

# 食品ハイドロコロイドの構造と物性

共立女子大学家政学部 熊谷 仁

# ハイドロコロイド

直径10~1000 nmの粒子が水を連続相に分散している状態  
(コロイド状態を制御するために使用される多糖類やタンパク質)

## ハイドロコロイドの機能

増粘, ゲル化, 保水, 分散, 安定, 皮膜形成, 起泡, 乳化

## ハイドロコロイドの用途

分離担体, 固定化担体

## テクスチャーモディファイヤー

マヨネーズ, ドレッシング, デザートゼリー, アイスクリームなど

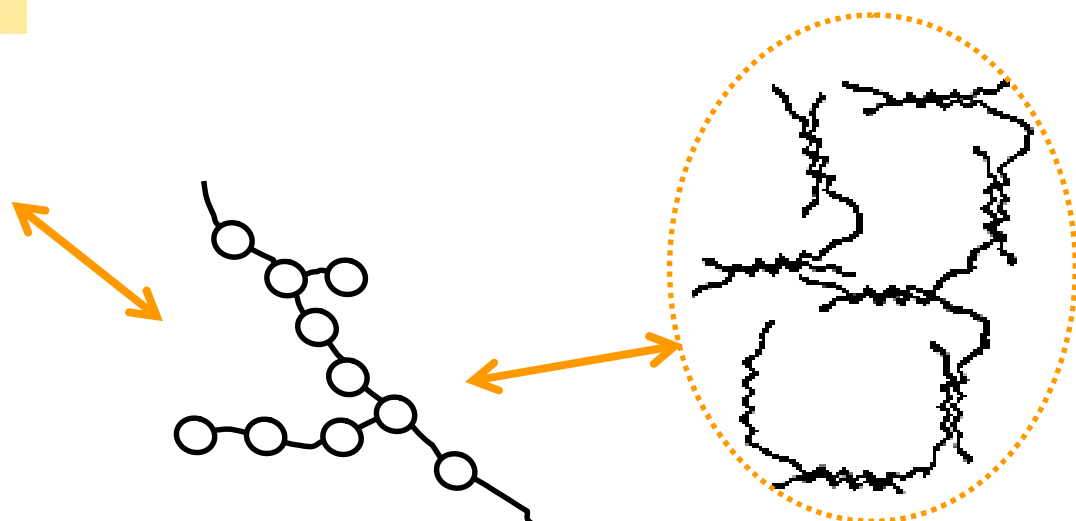
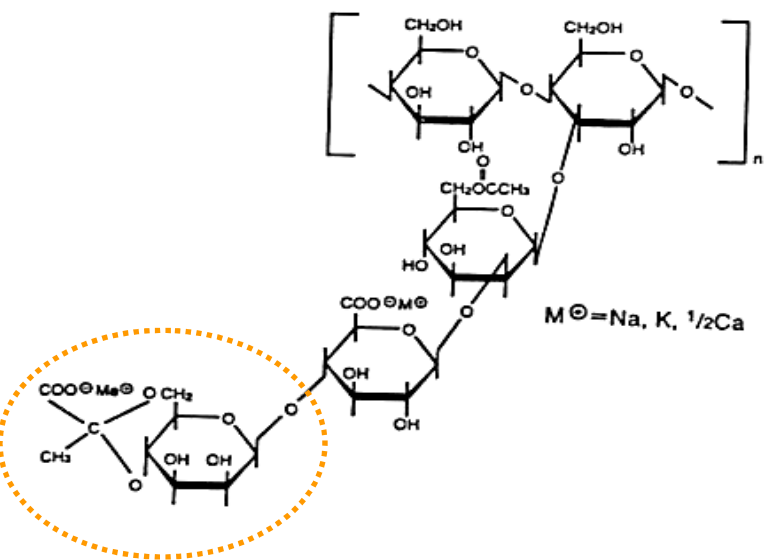
近年

超高齢社会 咀嚼や嚥下機能に障害を持つ人の増加

**咀嚼・嚥下障害用介護食** : ゲル化剤, 増粘剤

# 増粘剤・ゲル化剤中の高分子の 絡み合い構造 (ハイドロコロイド)

## キサンタンガムの化学構造 (繰り返し単位)



○ : 単糖単位

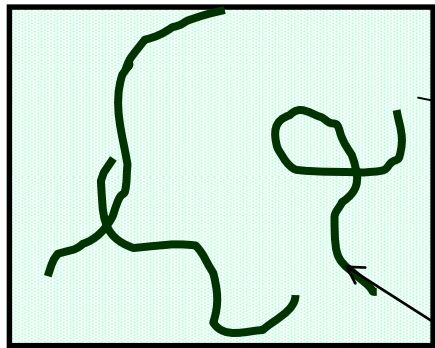
キサンタンガムの  
高分子絡まりあい構造

粘性・弾性

# ゾルとゲルの高分子分散構造

Sol

粘性的 (液体)

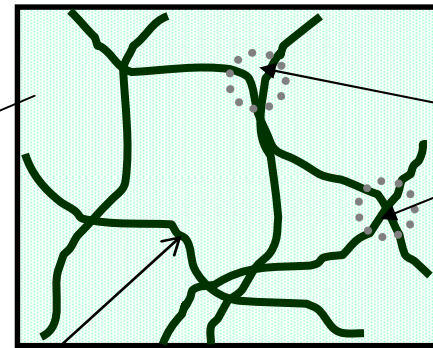


分散媒  
水

高分子鎖

Gel

弾性的 (固体)



架橋点

3次元ネットワーク構造

高分子は独立に存在  
絡まりあい etc.

ゾル・ゲル転移  $\Leftrightarrow$  濃度・温度変化 etc.

# 物性とは？

## 基礎科学における物性

試料の内部構造

## 工学的モデル中の物性

プロセスの最適化

品質管理

## テクスチャー評価のための物性

食品の二次機能, 官能評価・おいしさ

咀嚼・嚥下特性

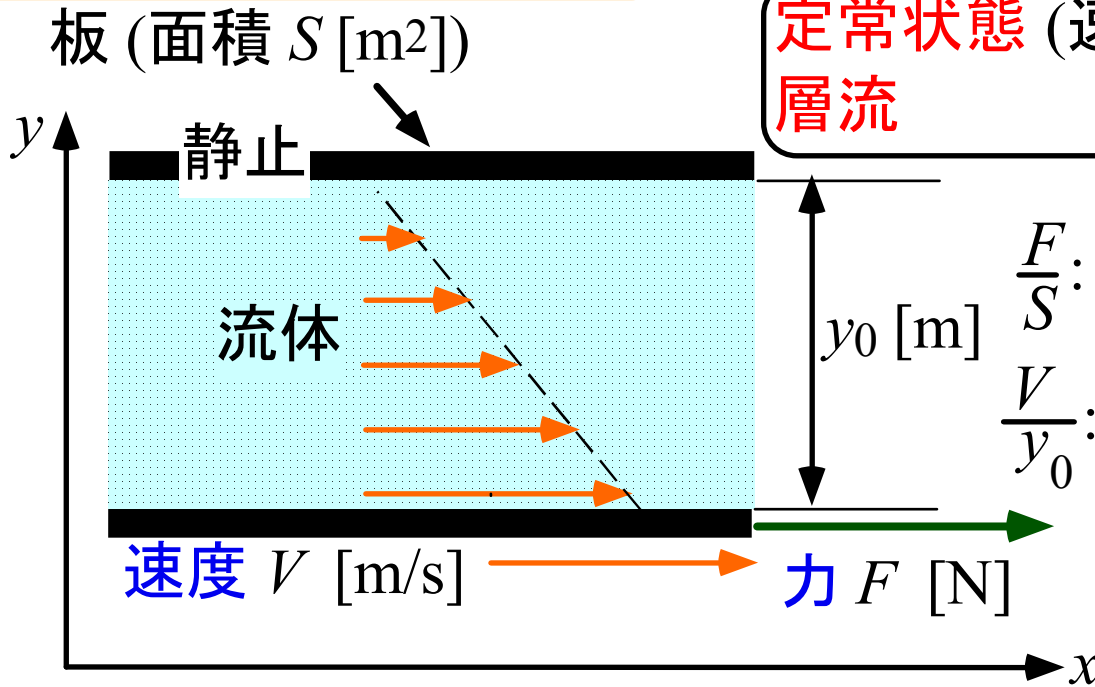
大変形下での測定

試料の大きさ, 形状に依存

# 粘度 (粘性率, viscosity)

## 物性値

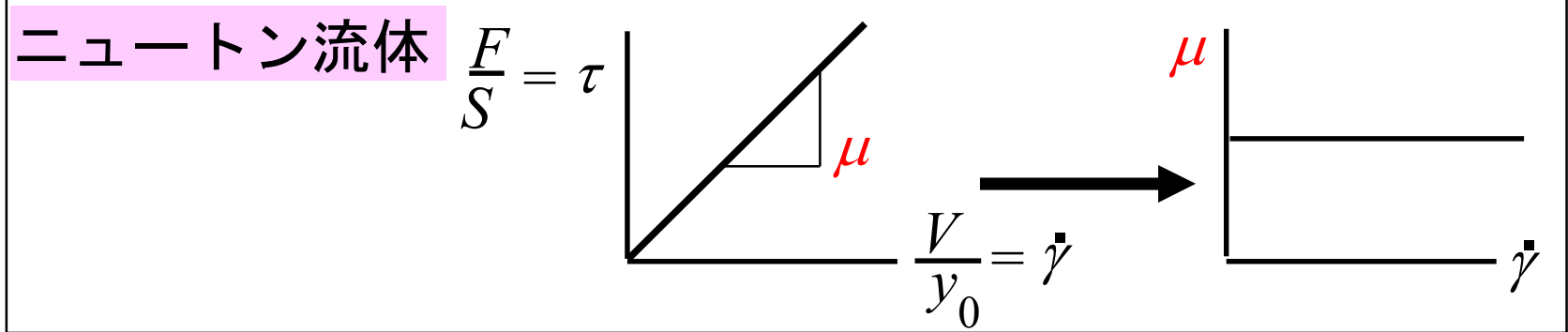
定常状態 (速度 profile が安定)  
層流



粘度  $\mu$  [Pa·s]

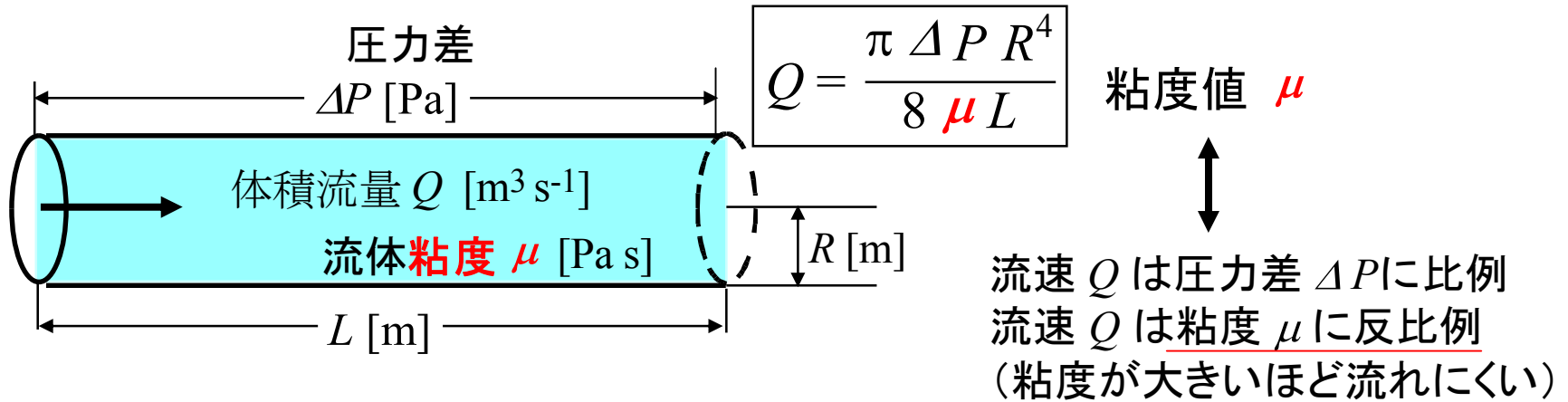
$$\frac{F}{S} = \mu \frac{V}{y_0}$$
$$\tau = \mu \dot{\gamma}$$

粘度  $\mu$ : 流体の流動性の尺度  
→  $\mu$  が大きいほど流れにくい

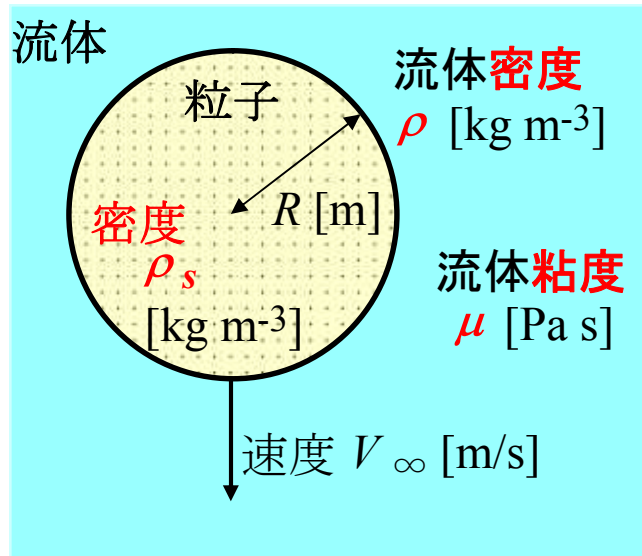


# 物性値を含む工学モデル・理論の例 (Newton 流体に関して)

## (a) 円管内流動 (層流) に関する **Hagen-Poiseuille** の法則



## (b) 流体中の球状粒子の沈降 (または浮上) 速度式



$$V_\infty = \frac{2R^2(\rho_s - \rho)g}{9\mu} \quad (\text{層流})$$

速度  $V_\infty$  は 粘度  $\mu$  に反比例  
(粘度が大きいほど動きにくい)

応用例)

エマルションの安定性 (クリーミング)

必要な均質化サイズ

粒子径が1/100なら速度は1/10000

# 溶液の比粘度，還元粘度，極限粘度

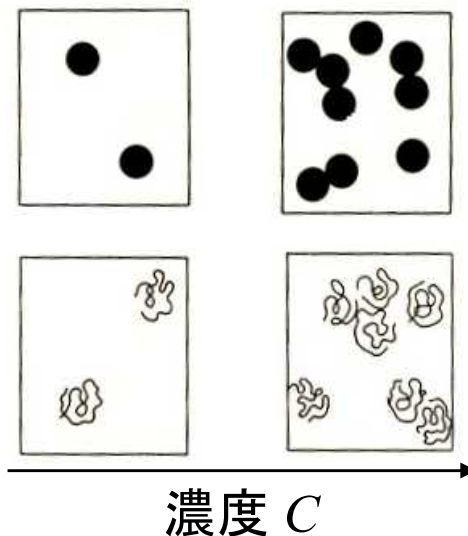
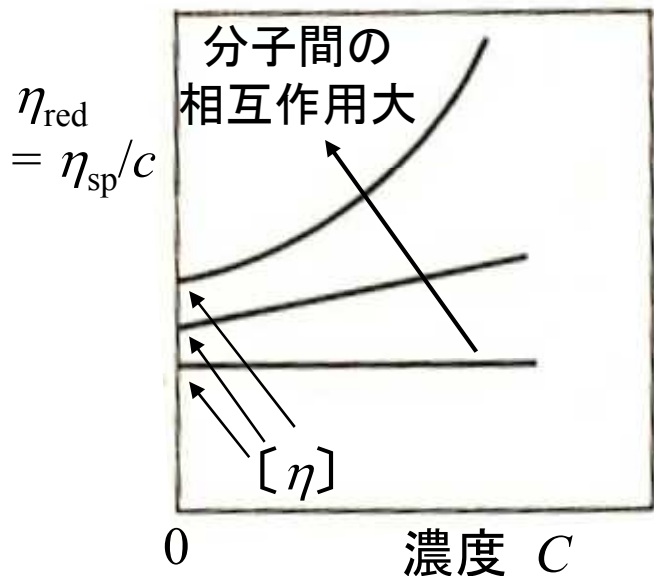
比粘度  $\eta_{sp} = (\eta - \eta_s) / \eta_s = \eta_{rel} - 1$

相対粘度  $\eta_{rel} = \eta / \eta_s$

還元粘度  $\eta_{red} = \eta_{sp} / C$

極限粘度  $[\eta]$   
 $= [\eta_{sp} / C]_{C \rightarrow 0}$

C: 濃度  
 $\eta_s$ : 溶媒粘度  
 $\eta$ : 溶液粘度



## アインシュタインの粘度式

剛体球のサスペンションの粘度

$\eta_{sp} = 2.5 \phi$   $\phi$ : 粒子の体積分率

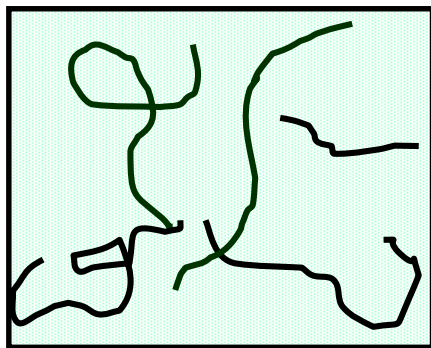
$c$ : 粒子の濃度 [g/cm<sup>3</sup>-溶液],  $\rho$ : 粒子密度 [g/cm<sup>3</sup>-粒子] として,  $\phi = c/\rho$

$\therefore \eta_{red} = \eta_{sp}/c = 2.5/\rho$  *i. e.* 還元粘度  $\eta_{red}$  が濃度によらず一定

