

嚥下困難者用高分子電解質ゲルのテクスチャーに対する塩類の影響

Effect of Salts on the Texture of Polyelectrolyte Gels for Dysphagic Patients

秋間彩香・谷米 (長谷川) 温子・熊谷仁

Ayaka Akima, Atsuko Hasegawa-Tanigome, and Hitoshi Kumagai

1. 緒言

近年、摂食時に誤嚥（食物の嚥下時に食塊が気管から肺へと到達すること）をする高齢者の増加に伴い、増粘剤やゲル化剤を用いた嚥下困難者用介護食（以下、介護食）の開発が行われている。

介護食には軟らかく、べたつかず、まとまりやすい物性のものがよいとされ、そうした特性は2バイトテクスチャー試験（Texture Profile Analysis; TPA 試験）^{1, 2)}で評価されることが多い。TPA 試験では、図1に示すように、円筒形の試料の上部にレオメータに装着した平らなプランジャーを当てて一定の速度（測定速度）で2回圧縮し、応力 vs. 歪みの関係を測定する。そして、1回目の圧縮ピークの高さがかたさ

(hardness)、その直後の引っ張り過程の負の応力を示すピーク面積が付着性 (adhesiveness)、2回目の圧縮ピークと1回目の圧縮ピークの面積比が凝集性 (cohesiveness) と定義される。付着性はべたつき、凝集性はまとまりやすさの指標とされる。2009年に、厚生労働省は、「えん下困難者用食品」の基準を策定した（2010年に消費者庁に移管）^{3, 4)}。この新基準では、硬さ（「えん下困難者用食品」の基準では硬さという漢字が用いられているので、本稿でも以下、硬さと表記する）、付着性、凝集性の3つのパラメータに関して、許可基準Ⅰ（重度）から許可基準Ⅲ（軽度）までそれぞれの範囲が設定されている^{3, 4)}。

嚥下困難者にどのような物性の食品が適しているかは非常に難しいが、物性の選定、数値化

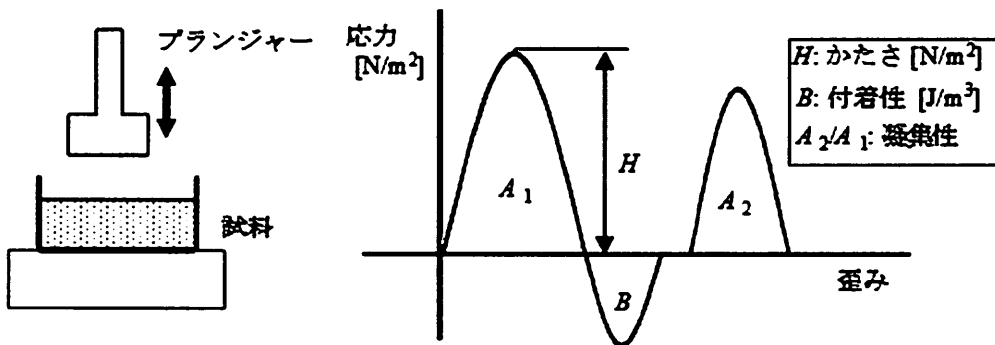


図1 TPA 試験 (Texture Profile Analysis)

は重要な問題である。一方で、作られた物性基準に合致した介護食を調製するテクスチャーデザインを行うことも重要である。介護食に用いられるゲル化剤には、ゼラチンや、 κ -カラギーナンなど高分子電解質のものが多くみられる。金属塩は、高分子電解質と多様な相互作用をし、ゲルや増粘剤溶液など食品ハイドロコロイドの物性に大きな影響を与える。しかし、ハイドロコロイドのべたつきや食塊のまとまりやすさと対応する大変形の力学特性・テクスチャーや嚥下特性に対する金属塩の影響は明らかではない。本研究では、電解質高分子から調製される食品ハイドロコロイドや介護食品のテクスチャーに金属塩が与える影響に関して検討を行った。

