、DSC、ORD で観測される転移は 1 型の 3 重螺旋と 2 型の 3 重螺旋の間の分子内転移であると結論した。

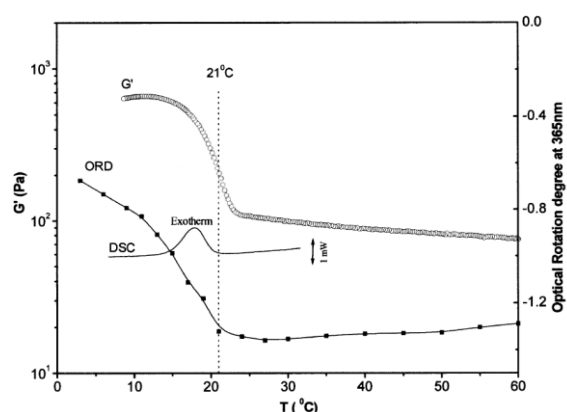


Fig. 10 Evolution of storage modulus G' ($\omega=36$ rad/s; strain, 1%), DSC curve, and ORD profile obtained upon cooling for SPG-sorbitol aqueous solution. SPG molecular weight, 2,500,000; SPG concentration, 1.2 wt%; sorbitol content, 42 wt%; cooling rate, 0.5 °C/min⁷⁴⁾.

さらに、Fang ら⁷⁵⁾ は SPG 溶液の定常粘度測定において、低濃度溶液ではずり流動化を観測したが、ある程度以上の濃度において、ずり粘稠化を見出した。SPG は濃度領域により等方相、異方相、二相混在相の状態になりうるが異方相ではずり粘稠化を示したということである。これを詳しく見るために複屈折を同時に測定すると、ずり粘稠化の起こり始めるずり速度において複屈折の大きさが急激に増加していることが認められた。つまり分子が配向したことを示しており、ネマチック液

晶からコレステリック液晶へ転移したものと考えられる。

さらに、Fang ら⁷⁶⁾ は SPG をアルカリで変性後、中性に戻して再生した denatured-renatured SPG (DRSPG) の水溶液が異常な挙動をすることを報告している。多くの多糖類溶液についてゼロずり粘度を糸まり状分子の重なり合い因子 coil-overlap parameter, つまり、濃度と固有粘度の積、 $c[\eta]$ に対して両対数プロットすると、低濃度側では勾配が 1.1 から 1.4, 高濃度側では 2.7 から 5.1 程度の値が報告されている。SPG の DMSO 溶液ではこの勾配がそれぞれ 1.6 および 2.8 で、この勾配の変わる点での $c^*[\eta]$ の値は 4.3 であり、これまでの多くの報告と一致する。しかし、DRSPG ではこの勾配がそれぞれ 1.5 および 4.3 で、この勾配の変わる点での $c^*[\eta]$ の値は 1.2 であり、かなり異なる。この DRSPG の水溶液の固有粘度測定において Huggins 定数は 1.57 という異常に大きな値を示し、会合が起こっていることを示唆している。Fang ら⁷⁶⁾ はさらにこの系のチクソトロピー挙動を調べている。

3・8 食物繊維の生理作用とレオロジー

<食物繊維の消化に対する影響>

非澱粉系多糖類はヒトの消化酵素では分解されないが、便通改善以外にも様々な作用をするため、日本の食物繊維研究者はルミナコイドと呼んでいる⁷⁷⁾。「ヒトの小腸内で消化・吸収されにくく、消化管を介して健康の維持に役立つ生理作用を発現する食物成分」と定義されている。Luminacoid というのは造語で、luminal (消化管腔内のという意味) と、accord (調和) と、-oid (-のようなもの) の 3 つの単語を合成して造られた。難消化性のオリゴ糖や難消化性デキストリン、糖アルコールやレジスタントプロテイン (難消化性のたんぱく質) も含まれる。

栄養成分が消化酵素により分解されると、粘弾性が減少するので、レオロジー測定により解析できる。パンクレアチン (動物のすい臓に含まれる消化酵素製剤、ここでは天野エンザイム製を用い

た)には澱粉・蛋白・脂質などを分解する酵素が含まれているが,コンニャクグルコマンナン KGM, ローカストビーンガム LBG (グアーガム GG と同様ガラクトマンナンの一種だが,ガラクトース含量が少なく,マンノース 4 分子につきガラクトース 1 分子の割合)などの粘弾性はパンクレアチン添加により低下しなかった.分離大豆たんぱく質 SPI 分散液の G' および G'' はパンクレアチン濃度増加に伴い減少した. SPI に GG, LBG, ジェラン, KGM 等の多糖類(食物繊維)を加えた場合, G' および G'' 分解速度は減少し,消化が遅延されることが定量的に示された⁷⁸⁾.

金ら⁷⁹⁾は食物繊維の粘度が高いことが消化速度を遅延させるのかどうかを調べるために,分子量の異なるキシログルカン XG (グルコース主鎖にガラクトースおよびキシロースの側鎖がついている多糖類)を用いて,パンクレアチンによる SPI 分解速度を調べた.粘度がほぼ同じで濃度が異なるキシログルカン溶液を調製した.

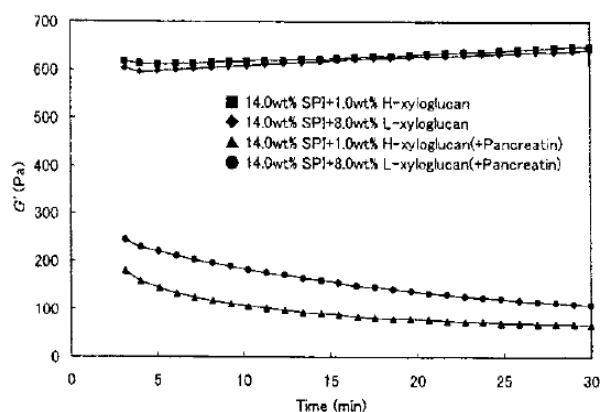


Fig. 11 Time dependence of G' for the mixtures of 14.0 wt % SPI and 1.0 wt% xyloglucan with high molar mass and 8.0 wt% xyloglucan with low molar mass, respectively in the presence of 0.08 wt% pancreatin. Measurement temperature 37°C, frequency, 1 Hz.⁷⁹⁾

Fig. 11において, 14.0 wt% SPI と 1.0 wt% 高分子量XG混合系は14.0 wt% SPI と 8.0 wt% 低分子量XG混合系とほぼ同じ貯蔵剛性率の値 ~600 Paを示すのに, 8.0 wt% 低分子量XGを含む系の方がパンクレアチンの作用による G' の減少をより顕著

に阻害している. XG自体はパンクレアチンにより分解されないで, G' が同じでもXGの量が多い方がパンクレアチンに対して阻害効果を発揮するのか, またはXGとSPIの相互作用がXGの分子量により異なるためか, さらなる解明が必要である.

<食物繊維の血糖値に対する影響>

食物繊維の重要な作用として, 血糖値の上昇抑制効果が知られている. 糖尿病の罹患率が高くなって, 血糖値の低下作用には強い関心が寄せられているが, 2013年にはイタリアで専門家の会議が開催され, 食後血糖値の上昇を防ぐべきか, その指標としてグリセミックインデックスGIが良いのかなどに関して議論され, 報告がまとめられた⁸⁰⁾. 食物繊維はグルコースの吸収を遅らせ, 胆汁酸に吸着して, コレステロールの吸収を阻害し, ナトリウムイオンとカリウムイオンを交換し, 食後血糖値の上昇を抑制して, 血中コレステロールを減少させ, 血圧を下げるなどの効果があると言われている.

食物繊維の糖質吸収抑制効果は食物繊維の粘度が高いことによるものと報告されたが⁸¹⁾, 低分子化したグアーガムでも抑制効果が見られたことから, 粘度だけではなく消化酵素と基質との相互作用を阻害したり, 消化酵素と結合したりするというメカニズムも提案されている^{82, 83)}.

Woodら⁸⁴⁾はオート麦(燕麦)の β グルカンを用いて, 食後血糖値の低下作用は β グルカンの分子量の最大値と β グルカンの濃度の積により決められると報告している.

この問題を検討するため, 高分子量キシログルカンXGと低分子量XGの溶液が低ずり速度においてほぼ同じ粘度となるように調製し, グルコース溶液と同時に摂取した場合, 30分経過ごとに血液を採取して血糖値を調べた. その結果, 高分子量XGを摂取した場合血糖値の抑制が認められたが, これはWoodら⁸⁴⁾の説と一致すると考えられた. すなわち, 食物繊維の分子量の最大値と濃度の積が大きいほど血糖値抑制効果があるということであ

る。しかし、就中、分子量が高いことが重要であると言える。なぜならば、低ずり速度においてほぼ同じ粘度になるようにするため、低分子量XGは高分子量XGの9倍ほどの量が必要だからである。この仮説はまた粘度が重要であるというJenkins⁸¹⁾らの説とも矛盾しない。それはゼロずり粘度は高分子量XGの方がいくらか高いからである。

3・9 マイクロレオロジー

生体物質のような空間的に不均質な物体のレオロジーと構造の関係の理解には、その物体に入れた微粒子の運動を調べるのが有効である。

粘質流体は消化器官壁を保護し潤滑する役割を果たしているが、胃酸はpH 2という低pHなのはどうして胃の壁が侵されないのか？胃の中の粘質流体はpHの変化によりソルゲル転移をする。粘質流体のバルクレオロジー測定によれば、pH 6においては $G' < G''$ でいずれも周波数に著しく依存し、ゾルの挙動を示すが、pH 2では $G' > G''$ でいずれもあまり周波数に依存せずゲル的な挙動を示す(Fig.12)⁸⁶⁾。ところが、ミクロン程度のポリスチレンラテックス粒子を用いたマイクロレオロジー測定では、pH 6においてはバルクレオロジーとマイクロレオロジーの結果は一致しているが、pH 2においてはかなり異なる G' および G'' を示す。これ

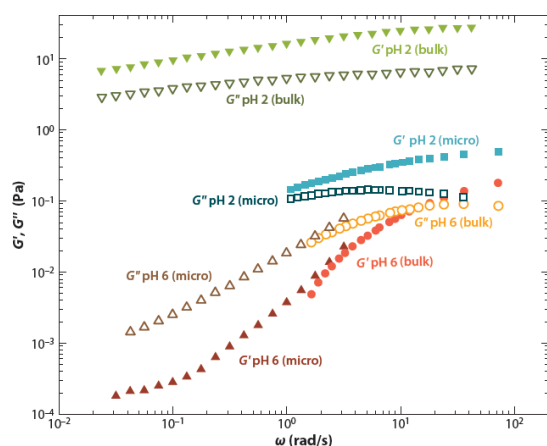


Fig. 12 Frequency dependence of G' and G'' for porcine gastric mucin at pH=2 and pH=6 probed by bulk rheology and microrheology. Bansil *et al.*⁸⁶⁾

は pH 2 におけるゲルの微細構造が不均質であることによるものである。

次にジェランの静置冷却 (quiescently cooled, QC) ゲルと流動冷却 (sheared cooled, SC) ゲルのバルクレオロジーおよびマイクロレオロジーの研究を紹介したい⁸⁷⁾。QC ゲルではずり歪の振幅を増加して行くと、歪がある程度以上になると固体的挙動 $G' > G''$ から液体的挙動 $G' < G''$ に変わるが、SC ゲルでは最初から $G' < G''$ であり、歪の増大に伴い G' も G'' も減少する。前者では歪増加に伴い液体的になった試料は時間の経過につれて固体的挙動に戻るが、後者では時間が経過しても戻らない。SC を作るときにジェラン溶液を 80°C から 25°C へ 0.5 °C/min で冷却しているが、その時 100 s⁻¹ のずり歪を加え続けているために静置ゲルとは異なる構造の流動ゲルが形成されているためである。

顕微鏡観察により、QC ゲルおよび SC ゲルの中に蛍光トレーサー粒子 (直径 1 μm) が均一に分布しているのが認められるが、100 s⁻¹ のずり歪を与えると、QC ゲルでは 1 mm 程度の破断面が現れるが、SC ゲルでは均一な分布のままであった。バルクレオロジーで、ずりの振幅を増加させた後、長時間の後には元の固体的挙動 ($G' > G''$) の回復したことと対応している。高温でトレーサー粒子を混入させて攪拌した後、攪拌を止めて静置状態で冷却して作成した HMQC (hot mixed and quiescently cooled) ゲル、冷却の途中でも攪拌を継続して作成した HMSC (hot mixed and shear cooled) ゲル、攪拌を継続しながら冷却後にトレーサー粒子を添加し攪拌して作成した CMSC (cold mixed and shear cooled) ゲルを比較すると、HMQC ゲルではトレーサー粒子が均一に分布し、平均二乗距離 MSD は長時間後に平坦域を示す。HMSC ゲルでは、トレーサー粒子が長時間にわたり均一に分散しているが、MSD は HMQC ゲルと類似の挙動、長時間後には平坦域を示す。CMSC ゲルではトレーサー粒子が沈殿し、MSD の挙動は 2 群に分かれた。すなわち、第一群のトレーサー粒子は拘束されており、HMQC ゲル、HMSC ゲルと同様に長時間

後には MSD は平坦域を示すが、第二群のトレーサー粒子の MSD は長時間後 (>20 s) でも増加し続けており、拡散が拘束されていない。一般化された Stokes-Einstein の関係⁸⁸⁾により MSD から G' と G'' を計算すると、Fig. 13 が得られた。

HMQC と HMSC ではバルクレオロジーの方がマイクロレオロジーより差が大きいが HMSC と CMSC では逆にマイクロレオロジーの方がマクロレオロジーより差が大きくなっている。マイクロレオロジーにより、CMSC ではゲル中に拘束されたトレーサー粒子と拘束されていないトレーサー粒子がそれぞれ捉えられている。

マイクロレオロジーから得られた G' と G'' はバルクレオロジーによる値より小さくなっているが、それはトレーサー粒子もジェラン分子も負に荷電しており静電反発しているため、粒子の周りの枯渇空間でトレーサー粒子が動きやすくなっているため、 G' と G'' が過小評価されたものと考えられた。これは同じトレーサー粒子を用いた研究⁸⁹⁾でも同じ傾向が認められており、また上に紹介した Bansil らの結果 (Fig. 12) でも同様の傾向が認められている。

以上の二例では不均質な系におけるマイクロレオロジーの有用性を紹介したが、高圧条件下でのゾルゲル転移などもプローブ粒子の観察により調べることができる。日本では、20 年ほど前に京都大学の林らを中心として食品への応用研究が活発になされたが⁹⁰⁾、食品成分が高圧によりどのように変わるのか、基本的なことについて未知のことが多い。