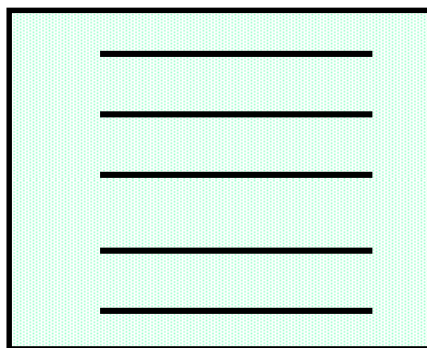


# 溶液（ゾル）の非ニュートン流動

ずり速度  $\dot{\gamma}$  小



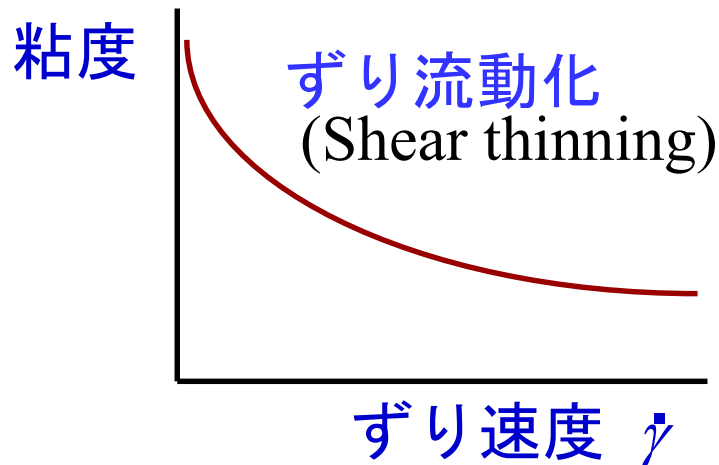
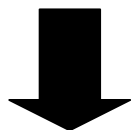
ずり速度  $\dot{\gamma}$  大



流れ方向（層流）



分散構造

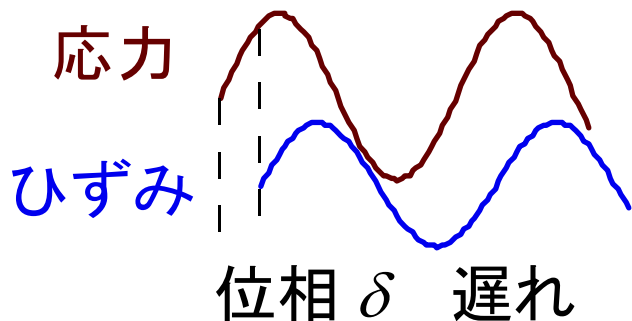


巨視的な物性

# 動的粘弾性測定

$\omega$ : 角周波数 [rad/s]

粘弾性体 ( $G'$ ,  $\eta'$ )



弾性体  $\delta = 0$

粘性体  $\delta = \pi/2$

$$\tan \delta = \frac{\omega \eta'}{G'}$$

$G'$ : 貯蔵弾性率 [Pa]

$\eta'$ : 動的粘性率 [Pa·s]

変数変換

損失弾性率  $G''$ : ( $\equiv \omega \eta'$ ) [Pa]

複素弾性率  $G^* = G' + i G''$  [Pa]

複素粘性率  $\eta^* \equiv G^*/(i \omega) = \eta' - i \eta''$  [Pa·s]

$$\eta'' \equiv G''/\omega$$

# 食品ハイドロコロイドのレオロジー挙動

一般に

観測時間が短い  
(角周波数  $\omega$  大)



固体的  $G'$

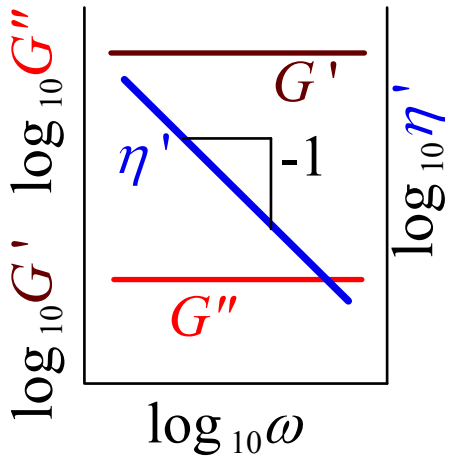
観測時間が長い  
(角周波数  $\omega$  小)



液体的 (流動)  $G''$

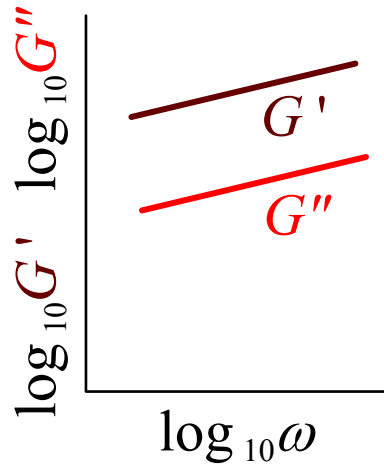
真のゲル

(弾性的ゲル)



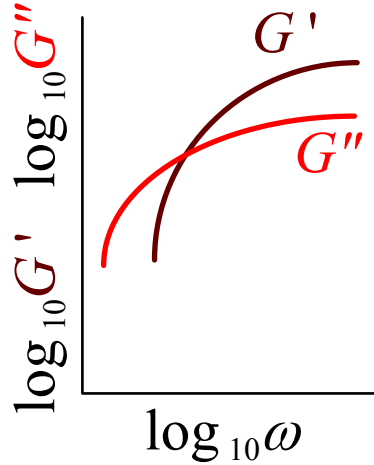
弱いゲル

(構造化した液体)

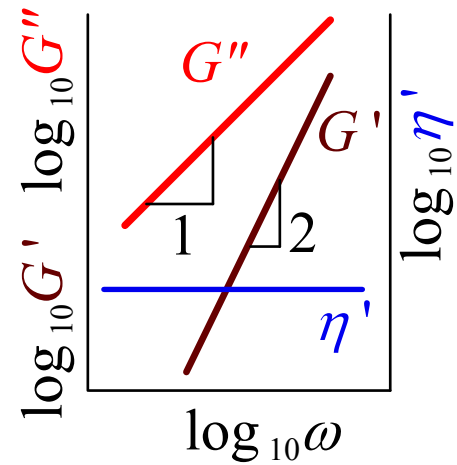


真の高分子溶液

(濃厚高分子溶液)



希薄な高分子溶液



# ハイドロコロイドの物性

## 基礎研究

- ・ 内部の高分子の絡み合い・分散構造
- ・ 分子のダイナミックス
- ・ 構造物性相関

## 応用上

- ・ ハイドロコロイド内の構造
- ・ マクロに発現する物性挙動

の有効活用

# 講演内容

## 基礎

1. **パーコレーション理論**によるゾルーゲル転移点近傍における食品の力学物性の解析
2. **誘電緩和法**によるハイドロコロイド中の高分子の分散構造の解析

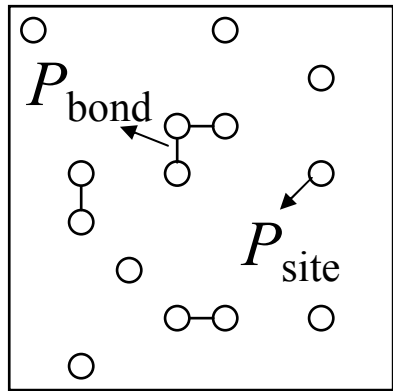
## 応用

3. **嚥下困難者用介護食**の物性に関する研究

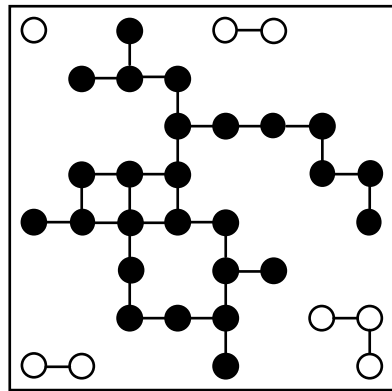
# 1. パーコレーション理論によるゾルーゲル転移点近傍における食品の力学物性の解析

格子モデルとゾルーゲル転移の類似性

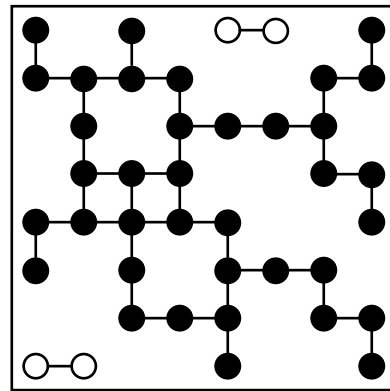
# パーコレーション (Percolation) モデル



$$P < P_c$$



$$P = P_c$$



$$P > P_c$$

(パーコレーション転移点)

○ ○ : 有限クラスター  
 ● ● : 無限クラスター

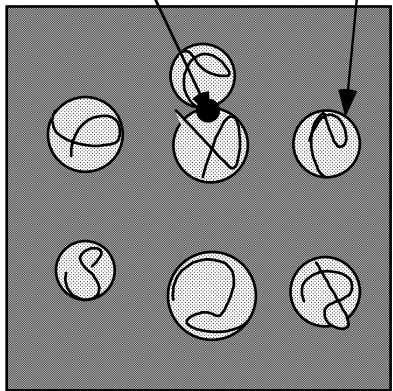
図では

$$P = P_{\text{site}} \text{ and } P_{\text{bond}} = 1$$

## 高分子網目構造

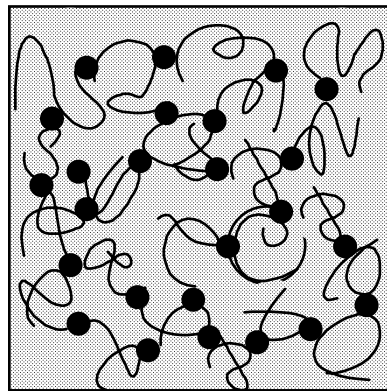
高分子鎖間の結合

水和した高分子



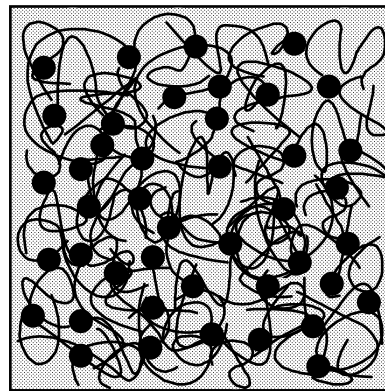
$$C < C_g$$

(ゾル)



$$C = C_g$$

(ゾル-ゲル転移点)

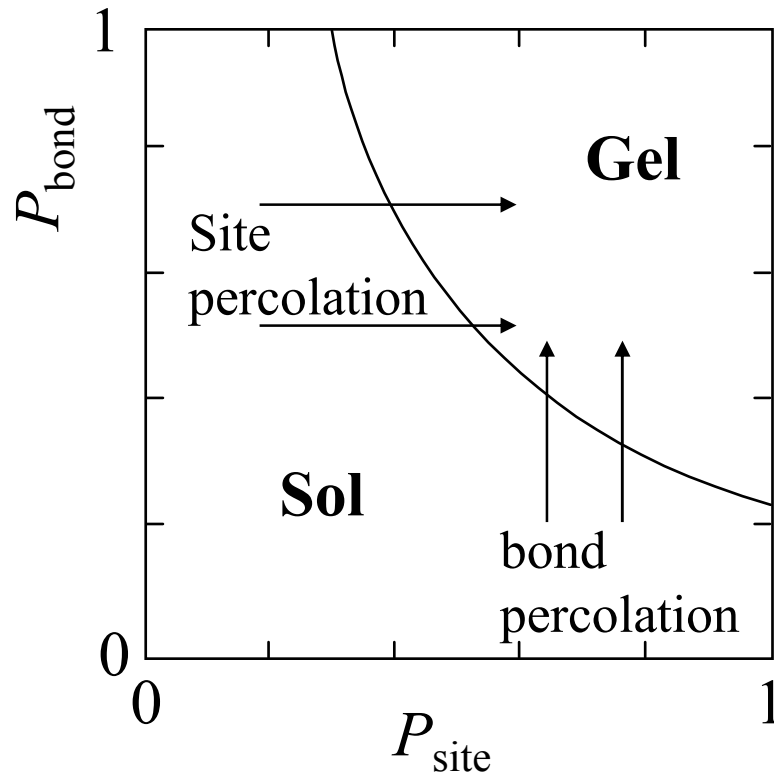


$$C > C_g$$

(ゲル)

$$P \propto C$$

# Percolation model and Sol-Gel Transition



$P_{\text{site}}$   $\longleftrightarrow$  Polymer concentration

$P_{\text{bond}}$   $\longleftrightarrow$  Aging time ?  
Temperature



## スケーリング則 (Scaling law)

$\eta \propto |P - P_c|^{-s}$      $\eta$ : ゼルの粘度     $s$ : 粘度  $\eta$  の臨界指数

$G \propto |P - P_c|^t$      $G$ : ゲルのずり弾性率     $t$ : 弾性率  $G$  の臨界指数

## スケーリング則の濃度による表現

$\eta \propto |P - P_c|^{-s} \propto |C - C_g|^{-s}$      $C$ : 高分子濃度

$G \propto |C - C_g|^t$      $C_g$ : ゼルーゲル転移 (ゲル化) 点濃度

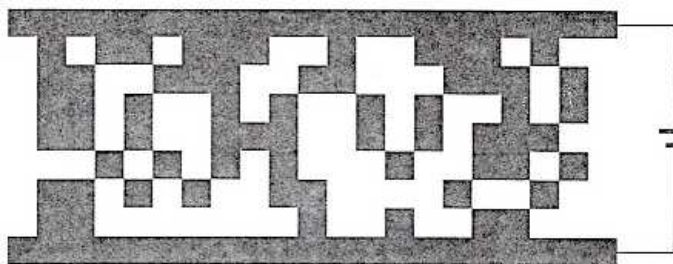
## パーコレーションモデルによる臨界指数 $s, t$ の計算値

$$s = 0.7 \sim 0.8$$

(常電導体と超電導体の混合系のコンダクタンスから)

$$t = 1.7 \sim 2.0$$

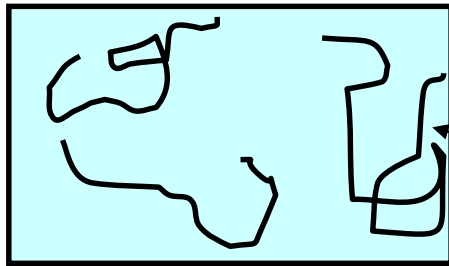
(常電導体と不導体のコンダクタンスから)



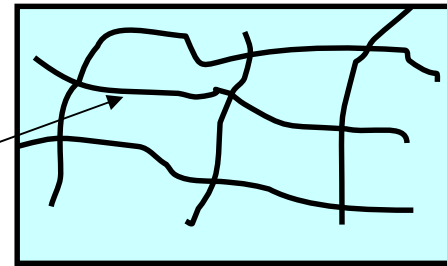
ランダムレジスターネットワーク

# 濃度変化によるゾル-ゲル転移とスケーリング則

ゾル



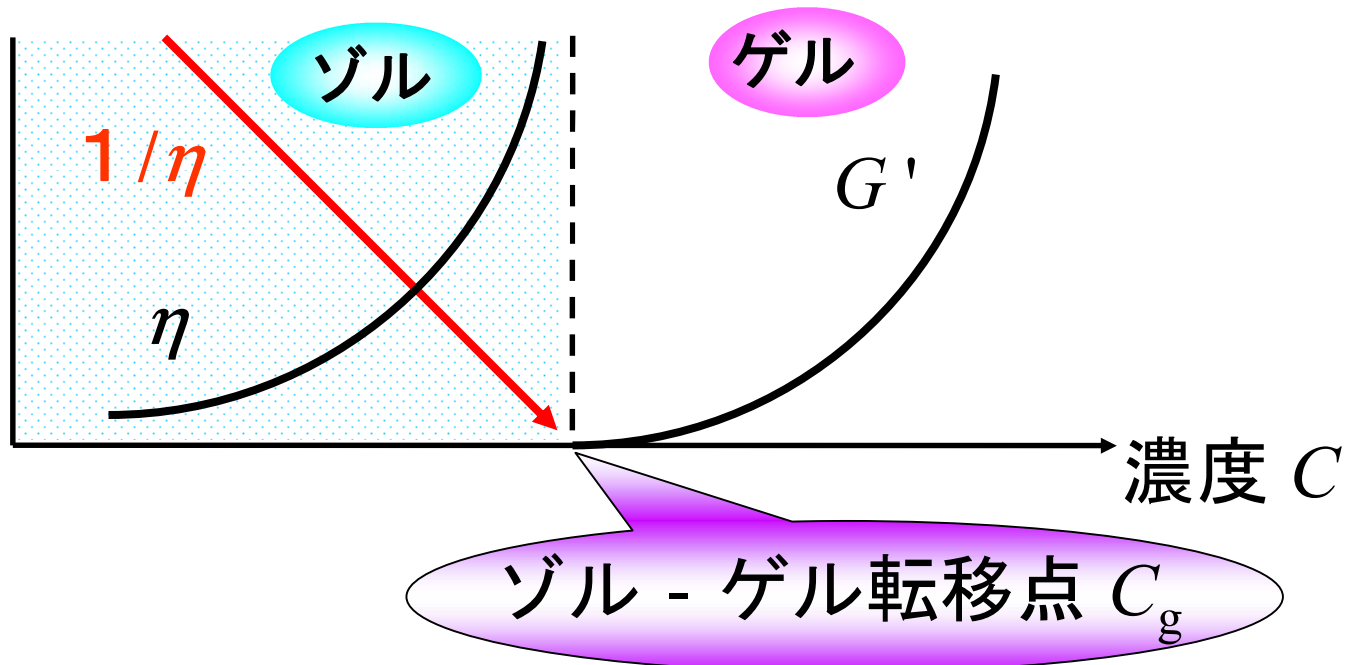
ゲル



高分子

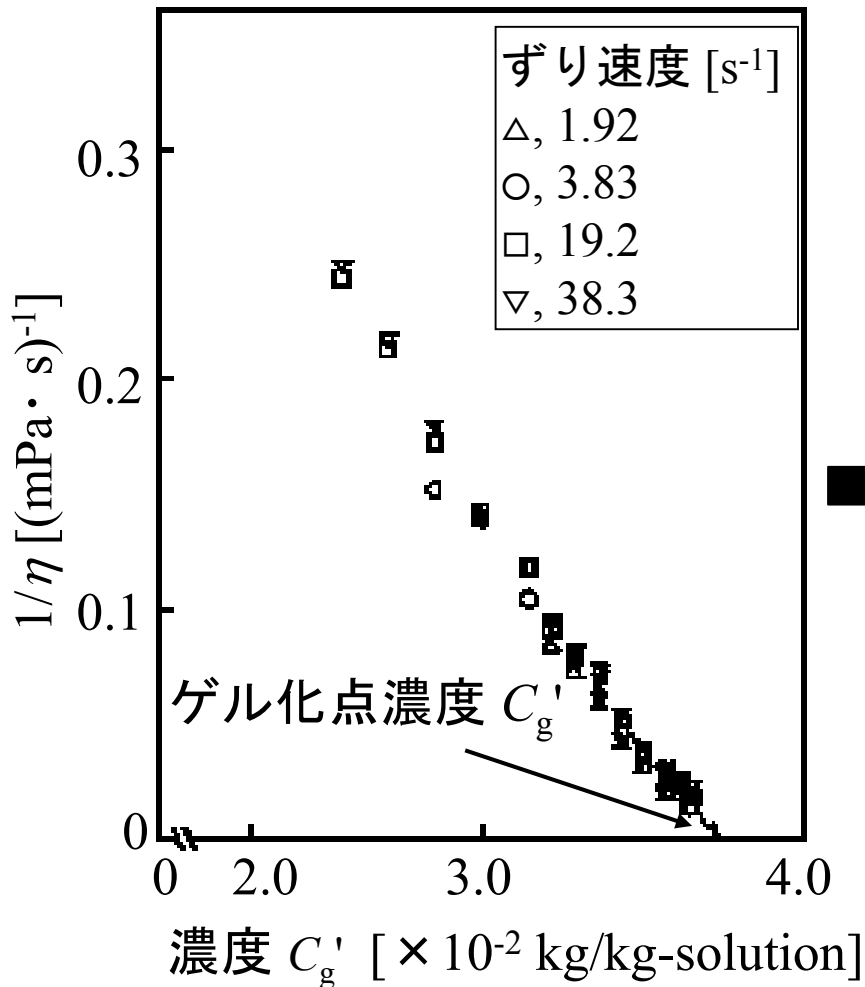
$$\eta \propto |C_g - C|^{-s}$$
$$s = 0.7 \sim 0.8$$