2. 方法

2.1. 試料

ゲルとしては、壊れにくいゲルを形成する、 κ -カラギーナン（以下、CA）、弾力性に富み、離水が少ないゲルを形成する、ローカストビーンガム・ κ -カラギーナン混合ゲル（以下、LOCA）、なめらかな食感のゲルを形成するゼラチン、弾力に富み壊れにくいゲルを形成するローカストビーンガム・キサントランガム混合ゲル（以下、LOXA）を用いた。これらのゲル調製に用いた、 κ -カラギーナン、ローカストビーンガム、ゼラチン、キサントランガムは、介護食としてもよく利用される増粘剤、ゲル化剤である。

添加する金属塩としては一価の金属塩である塩化ナトリウムと二価の金属塩である塩化カルシウムを用いた。

2.2. テクスチャー測定

本研究では、大変形を伴う試験法として、上述の TPA 試験の他、試料の破壊特性を評価するための破断試験を行った。

2.2.1. TPA 試験

TPA 試験は、厚生労働省の「えん下困難者用食品」の基準の測定方法に準拠して行った。直径 40mm のステンレス製のシャーレに高さあるいは深さ 15mm に充填した試料を、直径 20mm、高さ 8mm の樹脂製円柱型プランジャーを用いてクリアランス 5mm（変形率 66.6%）、プランジャー速度 10mm/s で試料の中心部を 2 回連続圧縮した。得られたテクスチャー曲線から、硬さ、付着性、凝集性を算出した。装置としては、(株)山電(東京)社製のレオメータ“レオナーRE 2-33005C”を用いた。測定温度は、CA、LOCA、LOXA に関しては 20℃、ゼラチンに関しては 10℃とした。