鈴木はアガロースやメチルセルロースなどの高圧条件下でのゾルゲル転移を調べている⁹¹⁾。最近、米谷ら⁹²⁾、Su ら⁹³⁾もアガロースやメチルセルロースの高圧下でのゾルゲル転移などを調べている。

Wang ら⁹⁴⁾はメチルセルロースの T-P 相図において、圧力 200 MPa くらいまで、圧力の増加に伴い MC の転移温度が常圧の 54°C から 70°C 程度まで上昇し、それ以上の圧力では転移温度が低下することを報告している。200 MPa で 70°C でのゲルは

疎水性相互作用によるもので、500 MPa で 25°C でのゲルは水素結合が主役を果たしているものと考えられるが、更なる検討が必要である。

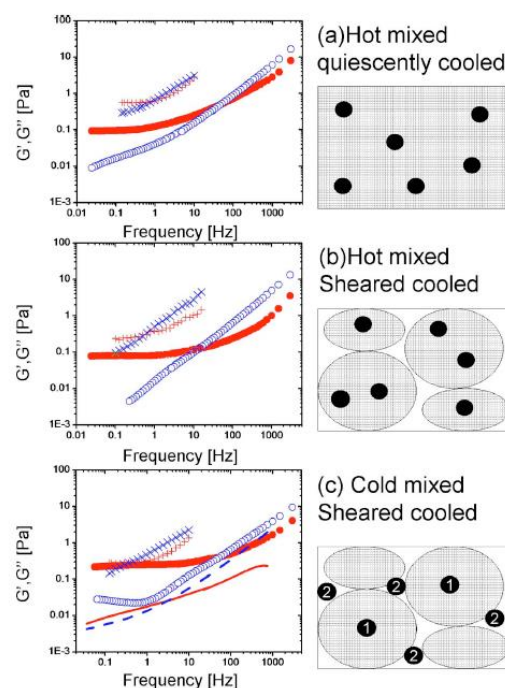


Fig. 13 Right: Schematic description of the microstructure present in HMQC, HMSC and CMSC. Black circles represent colloidal tracers, while grid areas stand for the gel. (a) In a HMQC gel, the particles are strictly confined, the trajectories are localized, and the gel structure is homogeneous. (b) In a HMSC gel, the gel exists as microgel particles at high volume fraction. Most colloidal particles are trapped inside the microgel. (c) The microstructure of CMSC gel is similar to the HMSC gel since the same shear is applied during gelation. Since the colloidal particles are introduced in the already structured liquid, not all of them are incorporated inside the microgels, and many colloidal tracers show diffusive behavior. Left: comparison between viscoelastic moduli as a function of frequency obtained with microrheology and bulk rheology. In the plot symbols “+” refers to G'' and “x” to G' obtained with bulk oscillatory rheology. Microrheology results are indicated with solid circle (G') and open circle (G''). In case (c) microrheological results for the high mobility cluster 2 are indicated by a solid line (G') and dashed line (G''). Solid circles (G') and open circles (G'') refer to cluster 1 results. Caggioni *et al* (2007)⁸⁷⁾.

通常のブラウン運動では MSD は時間に比例するが、ずり流動のもとでは時間の 3 乗に比例する項が現れるという理論的予測があったが、実験的に示されていなかった。折原らは非常に巧妙な方法で実験的困難を克服して、初めてこれを実験的に証明した⁹⁵⁾。瀧川らはこの研究を非ニュートン流体に拡張し、最近キサンタンガムについて調べ、流れ方向とそれに垂直方向では拡散挙動が異なることを示している⁹⁶⁾。

4. 今後の課題

バイオレオロジーおよび食品レオロジーのパイオニアである Scott Blair は当時学問体系が出来つつあったレオロジーを使いつつ、心理学関係の学術誌へも投稿している⁹⁷⁻¹⁰³⁾。ニュートン時間に関する疑問を持ち、分数微分を使って力学特性の感覚評価に取り組んだ。彼はチーズのかたさの弁別域を調べるのに、基準の弾性体試料としてゴム（後ほど鋼鉄のバネに変更）と基準の粘性体試料としてビチューメン（ピッチとも呼ばれ、Queensland 大学でのピッチドロップ実験（<https://ja.wikipedia.org/wiki/>でレオロジストにはお馴染みの物体）を選び、被験者にそれを手で握り締め、右手と左手を入れ替える操作などをさせている。食品研究者から見ると、この試験方法は現実に即していないと思われるかもしれないが、先に述べたように、味や香りに影響されないでテクスチャを評価できるという利点もある。実際、この方法は被服や繊維製品、化粧品では使われているのであるから、これらの関連領域の研究者が考え方や情報を交換しながら進めるのも有益であると考えられる¹⁰⁴⁾。最近、食品の感覚評価でこの考えを取り入れた研究が活発化している¹⁰⁵⁾。

構造制御の方から考えると、アルギン酸およびヒアルロナン項で述べたが、低分子化した試料と高分子試料の間で、競争的阻害が起こるか、あるいは相乗的増強効果が起こるかという問題はほかのハイドロコロイドにおいても重要な問題であろう。また、構造形成の過程での構造要素の再配

列の問題はまだわからないことが多く、今後検討するべきである。

日本に限らず研究者の多くはなんだか忙しくなりすぎてあまり落ち着いて考える時間が奪われているような気がする。ゲルの体積相転移の研究で知られる田中豊一博士は夭逝されたが、彼の研究室に滞在した鵜田、鈴木らが中心となり、ゲルの物理化学、生物、食品、化粧品での根本問題をじっくり議論しようとのことで、田中豊一記念シンポジウムが数年開催された。鵜田は Scott Blair の創刊した国際バイオレオロジー学会誌 *Biorheology* に牛乳の主成分であるカゼインのレンネット（凝乳酵素）によるゲル化に関して動的粘弾性測定を行い解析しており¹⁰⁶⁾、ゲル化のパークレーション解析に関して総説を書いている¹⁰⁷⁾。このシンポジウムは筆者の一人がパリで開催された英国化学会の Faraday Discussion に仰天して提案した方式、つまり演者の講演時間 5 分の後、討論 25 分というやり方でじっくり議論しようという方式に準じて行われた。それには、あらかじめ Full paper を参加予定者に配布し、予習を前提とすることが必要となる。このシンポジウムで発表されたことから多くを学ぶことができたし、討論も盛り込んだ論文を集めた特集号ができたことも有意義であった¹⁰⁸⁾。さらに、鈴木之音頭でこの中心メンバーたちが組織したソフトマターのシンポジウムが昨年京都大学で開催され、先に胃の粘質多糖類（ムチン）のマイクロレオロジー項で述べた Bansil が来日したことも良かった。土井の講演にはいつも含蓄がありすぎて、貧弱な筆者の頭では短時間では消化しきれないことが多いが、彼の名著¹⁰⁹⁾と畏友 de Gennes¹¹⁰⁾と田中の名著¹¹¹⁾を時間を見つけて読みなおすのも楽しみである。de Gennes が 2003 年に本学会の第 26 回年会で講演したことは有意義であった。今、ボルドーで活躍の小田とは MIT の田中研に鵜田を訪問して以来 27 年ぶりの再会であったが、ますます意気盛んであり、これに刺激されて日本でも女性研究者の活躍が期待される。実際、食品の研究に長年関わり、しかも本

学会で活躍中の佐藤¹¹²⁾、吉村¹¹³⁾らの研究も期待されている。浦山¹¹⁴⁾は二軸延伸装置を改良して、高分子ゲルの謎めいた部分に挑戦しているが、バイオレオロジーで特に興味が持たれている異方性組織などへも拡張され、発展することが期待される。また、最近、金田が編集したバイオ関連のレオロジー論文が多く収録された書籍も出版された¹¹⁵⁾。バイオレオロジー学会創設当時理研の深田研で多糖類フィルムの圧電性、誘電性、粘弾性を研究していたが、分子運動の理解もままならず¹¹⁶⁾、なかなか実用物性とも言うべき気体透過性、環境応答(耐吸湿性など)との関連が付けられなかった。最近、多糖類^{41,117)}やたんぱく質のフィルム、更にはエマルションなどによる薬効成分、生理機能成分の放出制御の研究が一層盛んになっている¹¹⁸⁾。また、一方で、多糖類とタンパク質の相互作用を分子レベルで理解する努力も必要なのではないだろうか¹¹⁹⁾。深田先生が編集委員長を務めておられた日本における高分子物性の論文集 *Reports of Progress of Polymer Physics, Japan* は 2000 年に幕を閉じてしまった。この最終記念号にゲルのレオロジーに関する総説¹²⁰⁾を書かせていただいたことはありがたかったが、この学術誌はまだ役割を終えていなかったのではないかと思うのは筆者だけだろうか。地味でもじっくり研究したい研究者を支えることも必要ではないであろうか。レオロジー、ハイドロコロイドというキーワードで美味しくて健康に良く、安全で誤嚥されにくい食品の創造に貢献しなくてはならないと思っているが、最近の総説¹⁹⁾を執筆中に、また、今回の総説執筆中にも感じたが、生物学・医学の対象は部品に分解して理解しようとしても限界があり、全体をどう捉えるか、つねに付きまとう問題がある。物質科学という見方の研究者が生物学・医学の研究者と協力する必要がある。例えば、先ほど手で食べ物の触感を調べる時には、味や香りに左右されない利点があると述べたが、逆に言えば、全体的把握にならず部分を切り離して分析するということになってしまう。実際は味や香りの影響を受

けながら口の中で総合的に捉えられているわけであるからこそ、心理学、口腔生理学、大脳生理学、歯科学、食品科学の研究者が集まるような国際会議が盛んになっているのである。結局、分析と総合を繰り返して前進するしかないのであろうか。バイオレオロジーに関連するこれらの関連の研究が分野を横断して刺激し合い、協力が進んで一層発展することを期待したい。

文献

- 1) 深田栄一, 曾根敏磨, 福島正義. 練圧によるバターの粘度の変化. 材料試験, **9**, 316-320, 1960.
- 2) 深田栄一, 曾根敏磨, 福島正義. バターのチクソトロピーと結晶化度. 材料試験, **9**, 338-341, 1961.
- 3) 曾根敏磨, 食品の粘稠性. 再版, 光琳書林, 1969.
- 4) Matsumoto, S. Pioneer works on rheology of food stuffs in Japan. *Nihon Reoroji Gakkaishi*, **33**, 61-66, 2005.
- 5) Nishinari, K. Longitudinal vibrations of high-elastic gels as a method for determining viscoelastic constants. *Jpn J. Appl. Phys.*, **15**, 1263-1270, 1976.
- 6) 西成勝好, 堀内久弥, 石田勝巳, 池田勝則, 伊達宗宏, 深田栄一, ゲル状食品の動的粘弾性簡易迅速測定装置. 日食工誌, **27**, 227-233, 1980.
- 7) Nishinari, K., Kohyama, K., Zhang, Y., Kitamura, K., Sugimoto, T., Saio, K., Kawamura, Y. Rheological study on the effect of the A₅ subunit on the gelation characteristics of soybean proteins. *Agric. Biol. Chem*, **55**, 351-355, 1990.
- 8) Nishinari, K., Fang, Y., Guo, S., Phillips, G. O. Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification. *Food Hydrocolloids*, **39**, 301-318, 2014.
- 9) Nishinari, K., Fang, Y., Nagano, T., Guo, S., Wang, R. Soy as a food ingredient, in R.Y. Yada Ed. "Proteins in Food Processing" Elsevier, pp.149-186, 2018.
- 10) 西成勝好, ゲルの物性(測定法), 日食工誌, **34**, 61-68, 1987.
- 11) 西成勝好, 食品のテクスチャー・味・香りの相互関係, 美味技術学会誌, **13**, 18-28, 2014.
- 12) 西成勝好, おいしさとフレーバーリリースの関連性, 家政誌, **65**, 245-256, 2014.
- 13) 西成勝好 食品のテクスチャーとフレーバーリリース (I) および(II), 日調科誌, **48**, 57-69 および154-165, 2015.