$$G \propto |C - C_g|^t$$
$$t = 1.7 \sim 2.0$$

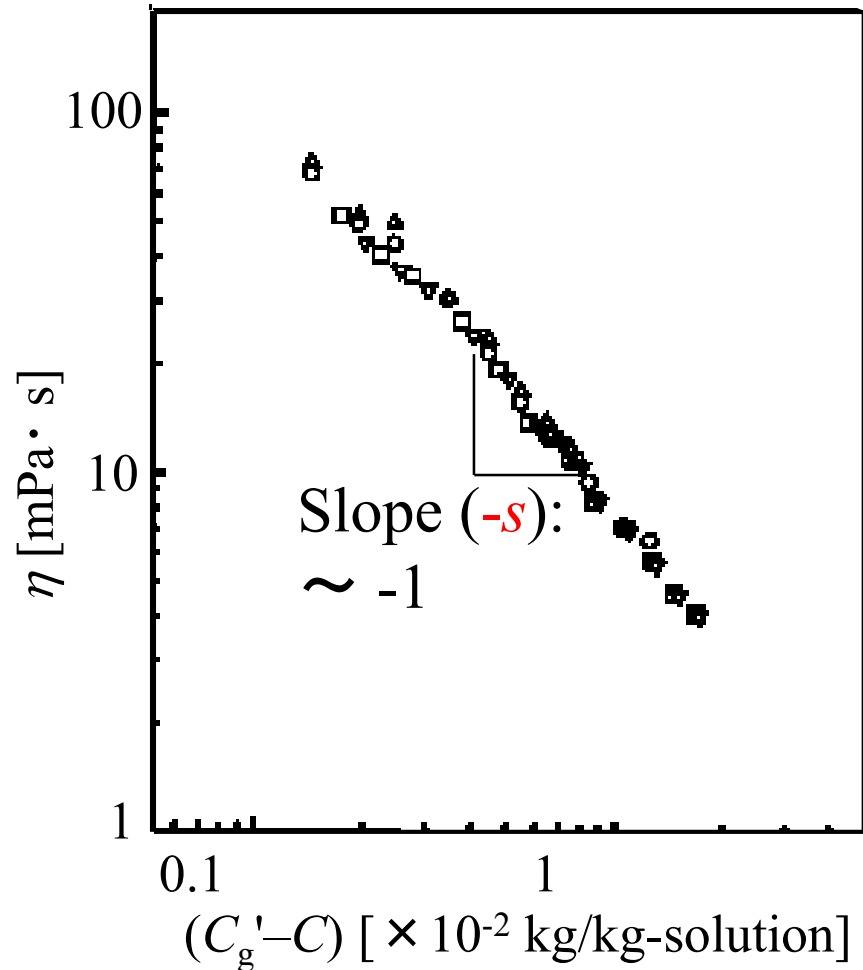


# Percolationモデルによるゼラチンゾルの粘度 $\eta$ の解析

$1/\eta$  の濃度依存性



粘度の臨界指数  $s$  の算出

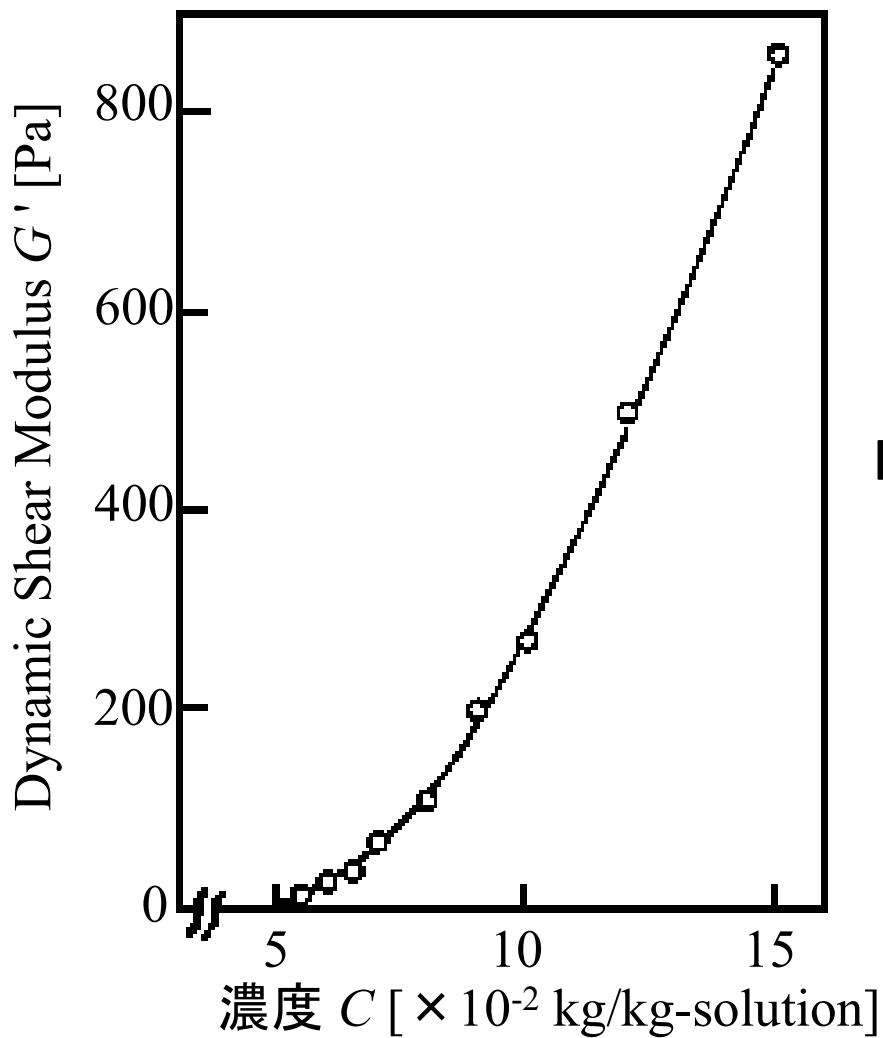


温度 : 20 °C

ゲル化点濃度  $C_g'$

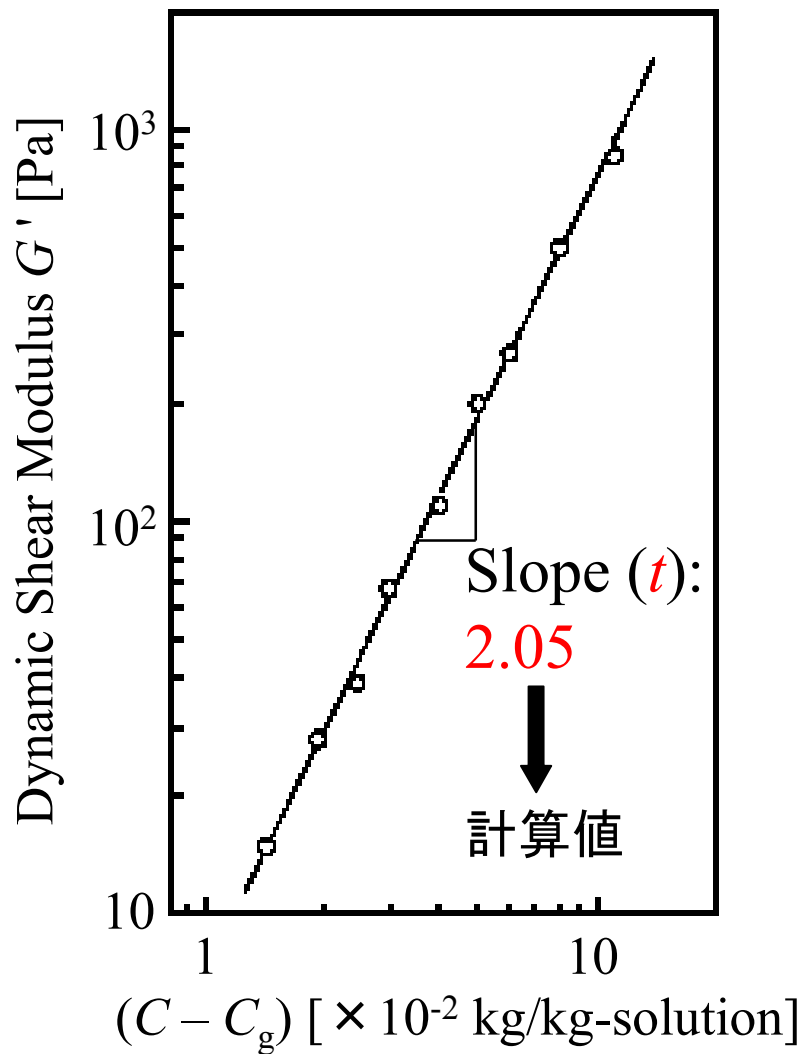
# Percolationモデルによるゼラチンゲルの弾性率 $G'$ の解析

弾性率  $G'$  の濃度依存性

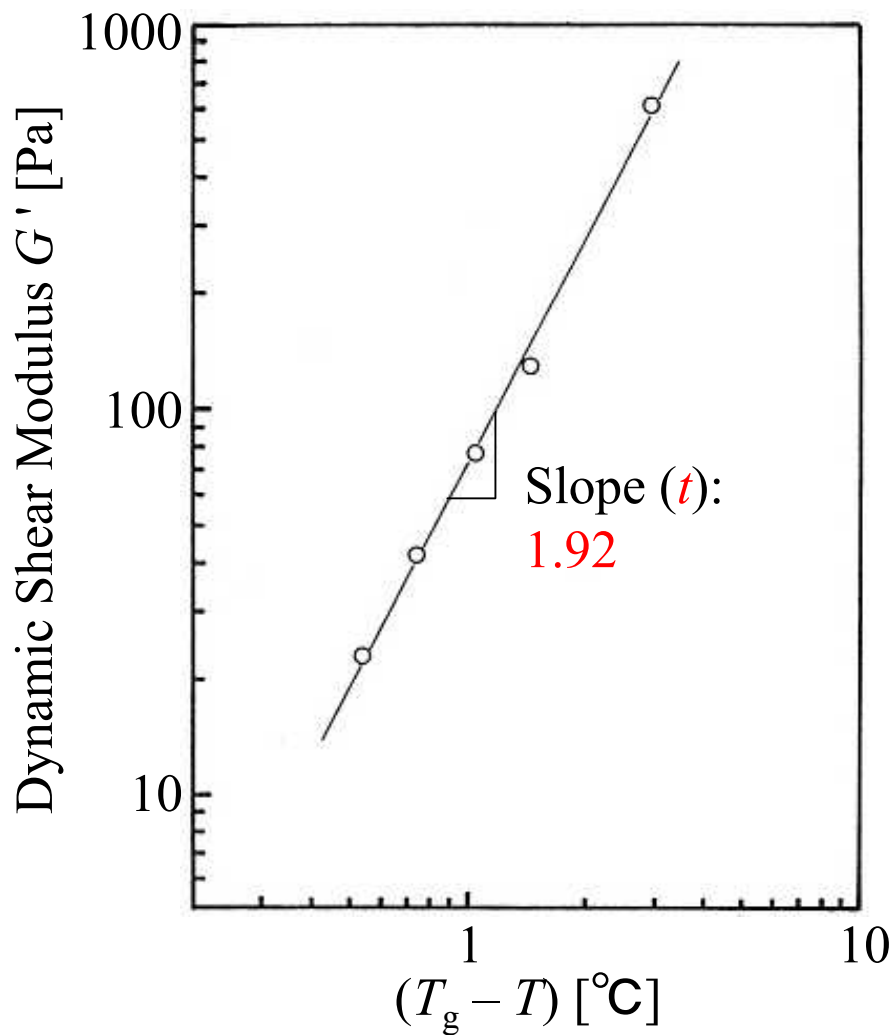


温度 : 20 °C 測定周波数: 2 Hz.