2.2.2. 破断試験

破断試験は、図 2 に示すようにプランジャーにより試料を一定速度で圧縮し、そのときにかかる破断荷重と歪みの関係を求めるものである。

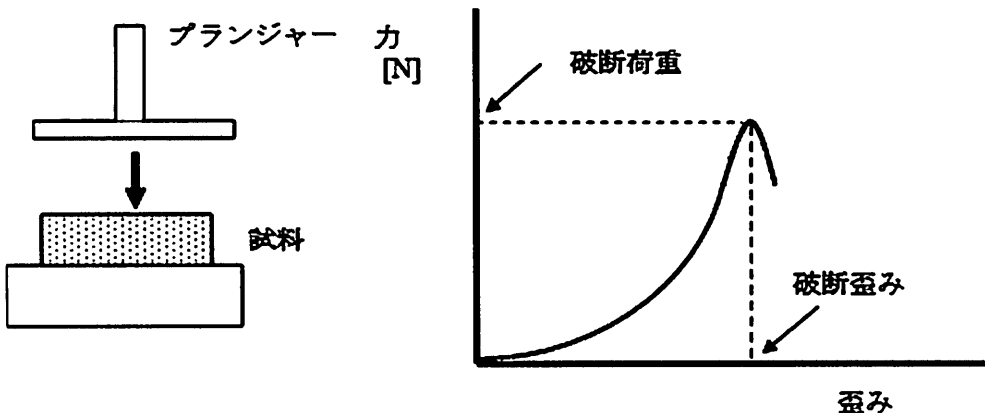


図2 破断試験

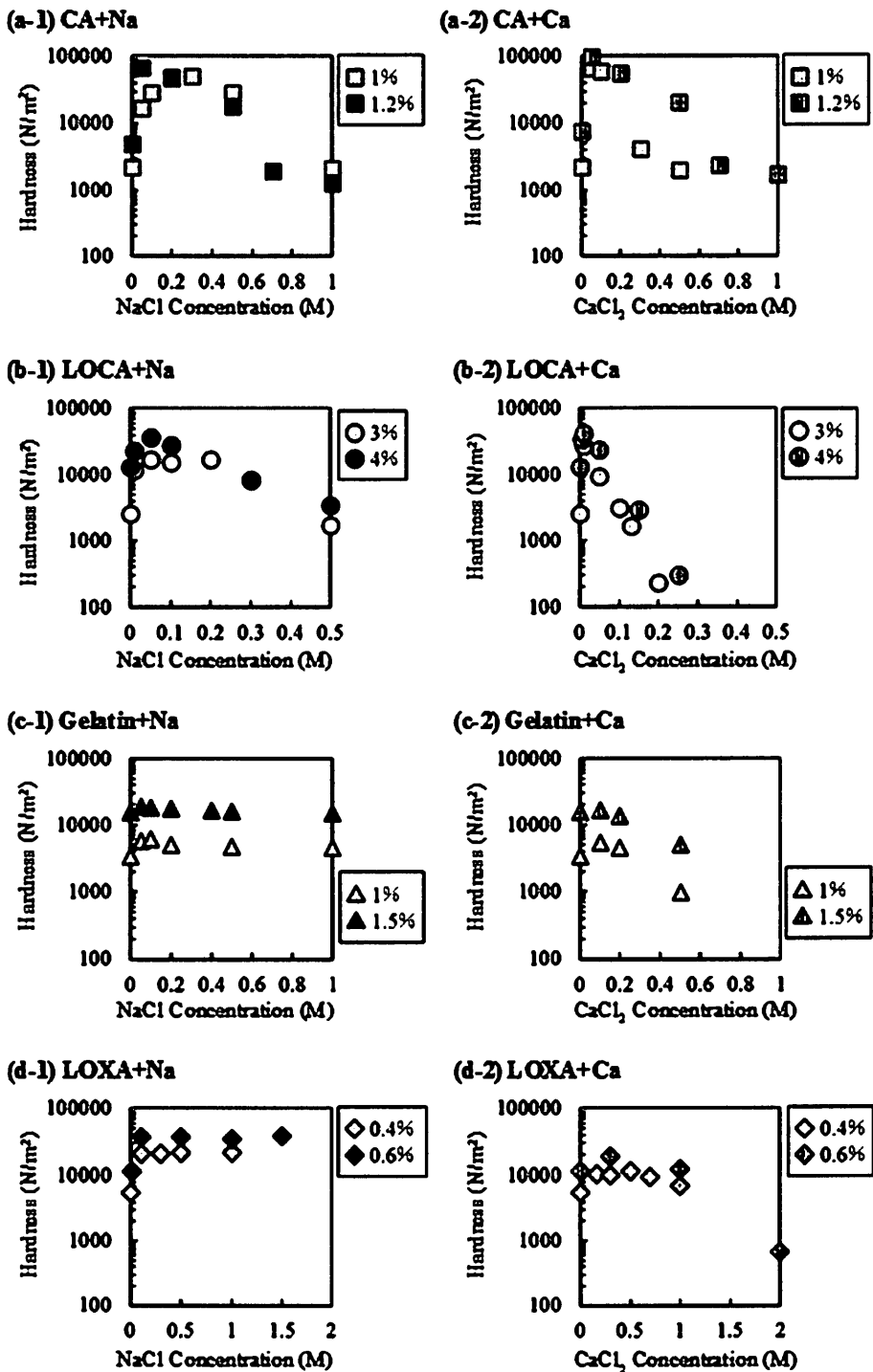


図3 ゲルの硬さ (Hardness)