- 14) Guichard, D., Salles, C., Morzel, M., Le Bon, A-M. Flavour- From food to perception. Wiley-Blackwell, Chichester, UK, 2017.
- 15) 西成勝好, 食べ物および食べる過程とレオロジー, 日バイレオ誌 (B&R), **9**, 3-15, 2005.
- 16) Chen, J. Food oral processing – a review. Food Hydrocolloids, **23**, 1–25, 2009.
- 17) Chen, J., Engelen, L. Eds. Food Oral Processing- Fundamentals of eating and sensory perception. Wiley-Blackwell, Chichester, UK. 2012.
- 18) Nishinari, K., Takemasa, M., Brenner, T., Su, L., Fang, Y., Hirashima, M., Yoshimura, M., Nitta, Y., Moritaka, H., Tomczynska-Mleko, M., Mleko, S., Michiwaki, Y., The food colloid principle in the design of elderly food. J. Texture Stud. **47**, 284-312, 2016.
- 19) Nishinari, K. Fang, Y. Perception and measurement of food texture –solid foods, J Texture Stud., 2018, in press.
- 20) 西成勝好, 中沢文子, 勝田啓子, 戸田準編, 新食感事典, サイエンスフォーラム(1999)
- 21) 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本隆編, 食感創造ハンドブック, サイエンスフォーラム (2005)
- 22) Szczesniak, A. Classification of textural characteristics, J. Food Sci., **28**, 385-389, 1963.
- 23) Christensen, C. An Enduring Legacy: Dr. Alina Szczesniak's Classification of Food Texture. J Texture Stud., 2018, in press.
- 24) 西成勝好, 食品の物理的性質と測定における諸問題. 日本家政学会誌, **64**, 811-822, 2013.
- 25) Nishinari, K., Kohyama, K., Kumagai, H., Funami, T. Bourne, M. C. Parameters of Texture Profile Analysis. Food Sci. Technol. Res., **19**, 519–521, 2013.
- 26) Nishinari, K., Takemasa, M., Su, L., Michiwaki, Y., Mizunuma, H. Ogoshi, H. Effect of shear thinning on aspiration - Toward making solutions for judging the risk of aspiration. Food Hydrocolloids, **25**, 1737–1743, 2011.
- 27) Ebihara, S., Ebihara, T., Tamasaki, M., Kohzuki, M. Stimulating oral and nasal chemoreceptors for preventing aspiration pneumonia in the elderly. Yakugaku Zasshi, **131**, 1677–1681, 2011.
- 28) Ishihara, S., Nakao, S., Nakauma, M., Funami, T., Hori, K., Ono, T., Kohyama, K. Nishinari, K. Compression test of food gels on artificial tongue and its comparison with human test. J. Texture Studies, **44**, 104–114, 2013.
- 29) 一般社団法人・日本老年歯科医学会. 摂食・嚥下リハビリテーションにおける診断支援としての舌機能検査法ガイドライン. 2013.12.23.
- 30) Kohyama, K. Oral sensing of food properties. J. Texture Studies, **46**, 138–151 2015.
- 31) Funami, T. In vivo and rheological approaches for characterizing food oral processing and usefulness of polysaccharides as texture modifiers- A review. Food Hydrocolloids, **68**, 2-14, 2017.
- 32) Djabourov, M., Nishinari, K., Ross-Murphy, S.B. “Physical gels from biological and synthetic polymers”, Cambridge University Press, 2013.
- 33) 酒井崇匡編, 「高分子ゲルの物理学ー構造・物性からその応用までー」, 東京大学出版会, 2017.
- 34) 西成勝好, ゲルの粘弾性, 「ゲルテクノロジーハンドブック」, 第2章物性評価／構造解析. 第1節, 中野義夫監修, (株)エヌ・ティー・エス, pp.105-122, 2014.
- 35) ジェラン特集号 Food Hydrocolloids, **7**, 361-456, 1993. Carbohydr. Polym., **30**, 75-207, 1996. Prog. Colloid & Polym. Sci., **114**, 1-135, 1999. 総説 Morris, E. R., Nishinari, K., and Rinaudo, M. Gelation of gellan - A review. Food Hydrocolloids, **28**, 373-411, 2012.
- 36) 宮島千尋, アルギン酸, 「食品ハイドロコロイドの開発と応用 I」, 西成勝好監修, シーエムシー出版, 東京, pp. 287-303, 2007.
- 37) Winstanley, C., O'Brien, S., Brockhurst, M. A. *Pseudomonas aeruginosa* evolutionary adaptation and diversification in cystic fibrosis chronic lung infections. Trends Microbiol., **24**, 327-337, 2016.
- 38) Draget, K. I., Taylor, C. Chemical, physical and biological properties of alginates and their biomedical implications. Food Hydrocolloids, **25**, 251–256, 2011.
- 39) Liao, H., Ai, W., Zhang, K., Nakauma, M., Funami, T., Fang, F., Nishinari, K., Draget, K. I., Phillips, G. O. Mechanisms of oligoguluronate modulating the calcium-induced gelation of alginate. Polymer, **74**, 166-175, 2015.
- 40) 浅田雅宣, ビフィズス菌のシームレスカプセル化技術とその応用, 「食品ハイドロコロイドの開発と応用II」, 西成勝好監修, シーエムシー出版, 東京, pp. 263-267, 2015.
- 41) Cai, S., Zhao, M., Fang, Y., Nishinari, K., Phillips, G. O., Jiang, F. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* CGMCC1.2686 via emulsification/ internal gelation of alginate using Ca-EDTA and CaCO₃ as calcium sources. Food Hydrocolloids, **39**, 295-300, 2014.
- 42) 中川鶴太郎, ゲル状態の研究 (I) 寒天ゲルの粘弾性, (II) 寒天ゲルの熱弾性的性質, 日化, **72**, 390-393, 1951および**72**, 518-520, 1951
- 43) Hirai, N. The gel elasticity of high polymers, Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ., **33**, 21-37, 1955.
- 44) Nishinari, K., Koide, S. Ogino, K. On the temperature dependence of elasticity of thermo-reversible gels. J. Physique (France), **46**, 793-797, 1985.
- 45) Nishinari, K., Watase, M. Ogino, K. On the temperature dependence of elasticity of agarose gels. Makromol. Chem., **185**, 2663-2668, 1984.
- 46) Kawai, S., Nitta, Y., Nishinari, K. Large deformation analysis of gellan gels. J. Appl. Phys., **102**, 043507, 2007.

- 47) Kawai, S., Nitta, Y., Nishinari, K. Model study for large deformation of physical polymeric gels. *J. Chem. Phys.*, **128**, 134903, 2008.
- 48) Nishinari, K., Nitta, Y., Miyoshi, E., Ikeda, S., Takaya, T. Helix-coil transition in thermoreversible gels. In "Gums & stabilisers for the Food Industry 11", P. A. Williams & G. O. Phillips Eds. Royal Soc. Chem., UK, pp.85-94, 2001.
- 49) Richardson, R. K., Goycoolea, F.M. Rheological measurement of κ -carrageenan during gelation. *Carbohydr. Polym.*, **24**, 223-225, 1994.
- 50) Zhang, H., Yoshimura, M., Nishinari, K., Williams, M. A. K., Foster, T. J., Norton, I. T. Gelation behaviour of konjac glucomannan with different molecular weights. *Biopolymers*, **59**, 38-50, 2001.
- 51) Lapasin, R., Pricl, S., Paoletti, S., Zanetti, F. Novel rheological model for the gelation kinetics of ionic polysaccharides. *J. Appl. Polym. Sci.*, **41**, 1395-1410, 1990.
- 52) Yuliarti, O., Othman, R. M. B. Temperature dependence of acid and calcium induced low-methoxyl pectin gel extracted from *Cyclea barbata* Miers. *Food Hydrocolloids*, in press.
- 53) Ako, K. Influence of elasticity on the syneresis properties of κ -carrageenan gels. *Carbohydr. Polym.*, **115**, 408-414, 2015.
- 54) Northrop, J. H. The swelling of isoelectric gelatin in water. *J. General Physiol.*, **10**, 893-904, 1927.
- 55) Horne, D.S. Casein interactions: casting light on the black boxes, the structure in dairy products. *Int. Dairy J.* **8**, 171-177, 1998.
- 56) Horne, D.S. Casein micelles as hard spheres: limitations of the model in acidified gel formation. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, **213**, 255-263, 2003.
- 57) Schuldt, S., Raak, N., Jaros, D., Rohm, H. Acid-induced formation of soy protein gels in the presence of NaCl. *LWT-Food Sci. Tech.*, **57**, 634-639, 2014.
- 58) Mellema, M., Walstra, P., van Opheusden, J. H. J. van Vliet, T. Effects of structural rearrangements on the rheology of rennet-induced casein particle gels. *Adv. Colloid Interf. Sci.* **98**, 25-50, 2002.
- 59) Hossain, K. S. Nishinari, K. Chain release behavior of gellan gels. *Prog. Coll. & Polym. Sci.*, **136**, 177-186, 2009.
- 60) Tanaka, S. Nishinari, K. Unassociated Molecular chains in physically crosslinked gellan gels. *Polymer J.*, **39**, 397-403, 2007.
- 61) Sasaki, S., Suzuki, A. Factors influencing the swelling and elution properties of poly(vinyl alcohol) cast gels. *Polym. Adv. Technol.*, **27**, 318-324, 2016.
- 62) De Silva D. A., Poole-Warren, L. A., Martens, P.J., in het Panhuis, M. Mechanical characteristics of swollen gellan gum hydrogels. *J. Appl. Polym. Sci.*, **130**, 3374-3383, 2013.
- 63) Ikeda, S., Nishinari, K. Solid-like mechanical behaviors of ovalbumin aqueous solutions. *Int. J. Biol. Macromol.* **28**, 315-320, 2001.
- 64) Ikeda, S., Nishinari, K. Structural changes during heat-induced gelation of globular protein dispersions. *Biopolymers*, **59**, 87-102, 2001.
- 65) Wu, X., Nishinari, K., Gao, Z., Zhao, M., Zhang, K., Fang, Y., Phillips, G. O. Jiang, F. Gelation of β -lactoglobulin and its fibrils in the presence of transglutaminase. *Food Hydrocolloids*, **52**, 942-951, 2016.
- 66) Bateman, L., Ye, A., Singh, H. In vitro digestion of β -lactoglobulin fibrils formed by heat treatment at low pH. *J. Agric. Food Chem.*, **58**, 9800-9808, 2010.
- 67) 熊澤義之, トランスグルタミナーゼ, 「食品ハイドロコロイドの開発と応用II」, 西成勝好監修, シーエムシー出版, 東京, pp. 212-219, 2015.
- 68) Welsh, E. J., Rees, D. A., Morris, E. R., Madden, J. K. Competitive inhibition evidence for specific intermolecular interactions in hyaluronate solutions. *J. Mol. Biol.* **138**, 375-382, 1980.
- 69) Fujii, K., Kawata, M., Kobayashi, Y., Okamoto, A. Nishinari, K. Effects of the addition of hyaluronate segments with different chain lengths on the viscoelasticity of hyaluronic acid solutions. *Biopolymers*, **38**, 583-591, 1996.
- 70) Nishinari, K. Fang, Y. Sucrose release from polysaccharide gels. *Food and Func.*, **7**, 2130-2146, 2016.
- 71) Stenner, R., Matubayasi, N., Shimizu, S. Gelation of carrageenan: Effects of sugars and polyols. *Food Hydrocolloid*, **54**, 284-292, 2016.
- 72) Bacic, A., Fincher, G., Stone, B. Eds. Chemistry, Biochemistry, and biology of 1-3 beta glucans and related polysaccharides, 2nd Ed. Elsevier, 2009.
- 73) Gidley, M. J. Nishinari, K. Physico-chemistry of (1,3)- β -glucans. 文献 72 の Chapter 2.2, pp.47-118, Elsevier, 2009.
- 74) Fang, Y. Nishinari, K. Gelation Behaviors of Schizophyllan-Sorbitol Aqueous Solutions. *Biopolymers*, **73**, 44-60, 2004.
- 75) Fang, Y., Takemasa, M., Katsuta, K., Nishinari, K. Rheology of schizophyllan solutions in isotropic and anisotropic phase regions. *J. Rheol.*, **48**, 1147-1166, 2004.
- 76) Fang, Y., Takahashi, R., Nishinari, K. A Rheological characterization of schizophyllan aqueous solutions after denaturation- renaturation treatment. *Biopolymers*, **74**, 302-315, 2004.
- 77) 桐山修八, 池上幸江, 印南 敏, 他 ; 日本における Dietary fiber の定義・用語・分類をめぐる論議と包括的用語の提案まで. 日本食物繊維学会誌, **7**, 39-49, 2003.
- 78) Yoshimura, M. Nishinari, K. Rheological studies

- of influence of dietary fibers on the enzymatic reaction for soy protein isolate. *Foods Food Ingredients, Jpn*, **210**, 954-962, 2005.
- 79) 金保叔, 吉村美紀, 曾根良昭, 西成 勝好, 分離大豆タンパク質の消化酵素分解に対するキシログルカンの影響. *生活科学研究誌*, **6**, 23-30, 2007.
 - 80) Augustin, L.S.A., Kendall, C.W.C., Jenkins, D. J. A., Willett, W. C., Astrup, A., Barclay, A. W. et al. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, **25**, 795-815, 2015.
 - 81) Jenkins, D. J., Woelever, T. M., Leeds, A. R., Gassuli, M. A., Haisman, P., Dilawari, J. et al. Dietary fibres, fibre analogues, and glucose tolerance : importance of viscosity. *Brit.Med.J.*, **1**, 1392-1394, 1978.
 - 82) Jenkins, D. J. A., Reynolds, D., Slavin, B., Leeds, A. R., Jenkins, A. L. Jepson, E. M. Dietary fiber and blood lipids: treatment of hypercholesterolemia with guar crispbread. *Am. J. Clinic. Nutr.*, **33**, 575-581, 1980.
 - 83) Ellis, P. J., Dawoud, F. M. Morris, E. R. Blood glucose, plasma insulin and sensory responses to guar containing wheat breads: effects of molecular weight and particle size of guar gum. *Brit. J. Nutr.*, **66**, 363-379, 1991.
 - 84) Wood, P. J., Beer, M. U. Butler, G. Evaluation of role of concentration and molecular weight of oat β -glucan in determining effect of viscosity on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *Brit. J. Nutr.*, **84**, 19-23, 2000.
 - 85) Yang, N., Lv, R., Jia, J., Nishinari, K., Fang, Y. Application of microrheology in food science. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* **8**, 23.1-23.29, 2017.
 - 86) Bansil, R., Celli, J. P., Hardcastle, J. M., Turner, B. S. The influence of mucus microstructure and rheology in *Helicobacter pylori* infection. *Front. Immunol.* **4**, 310, 2013.
 - 87) Caggioni, M., Spicer, P. T., Blair, D. L., Lindberg, S. E., Weitz, D. A. Rheology and microrheology of a microstructured fluid: the gellan gum case. *J. Rheol.*, **51**, 851-865, 2007.
 - 88) Mason, T. G. Estimating the viscoelastic moduli of complex fluids using the generalized Stokes-Einstein equation. *Rheol. Acta*, **39**, 371-378, 2000.
 - 89) Liu, J., M. L. Gardel, K. Kroy, E. Frey, B. D. Hoffman, J. C. Crocker, A. R. Bausch, D. A. Weitz, Microrheology probes length scale dependent rheology,” *Phys. Rev. Lett.* **96**, 118104, 2006.
 - 90) Hayashi R., Kinsho T, Ueno H., Combined application of sub-zero temperature and high pressure on biological materials. *High Pressure Food Science, Bioscience and Chemistry, Elsevier Science B.V.*, 1998, pp. 166-174.
 - 91) Suzuki, K., Taniguchi, Y., Enomoto, T. The effect of pressure on the sol-gel transformation of macromolecules. *Bull. Chem. Soc. Jpn*, **45**, 336-338, 1972.
 - 92) Kometani, N., Tanabe, M., Su, L., Yang, K., Nishinari, K. In situ observations of thermo-reversible gelation and phase separation of agarose and methylcellulose solutions under high pressure. *J. Phys. Chem. B*, **119**, 6878-6883, 2015.
 - 93) Su, L., Wang, Z., Yang, K., Minamikawa, Y., Kometani, N., Nishinari, K. In situ observation of heat- and pressure-induced gelation of methylcellulose by fluorescence measurement. *Int. J. Biol. Macromol.*, **64**, 409-414, 2014.
 - 94) Wang, Z., Yang, K., Li, H., Yuan, C., Zhu, X., Huang, H., Wang, Y., Su, L., Nishinari, K., and Fang, Y. In situ observation of gelation of methylcellulose aqueous solution with viscosity measuring instrument in the diamond anvil cell. *Carbohydr. Polym.*, in press
 - 95) Orihara, H. Takikawa, Y. Brownian motion in shear flow: Direct observation of anomalous diffusion. *Phys. Rev. E*, **84**, 061120/1-4, 2011.
 - 96) Takikawa, Y., Yasuta, M., Fufjii, S., Orihara, H., Tanaka, Y., Nishinari, K. Anomalous diffusion of particles dispersed in xanthan solutions subjected to shear flow. *J. Phys. Soc. Jpn*, in press
 - 97) Scott Blair, G. W. (1958). Rheology in food research. *Adv. Food Res.*, **8**, 1-61, 1958.
 - 98) Scott Blair, G. W. Ed. “ Foodstuffs—Their plasticity, fluidity and consistency”, North Holland Publ. Co. , Amsterdam, 1953 (邦訳 ; 二国二郎, 伊勢村寿三, 福場博保, 「新食品学」, 朝倉書店, 1956.)
 - 99) Scott Blair, G. W. Ed. *Elementary rheology*, Academic Press, London, 1969 (邦訳 岡小天, 東健彦.: 「入門レオロジー」, 朝倉書店, 1970.)
 - 100) 神戸博太郎, サイコロロジーについて (I) および (II) —G. W. Scott Blair博士の思想の紹介—, *高分子*, **5**, 96-101および 134-139, 1956.
 - 101) 曾根敏磨, 第5章心理学的な“かたさ”の判断 (食品の粘稠性), 光琳, 1969.
 - 102) 松本幸雄, 第3章サイコロロジー (食品の物性とは何か), 弘学出版, 1991.
 - 103) 中濱信子, 調理科学におけるレオロジー的研究, *日調科誌*, **31**, 78-88, 1998.
 - 104) 西成勝好, 梶原莞爾, 長崎幸夫, 金田勇 監修, 「食品・化粧品・医療分野へのゲルの応用」 *Utilization of gels in food, cosmetics and medicine (Popular Edition)*, シーエムシー出版, 東京, 2016.
 - 105) Faber, T. J., Jaishankar, A., McKinley, G. H., Describing the firmness, springiness and