弾性率の臨界指数  $t$  の算出

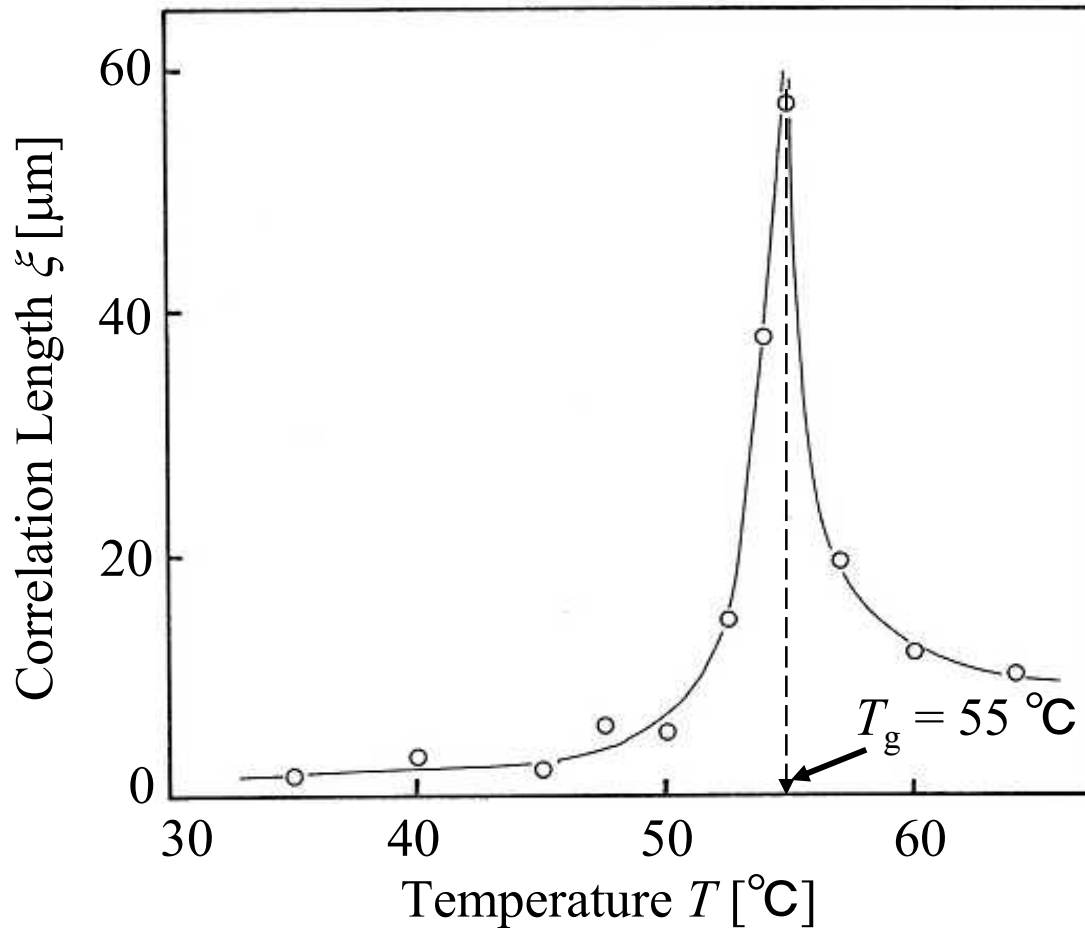


# ゼラチンゲルの弾性率 $G'$ の臨界挙動 (温度変化)



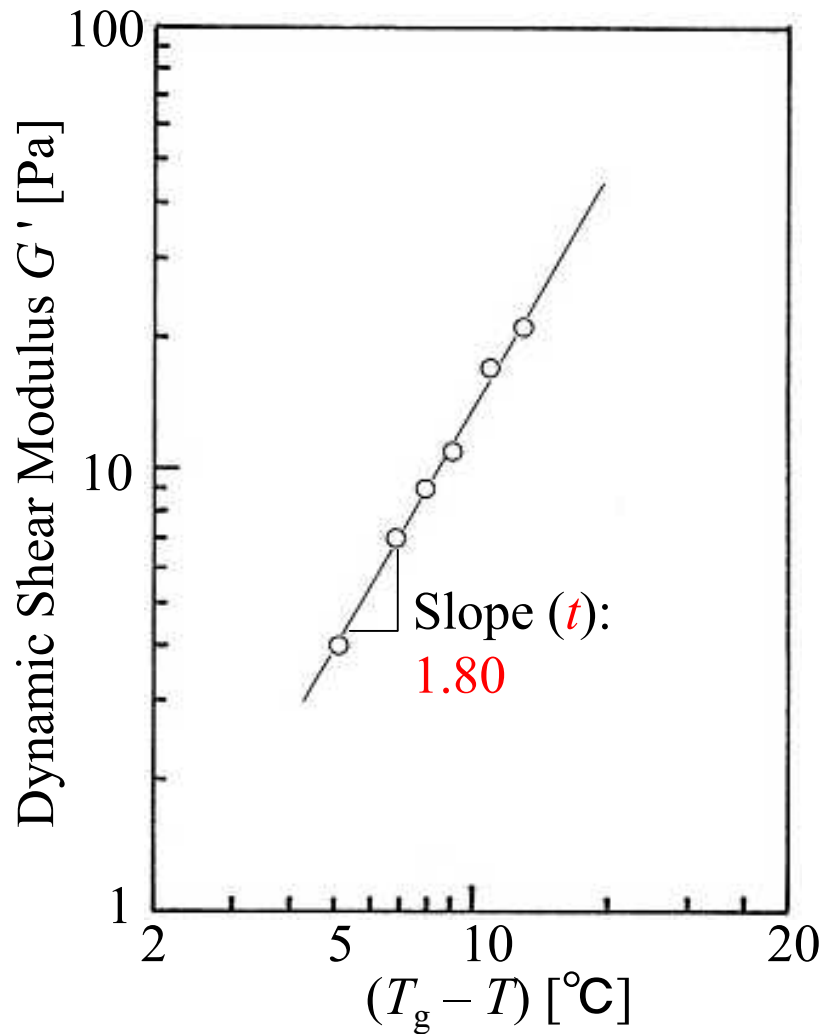
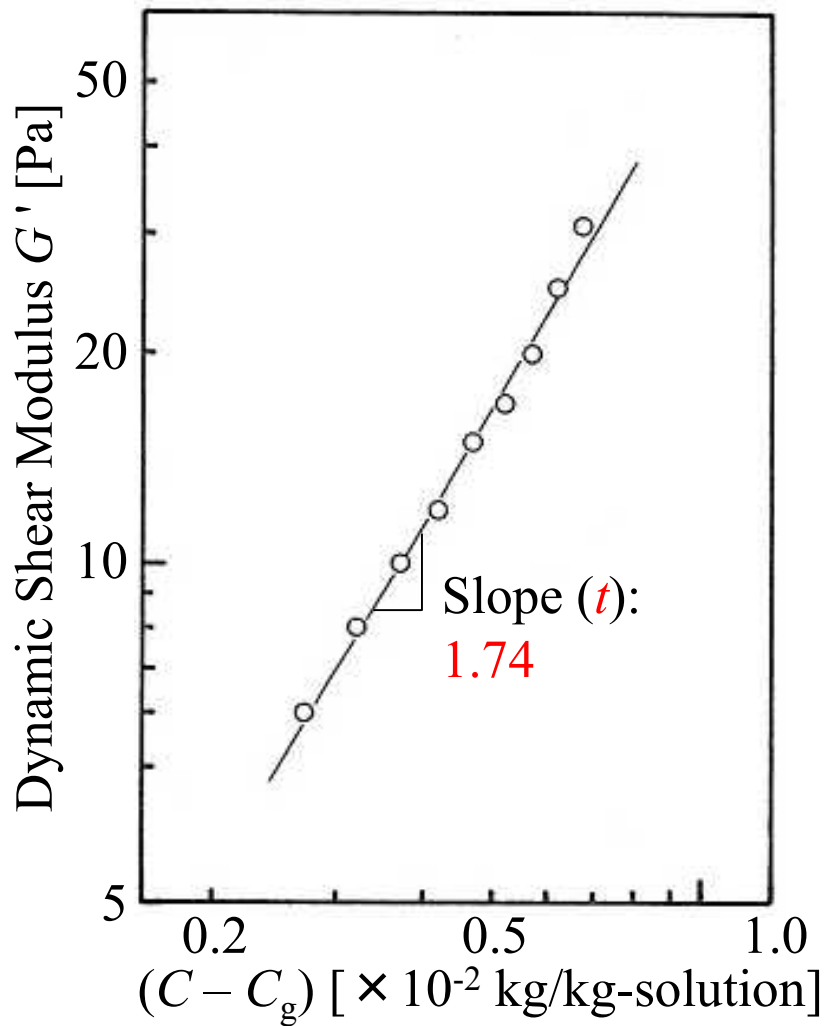
Concentration:  
0.100 kg/kg-solution

# $\kappa$ -カラギーナンの動的散乱測定 (温度依存性)

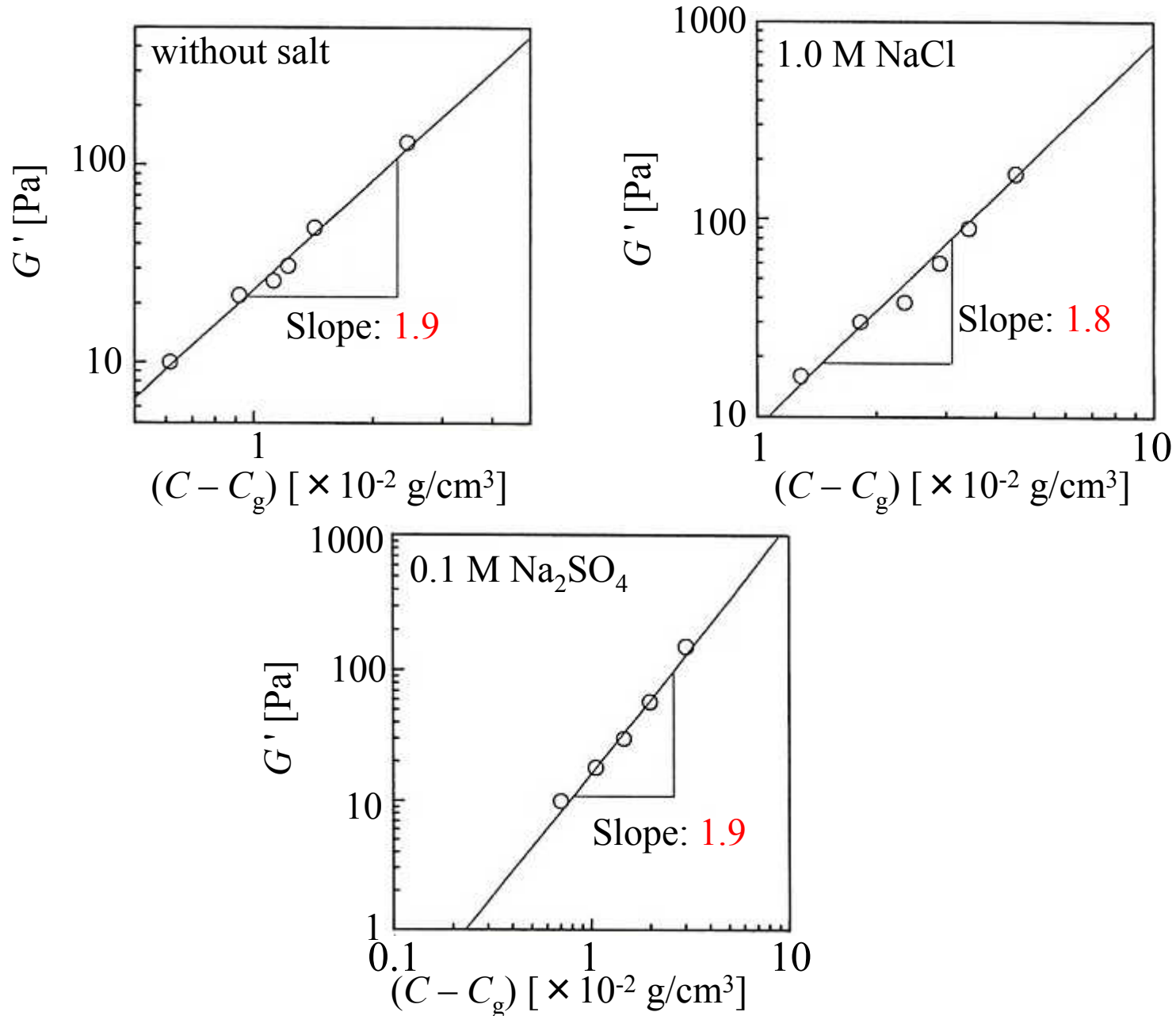


Conc. of  $\kappa$ -carrageenan:  $1 \times 10^{-2}$  kg/kg-solution  
 $\text{K}^+$  ion:  $2.58 \times 10^{-3}$  kg/kg-solution

# $\kappa$ -カラギーナンゲルの弾性率 $G'$ の臨界挙動



# 塩添加ゼラチンゲルの弾性率 $G'$ の臨界挙動





# スケーリング則に関する補足

スケーリング仮説：系に特徴的な長さのスケールを変えたときに、系を記述する式の関数系が変わらない。

べき乗関数  $y = kx^p$  ( $k$ : 定数) あるいは  $y \propto x^p$

## スケーリング則 粗視化した見方

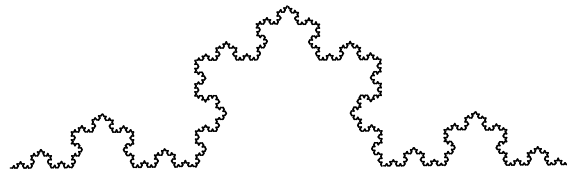
$$x \rightarrow \lambda x \text{ のとき } y = k(\lambda x)^p = k'x^p \text{ (} k' = k\lambda^p \text{)}$$

一種の自己相似性

### [参考] フラクタル (fractal)

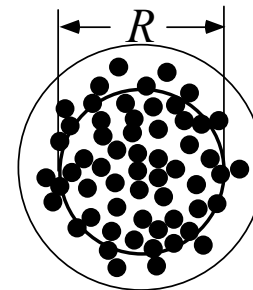
(a) コッホ曲線 (Koch curve)

フラクタル次元  $D_f = 1.2618\dots$



### 自己相似性の物体

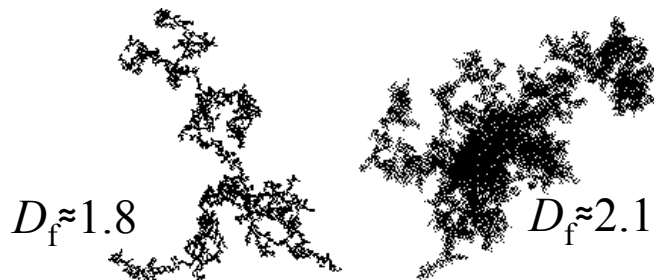
(b) 凝集体のフラクタル次元  $D_f$  の算出



●: particle

$$M \propto R^{D_f}$$

(c) Computer simulation で得られた凝集体のフラクタル



(a) コッホ曲線 (Koch curve)

フラクタル次元  $D_f = 1.2618\dots$

加熱凝集ゲルの弾性率の挙動は内部の  $\mu\text{m}$  オーダーの凝集体のフラクタル構造の反映。

## 2. 誘電緩和法によるハイドロコロイド中の 高分子の分散構造の解析

電気物性 ⇔ 高分子の分散構造

① BSA（球状タンパク質）

Debyeの理論

② ゼラチン

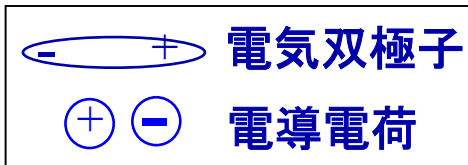
分子の絡み合い構造

③ 電解質高分子（アルギン酸）

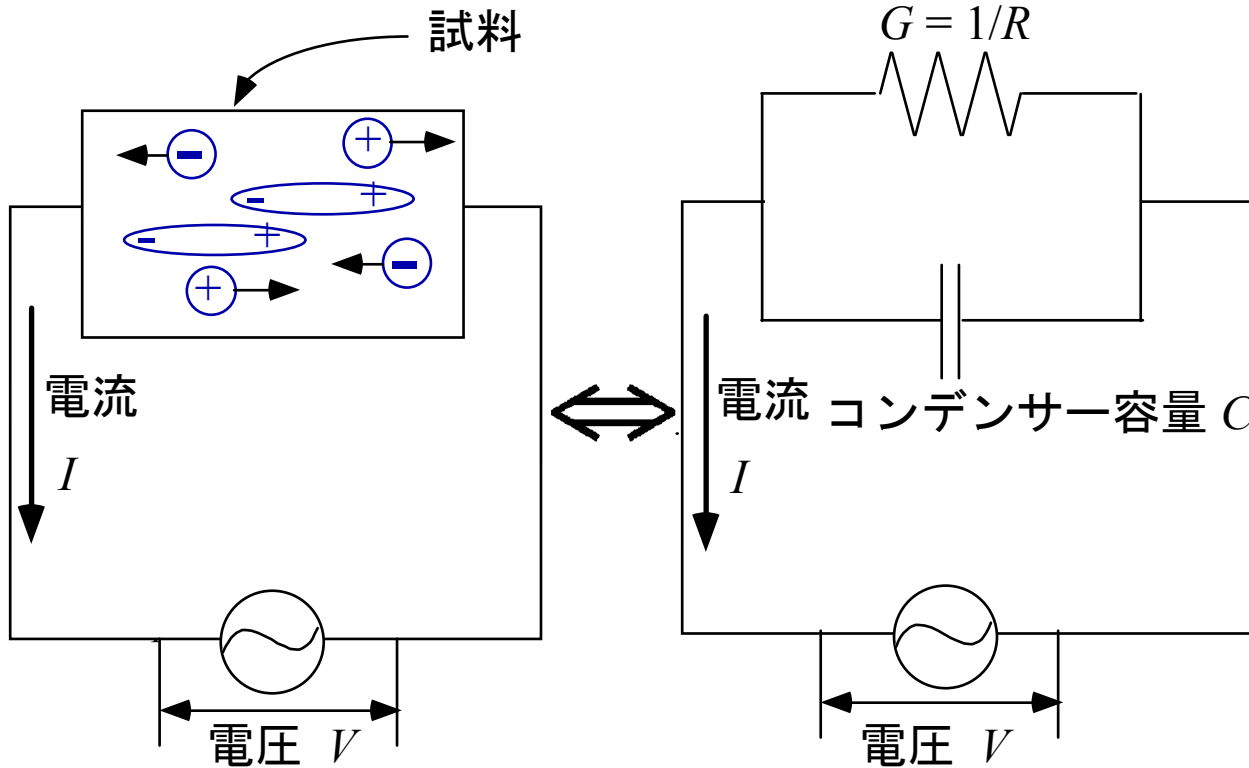
希薄溶液・準希薄溶液の概念

絡み合いの閾値濃度  $C^*$

スケーリング則



$G$ : コンダクタンス  
 $R$ : 電気抵抗



誘電率  $\epsilon = C \frac{d}{S}$

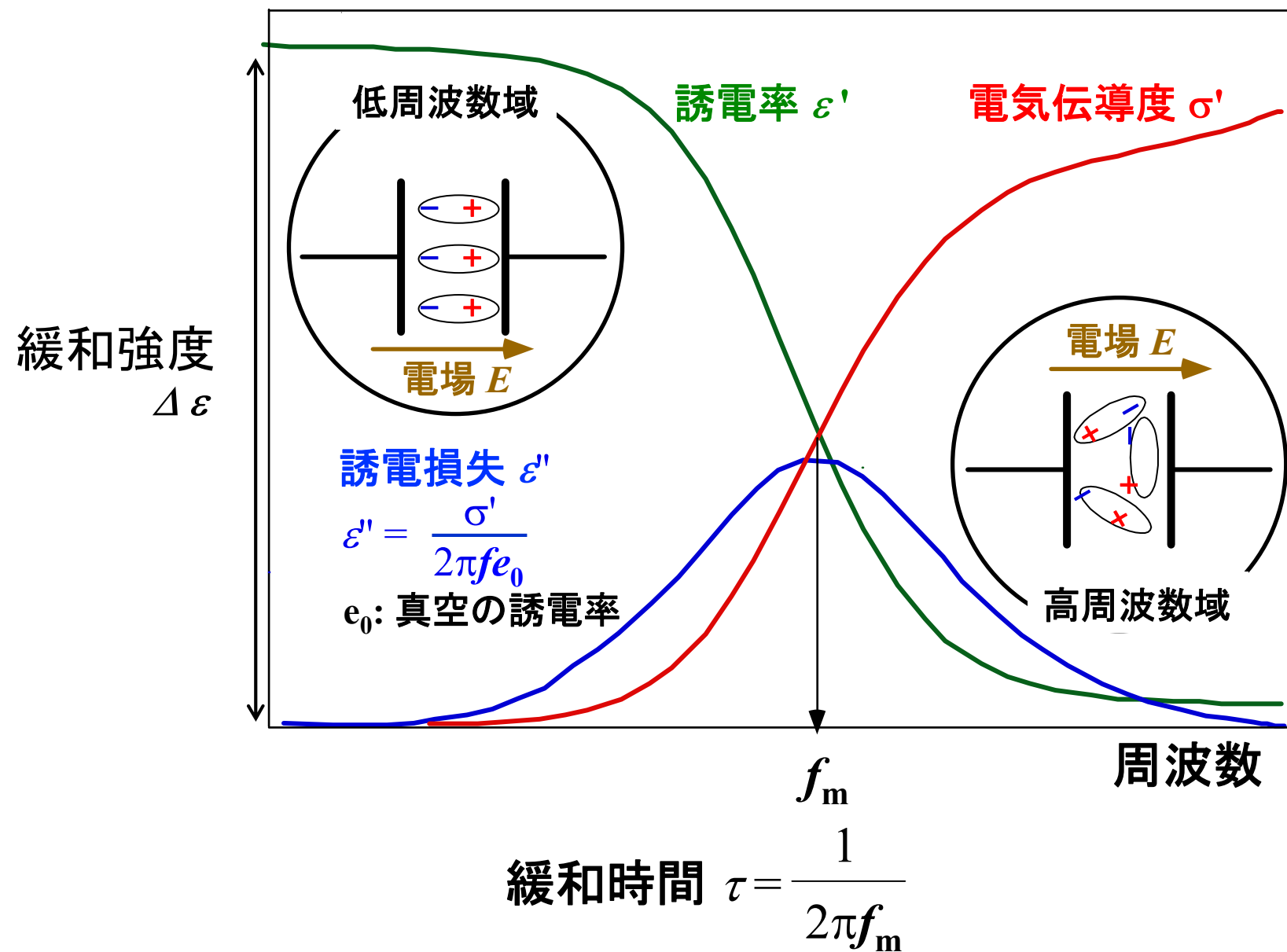
比誘電率 (誘電率):  $\epsilon' = \frac{\epsilon}{e_0}$