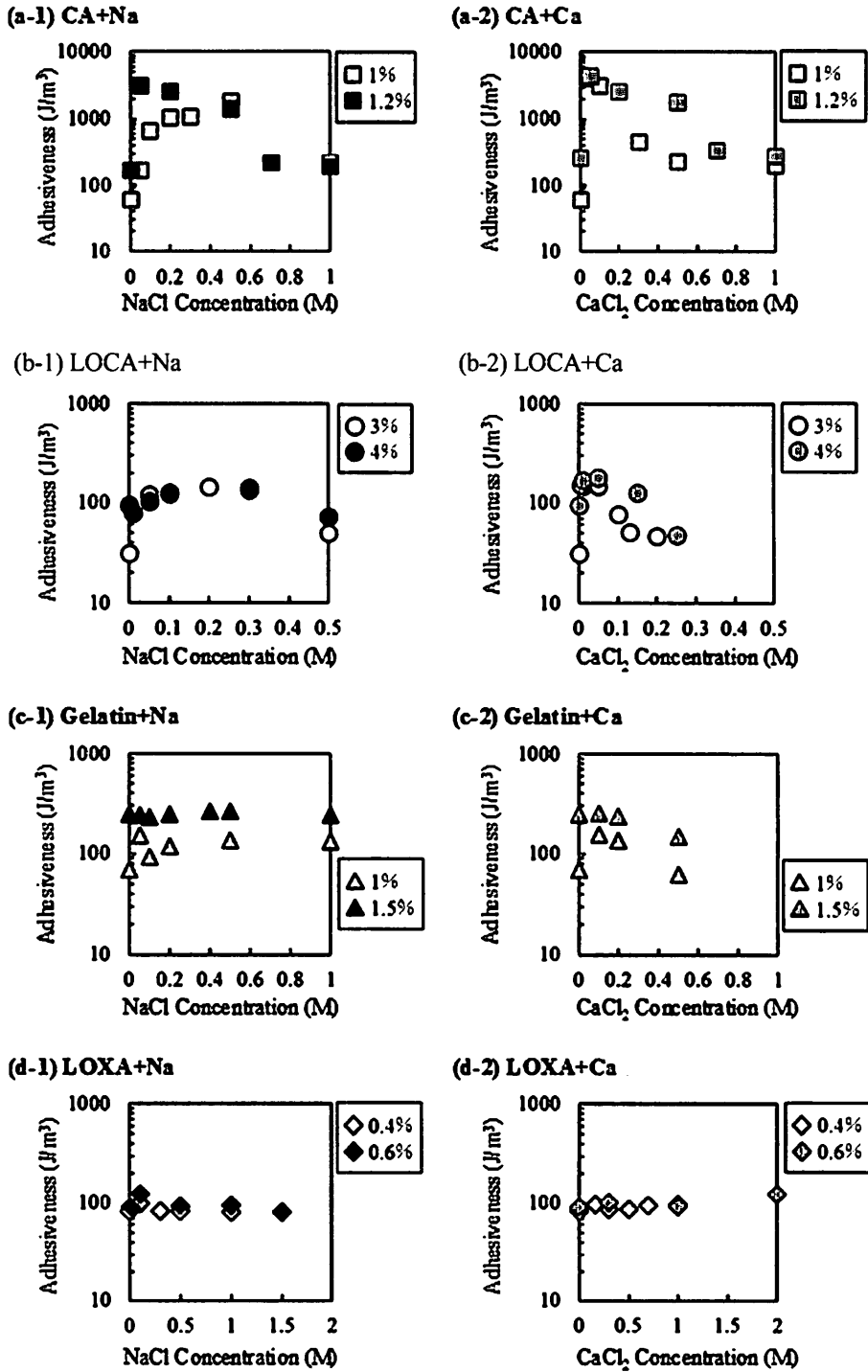
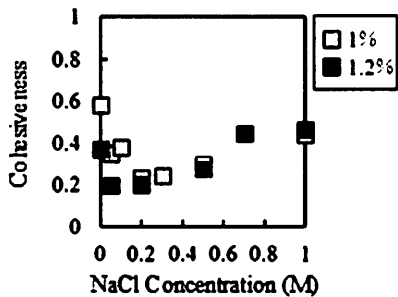
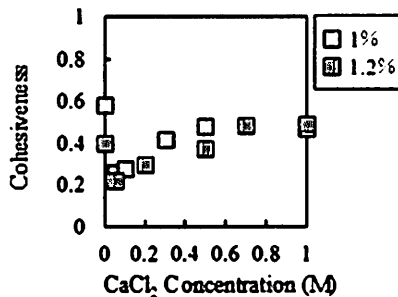


図4 ゲルの付着性 (Adhesiveness)