- rubberiness of food gels using fractional calculus. Part I & Part II, *Food Hydrocolloids*, **62**, 311-324 & 325-339, 2017.
- 106) Tokita, M., Hikichi, K., Niki, R. Arima S. Application of the theory of gelation to enzymatic process of casein micelle solution. *Biorheology*, **19**, 695-705, 1982.
 - 107) Tokita, M. Gelation mechanism and percolation. *Food Hydrocolloids*, **3**, 263-274, 1989.
 - 108) Tokita, M. Nishinari, K. Eds. *Gels: Structures, properties, and functions - Fundamentals and applications*. Springer, 2009.
 - 109) Doi, M. *Soft matter physics*, Oxford University Press, 2013.
 - 110) de Gennes, P.-G., Badoz, J. *Les objets fragiles*, Plon, Paris 1994. (邦訳 ; 西成勝好, 大江秀房, 「科学は冒険」, 講談社ブルーバックス, 1999. 原題は「壊れやすいもの」, その後 soft matter と呼ばれることが多い)
 - 111) 田中文彦, 高分子の物理学, 裳華房, 2016.
 - 112) Sato E., Watanabe M., Noda S., Nishinari K. Roasting conditions of sesame seeds and their effect on the mechanical properties of *gomatofu* (sesame tofu), *J. Home. Econ. Jpn*, **58**, 471-483, 2007.
 - 113) 吉村美紀, 桑野稔子, 盛崎利恵, 西成勝好, キサンタンガムを添加したきざみ食の嗜好特性について. *日咀嚼誌*, **14**, 50-61, 2004.
 - 114) Yohsuke, B., Urayama, K., Takigawa, T. Ito, K. Biaxial strain testing of extremely soft polymer gels. *Soft Matter*, **7**, 2632-2638, 2011.
 - 115) Kaneda, I. Ed. *Rheology of biological soft matter, Fundamentals and applications*. Springer, 2017.
 - 116) Nishinari, K., Fukada, E. Viscoelastic, dielectric and piezoelectric behaviour of solid amylose. *J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed.*, **18**, 1609-1619, 1980. ; Nishinari, K., Horiuchi, H. Fukada, E. Viscoelastic and dielectric properties of solid pullulan. *Rep. Prog. Polym. Phys. Japan*, **23**, 759-762, 1980.
 - 117) Wu, K., Zhu, Q., Qian, H., Xiao, M., Corke, H., Nishinari, K., Jiang, F. Controllable hydrophilicity - hydrophobicity and related properties of konjac glucomannan and ethyl cellulose composite films. *Food Hydrocolloids*, **79**, 301-309, 2018.
 - 118) Yao, X., Xiang, S., Nie, K., Gao, Z., Zhang, W., Fang, F., Nishinari, K., Phillips, G. O., Jiang, F. Whey protein isolate/gum arabic intramolecular soluble complexes improving the physical and oxidative stabilities of conjugated linoleic acid emulsions. *RSC Adv.* **6**, 14635-14642, 2016,
 - 119) Cao, Y., Fang, Y., Nishinari, K. Phillips, G. O. Effects of conformational ordering on protein/polyelectrolyte electrostatic complexation: ionic binding and chain stiffening. *Sci. Rep.*, **6**, 23739, 2016.
 - 120) Nishinari, K. Rheology of physical gels and gelling processes. *Rep. Prog. Polym. Phys. Japan*, **43**, 163-192, 2000.

シカ肉の加工・調理とレオロジー

吉村 美紀*

Physical Properties of Venison in Cooking Process

Miki YOSHIMURA*

*兵庫県立大学 環境人間学部 [〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町 1-1-12]

*School of Human Science and Environment, University of Hyogo

1. 緒言

近年、全国的に野生のニホンジカが広く生息し、農林業被害や森林の衰退が深刻化している。シカの個体数調節による個体群の健全性と生態系の生物多様性保全のため、自治体による積極的なシカの捕獲が推進されている中で、シカ肉活用についての取り組みが進んでいる。厚生労働省は平成 26 年 11 月に野生鳥獣肉の衛生管理に関する指針（ガイドライン）を策定し、ジビエを不特定または多数の者に供与する狩猟者や食肉処理業者、飲食店営業者等が守るべき衛生措置を記載した¹⁾。これらの動きに伴い、ジビエ料理が広まり、シカ肉に対する認識は高くなってきていると考えられる。一方で、身近なスーパーや精肉店などでのシカ肉の販売は珍しく、一般消費者には馴染みが薄い状況ではあるが、シカ肉を食肉として、家庭での調理を可能にすることが期待されている²⁻⁴⁾。シカ肉の食品として求められる機能は栄養機能、感覚機能、生体調節機能である。すなわち食べて栄養があり、おいしく、健康の維持増進が期待できることである。そこで、シカ肉の有効活用促進のため、シカ肉の栄養性・機能性と加工・調理によるレオロジーについて検討してきた。また、シカ皮由来のコラーゲンペプチドのレオロジー特性について検討してきたことを述べる。

2. シカ肉の栄養性・機能性について

シカ肉は、たんぱく質・鉄分を多く含み、脂質含量が低く⁵⁻⁸⁾、n-6 系脂肪酸と n-3 系脂肪酸比率 (n-6/n-3) が低いことが示されている⁹⁾。n-6/n-3 比率が増加すると生活習慣病やアレルギー性疾患を引き起こしやすいとの報告¹⁰⁾があり、シカ肉はそれらの疾患予防に役立つ食肉としての利用が期待されている⁹⁾。また、良質なたんぱく質を含み若年者の鉄欠乏性貧血予防および高齢者の低栄養予防のための食肉としての利用が期待されている。

日本食品標準成分表に記載されているシカ肉の栄養成分は、2014 年までは輸入冷凍品であるアカシカ (*Cervus elaphus*) の赤肉、生のみであったが、近年、国内で捕獲されるシカ肉の食肉活用への機運が高まってきたことで、2015 年版（七訂）において、エゾシカ (*Cervus nippon yezoensis*) の栄養成分がはじめて組み込まれた¹¹⁾。しかし、エゾシカは北海道に生息するものであり、本州に生息するホンシュウジカ (*Cervus nippon centralis*) の栄養成分については記載がない。兵庫県で捕獲したホンシュウジカについて、有害獣捕獲期（9 月）と狩猟期（11 月、12 月）に分け、雌雄別、部位別栄養成分と肉重量を検討した¹²⁾。ホンシュウジカでは、捕獲月別、雌雄別の栄養成分の差異は小さく、たんぱく質約 20%、脂質約 1%を示した。

肉部位別（図 1）の肉質では、背ロースの肉質はきめ細かく軟らかい、スネは筋膜が多く硬いなどの違いがみられる。牛肉，豚肉では部位間の脂質量に大差があるが¹¹⁾，シカ肉は部位別の栄養成分値の違いは小さく，全体的に赤身の肉である。全体の歩留率は約 36%であり，モモとスネの肉重量割合が全体の約 40%を示し高かった¹²⁾。ロース肉は，高級レストラン等で需要が高いが，モモとスネの部位の利用は比較的低めであり，有効活用が望まれている。

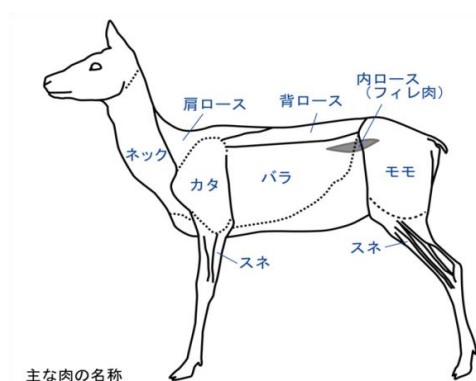


図 1 シカの主な肉の名称¹²⁾

また，脂質代謝に関与するアミノ酸誘導体であるカルニチンが牛肉，豚肉，鶏肉より多く含まれることを明らかにした¹³⁾（表 1）。カルニチンは，遊離カルニチンである L-カルニチンと脂肪酸が結合したアシルカルニチンとして存在し，ミトコンドリアにおける脂肪酸の代謝及びそれに伴うエネルギー発生に深く関与している¹⁴⁾。アシルカルニチンの一種であるアセチルカルニチンは，脳機能向上¹⁵⁾や疲労・ストレス軽減^{16,17)}などの機能性が示唆されている。

3. シカ肉の熟成・調理によるレオロジー

3・1 麩添加によるシカ肉熟成の影響

食肉の肉質の良否には熟成が大きく影響している。エゾシカ肉の熟成については，pH 変化，筋原繊維の脆弱化，筋原繊維の分解，色調の変化，遊離アミノ酸含量などから冷蔵（0℃）状態で 7～10 日間で熟成がほぼ完了し，熟成期間が比較的短めであることが報告されている¹⁸⁾。ホンシュウジカの熟成期間についての報告は少ないが，西日本のホンシュウジカは，エゾシカより体格が小さめであることと，熟成中に脂質酸化が進み不快臭が発生する場合があります，熟成期間は 3～5 日程度と短く設定されている。そのために，シカ肉の肉質は硬めで遊離アミノ酸が少ないことが予想される。

シカ肉の食品としての摂取方法として，以前は生食もみられたが，食中毒等の危険性が指摘され¹⁹⁾，加熱調理が必須である。ガイドライン¹⁾には，「飲食店営業等が野生鳥獣肉を仕入れ，提供する場合，食肉処理業の許可施設で解体されたものを仕入れ，十分な加熱調理（中心部の温度が 75℃で 1 分間以上又はこれと同等以上の効力を有する方法）を行い，生食用として食肉の提供は決して行わないこと」と記載されている。加熱方法によっては，前述のような特徴からシカ肉は硬く脂肪から得られるうま味が少ないと感じられる場合がみられる。消費者意向調査においても，シカ肉を食べる前の印象は「硬そう」が高値を示していた^{3,4)}。また，スネなどの筋膜が多い部位では肉基質たんぱく質が多く加熱により収縮するので，筋膜を取り除くか煮込み料理にするなどが行われる。シカ肉を軟らかく嗜好性を向上させるため，これ

表 1 シカ肉と家畜肉のカルニチン量

samples (μmol/100g)	L-carnitine	Acetyl- carnitine	Hexanoyl- carnitine	Myristoyl- carnitine	Palmitoyl- carnitine
venison	329.2±23.5 ^a	107.5±31.4 ^a	1.71±0.80 ^a	0.0071±0.0050 ^{ab}	0.0176±0.0113 ^{ab}
beef	210.1±45.6 ^b	54.4±30.7 ^b	0.27±0.17 ^b	0.0128±0.0081 ^b	0.0272±0.0135 ^b
pork	33.6±8.2 ^c	2.9±1.2 ^c	0.29±0.20 ^b	0.0012±0.0007 ^a	0.0040±0.0009 ^a
chicken	6.4±2.2 ^c	2.5±1.5 ^c	0.38±0.32 ^b	0.0008±0.0005 ^a	0.0059±0.0010 ^a

異符号間で有意差（P<0.05）があることを示す。

までに、豚脂など他肉種の脂肪を付加する調理方法、ワインや日本酒を付加し風味増強をする方法、酵素・麴を用いる方法などが検討されている²⁰⁻²²⁾。

兵庫県で捕獲されたニホンジカを熟成庫に入れる前の状態（熟成前肉）と数日間熟成庫に入れた後の状態（熟成後肉）のシカ肉（モモ）を冷凍・解凍後に、多穀麴というプロテアーゼ活性をもつ麴を添加し、10℃で2日間保蔵した。真空パックした試料を100℃で20分間スチーム加熱したシカ肉加工品のアミノ酸量と食感を検討した^{22, 23)}。熟成前肉と熟成後肉の調理品では、熟成後肉の方が、破断エネルギーに減少傾向がみられ、総遊離アミノ酸量は多かった。原料穀物のみを添加したシカ肉加工品は破断エネルギーの減少が見られなかったが、麴添加をしたシカ肉加工品は、麴の添加量に伴い放出する肉汁量が減少し（図2）、破断エネルギーが小さく軟らかくなり（図3）、総遊離アミノ酸量が増加した。原料穀物を添加したシカ肉加工品においても放出肉汁量が減少することから、添加した穀物に肉汁が吸収され放出する肉汁量が減少したと考えられた。官能評価より、麴添加シカ肉加工品は、軟らかい食感となり、うま味が多いと評価された。麴添加によりシカ肉中のたんぱく質の熟成が進み、食肉としての嗜好性改良の可能性があることが示唆された^{22, 23)}。