電気伝導度:  $\sigma' = G \frac{d}{S}$

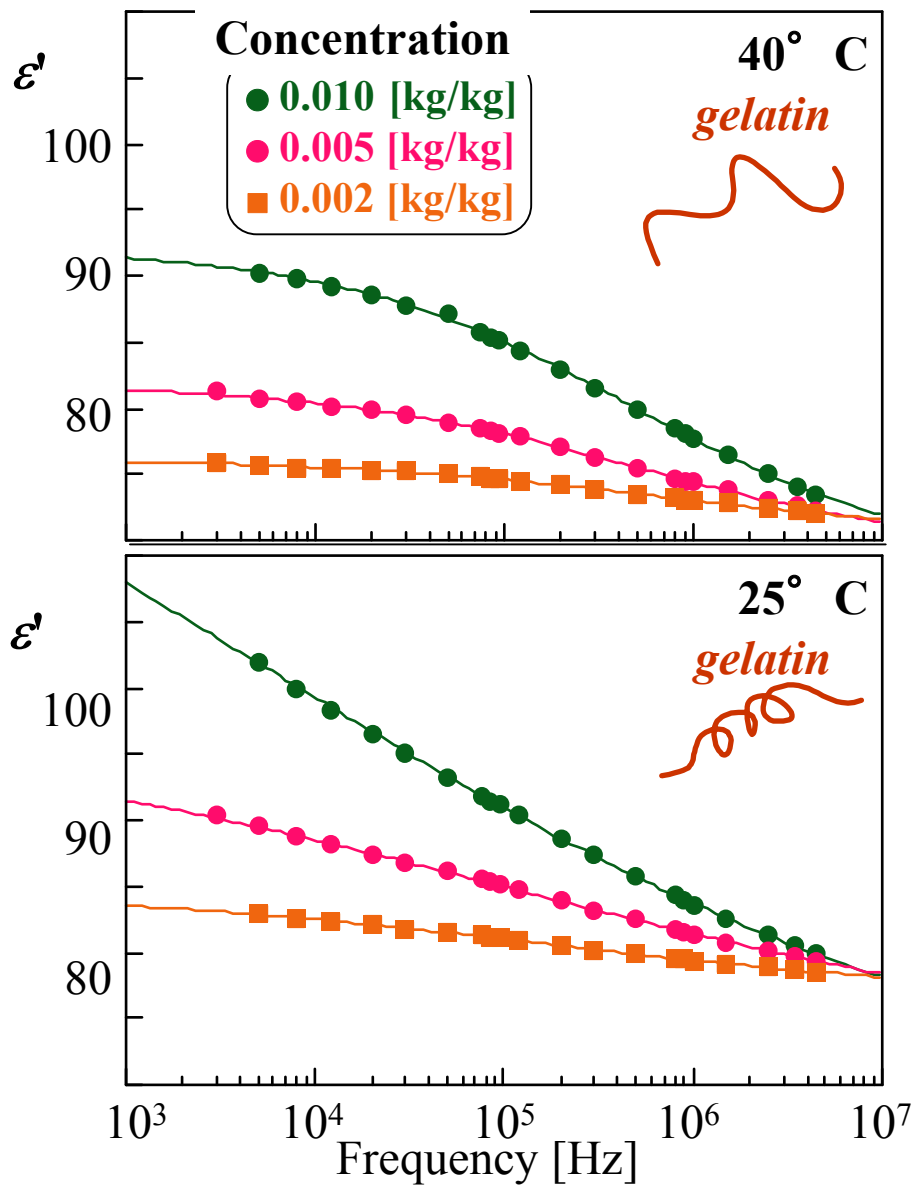
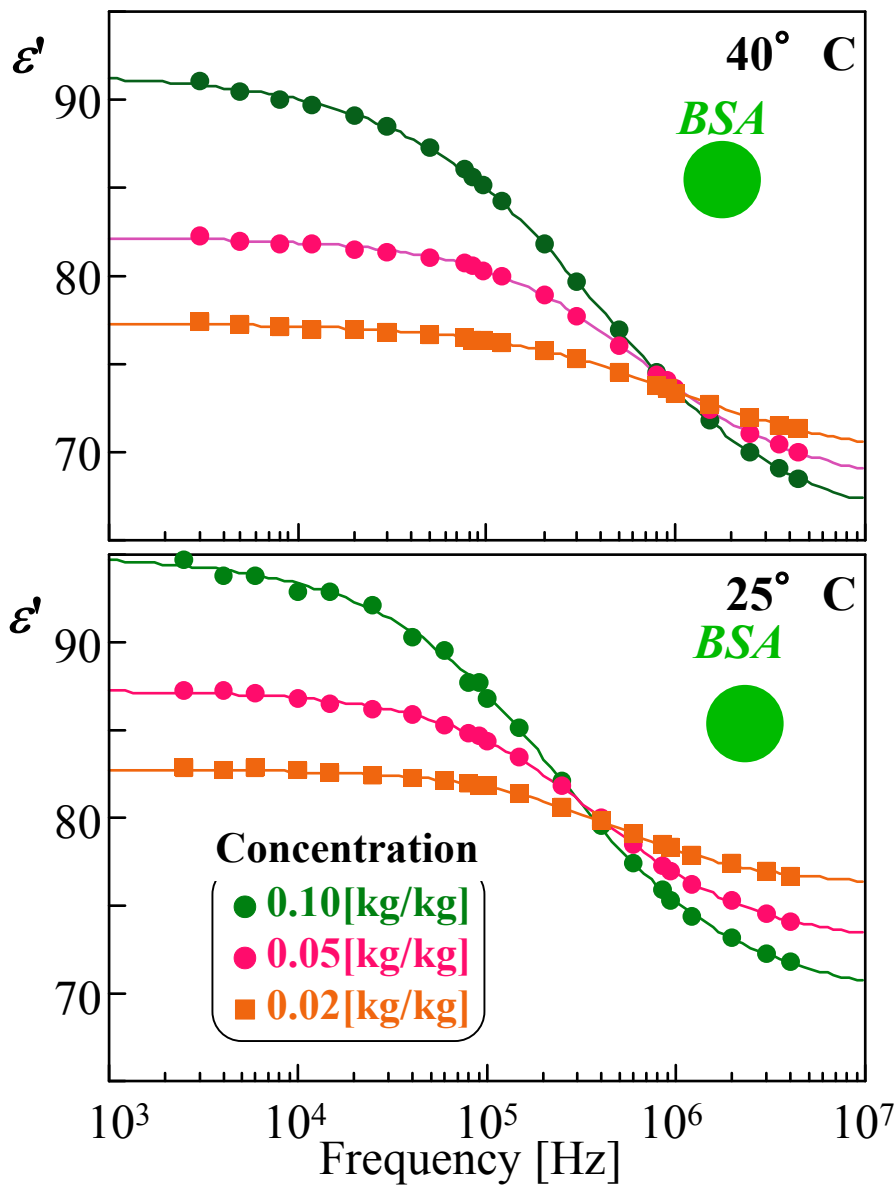
$d$ : 電極板間距離  
 $S$ : 電極板面積  
 $e_0$ : 真空の誘電率

# 誘電緩和現象

 電気双極子

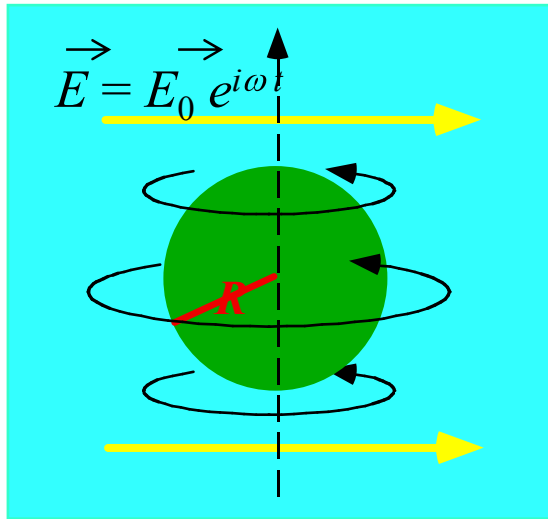


# BSA (球状タンパク質) およびゼラチンの誘電緩和



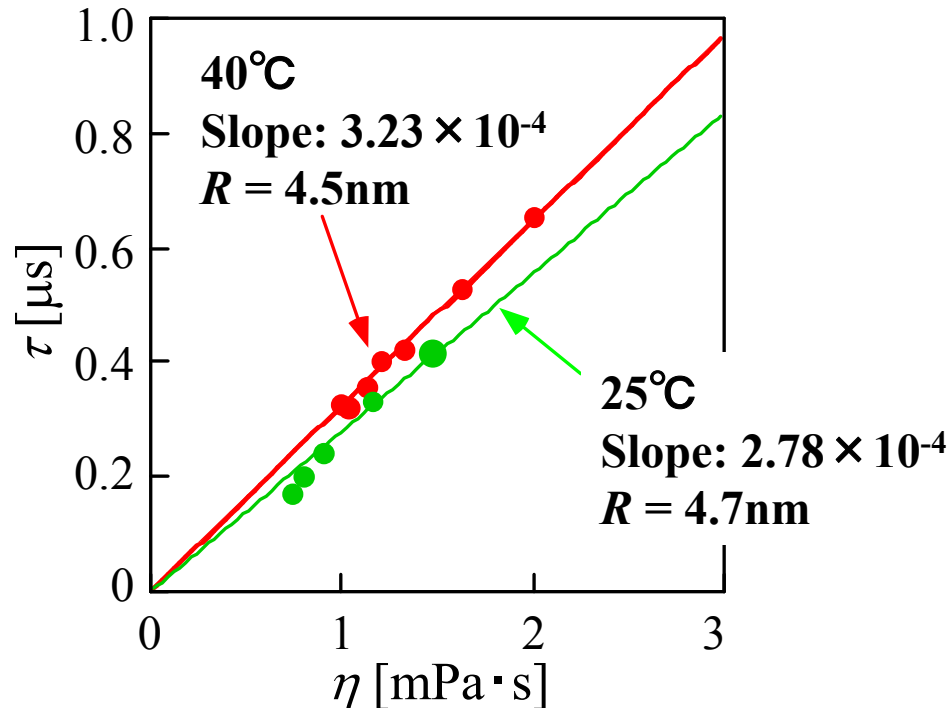
# BSA (球状タンパク質) 溶液の誘電緩和

Debyeの理論

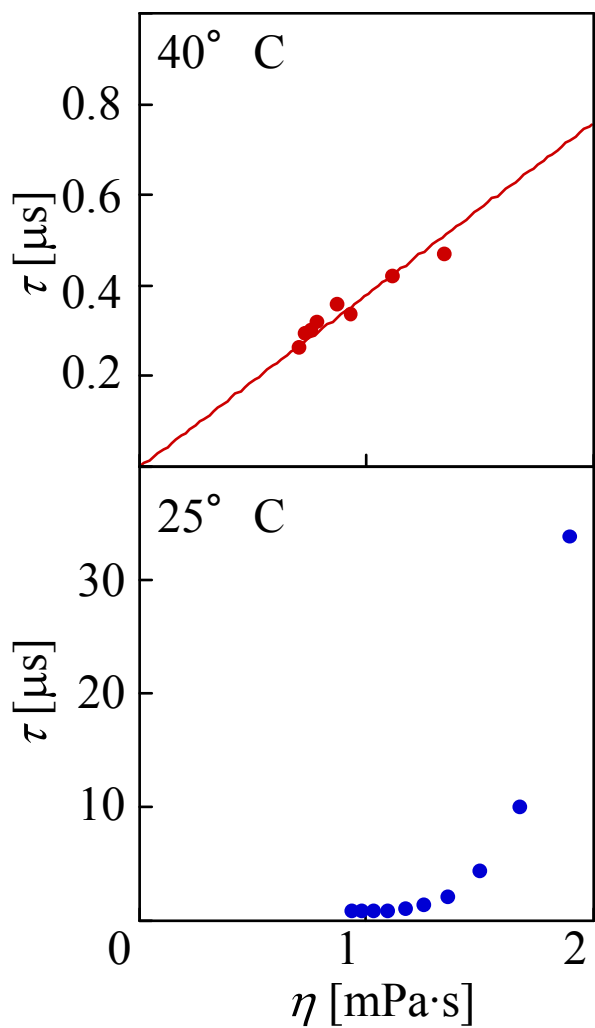


$$\tau = \frac{4\pi R^3}{k_B T} \eta$$

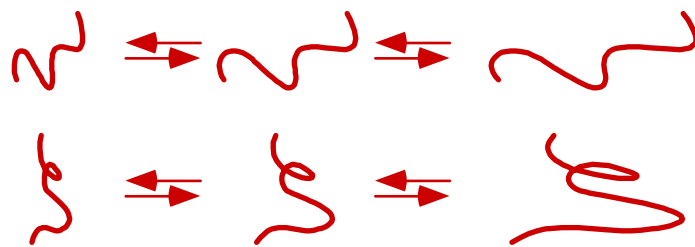
- $R$  : 粒子の半径
- $k_B$  : ボルツマン定数
- $T$  : 絶対温度
- $\eta$  : 系の粘度



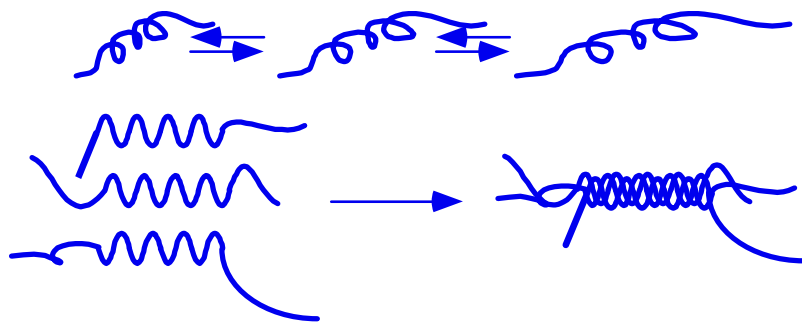
# ゼラチン溶液の緩和時間 $\tau$ と溶液粘度 $\eta$



*Coil*



*Helix*



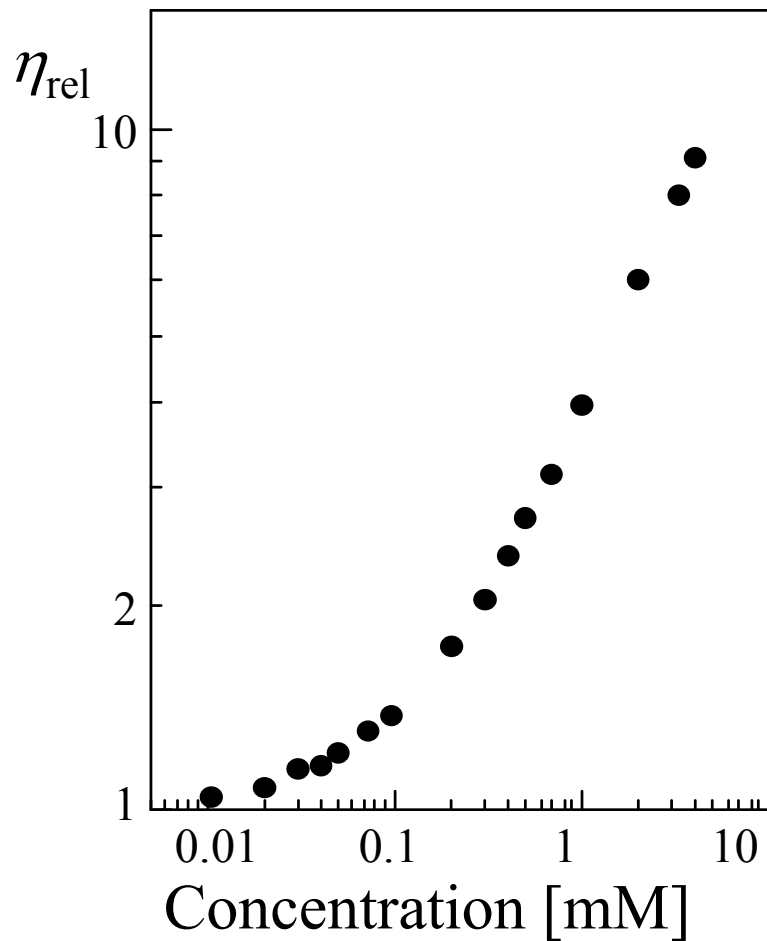


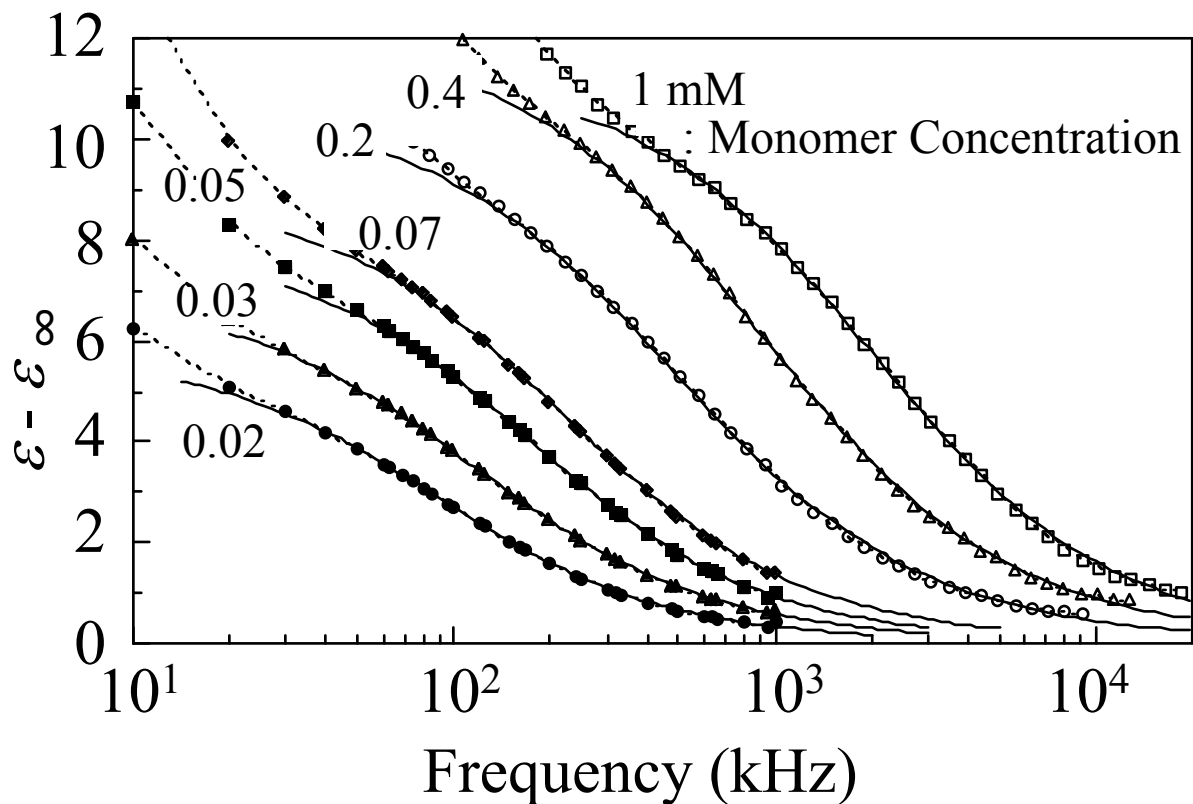
Fig. アルギン酸ナトリウムの相対粘度  $\eta_{\text{rel}}$  の濃度依存性