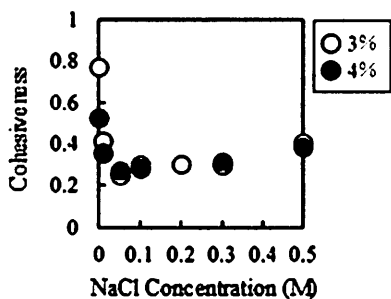
(a-1) CA+Na



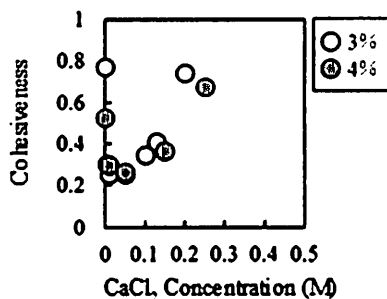
(a-2) CA+Ca



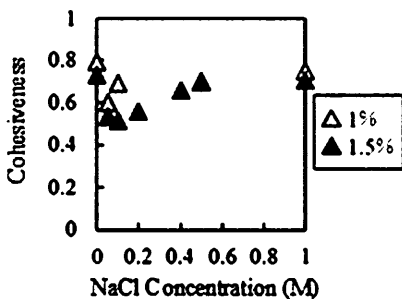
(b-1) LOCA+Na



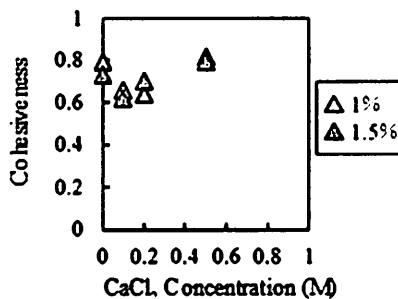
(b-2) LOCA+Ca



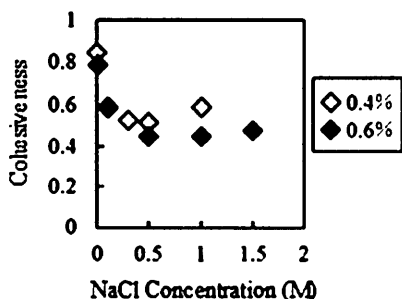
(c-1) Gelatin+Na



(c-2) Gelatin+Ca



(d-1) LOXA+Na



(d-2) LOXA+Ca

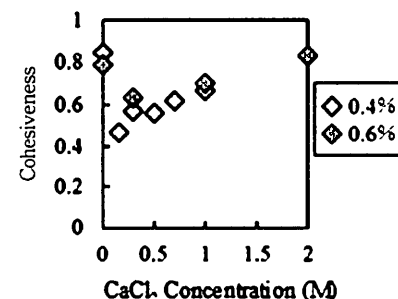
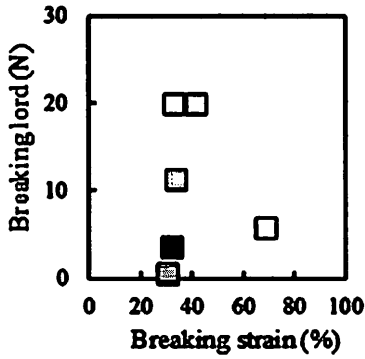


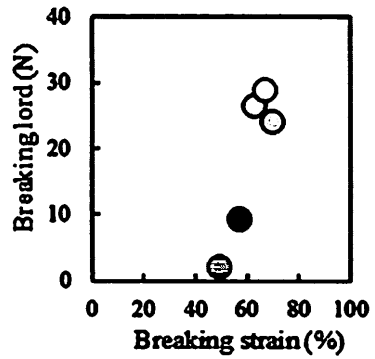
図5 ゲルの凝集性 (Cohesiveness)