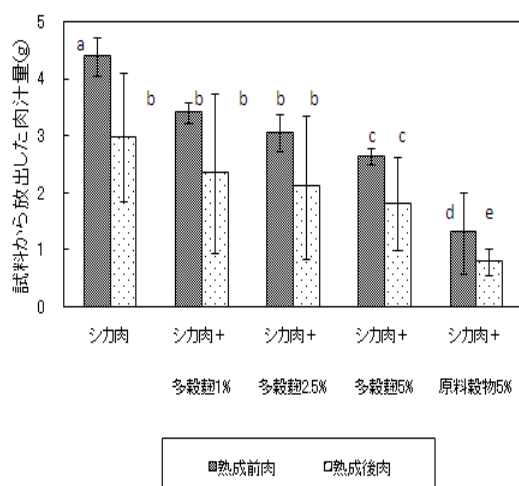


図2 シカ肉加工品の放出肉汁量

異符号間で有意差(P<0.05)があることを示す。

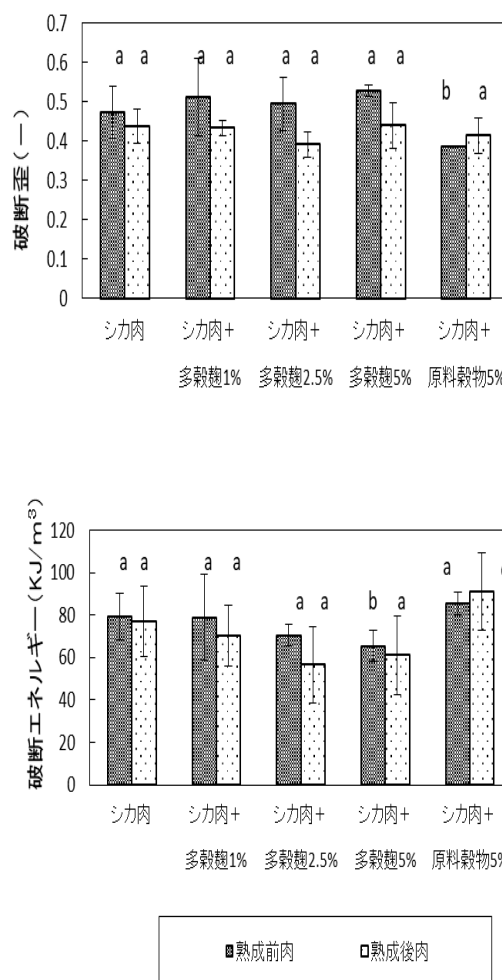


図3 シカ肉加工品の破断測定

異符号間で有意差 (P<0.05) があることを示す。

3・2 シカ肉の調理方法による物性への影響

シカ肉の調理方法による物性とカルニチン量を検討した²⁴⁾。シカ肉を縦2cm×横2cm×高さ1cm、重さ約5gに成形したものを用いて加熱調理を行った。Rigaultら²⁵⁾の加熱調理方法を参考に、焼く・煮る・揚げる・スチーム加熱・マイクロ波加熱の5通りで行った。焼く調理は200℃に熱したフライパンで5分間加熱、煮る調理は100℃に沸騰した湯で5分間加熱、揚げる調理は180℃に加熱した油で1分間加熱、スチーム加熱はシカ肉を真空度100%で20秒間真空パックしたものを100℃で20分間加熱、マイクロ波加熱は試料を皿に置きラップをかぶせて、1000Wで30秒間加熱した。加熱調理後の写真を図4に示す。図5に示した加熱調理方法による肉重量減少率では、マイク

ロ波加熱が有意に高く、焼く調理が最も低かった。マイクロ波加熱は、食品を内部から加熱する誘電加熱であり、食品に含まれる水分子を回転・振動することにより食品を加熱するため、水分蒸発が激しく、肉重量減少率が高くなったと推察した。一方で、焼く調理は、肉の表面が早く高温となり、肉の内部に肉汁が閉じ込められたため、本実験の調理時間では、肉重量減少率が低かったと推察した。

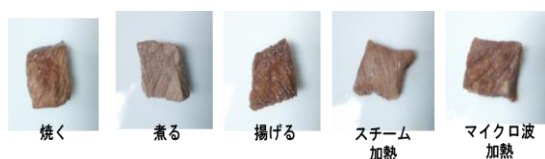


図 4 シカ肉調理品の写真

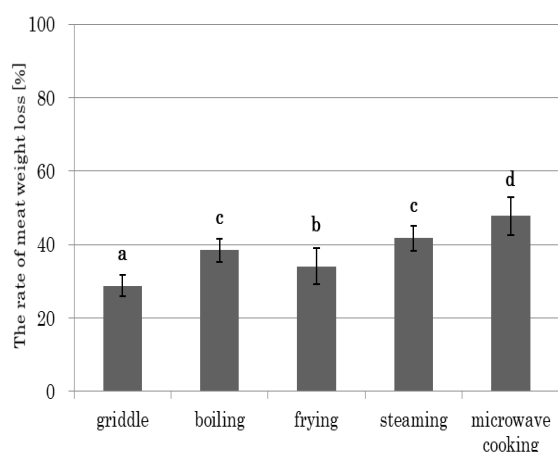


図 5 シカ肉調理品の肉重量減少率

異符号間で有意差 ($P < 0.05$) があることを示す。

表 2 に調理によるシカ肉中の各カルニチン量を示した。L-カルニチンは、煮る調理とスチーム加熱が生肉と比較して損失傾向となり、揚げる調理とマイクロ波加熱においては増加傾向となった。L-カルニチンは、親水性であるため、加熱後の肉重量減少率から肉汁とともに溶出することが影響すると考えられた。アセチルカルニチンにおいては、煮る調理と揚げる調理において損失傾向となった。ヘキサノイルカルニチン・ミリストイルカルニチン・パルミトイルカルニチンは、揚げる調理を除く方法において、増加傾向となった。アセチルカルニチンは、疎水性ではあるが、結合する脂肪酸の炭素数が 2 個と低分子であるため、他のアシルカルニチン類のように凝縮せず、損失傾向を示すものもあったと推察された。ヘキサノイルカルニチン・ミリストイルカルニチン・パルミトイルカルニチンにおいては、疎水性であるため、揚げる調理では揚げ油の中に溶出しやすいが、その他の調理加熱方法においては、肉汁とともに溶出しにくく、凝縮され増加したと推察された。

3・3 シカ肉スチーム調理、加熱温度の影響

スチーム加熱を用いて、加熱温度と加熱時間の影響を検討した²⁶⁾。約 200 g のシカ肉を袋に入れた状態で、流水解凍させたものを真空包装（真空度 100%，20 秒間，東静電気株式会社製 V-280A）とした。その後、80℃で 30 分間スチーム加熱したもの

表 2 シカ肉調理品のカルニチン量

samples ($\mu\text{mol}/100\text{g}$)	raw	griddle	boiling	frying	steaming	microwave cooking
L- carnitine	398.9 $\pm$ 59.8 ^{ab}	424.5 $\pm$ 78.5 ^{ab}	300.8 $\pm$ 76.6 ^a	487.9 $\pm$ 102.8 ^b	283.6 $\pm$ 76.8 ^a	494.5 $\pm$ 87.7 ^b
Acetyl carnitine	253.4 $\pm$ 28.6 ^{bc}	247.9 $\pm$ 26.5 ^{bc}	190.6 $\pm$ 41.0 ^a	231.1 $\pm$ 31.1 ^{ab}	288.3 $\pm$ 33.0 ^c	288.5 $\pm$ 33.3 ^c
Hexanoyl carnitine	0.95 $\pm$ 0.20 ^{ab}	1.51 $\pm$ 0.46 ^{bc}	2.53 $\pm$ 0.28 ^d	0.81 $\pm$ 0.08 ^a	2.35 $\pm$ 0.49 ^d	2.03 $\pm$ 0.19 ^{cd}
Myristoyl carnitine	0.0191 $\pm$ 0.01 ^a	0.0259 $\pm$ 0.01 ^{ab}	0.0296 $\pm$ 0.01 ^b	0.0215 $\pm$ 0.01 ^{ab}	0.0312 $\pm$ 0.01 ^b	0.0222 $\pm$ 0.00 ^{ab}
Palmitoyl carnitine	0.0141 $\pm$ 0.00 ^a	0.0194 $\pm$ 0.00 ^{ab}	0.0267 $\pm$ 0.00 ^c	0.0174 $\pm$ 0.01 ^{ab}	0.0241 $\pm$ 0.00 ^{bc}	0.0177 $\pm$ 0.00 ^{ab}

異符号間で有意差 ($P < 0.05$) があることを示す。

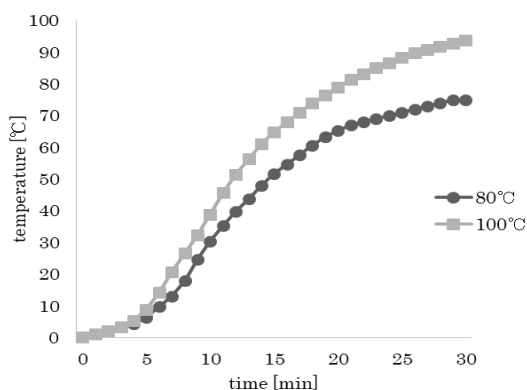


図6 加熱中の温度履歴

表3 シカ肉調理品のカルニチン含有量

**p<0.01 *p<0.05

(mg/100g)	80°C	100°C
L-carnitine	88.2±28.2	65.6±25.4*
Acetyl-carnitine	33.6±12.0	23.9±8.3*
Hexanoyl-carnitine	0.2187±0.0758	0.378±0.128**
Myristoyl-carnitine	0.012±0.004	0.018±0.003**
Palmitoyl-carnitine	0.033±0.015	0.061±0.022**

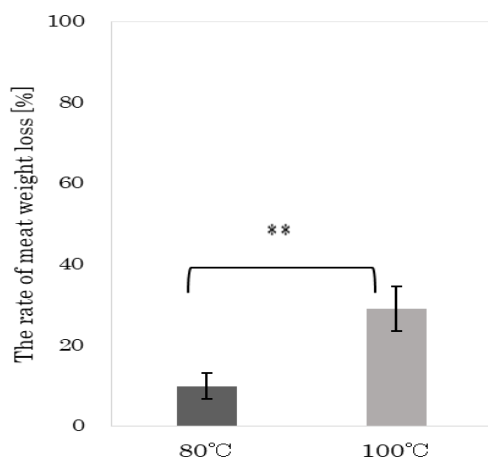


図7 シカ肉の加熱温度による肉重量減少率

n=4, **p<0.01

と100°Cで30分間スチーム加熱したものを試料とした。図6にシカ肉の中心部（芯温）の温度履歴を示した。

芯温は75°Cに達してから1分間以上加熱を継続していることを確認した。図7と図8に、肉重量

減少率と破断応力を示した。100°C加熱と比較すると、80°C加熱の方が、有意に肉重量減少率が低く、肉汁の溶出量が少なく、L-カルニチンとアセチルカルニチンの溶出が少なく（表3）、肉の収縮も抑えられ、肉質が軟らかくなったと考えられる。筋原繊維タンパク質が変性する40~60°Cを通過する時間が、長い方が肉の収縮を抑えられ²⁷⁾、80°C加熱が約7分、100°C加熱が約4分であり、80°C加熱の方が温度帯の通過時間が長い場合、肉の収縮が抑えられ、軟らかくなったと推察される。官能評価においても、80°C加熱の方が、うま味があり、軟らかいので好まれることが示された（図9）。

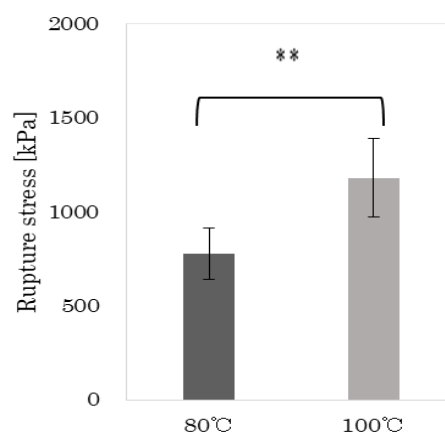


図8 シカ肉の加熱温度による破断応力

n≥26, **p<0.01

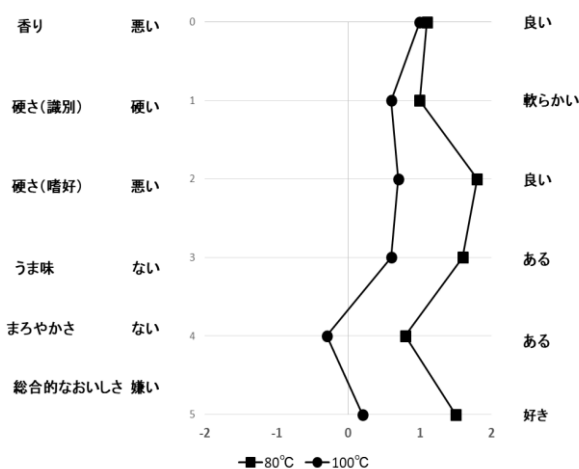


図9 シカ肉調理品の官能評価 n=10

スチーム加熱によるシカ肉の調理では物性・機能的・嗜好性において, 100℃加熱より 80℃加熱が望ましいとの結果を得た。

4. シカ皮由来コラーゲンペプチドの特性

コラーゲンは動物の真皮, 骨, 腱などを構成するタンパク質であり, その加水分解物であるゼラチンはゲル化性, 乳化性, 保水性などの優れた特性を有している²⁸⁾ため, 古くから多くの食品に利用されてきた。そのゼラチンをさらに酵素分解により低分子化したコラーゲンペプチドは, 骨密度の改善²⁹⁾, 関節炎の軽減²⁹⁾, 皮膚角層水分の改善³⁰⁾, 血圧上昇抑制³¹⁾などの機能性が注目され, 多くの飲料や健康補助食品, 化粧品に用いられている。シカ皮由来コラーゲンを酵素分解で重量平均分子量の異なるコラーゲンペプチドを 3 種調製し, その力学的および熱的挙動を検討した。コラーゲンペプチド (CP) を, イオン交換水に溶解, 加熱・冷却し 50~70 w/w % ハイドロゾルを調製し試料とした。

4・1 シカ皮由来 CP のアミノ酸

シカ皮由来 CP は, グリシン 24.2 %, プロリン 13.5 %, ヒドロキシプロリン 11.5 %, グルタミン酸 9.81 %, アラニン 9.29 %, アルギニン 7.81 %, アスパラギン酸 5.60 %, リジン 3.64 %, セリン 3.16 % であった。哺乳類由来ゼラチンのイミノ酸含有量 (プロリン, ヒドロキシプロリン) は約 30 %, 暖水魚由来ゼラチンは 22~25 % と言われているが, 鹿皮由来のイミノ酸の含有量は 25.0 % であった。