$$\eta_{\text{rel}} = \eta / \eta_s$$

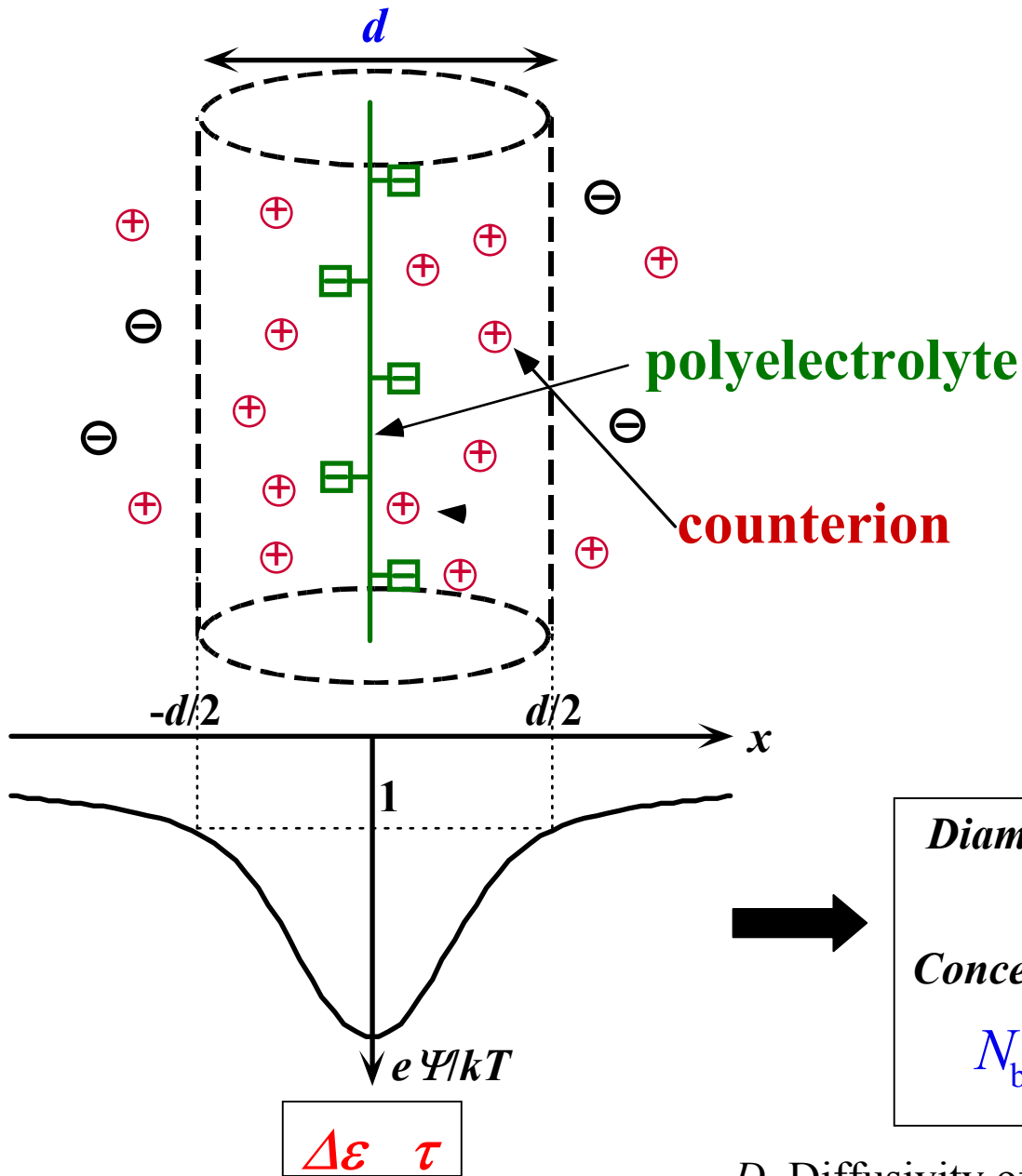
$\eta$ : 溶液粘度  
 $\eta_s$ : 溶媒粘度



# アルギン酸ナトリウムの誘電緩和



— : Cole-Cole 式にfitting



*Diameter of the bound region*

$$d = \sqrt{2D\tau}$$

*Concentration of the bound counterion*

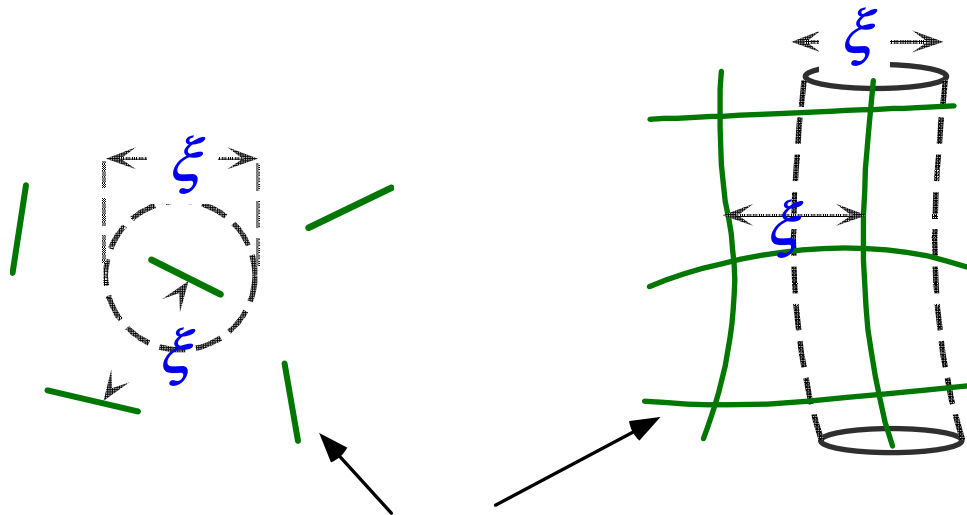
$$N_b = \frac{\varepsilon_0 \Delta\varepsilon}{\tau} \times \frac{3kT}{2D N_{AV} q^2}$$

$D$ , Diffusivity of the counterion;  $k$ , Boltzmann constant;  $N_{AV}$ , Avogadro's number;  $q$ , Charge of the counterion;  $T$ , Absolute temperature

# 線状高分子電解質溶液の希薄・準希薄溶液

**希薄 (Dilute) 溶液**

**準希薄 (Semi-dilute) 溶液**



高分子電解質

$\xi$ : 相関長

自由体積  $V$  と相関長  $\xi$

(**希薄溶液**)

$$V \propto \xi^3$$

$$\xi \propto C^{-1/3}$$

(**準希薄溶液**)

$$V \propto \xi^2$$

$$\xi \propto C^{-1/2}$$

高分子の重なり合いのしきい値 (濃度):  $C^*$



希薄溶液と準希薄溶液の境界

## $\Delta\varepsilon$ および $\tau$ に関するスケーリング則

(希薄溶液)		(準希薄溶液)
$V \propto \xi^3$		$V \propto \xi^2$
$\xi \propto C^{-1/3}$	$\xi \sim d$	$\xi \propto C^{-1/2}$



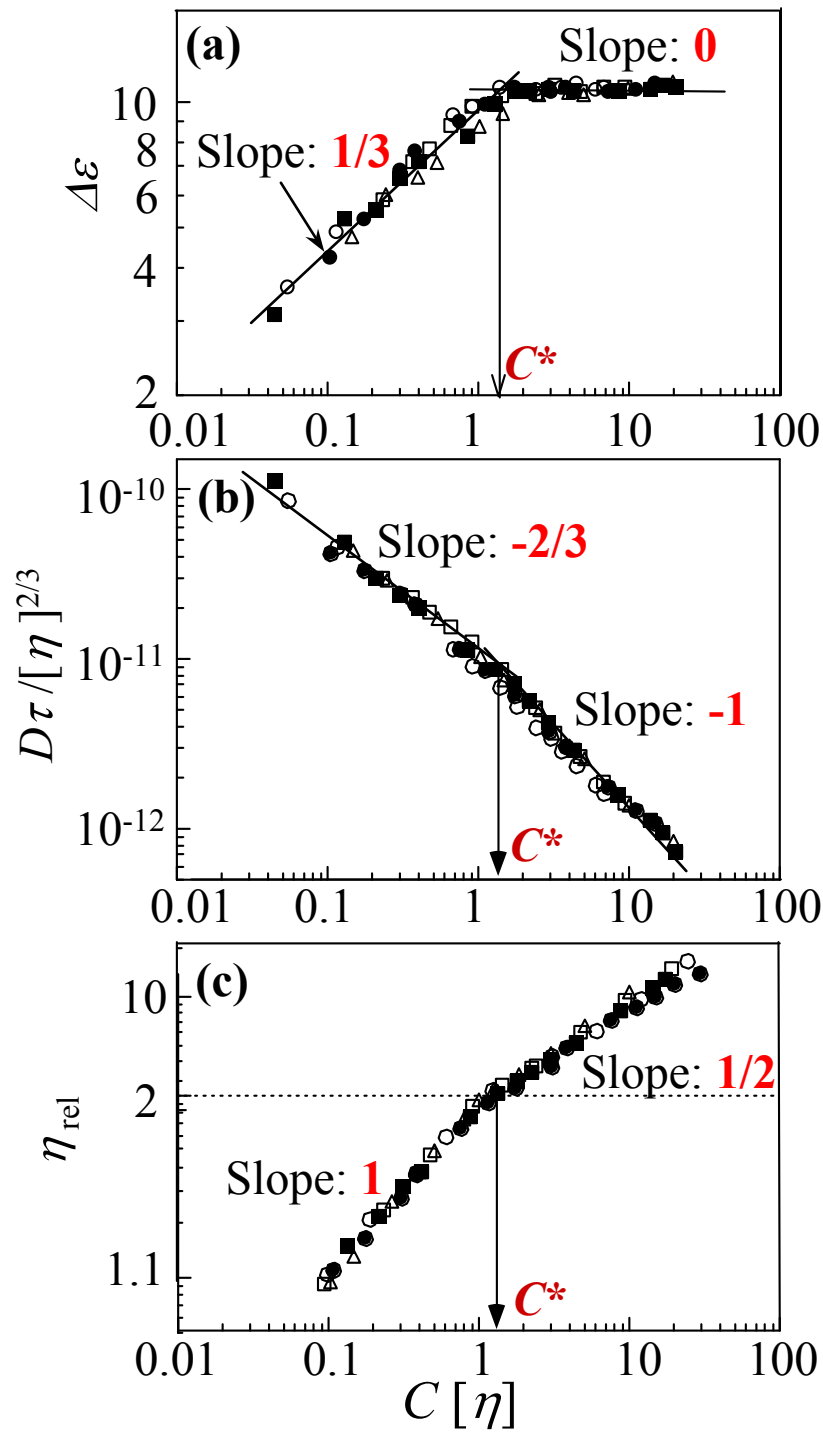
(希薄溶液)	(準希薄溶液)
$\Delta\varepsilon \propto C^{1/3}$	$\Delta\varepsilon \propto C^0$
$\tau \propto C^{-2/3}$	$\tau \propto C^{-1}$

## 粘度に関するスケーリング則

(希薄溶液)  $\eta_{sp} = (\eta - \eta_s)/\eta_s \propto C^1$

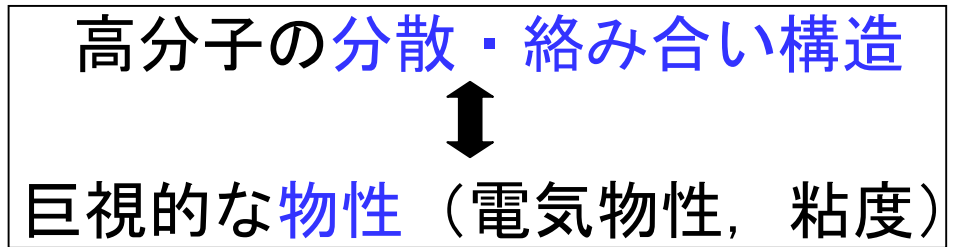
(準希薄溶液)  $\eta_{rel} = \eta/\eta_s \propto C^{1/2}$

$\eta$ : 溶液粘度  
 $\eta_{rel}$ : 相対粘度  
 $\eta_s$ : 溶媒粘度  
 $\eta_{sp}$ : 比粘度



電解質高分子

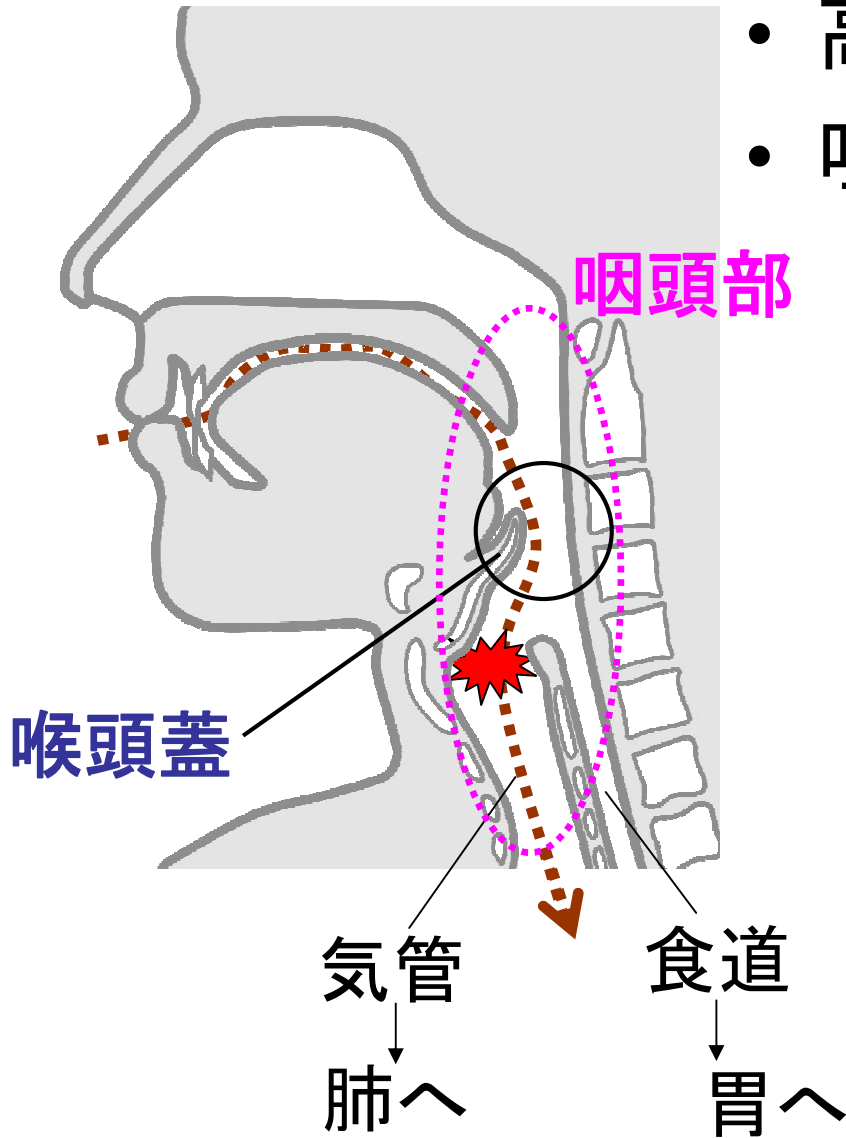
- ①誘電緩和 and/or 粘度測定から  
重なり合いのしきい値濃度  $C^*$  が求まる
- ②粘度が、**スケーリング則**に従った挙動



## 嚥下困難者用介護食の物性

生体計測（超音波パルスドプラー法）と機器測定との併用

- 高齢社会
- 咀嚼・嚥下困難な高齢者増加



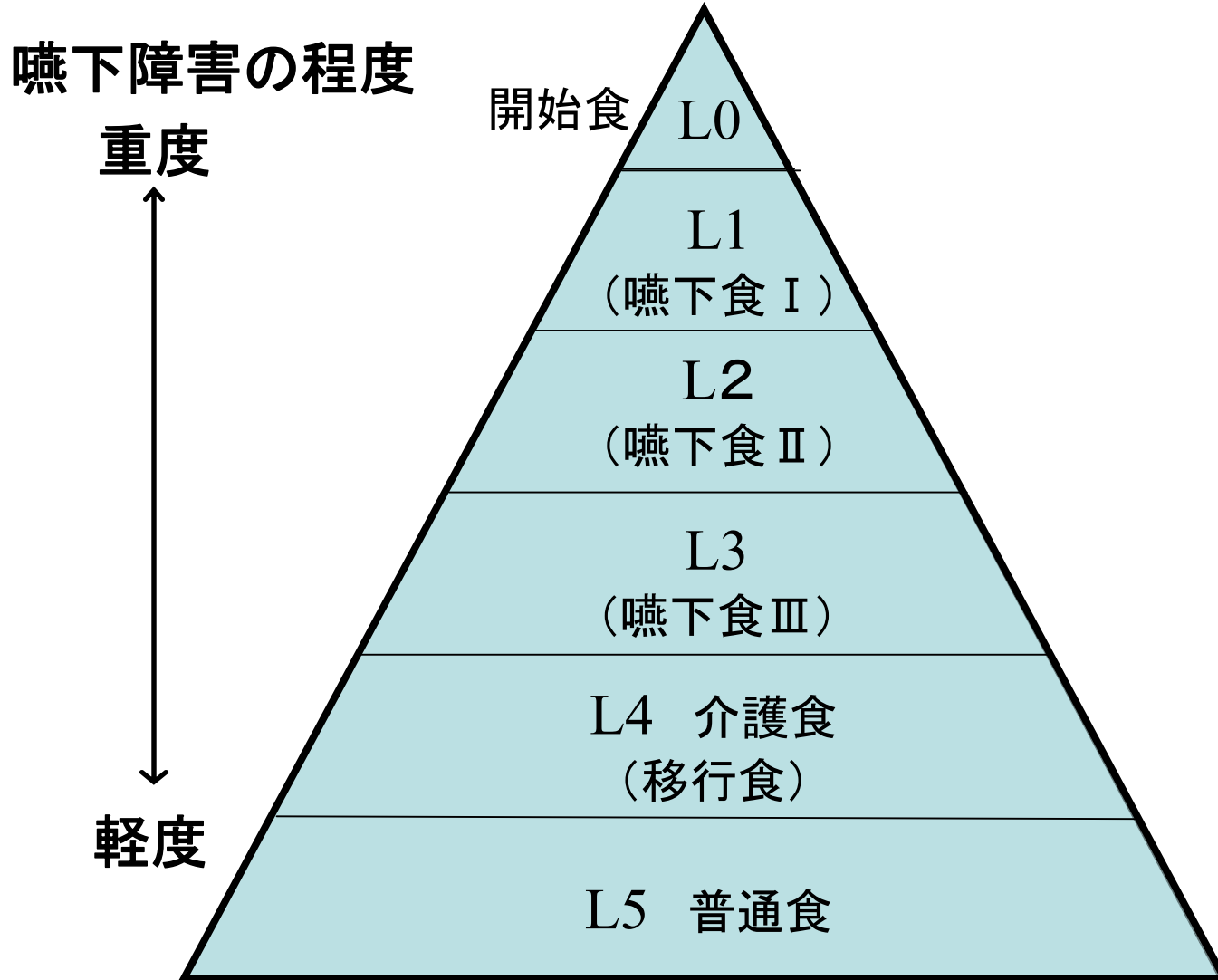
誤嚥

窒息・誤嚥性肺炎などの原因



介護食  
(誤嚥しにくい)

# 嚥下食ピラミッド(金谷節子)



栢下淳 編, “嚥下食ピラミッドによる---嚥下食レシピ250”,  
医歯薬出版株式会社 (2008)より.