(a) CA



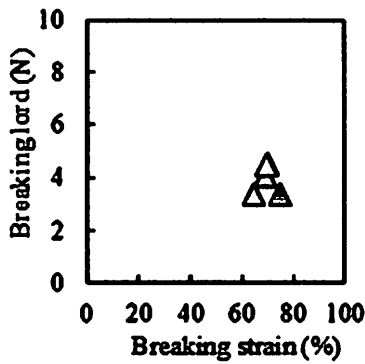
CA 1.2%
 □ Non addition. □ NaCl 0.2 M.
 ■ NaCl 0.7 M. ▨ CaCl₂ 0.05 M.
 ▩ CaCl₂ 0.2 M. ▪ CaCl₂ 0.5 M

(b) LOCA



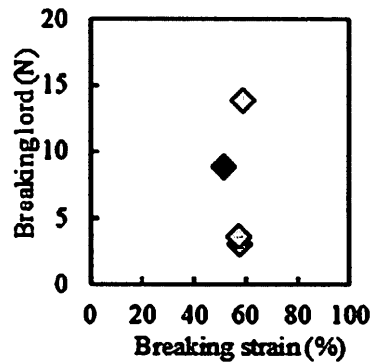
LOCA 4.0%
 ○ Non addition.
 ⊙ NaCl 0.05 M. ● NaCl 0.3 M.
 ⊕ CaCl₂ 0.01 M. ⊗ CaCl₂ 0.15 M

(c) Gelatin



Gelatin 1.5%
 △ Non addition.
 ▴ NaCl 0.5 M. ▲ NaCl 1 M.
 ▾ CaCl₂ 0.1 M. ▹ CaCl₂ 0.5 M

(d) LOXA



LOXA 0.4%
 ◇ NaCl 0.1 M. ◆ NaCl 2 M.
 ◊ CaCl₂ 0.15 M. ◈ CaCl₂ 1 M

図6 ゲルの破断挙動

ゲルなどの固体試料が破壊すると図のように破断曲線にピークが生じる。最初に得られたピークを破断点とし、そのときの荷重の値を破断荷重、歪みの値を破断歪みとする。

破断試験においても、レオメータとしては、山電社製 RE 2-33005C を用いた。測定は、直径 22mm、高さ 8mm の試料を直径 55mm、高さ 8mm の樹脂製円柱型プランジャーを用いて、測定速度 1 mm/s で、歪み 90.0%で行った。測定温度は、TPA 試験と同様にした。

3. 結果と考察

3. 結果と考察

3.1. TPA 試験

図 3 に TPA 試験から求められる硬さの測定結果を示す。図の左側は塩化ナトリウム、右側は塩化カルシウムを添加した図である。CA、LOCA の硬さの値は、いずれのゲル化剤濃度においても、塩化ナトリウム、塩化カルシウムの少量添加により 10 倍以上増加したが、さらに添加濃度が増すにつれて低下した。ゼラチンの硬さの値は、塩化ナトリウム添加では変化がほとんど見られなかったが、塩化カルシウム添加では添加濃度が増すことで低下した。LOXA の硬さの値は、塩化ナトリウム、塩化カルシウム共に少量添加により 10 倍程度まで値が増加し、その後添加濃度を増すと塩化ナトリウムでは変化が見られず、塩化カルシウムでは低下した。つまり、いずれのゲルにおいても、検討したゲル化剤濃度範囲では、添加塩濃度の増加により硬さの値が増加し、さらに高濃度になると低下する傾向がみられた。これは、塩添加により高分子電解質間の架橋点 (junction zone) は増えるが、塩濃度が高くなるとイオンによる電荷遮蔽効果によって硬さの値が低下するためと考えられる⁵⁾。

国の「えん下困難者用食品」の基準においては硬さの範囲が、許可基準 I では $2.5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$ N/m²、許可基準 II (中程度) で $1 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^4$ N/m²、許可基準 III で $3 \times 10^2 \sim 2 \times$

10^4 N/m² と設定されている^{3, 4)}。図 3 から、塩添加によって各ゲル、特に CA、LOCA の硬さの値は、許可基準の範囲に制御可能なことがうかがわれる。