4・2 シカ皮由来 CP の重量平均分子量

ゲルろ過クロマトグラフィー分析法 (GPC) により, 重量平均分子量 (M_w), 多分散性指 (M_w/M_n) を求めた。酵素分解時間の長い方から CP の分子量は, M_w 1.9×10^3 , M_w/M_n 2.6 (以下 CP1900 とする), M_w 2.2×10^3 , M_w/M_n 3.0 (以下 CP2200 とする), M_w 3.0×10^3 , M_w/M_n 3.2 (以下 CP3000 とする) であった。

4・3 シカ皮由来 CP の物性と熱的挙動

CP1900, CP2200, CP3000 について, 動的粘弾性測定より物性を比較した。50, 60, 70 % (w/w) CP1900 ゾルで損失剛性率 G'' が貯蔵剛性率 G' よりも高値を示し液体的挙動を示した。50, 60% (w/w) CP2200 ゾルで G'' が G' よりも高値を示し液体的挙動を示した。70 % (w/w) CP2200 ゾルは, 低周波数側では G' が G'' よりも高値を示し, 高周波数側では G' が G'' よりも低値を示し, 濃厚溶液の挙動を示した。50 % (w/w) CP3000 ゾルは G'' が G' よりも高値を示し液体的挙動を示した。60, 70 % (w/w) CP3000 ゾルは測定周波数範囲内において G' が G'' よりも高値を示し, 構造のある液体の挙動を示した。CP は高濃度・高分子量になるにつれて弾性的性質を示すことが推察された。

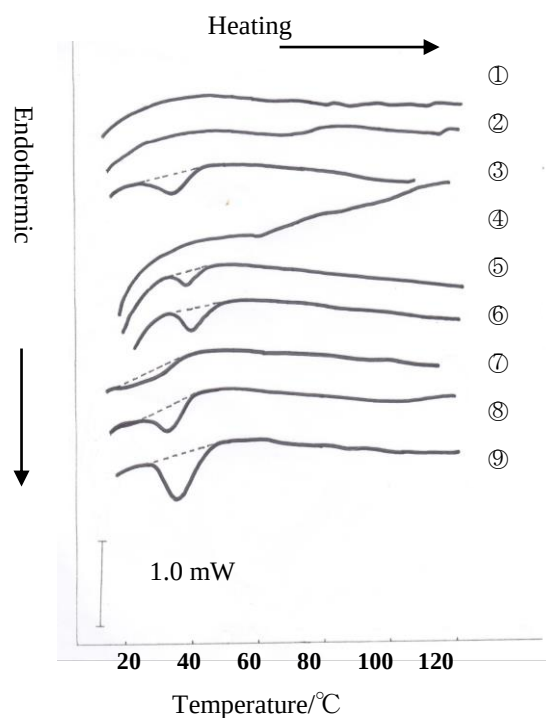


図 10 CP1900, CP2200, CP3000 の DSC 曲線

- ①50%(w/w) CP1900 ②60%(w/w) CP1900
- ③70%(w/w) CP1900 ④50%(w/w) CP2200
- ⑤60%(w/w) CP2200 ⑥70%(w/w) CP2200
- ⑦50%(w/w) CP3000 ⑧60%(w/w) CP3000
- ⑨70%(w/w) CP3000

CP1900, CP2200, CP3000 について, 20℃~140℃の昇温による示差熱量測定から熱的挙動を比較した(図10)。測定した温度範囲では, 50, 60 % (w/w) CP1900, 50% (w/w) CP2200 では吸熱ピークが見られなかったが, 70 % (w/w) CP1900, 60, 70 % (w/w) CP2200, 50, 60, 70 % (w/w) CP3000 では35℃付近に吸熱ピークが発現した。高濃度のCPでは高分子側のCP増加によりランダムコイルヘリックス転移による吸熱ピークが発現することが確認された。CPの物性と熱的挙動は, CPの分子量および分子量分布, 濃度に大きく影響することが推察された。

5. まとめ

シカ肉はたんぱく質・鉄分を多く含み, 脂質含量が低く, アミノ酸誘導体であるカルニチンを多く含み栄養性・機能性を有している。

シカ肉加工品では, プロテアーゼ活性を含む麹を利用することで, 総遊離アミノ酸量が増加し, シカ肉が軟らかく嗜好性が向上することから肉質の改良を示唆した。

シカ肉調理では焼く・煮る・揚げる・スチーム加熱・マイクロ波加熱の調理法により, 放出肉汁量と硬さ, カルニチン量に違いが見られた。スチーム加熱による加熱温度の違いでは, 80℃加熱の方が100℃加熱より, うま味があり, 軟らかく好まれることが示された。筋原繊維タンパク質が変性する40~60℃を80℃加熱が約7分, 100℃加熱が約4分となり, 80℃加熱の方が温度帯の通過時間が長いため, 肉の収縮が抑えられ, 軟らかくなったと推察した。

シカ皮由来のコラーゲンペプチド(CP)の物性と熱的挙動は, CPの分子量および分子量分布, 濃度に大きく影響することが推察された。

利益相反

開示すべき利益相反はない。

謝辞

本研究の一部は, 科学研究費助成事業(基盤研究C)(課題番号15K00791)「シカ肉の栄養性・嗜好性・機能性の解明と新規機能加工食品の開発」を受けて行ったものである。

本研究は兵庫県立大学環境人間学部で行われ, 共同研究者である加藤陽二先生に深謝します。

また当研究室の学生の皆さんに厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 厚生労働省：野生鳥獣肉の衛生管理に関する指針(ガイドライン), 2014.
- 2) 林真理著, 吉村美紀監修：「鹿肉を楽しむCOOK BOOK」, 丸善プラネット, 2017.
- 3) 吉村美紀, 林真理：シカ肉の栄養性・機能性の認知度と消費者意向の調査, 兵庫県立大学環境人間学部研究報告, **19**, 73-80, 2017.
- 4) 吉村美紀, 永井紘太, 林真理：シカ肉の栄養性・機能性の認知度と消費者意向に関する神戸での調査, 兵庫県立大学環境人間学部研究報告, **20**, 81-87, 2018.
- 5) 石塚譲, 川井裕史, 大谷新太郎, 入江正和：野生ホンシュウジカ筋肉における一般成分, 無機物含量と色調, 日本畜産学会報, **72**, 551-556, 2001.
- 6) 石田光晴, 渡辺彰：鹿肉の特性について, 食肉の科学, **39**, 197-203, 1998.
- 7) 笠井孝正, 境博成, 石島芳郎, 長谷川忠男：エゾシカ肉の一般成分, 脂質性状および無機質含量, 日本食品科学工学会誌, **46**, 710-718, 1999.
- 8) 岡本匡代, 坂田澄雄, 木下幹朗, 大西正男：野生エゾシカ肉の栄養特性について, 日本栄養・食糧学会誌, **57**, 147-152, 2004.
- 9) 石田光晴, 小田島恵美, 池田昭七, 武田武雄：シカ肉と牛肉中のコレステロール含量および脂肪酸組成の比較, 食科工誌, **48**, 20-26, 2001.
- 10) 奥山治美：脂質摂取量の推奨値, 脂質栄養学,

- 6, 5-8, 1997.
- 11) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会: 食品標準成分表 2015 年版 (七訂), 2016.
- 12) 吉村美紀, 加藤陽二, 新田陽子, 横山真弓: 兵庫県丹波地域におけるニホンジカ肉の栄養特性, 日本栄養・食糧学会誌, **66**, 95-99, 2013.
- 13) 山下麻美, 加藤陽二, 吉村美紀: LC-MS/MS を用いたシカ肉に含まれる遊離およびアシルカルニチン含有量の測定, 日本食品科学工学会誌, **59**, 637-642, 2012.
- 14) 田島眞: L-カルニチン—注目の生体内アミノ酸—, 日本調理科学会誌, **37**, 104-107, 2004.
- 15) Barhwal, K., Hota, S. K., Jain, V., Prasad, D., Singh, S. B. and Ilavazhangan, G.: Acetyl-l-carnitine (ALCAR) prevents hypobaric hypoxia-induced spatial memory impairment through extracellular related kinase-mediated nuclear factor erythroid 2-related factor 2 phosphorylation. *Neuroscience*, **161**, 501-514, 2009.
- 16) 常石英作: 第 1 章牛肉の機能性成分について「牛肉の機能性成分・その 1, 放牧等畜産物の機能性成分」pp.1-6, 2005.
- 17) 王堂哲: L-カルニチンの生理機能について, *New Food Industry*, **46**, 1-7, 2005.
- 18) 関川三男: 畜産の研究 **61**, 1107-1111, 2007.
- 19) Matsuura, Y., Arikawa, J. and Bando, G.: *Arch. Virol.* **152**, 1375-1381, 2007.
- 20) 松原甲, 田畑広之進, 渡辺理, 中川勝也: 鹿肉を利用した保存食品の開発, 兵庫農技研報, **43**, 85-88, 1995.
- 21) 香嶋章子, 徳田正樹, 小松伸夫, 神崎悠梨: シカ肉を利用した加工品の開発, 大分県農水産物加工総合指導センター研究報告, 1-5, 2005.
- 22) 吉村美紀, 大矢春, 藤村庄, 渡辺敏郎, 横山真弓: 天然シカ肉加工品の物性および嗜好性に及ぼす多穀麹添加の影響, 日本食品科学工学会誌, **58**, 517-524, 2011.
- 23) 吉村美紀: シカ肉のタンパク質に着目した食品の開発, 獣医畜産新報, **65**, 491-495, 2012.
- 24) 山下麻美, 加藤陽二, 吉村美紀: シカ肉に含まれるカルニチンおよびアシル化含有量の加熱調理による影響, 日本食品科学工学会誌, **61**, 178-181, 2014.
- 25) Rigault, C., Mazué, F., Bernard, A., Demarquoy, J. and Le Borgne, F.: Changes in L-carnitine content of fish and meat during domestic cooking, *Meat Science*, **78**, 331-335, 2008.
- 26) 吉村美紀, 山下麻美, 加藤陽二: 真空調理時の加熱温度がシカ肉中のカルニチン含有量および物性に及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, **61**, 480-485, 2014.
- 27) 渋川祥子, 杉山久仁子: 4. 加熱に伴う食品成分の変化, 「食品加熱の科学」, 朝倉書店, pp.90-94, 1996.
- 28) 吉村圭司, 高橋幸資: タンパク質ハイドロコロイド, 「食品ハイドロコロイドの開発と応用」, 第 1 版, 西成勝好監修, シーエムシー出版, pp.317-328, 2007.
- 29) 野村義宏: マリンコラーゲン, 「コラーゲンの製造と応用展開」, 第 1 刷, 谷原正夫監修, シーエムシー出版, pp.91-103, 2009.
- 30) 大原浩樹, 伊藤恭子, 飯田博之, 松本均: コラーゲンペプチド経口摂取による皮膚角層水分量の改善効果, 食科工, **56**, 137-145, 2009.
- 31) 岩井浩二, 雑賀江草, 早川徹, 清水宗茂, 高畑能久, 森松文毅: 高血圧自然発症ラットにおける鶏コラーゲン由来オクタペプチドの血圧降下作用, 食科工, **55**, 602-605, 2008.

研究室紹介

東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター

喜多 理王*

はじめに

本稿では筆者が所属する「東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター」を紹介させていただきます。本学は講座制ではなく、各教員がPIとして自身の研究室を主催しておりますが、当研究センターは8人の教員が学科学部の枠を越えて、バーチャルではなく実際に一か所に集い、共通の出口を見据えた共同研究テーマを実施しています。本センターの骨子や活動の様子を汲んでいただければ幸いです。

概要と設立経緯

東海大学マイクロ・ナノ研究開発センターは、文部科学省 平成26年度 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の採択を受けて設立されました。「高分子超薄膜から創成する次世代医用技術」と題した研究開発を進めております。本支援事業は5年間の時限付きであり、平成30年度が5年目の最終年度となります。医学、理学、工学部に所属する分野横断的な8名の教員により構成され（表1）、本学の湘南校舎（神奈川県平塚市）に実験室スペースとオフィスエリアを備えた施設を整備しました。医理工の教員が集い、文科省の支援を受け、新たな附置研究所を設立に至った前身に、「マイクロ・ナノ啓発会」があります。これは、若手教員が自然発生的に集い、研究の相互理解の深化と協力体制の構築を目指して活動しておりました。ここに大学執行部からの助言を受け、また多くの方々のご理解と支援を受けて、私大戦略事業への申請に至ったというのが本センター設立の経緯となります。いわば、ボトムアップ的に形成

された珍しい附置研究所といえると思います。

研究体制と内容

本センターは、分子論的メカニズム解明から医用応用までをも包括した研究体制を敷いています。研究主題は「高分子超薄膜から創成する次世代医用技術」とし、科学・技術の発展への貢献と、健康で安全な社会形成のための要素技術構築を目指しています。具体的には機能性高分子超薄膜（膜厚が100ナノメートル以下）を主軸とする研究テーマを設定しています。高分子を超薄膜に加工することで顕在化する「面をもつ構造」ならではのユニークな特性（高柔軟性、高接着性）を利用します。「創る」「試す」「知る」の3つのサブグループがあり、各グループもしくは各研究者が独自の知識や経験などに基づいて研究を進めつつ、サブグループ間または各研究者間で情報共有するなどして密に強調しなければ成し遂げられないテーマを設定しました。具体的には、①針と糸いらずの次世代絆創膏、②動物実験いらずの疾患モデル、③手術いらずの血栓クリーナーの開発を目指します（図1）。

研究を進めるうえで学内各機関との連携を図ると同時に、学内外の研究者との学術的交流の場として月に1回以上の学術講演会を開催しています。さらに、学生教育、若手研究者育成、国際交流、そして産学連携に寄与することを目指しています。ポストドクターは外国人を積極的に雇用することで半数以上を占めており、国際色豊かな研究センターとなっています。学生教育においては、企業共同研究に参加する機会があるなど実践的な教育

*東海大学 理学部物理学科、マイクロ・ナノ研究開発センター
[〒259-1292 神奈川県平塚市北金目4丁目1-1]