# 食物の“飲み込みやすさ”とは？

## 飲み込みにくい食物

ばらばらになりやすい食物  
“パサパサ”している食物  
例) 粉, 砕いた煎餅, ビスケット  
水(?), 低粘性の液体(?)

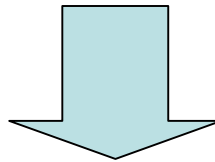


誤嚥しやすい

べたつく食物  
例) もち

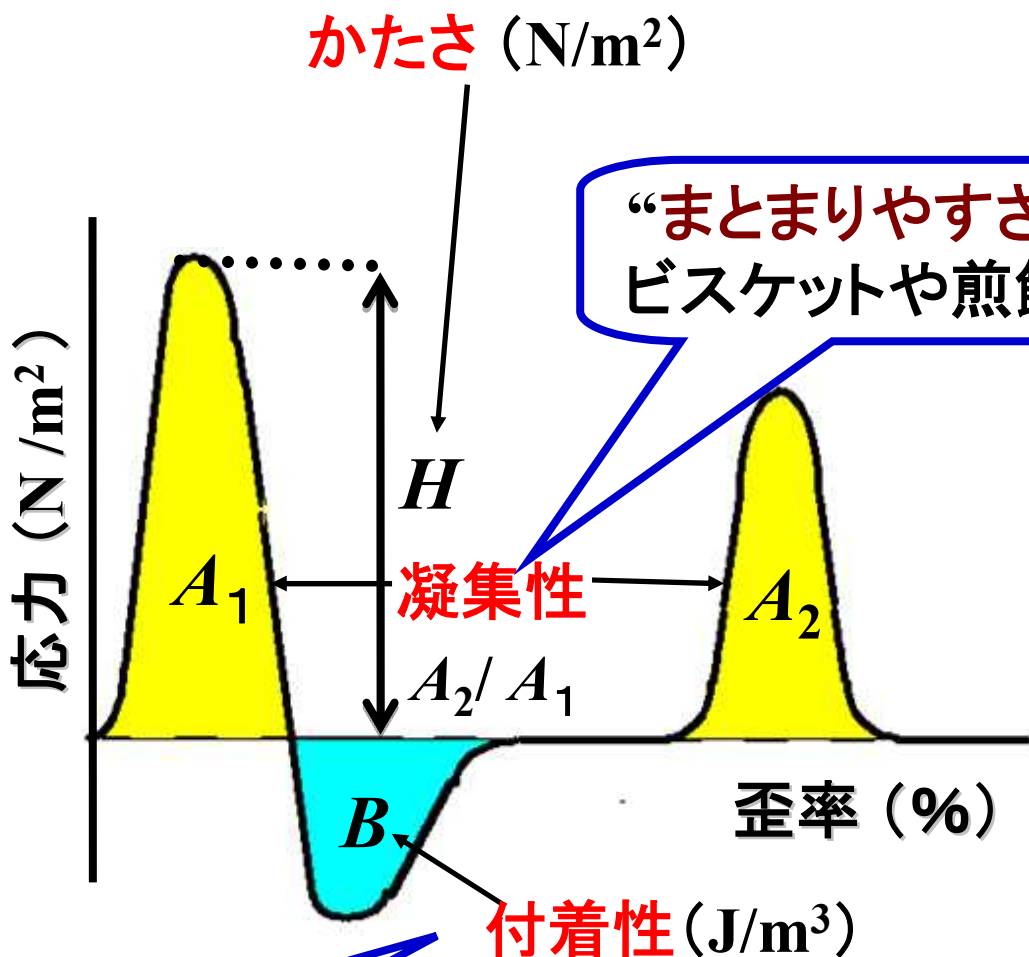
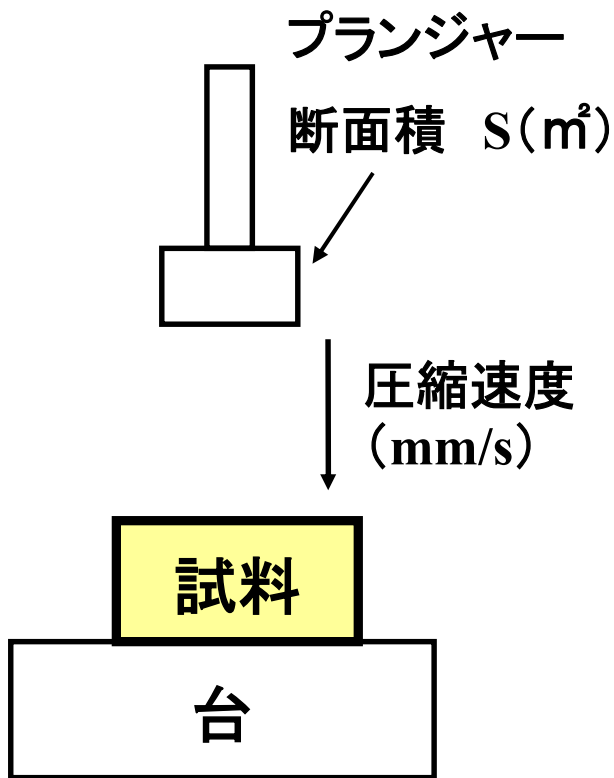


のどに詰まりやすい



“まとまりやすく”, “べたつかない”食物  
が飲み込みやすい

# TPA (Texture Profile Analysis)



“まとまりやすさ”??  
ビスケットや煎餅??

“べたつき”  
試料とプランジャー間の付着  
⇒面積  $B$  大

# 厚生労働省による高齢者用食品の物性規格 (1994年)

食品群		規格			
種別	形状	堅さ (N/m <sup>2</sup> )	固形物の比率[重量%]	ゾルの粘度 (mPa・s)	備考 [堅さ、食べやすさの目安]
そしやく・えん下 困難者用食品	<u>ゾル</u>	5 × 10 <sup>2</sup> N/m <sup>2</sup> 以下		1.5 × 10 <sup>3</sup> mPa・s以上	かまなくてもよい
	ゾル中に固形物	固形物を含む全体を測定して 5 × 10 <sup>3</sup> N/m <sup>2</sup> 以下	50 % 以下		
	<u>ゲル</u>	1 × 10 <sup>4</sup> N/m <sup>2</sup> 以下			舌でつぶせる
	ゲル中に固形物	固形物を含む全体を測定して 5 × 10 <sup>4</sup> N/m <sup>2</sup> 以下	50 % 以下		歯ぐきでつぶせる

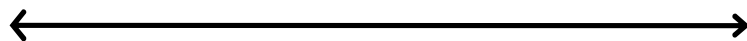
**B型粘度計を用いて**

**ロータ回転数12rpmにおける粘度 1.5 Pa・s 以上**

# 厚生労働省えん下困難者用食品 許可基準(2009/4/1~):2010年消費者庁に移管

嚥下障害の程度

重度



軽度

	許可基準Ⅰ	許可基準Ⅱ	許可基準Ⅲ
<u>硬さ (N/m<sup>2</sup>)</u>	$2.5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$	$1 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^4$	$3 \times 10^2 \sim 2 \times 10^4$
<u>付着性 (J/m<sup>3</sup>)</u>	$4 \times 10^2$ 以下	$1 \times 10^3$ 以下	$1.5 \times 10^3$ 以下
<u>凝集性</u>	0.2~0.6	0.2~0.9	—

TPA(テクスチャー)測定 of 3つのパラメータ

超音波パルスドプラー法による  
咽頭部における食塊の流速測定

# “飲み込みやすさ”とは？

- ・咀嚼・嚥下過程では、食物の**物性**が大きく変化し、その感覚は舌、口蓋、咽頭部、鼻など様々な器官によって総合的に“**評価**”される。
- ・感覚を表現する用語には複数の物理的・化学的な因子が絡む  
→ “官能評価”の意味



機器測定から得られる物理量や化学分析値のみでの評価困難



**生体計測**（Videofluorographyその他）

機器測定とヒトの感覚とのギャップを埋める

# 咽頭部における流速測定

測定機器：医療用超音波診断装置

測定周波数：6MHz

被験者：健常女性

測定部位：咽頭部

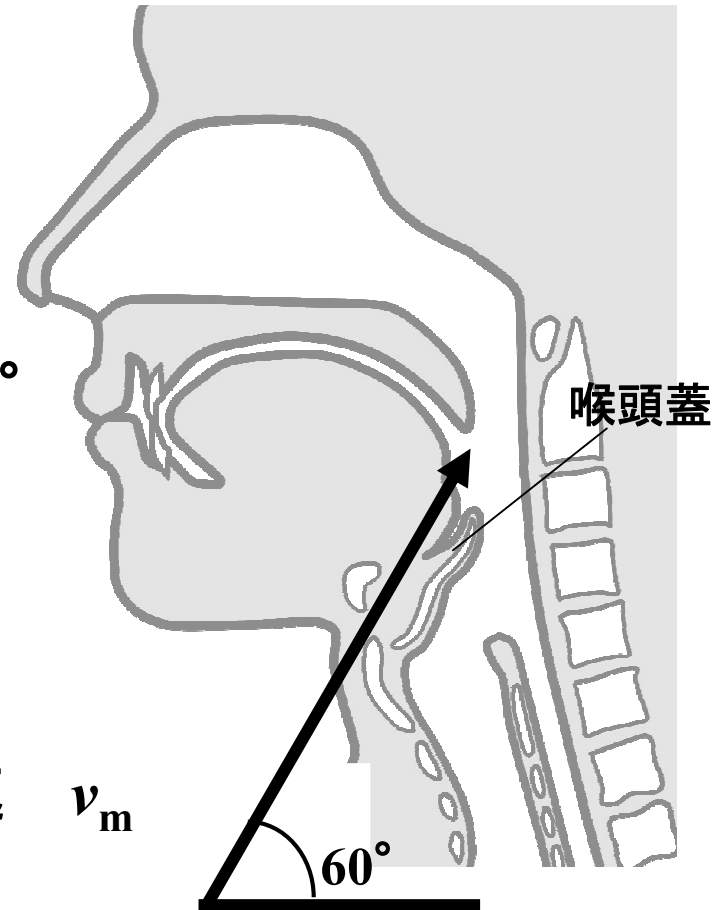
水平に対して上向きに60°  
喉頭蓋を通過する直前の流速

測定項目：流速スペクトル

粒子密度

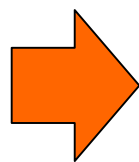
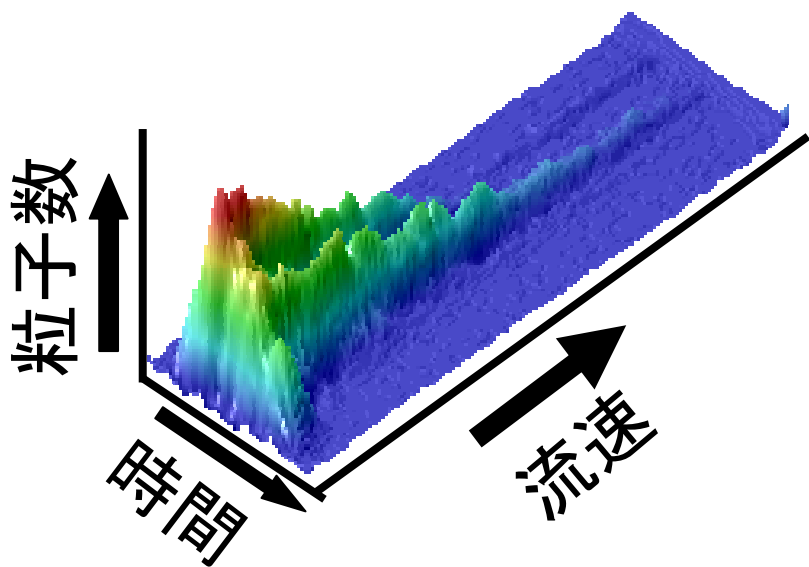
最大流速  $V_{\max}$ 、平均流速

$v_m$

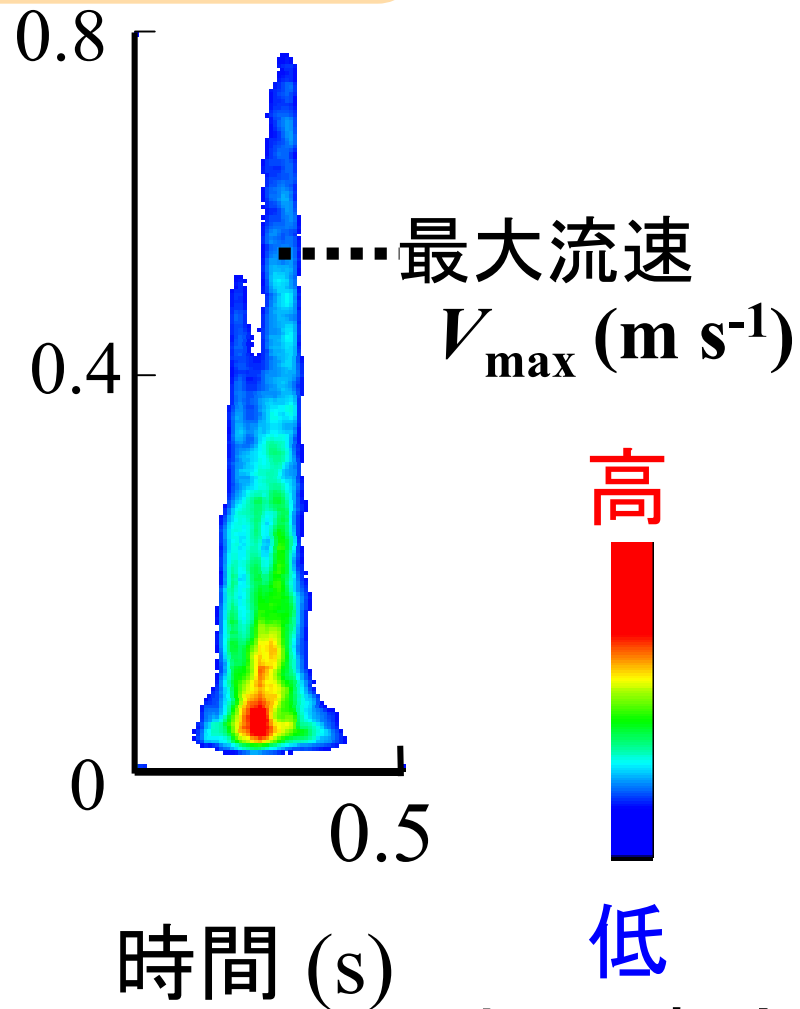


# 流速スペクトルの解析 (超音波パルスドプラー法)

(試料：水 6 g)