図 4 に TPA 試験から求められる付着性の測定結果を示す。CA の付着性の値は、硬さと同様に、塩化ナトリウム、塩化カルシウムの少量添加によって 10 倍以上増加したが、さらに添加濃度が増すにつれて低下した。LOCA、ゼラチン、LOXA に関しては、金属塩の添加による付着性の値の大きな変化は見られなかった。

国の「えん下困難者用食品」の基準においては付着性の設定範囲が、許可基準 I では 4×10^2 J/m³ 以下、許可基準 II では 1×10^3 J/m³ 以下、許可基準 III では 1.5×10^3 J/m³ 以下である^{3, 4)}。図 4 から、塩添加によって、ゲルの特に CA の付着性値は、許可基準の範囲に制御可能なことが確認できる。

図 5 に TPA 試験から求められる凝集性の測定結果を示す。いずれのゲルにおいても、塩化ナトリウム、塩化カルシウムの少量添加によって 0.2~0.4 付近まで凝集性が低下し、さらに添加濃度が増すにつれて値が増加した。

「えん下困難者用食品」において凝集性の範囲は、許可基準 I では 0.2~0.6、許可基準 II では 0.2~0.9 に設定されている (許可基準 III では凝集性の範囲は設定されていない)^{3, 4)}。今回使用したゲル化剤では、塩添加により凝集性の値を 0.2~0.8 程度まで変化させることができた。

3.2. 破断試験

図 6 に破断試験から求められた破断荷重と破断歪みの関係を示す。CA に関しては、塩化ナトリウム、塩化カルシウム共に、少量添加によって破断荷重が高くなり破断歪みは低下し、硬くてもろいゲルに変化することが確認された。さらに金属塩の添加量が増加すると、破断荷重は低下し、やわらかく壊れやすいゲルに変化した。LOCA では、金属塩の添加量増加に伴って破断荷重、破断歪率は低下し、やわらかく壊れ

やすいゲルに変化した。ゼラチンに関しては、塩化ナトリウム添加では破断荷重と破断歪みの変化はなく、塩化カルシウムの添加によってよりやわらかいゲルに変化した。LOXAは、無添加では弾力があり壊れにくいいため明確な破断点は見られなかったが、金属塩の添加によって壊れやすいゲルに変化した。

TPA試験から得られる凝集性は、嚥下困難者用食品の“まとまりやすさ”の指標として採用されている。嚥下困難者用食品に求められる“まとまりやすさ”とは、摂食時の食塊形成のしやすさ、食塊のまとまりやすさ（食塊がばらばらになりにくいこと）である。ただ、TPA試験から求められる凝集性は、第2のピーク面積 A_2 と第1ピークの値 A_1 の比である。破壊されやすい試料に関しては、第2のピーク面積 A_2 が第1ピークの値 A_1 に比べて小さくなるので、凝集性の値は小さくなる。こうした破壊しやすいものを“まとまりにくい”食品として凝集性の値から評価することは妥当そうである。塩添加により破断応力あるいは破断歪みが低下し破壊しやすくなる（図6）と、凝集性の値の低下する（図5）傾向がうかがわれる。

4. まとめ

本研究では、複数のゲルを用いて、塩添加がゲルのテクスチャーに及ぼす影響に関してより検討を行った。その結果、添加する金属塩の種類や量を調整することにより、多様なテクスチャーを有するゲルの調製が可能であることが確認された。

謝辞

本研究の一部は、ソルト・サイエンス研究財団（H28年度助成番号1653）の助成を受けて行った。

参考文献

- 1) Pons, M., M.Fiszman S.; *J. Texture Stud.*, 27, 597-624 (1996)
- 2) A. J. Rosenthal A.J.; *J. Texture Stud.*, 41, 672-684 (2010)
- 3) 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知：特別用途食品の表示許可等について (2009)
- 4) 熊谷仁, 谷米（長谷川）温子, 田代晃子, 熊谷日登美, *化学と生物*, 49, 610-619 (2011)
- 5) 中川鶴太郎, 岩波レオロジー, 岩波全書 249, 岩波書店 (1978)