の場を提供できるよう配慮しています。

企業連携

多数の研究者と学生が、実際にひとつの施設に集まって活動している異分野融合型研究グループであることの副次的効果として、企業連携および地域連携が生まれやすくなっています。企業研究者からすると、一回の訪問で多くの研究者とコミュニケーションを取れるという利点がありますし、本学の他の研究者を紹介するなどといった研究者間の橋渡しなどの支援活動にも注力しています。実際、こうした状況に注目していただいた結果として、株式会社ニコンインステックと東海大学の産学共同利用施設として「東海大学イメージング研究センター」の設立に至りました。これは、ニコン社製のバイオ用各種顕微鏡と産業用イメージング機器類を備えた、株式会社ニコンとしても新しいスキームのイメージングセンターとなっています。バイオ用として正立・倒立光学顕微鏡、実体顕微鏡、共焦点レーザー顕微鏡、全反射照明顕微鏡を配置し、産業用機器はX線CT装置、白色干渉顕微鏡、卓上SEMを備えています。やわらかいものから固いものまで、ナノスケールからバルク材までをもイメージングするための機器を一か所に集めることで、研究開発を促進できる施設になっています。特殊な使い方や高度な分析をするためにニコン技術陣から支援を受けられる体制ができていることも特徴です。我々はここを用いた高分子超薄膜の高機能化に係る共同研究を推進していますし、また、オープンリソースとして内外の大学研究者や学生、さらに企業研究者にも開かれたイメージングセンターとして運営しています。ユーザーは機器使用にあたり講習を受講し、自身でデータ取得するといった運営であり、現在使用料はいただいております。

まとめ

簡単ではありますが、本センターの研究概要と種々の活動さらには産学連携の一端をご紹介します。詳細はホームページを参照していただきたいと思います。研究者が単独で研究を推進する従来型のスタイルとは一線を画し、医理工連携のような、境界領域に多数の研究者が集

い実際に共同研究を展開するという体制は、研究推進に効果的な形のひとつであろうと思います。

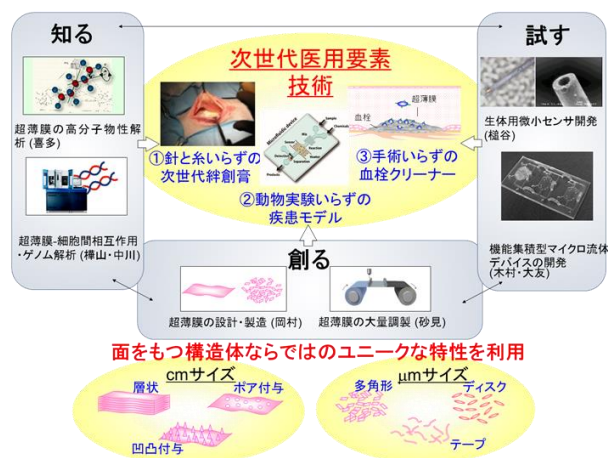


図1. 東海大学マイクロ・ナノ研究開発センターの概要

表1. マイクロ・ナノ研究開発センター構成員

所長	稲津敏行	工学部応用化学学科	教授
創るチーム			
	岡村陽介	工学部応用化学学科	准教授
	砂見雄太	工学部機械工学科	講師
試すチーム			
	槌谷和義	工学部精密機械工学科	教授
	木村啓志	工学部機械工学科	准教授
	大友麻子	医学部基礎医学系	助教
知るチーム			
	喜多理王	理学部物理学科	教授
	樺山一哉	糖鎖科学研究所（現阪大准教授）	
	中川 草	医学部基礎医学系	助教
	博士研究員6名，技術員3名，事務職員3名		
	(2018年2月現在)		

東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター

<http://www.mnc.u-tokai.ac.jp/>

東海大学イメージング研究センター

<https://www.ticar.u-tokai.ac.jp/>

第 28 回食品ハイドロコロイドシンポジウムと 食品ハイドロコロイドセミナー2017

松川 真吾*

2017 年 5 月 16 日 (火) と 5 月 17 日 (水) に東京海洋大学品川キャンパスにおいて、第 28 回食品ハイドロコロイドシンポジウムと食品ハイドロコロイドセミナー2017 が食品ハイドロコロイド研究会の主催により開催されました。本研究会は 1990 年に発足し、毎年、セミナーとシンポジウムを開催しており、最近では International Mini-Symposium on Food Hydrocolloids も毎年執り行っております。著者は現在、研究会の世話人代表を務めており、本稿が研究会の広報のような内容となっておりますことをご容赦願いたく存じます。

さて、2017 年のシンポジウムでは、エマルジョン、香り、咀嚼・嚥下の 3 つのセッションを設け、それぞれ 3 件ずつの講演がありました。エマルジョンのセッションではミクロゲルを用いた安定化手法、マイクロチャンネルを利用した粒径の均一化および乳化製品におけるサステナブルへの食品メーカーにおける取組についての講演がありました。香りのセッションでは、食品ゲルの破壊時のアロマリリス、乳飲料などの均質化処理工程が官能特性に与える影響およびフレーバーリリースの分析技術の応用が講演されました。最後の咀嚼・嚥下のセッションでは、食感を評価するための新しい動的食品物性評価システム、介護食のテクスチャーとテクスチャー特性の測定方法および嚥下困難者における咀嚼嚥下の特性とリハビリテーションの実践についての講演がありました。

シンポジウムでは、食のおいしさ・楽しさに関わるテーマを幅広く取り扱っていますが、例年、3 つのテーマに焦点を当ててそれぞれ 3 件程度の講演を行っていますが、嚥下・咀嚼に関するテーマは超高齢社会を迎えた我が国における最重要課題であると考え、毎年、セッションを設けています。香りも食品メーカーにおいて関心の高いテーマです。今回は 2 件の企業の研究者による講演があり、参加者も高い関心を寄せておりました。本シンポジウムでは大学等における基礎な研究と企業の研究者による実用化や製品化に近い研究が

各セッションのプログラムに入っています。そのため、聴講者も企業からの参加者が多いのが特徴になっています。

食品ハイドロコロイドセミナー2017においては、最近の研究手法として NMR 測定、分子間相互作用の解析手法、相分離挙動の理解、フードオーラルプロセッシングおよび五感コミュニケーション機能についての紹介と解説がありました。

小規模のシンポジウムとセミナーですが、参加者は徐々に増え、2017 年は延べ 140 名を超える参加者がありました。懇親会は天王洲アイルのウォーターフロントエリアに係留されているクルーザーで行われ、まさに食のおいしさ・楽しさを語る良い機会となりました。

また、International Mini-Symposium on Food Hydrocolloids 2017 は 9 月 2 日 (土) に同じく東京海洋大学品川キャンパスにおいて行われました。開催にあたっては、(公財)飯島藤十郎記念食品科学振興財団から助成金を受け、中国、韓国、シンガポール、ベトナムの海外の研究者 4 名を招聘することができました。国内在住のアジアからの若手外国人研究者 3 名を加えて、講演と意見交換が行われ、充実した内容でした。

2018 年の食品ハイドロコロイドセミナーおよびシンポジウムは 5 月 31 日 (木)、6 月 1 日 (金) に京都大学化学研究所に於いて開催されます。シンポジウムでは、1) ナノファイバーの基礎と食品への応用、2) タンパク質の変性とハイドロコロイド、3) 美味しさの評価と咀嚼・嚥下の 3 つのテーマが取り上げられます。セミナーでは、脂質の構造・ダイナミクス・機能と食品への応用に関する講演があり、さらに、京都大学化学研究所と農学研究科の見学ツアーが行われます。食のおいしさにおいて食品のレオロジー挙動は非常に重要なファクターであり、今後の介護食の研究開発においては重要な研究課題であると感じました。

詳しくは「食品ハイドロコロイド研究会」で検索し、プログラム等をご確認ください。

*東京海洋大学 海洋生命科学部 [〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7]

ISMCS2017 に参加して

迫田 大輔*

昨年の第 24 回 ISRBP (International Society for Rotary Blood Pump) から、記念すべき名称変更の第 1 年目となった第 25 回 ISMCS (International Society for Mechanical Circulatory Support), in Tucson, AZ, USA に参加した。これまでの ISRBP においても、決して Rotary Blood Pump (RBP) のみの発表というわけではなかったが、機械的補助循環に関連するあらゆる研究発表を広く受入りたいという思いからこの名称に変更されたと思っている。大会長の Prof. Marvin J. Slepian の専門分野である, Shear-mediated Platelets Activation の基礎的な研究発表が多かったことは当然として, Physiological Control や Monitoring 技術の発表ウェイトがこれまでより増加している。

特に興味を惹かれたのは、2016 年に日本でも承認された Abiomed 社のポンプカテーテル IMPELLA に光圧力センサが付加されていたことで、挿入部絶対圧力を実現していた。IMPELLA 用だけでなく、圧力光センサ付カテーテルの開発もあり、自身も体外式遠心血液ポンプの血栓検出光センサを開発しているが、この様にセンサ付補助心臓の開発が世界的に取り組まれてきている。また、サクション検出や心拍同期制御等、人工心臓が周囲環境を認識して自律的にふるまう”Smart VAD”の提唱等、今や Ventricular Assist Device (VAD) による 10 年以上の生存患者が現れる程にハードウェ

アとして素晴らしい完成度を達成したが、今後はソフトウェアの発展・実用化が世界的に取り組まれていくのではないかと感じている。

今回計 142 の演題を 3 日間で消化する例年以上にタイトなスケジュールであった。そのためポスター発表については注目される機会が非常に少なく、この点は今後の改善を期待したい。学会開始前の Young Investigators Pre-Symposium は良い取組と思う。今回はほとんどがアリゾナ大学からの演題だったが、学生の Oral Presentation の場を積極的に設けるため、今後はもっと広く募集してもらいたいと思う。

私が初めてこの学会に参加したのは、東京の八芳園で高谷節雄先生（当時東京医科歯科大学教授）が主催した 2005 年の第 13 回 ISRBP であった。この 12 年間の RBP の目覚ましい発展は喜ぶべきことだが、反面、現在では臨床研究や企業の最新の製品開発状況等の出口寄りの発表が多く、初歩のデバイス開発や新規参入の発表の比重はどんどん少なくなっている印象があるのは寂しい。人工心臓の様なハイリスク医療機器を実用化・製品化することが非常に困難な我が国であるが、基礎開発、新技術研究にチャレンジする学生、若手研究者の増加が望まれる。それは世界的にも望まれているが故の学会名称変更であると感じている。

* 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 健康工学研究部門 人工臓器研究グループ
[〒305-8564 茨城県つくば市 並木 1-2-1 つくば東事業所]

日本機械学会 第30回バイオエンジニアリング講演会

坂元 尚哉*

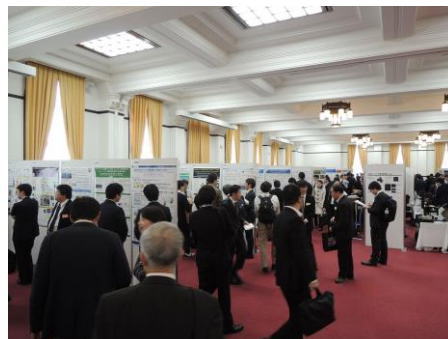
2017年12月14日(木)、15日(金)にわたって京都大学百周年時計台記念館で開催された日本機械学会第30回バイオエンジニアリング講演会(実行委員長 京都大学ウイルス・再生医科学研究所安達泰治先生)に参加した。今回は第30回目、また日本機械学会が120周年にあたる年を記念した大会として企画され、口頭発表中心の従来とは異なり、口頭発表は特別講演およびシンポジウム講演のみ、一般発表は全てポスター講演という形式で行われた。

特別講演4件およびシンポジウム講演17件はすべて一会場で行われ、講演会参加者全員が聴講できる形式であった。また口頭発表者の多くは、講演会を開催する日本機械学会に属していない、大学、国立研究所研および企業など他領域からの講演者であり、異分野との融合を更に発展させる狙いがあったと思われる。ポスター講演は約320件にのぼり、細胞バイオメカニクス・メカノバイオロジー、臨床バイオメカニクス、筋骨格系バイオメカニクス、呼吸器系バイオメカニクス、人工臓器・医療デバイス・バイオマテリアル、再生医療・医工学などのテーマに分かれて行われ、各ポスターにおいて2分間のショートプレゼンテーションもあった。セッション時間内にすべてを見て回ることは出来なかったが、若い学生から、一般講演をされる機会が少ないと思われる教授クラスまでの発表もあり、幅広い講演・プレゼンテーションが行われていたことが印象的であった。

また本講演会の特筆すべき特別企画として、元部門長であり日本バイオレオロジー学会にも多大な貢献をなされてきた谷下一夫先生、佐藤正明先生、山口隆美先生による講演およびパネリストによる自由討論会が挙げられる。この企画は、これ

までの部門の歴史を振り返り、今後の活動について議論することを目的に開催され、パネリストとして部門長経験者のみならず、40歳前後の中堅研究者も登壇した。軽食の提供もあり、非常にリラックスした雰囲気での講演・議論が行われ、多いに盛り上がった企画であったと言える。予定していた時間を過ぎても議論は収束せず、その日の講演会が終了した後、夜の街に会場を移して議論が続いていた。このような自由に討論する企画開催は本会においても一考の価値があると感じられた。

次回は2018年12月14日、15日に日本大学工学部(福島県郡山市)で開催される。



ポスター講演会の様子



30周年記念特別企画会場

*首都大学東京システムデザイン学部 [〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1]

行事予定

第 41 回日本バイオレオロジー学会年会のご案内

日本バイオレオロジー学会会員の皆様

皆様方におかれましては、益々ご清祥のこととお慶び申し上げます。

この度、第 41 回日本バイオレオロジー学会年会を 2018 年 6 月 16 日（土）・17 日（日）の 2 日間、名古屋大学大学院工学研究科（愛知県名古屋市）にて下記の要領で開催させて頂くことになりました。

バイオレオロジーに関連する生命科学、臨床医学、食品科学、生体医工学など多方面からのご発表とご討論を頂き、バイオレオロジーの更なる発展に繋がる有意義な機会となることを切望しております。また、例年通りポスターセッションを設け、優秀ポスター賞の表彰を行う予定です。実りある年会になるよう準備を進めて参りたいと存じますので、ご支援とご協力のほど宜しくお願い申し上げます。

皆様方のご参加を心よりお待ちしております。

第 41 回日本バイオレオロジー学会年会

会長 松本 健郎

（名古屋大学 大学院工学研究科 機械システム工学専攻）

記

会 期 2018 年 6 月 16 日（土）・17 日（日）

会 場 名古屋大学 大学院工学研究科 IB 電子情報館（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

<http://www.engg.nagoya-u.ac.jp/access/campusmap.html>

年会HP <http://www.biorheology.jp/nenkai/41/index.html>

アクセス 名古屋市営地下鉄名城線・名古屋大学駅 3 番出口直結（名古屋駅から地下鉄約 25 分）

<http://www.nagoya-u.ac.jp/access/index.html>

連絡先 名古屋大学 大学院工学研究科 機械システム工学専攻 バイオメカニクス研究室

第 41 回日本バイオレオロジー学会事務局

〒464-8603 名古屋市千種区不老町

Tel: 052-789-2695

E-mail: BRNagoya18@lab-ml.web.nitech.ac.jp

第 33 回バイオロロジー・リサーチ・フォーラムのご案内

第 33 回バイオロロジー・リサーチ・フォーラムを下記の通り開催致します。今回のテーマは「ゲルと細胞応答のメカノバイオロロジー」です。近年様々なハイドロゲルを用いた培養が行われており、ハイドロゲルの組成に起因する生化学的なシグナルだけでなく、表面形状や力学的性質などに起因する物理的なシグナルに対する細胞応答にも注目が集まってきました。本フォーラムでは、光操作可能なハイドロゲル培養基材などのスマート材料を用いて細胞応答を調べた研究やハイドロゲル内部をがん細胞が浸潤していくプロセスを解析したメカノバイオロロジーの研究についてご紹介します。多数の皆様のご参加をお待ちしております。

主 催：日本バイオロロジー学会

日 時：平成30年3月1日（木） 15：00~16：45

場 所：関西大学東京センター

<http://www.kansai-u.ac.jp/tokyo/map.html>

テーマ：ゲルと細胞応答のメカノバイオロロジー

司 会：須藤 亮（慶應義塾大学理工学部）

講 演：

1. 15:00~15:50 スマート材料による細胞メカノバイオロロジーの動的操作

宇都 甲一郎 （物質・材料研究機構 若手国際研究センター ICYS研究員）

2. 15:55~16:45 三次元ハイドロゲルにおけるがん細胞浸潤プロセスの解析

須藤 亮 （慶應義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科 准教授）

参加費：無料 （事前参加登録は必要ありません。）

学会員で無い方の参加も歓迎します。

問い合わせ先：バイオロロジー・リサーチフォーラム事務局

東京大学 大学院医学系研究科 システム生理学

E-mail: bme@m.u-tokyo.ac.jp

行事予定

協賛学会などの予定

以下、協賛しています学会・シンポジウムなどの予定をお知らせ致します。

(1) 食品ハイドロコロイドセミナー2018 ～初心者のためのハイドロコロイド研究法の解説～

主 催：食品ハイドロコロイド研究会

日 時：平成30年5月31日(木)

場 所：京都大学化学研究所 共同研究棟 大セミナー室（京都府宇治市）

ホームページ：<http://food.hydrocolloids.org/sympo>

(2) 第29回食品ハイドロコロイドシンポジウム

主 催：食品ハイドロコロイド研究会

日 時：平成30年6月1日(金)

場 所：京都大学化学研究所 共同研究棟 大セミナー室（京都府宇治市）

ホームページ：<http://food.hydrocolloids.org/sympo>

(3) 講話「レオロジー・クラシック」2018

主 催：日本レオロジー学会

日 時：平成30年6月15日(金)

場 所：京都リサーチパーク（西地区）4号館2階 ルーム2-B（京都市下京区）

ホームページ：<http://www.srj.or.jp/>

(4) 混相流シンポジウム2018

主 催：日本混相流学会

日 時：平成30年8月8日(水)～10日(金)

場 所：東北大学（宮城県仙台市）

ホームページ：<http://www.jsmf.gr.jp/mfsymp2018/>

(5) 日本流体力学会年会2018

主 催：一般社団法人 日本流体力学会

日 時：平成30年9月3日(月)，5日(水)，6日(木)

場 所：大阪大学豊中キャンパス（大阪府豊中市）

ホームページ：<http://www2.nagare.or.jp/nenkai2018/>

(6) 日本流体力学会創立50周年記念シンポジウム

主 催：一般社団法人 日本流体力学会

日 時：平成30年9月4日(火)

場 所：大阪大学豊中キャンパス、大阪大学会館（大阪府豊中市）

ホームページ：<http://www2.nagare.or.jp/50/>

岡小天基金 寄付金納付者

以下，平成２９年１０月～平成３０年３月に岡小天基金へご寄付頂きました方々のお名前です．この場を借りまして，厚くお礼申し上げます．

佐藤 恵美子

(敬称略)

新入会員

以下，平成29年10月～平成30年3月に新たに会員になられた方々のお名前です．

夏井 裕明 橋本 成広 佐伯 壮一 川端 彬嗣

篠田 啓貴

(計5名)

FAX : 0463-93-6679

会員No. _____

E-mail : office@biorheology.jp

S 事務局記入

特定非営利活動法人 日本バイオレオロジー学会 入会申込書

申込み日 年 月 日

会員種別 (○印)	正会員・学生会員・賛助会員 (*の欄のみご記入下さい)	希望入会年度	年度
-----------	-----------------------------	--------	----

※会費年額 : ¥8,000 (正会員)、¥3,000 (学生会員)、1口¥50,000 (賛助会員)

※入会金 : 不要

氏名 または * 団体名	フリガナ				生年月日(西暦)		
					年 月 日		
	ローマ字						
E-mail (必須)							
勤務先 および * 所在地	勤務先名 (在学先名)					職名	
	(〒 -)						
	TEL		内線 :	FAX			
自宅 住所	(〒 -)						
	TEL		FAX				
最終学歴					西暦	年 卒業	
					学位		
希望連絡先 (○印を付ける)		勤務先 自宅					
現在ご関心のあるバイオレオロジーのテーマに○を付けてください (複数可)		1.血管内治療 2.循環器系ダイナミクスと疾患 3.血液レオロジーと微小循環 4.細胞・分子のメカノバイオロジー 5.ティッシュエンジニアリング・人工臓器 6.生体物質の構造形成と機能発現・制御 7.食品およびソフトマターのレオロジー 8.その他()					
* 団体代表者 および担当者氏名・役職		(役職)			* 申込 口数	計 万円	

※学生会員として申し込む方は、在学証明書と指導教員の情報を必ずご記入ください。

在学証明書 学生証のコピーを直接お貼りください。	所属研究室名	
	指導教員	
	特定非営利活動法人 日本バイオレオロジー学会事務局 〒259-1193 神奈川県伊勢原市下糟屋 143 東海大学医学部内科学系循環器内科学 後藤教授室内 TEL : 0463-93-1121 FAX : 0463-93-6679 E-mail : office@biorheology.jp	

日本バイオレオロジー学会誌（B & R, 電子版）投稿規定

（平成 21 年 10 月制定，平成 27 年 7 月改定，平成 27 年 9 月改定，平成 28 年 3 月改定）

1. 投稿資格

本誌への投稿責任者（連名の場合は，1 名以上）は，日本バイオレオロジー学会会員でなければならない。ただし，依頼原稿の場合はこの限りではない。

2. 投稿原稿の種類

投稿できる原稿は，「総説」，「解説」，「原著論文」，「ノート」および「その他」とする。英語の論文（Original articles, Brief communications, Review articles）については，日本バイオレオロジー学会英文誌の Journal of Biorheology（URL: <http://www.biorheology.jp/jb.html>）への投稿を勧める。

2. 1. 総説

「総説」は，バイオレオロジーとそれに関連した分野における特定の研究や主題について，資料や文献を付して総括的に論述するものである。「総説」の長さは，仕上がりで 10 ページ以内とする。表題頁の左上には「総説」と明示する。

2. 2. 解説

「解説」は，バイオレオロジーとそれに関連した分野における諸課題や最近の進歩，有用な概念・手法などについて解説するものである。「解説」の長さは，仕上がりで 10 ページ以内とする。表題頁の左上には「解説」と明示する。

2. 3. 原著論文

「原著論文」は，バイオレオロジーとそれに関連した分野における独創的研究で，他誌に未発表の論文とする。「原著論文」の長さは，仕上がりで 10 ページ以内とする。英文要旨は 200 words 以内とする。表題頁の左上には「原著論文」と明示する。

2. 4. ノート

「ノート」は，前項の「原著論文」とするほどまとまった形ではないが，バイオレオロジーとそれに関連した分野における独創性，有用性，速報性のいずれ

かを有する研究で、研究方法に関するユニークなアイデア、実験で得られた興味深いデータ、臨床的に貴重な症例などを対象とする。「ノート」の長さは、仕上がりで4ページ以内とする。英文要旨は100 words 以内とする。表題頁の左上には「ノート」と明示する。

2. 5. その他

「掲載原稿に対する意見」、「書評」、「研究（室）紹介」、「各種行事（国内外学会など）の予告」などは、編集委員会が会員に役立つと認めた時に掲載される。

3. 執筆要領

「原稿テンプレート」のフォーマットに従って和文で作成し、フォーマットは変更しない。本誌は電子版であるため、最終原稿がそのまま PDF ファイルとして掲載される。

4. 倫理規定

ヒトを対象とした研究データが含まれる場合は、ヘルシンキ宣言に準拠して被験者の人権やプライバシーに十分配慮すること。動物を対象とする実験においても、動物福祉の面に十分配慮が求められる。原稿中には、倫理規定に準拠し、所属施設の倫理委員会あるいはこれに準ずる機関の承認を得て行った研究であることを明記すること。

5. 利益相反

「原著論文」と「ノート」については、著者全員を対象として本文末に利益相反の有無を明記すること。利益相反のある場合には、利害関係のある企業等との関係を記載すること。

6. 投稿原稿の採否

投稿原稿の採否は、編集委員会が委嘱する複数の査読者の審査に基づき、編集委員会が決定する。再投稿の期限は、返送の日より6ヶ月以内とする。なお、総説については、明確な観点から会員にわかり易く記述されているか、解説については、明確な論理で会員にわかり易く解説されているか、それぞれ査読する。

7. 著者校正

掲載前にフォーマットなどの再確認が必要な場合のみ、編集委員会から連絡する。

8. 掲載料

掲載料は、「原著論文」では2万円、「ノート」では1万円、「総説」と「解説」では無料とする。

9. 別刷り

本誌は電子版（PDF）であるため、別刷りは取り扱わない。

10. 掲載号の公開

掲載号は、まず学会ホームページに掲載し、次年度に J-STAGE のバイオレオロジー学会誌欄 (<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jpnbr/-char/ja/>) にも掲載する。掲載号の公開は、会員には発行と同時にパスワードを設けて行い、一般には発行日の1年後に行う。

11. 著作権

掲載された記事（「総説」、「解説」、「原著論文」、「ノート」および「その他」）についての著作権は、日本バイオレオロジー学会に属する。また、年会で投稿された抄録の著作権については、記事と同じ規定を適用する。

著者は、他者（個人、団体）が著作権を有する文章および図表を記事に利用する場合、投稿に先立って著作権者から利用許諾を得ておかなければならない。

著者は、第三者からの掲載記事の利用許諾の要請に対し、これを本学会が認めれば著者も同じく認めることにつき、記事の投稿の時点で同意したものとする。

著者は、著作権法第30条の範囲内で私的使用する場合、もしくは私的使用以外で非営利目的である場合は、本学会へ許諾申請することなく、記事の全文または一部の複製、翻案、翻訳を行うことができる。ただし、掲載記事の全文を複製して他の著作物に利用する場合、出所を明示しなければならない。

12. 原稿の提出先

本誌は電子版であるため，基本的に電子メールによる．原稿は，投稿票と一緒に，日本バイオレオロジー学会誌（B & R，電子版）編集委員長 山田宏宛にメールに添付して送信する．必ず，メールの **Subject**（件名）欄に「日本バイオレオロジー学会誌原稿」と記入する．なお，ファイルのサイズが大きすぎると送受信できない場合があるので，ファイルを添付せずに投稿した旨を知らせるメールも送信する．また，休日を除いて7日以内に受信の連絡がなければ，問い合わせること．

〒808-0196 福岡県北九州市若松区ひびきの 2-4

九州工業大学 大学院生命体工学研究科 生体機能応用工学専攻

山田 宏

E-mail: yamada@life.kyutech.ac.jp

日本バイオレオロジー学会誌投稿票

(投稿規程に従い原稿を作成し、本票にご記入の上、一緒に提出してください)

1. 表題

(和文) _____

(英文) _____

2. 著者全員の氏名 (漢字及びローマ字で書き、会員番号も併記する。非会員は000と記入)

(会員番号 _____)

(会員番号 _____)

(会員番号 _____)

(会員番号 _____)

(必要に応じて行を追加して下さい)

3. 投稿責任者の連絡先 (郵便番号、住所、氏名、電話番号、Fax 番号、e-mail アドレス)

4. 原稿区分

☐ 総説

☐ 解説

☐ 原著論文

☐ ノート

☐ その他 (_____)

※その他には、掲載原稿に対する意見、書評、研究(室)紹介、各種行事(国内外学会など)の予告、学生会員のページ欄などが該当します。

5. 本原稿は、全体で (_____) ページ

6. 編集委員会への連絡事項

※原稿の作成には、編集委員会が作成したテンプレートを使用してください。

編集後記

日常生活の中ではどんな所でも、そこで提供されている食べ物は体に良いはずという理解が有ります。それでも、外食を摂る際に聴く「美味しいですよ」は定番句でも、こちらから「この料理は体にいいですか？」などと尋ねると、提供者はキョトンとしてしまうものです。時には「明日はお肌つるつるですよ！」などと返される事も。文明が高まった先で、一人一人が摂取する栄養素や機能性のバランス取りは食べる側の責任なのでしょうか。それとも提供する側の責任なのでしょうか。患者と医師の間のような契約関係はありません。そして食品産業の構造は、中小企業者が大勢を占め、それぞれの理念も様々です。まだまだパラダイムシフトを必要としているのかもしれませんが。

本号では、フードサイエンス分野の総説2編を掲載しており、学会参加記でもこの分野の様子をお伝えいただきました。

(市川 寿)

編集委員会

編集委員長

山田 宏

編集委員

市川 寿

田地川 勉

喜多 理王

西田 正浩

坂元 尚哉

一杉 正仁

庄島 正明

望月 精一

日本バイオレオロジー学会誌 (B & R, 電子版) 第32巻 第1号

2018年4月12日発行

編集者 山田 宏

発行者 丸山 徹

特定非営利活動法人 日本バイオレオロジー学会・事務局

〒259-1193 神奈川県伊勢原市下糟屋143

東海大学医学部内科学系循環器内科学 後藤教授室内

TEL 0463-93-1121 (内線 2227)

FAX 0463-93-6679

E-MAIL office@biorheology.jp

© copyrighted 2018, by Japanese Society of Biorheology