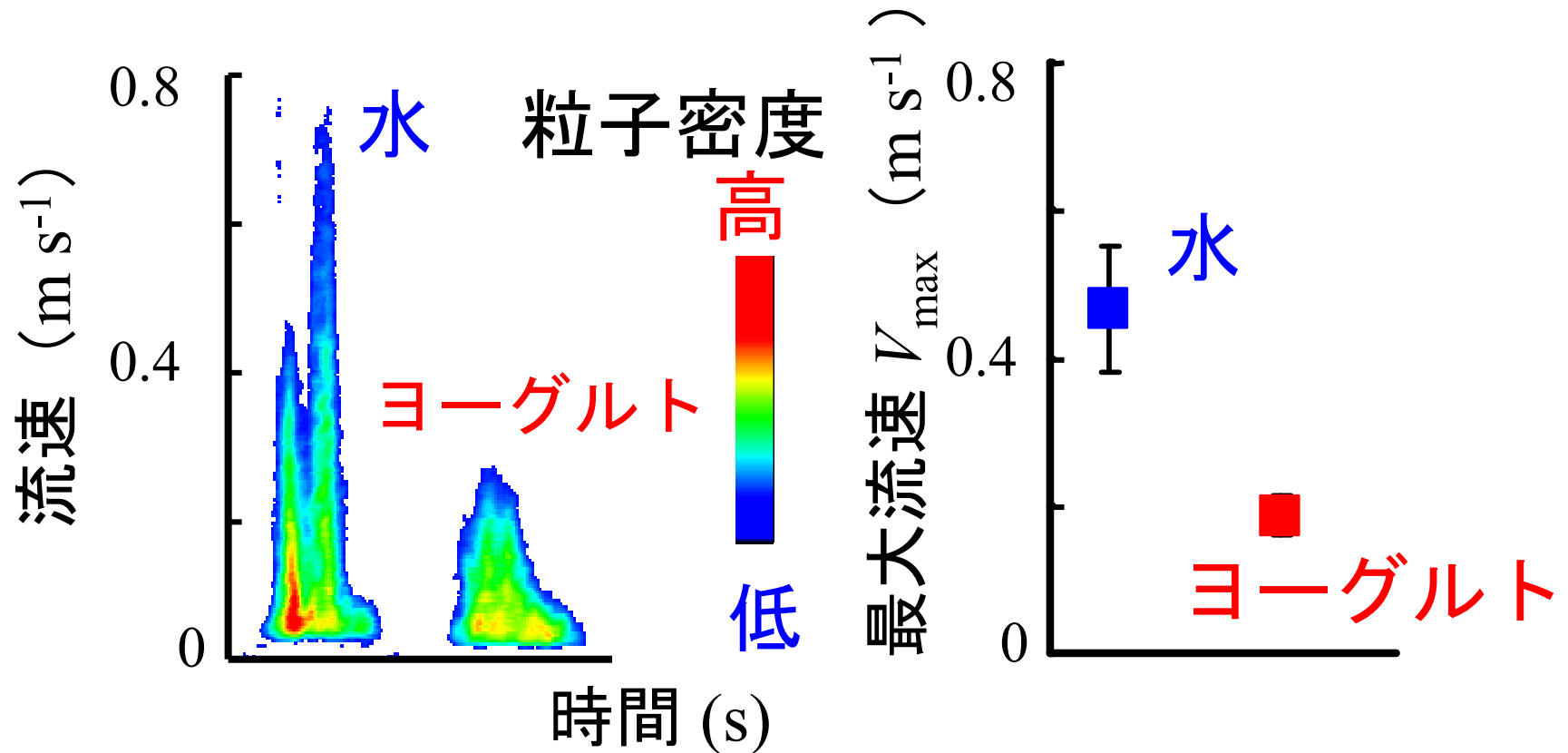
流速 ( $\text{m s}^{-1}$ )



粒子密度



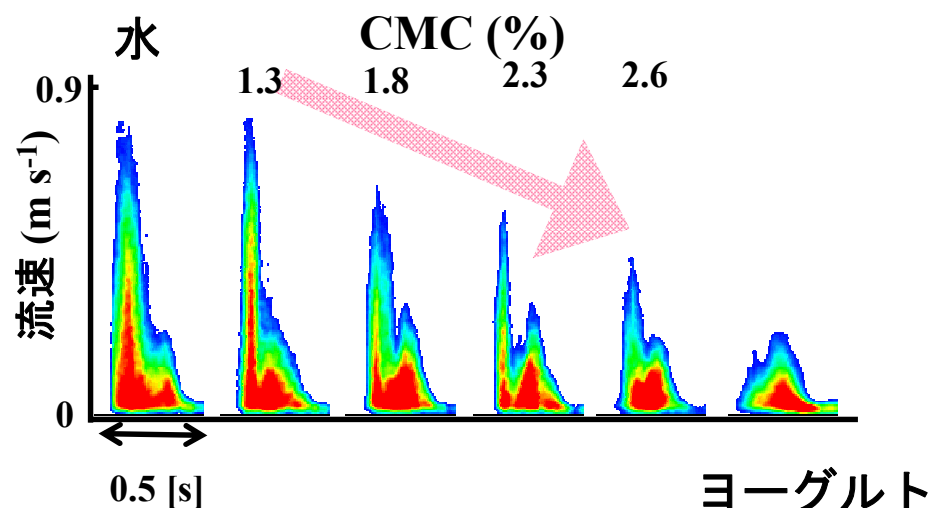
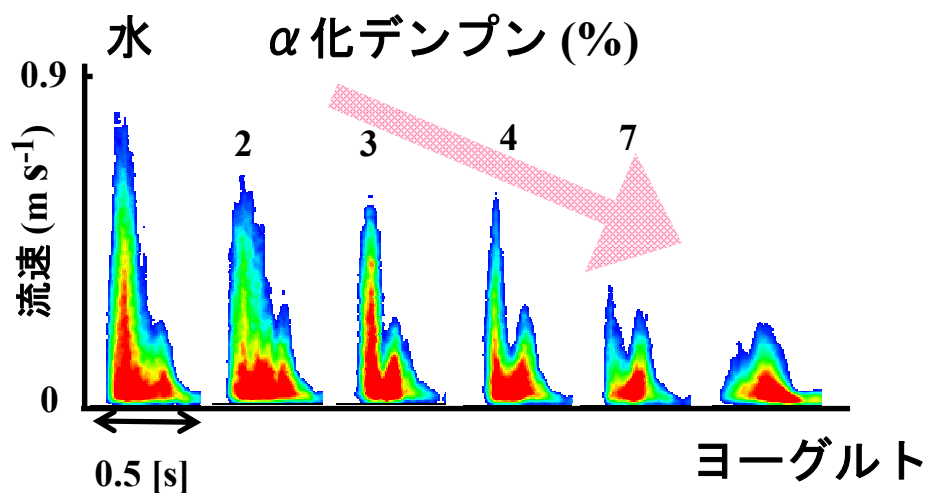
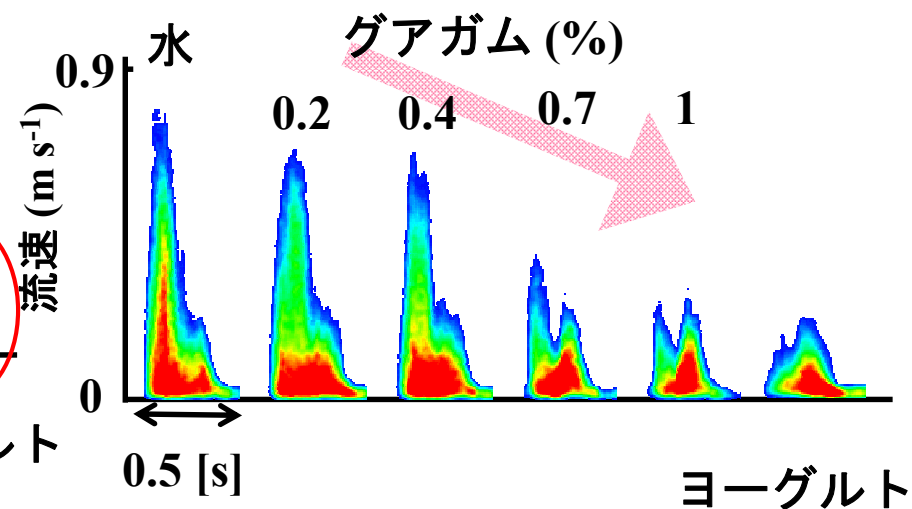
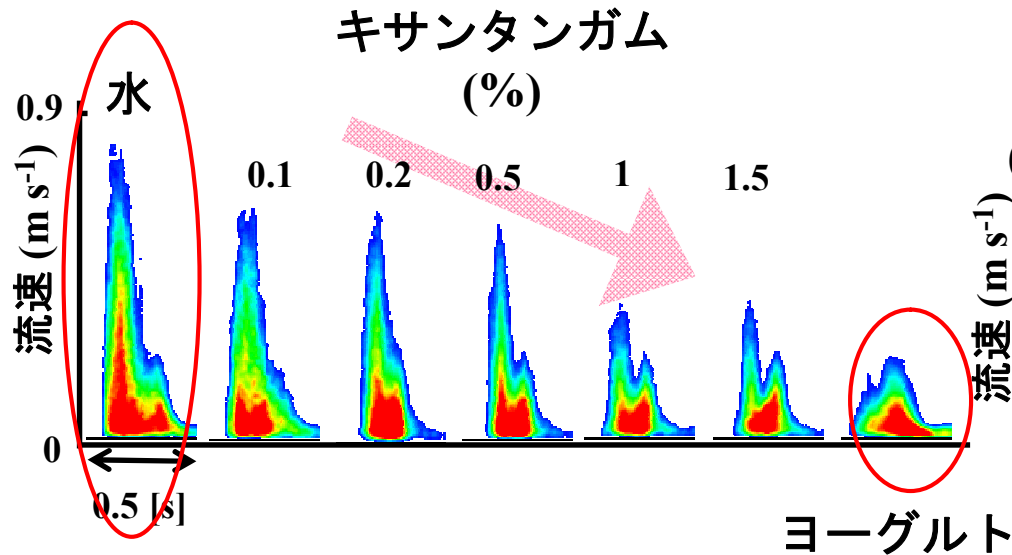
誤嚥しやすい水と誤嚥しにくいヨーグルト  
の流速スペクトルの差異



誤嚥しやすさ  $\longleftrightarrow$  最大流速  $V_{\max}$

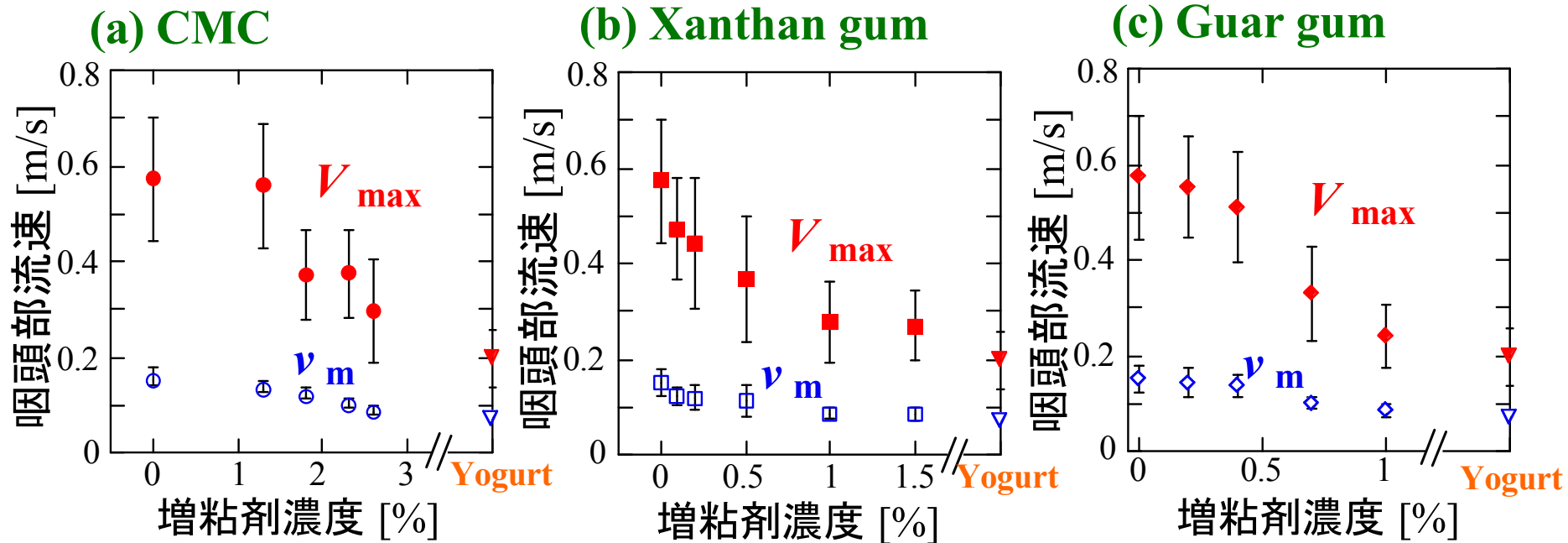
# 超音波による流速分布測定

粒子密度

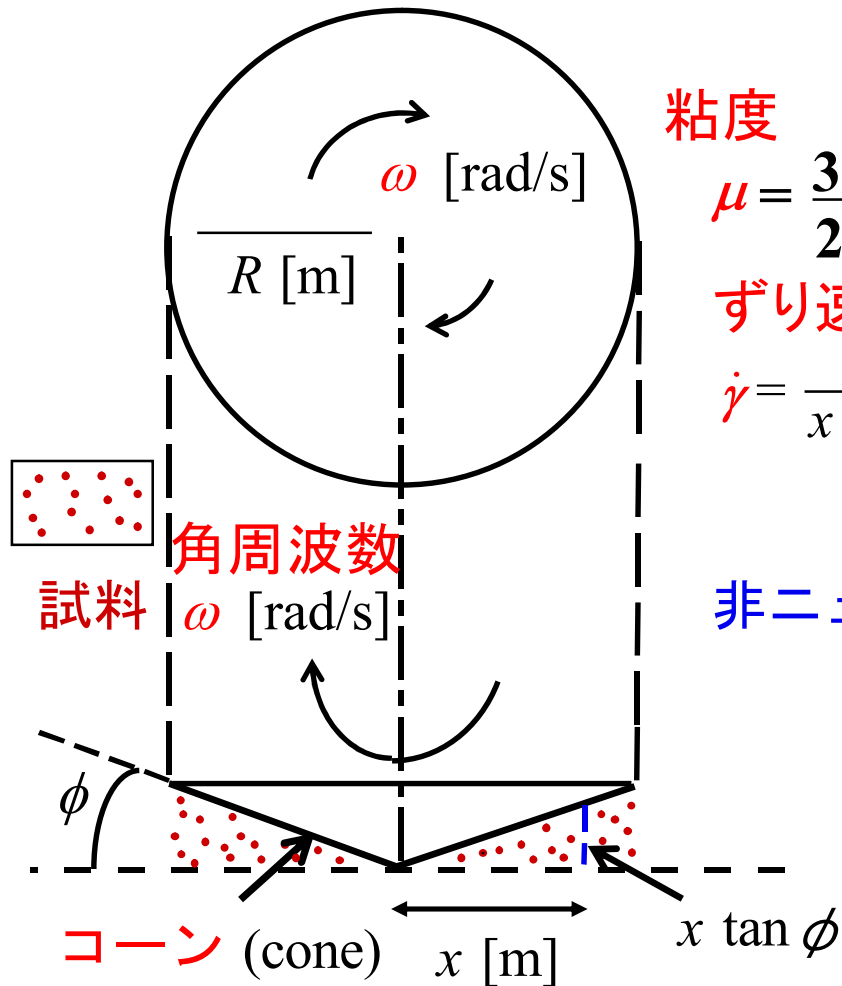


# 増粘剤溶液の咽頭部流速の濃度依存性

$V_{\max}$ : 最大流速       $v_m$ : 平均流速



# コーンプレート型粘度計



粘度

$$\mu = \frac{3 M \omega \phi}{2 \pi R^3 \omega} \quad M: \text{トルク [N}\cdot\text{m]}$$

ずり速度

$$\dot{\gamma} = \frac{x \omega}{x \tan \phi} = \frac{\omega}{\tan \phi} \approx \frac{\omega}{\phi} \quad \text{場所 (x) によらず一定}$$



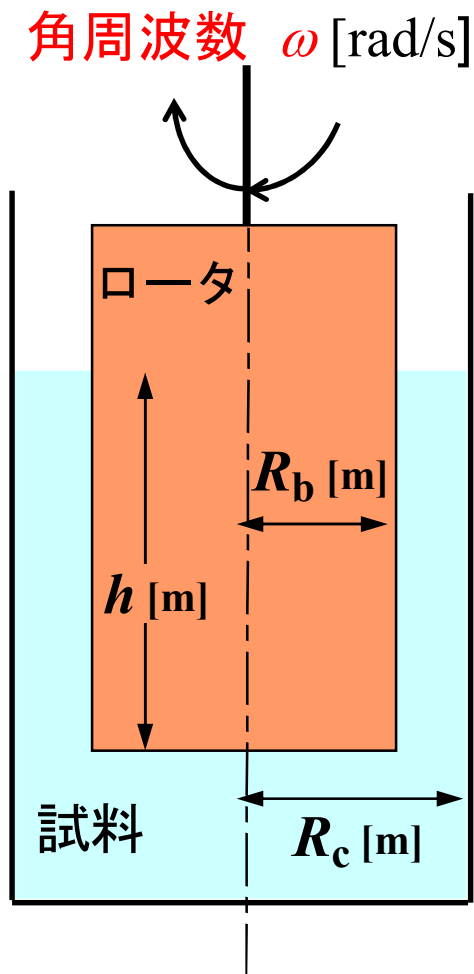
非ニュートン流体でも物理的に明確な粘度

$\mu$  vs.  $\dot{\gamma}$  流動特性

- ・ サンプル少量（数ml）
- ・ スリップする試料は不可
- ・ 大きい粒子を含む試料は不可

# 回転円筒型粘度計 (B型粘度計)

# Brookfield-type 粘度計



粘度

$$\mu = \frac{M}{4 \pi \omega h} \left( \frac{1}{R_b^2} - \frac{1}{R_c^2} \right) \quad M: \text{トルク [N}\cdot\text{m]}$$

ニュートン流体に関する式

- 安価で取り扱いが容易
- ずり速度  $\dot{\gamma}$  の近似値は得られる (実験式使用)

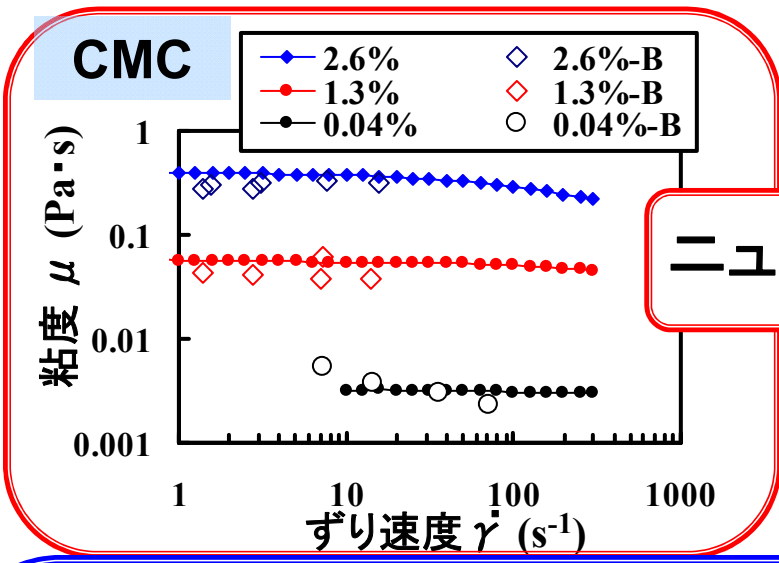


非ニュートン流体でも近似的な流動特性  $\mu$  vs.  $\dot{\gamma}$

- サンプル大量 (~500ml)
- 多少不均一な試料でも粘度の概略値が得られる

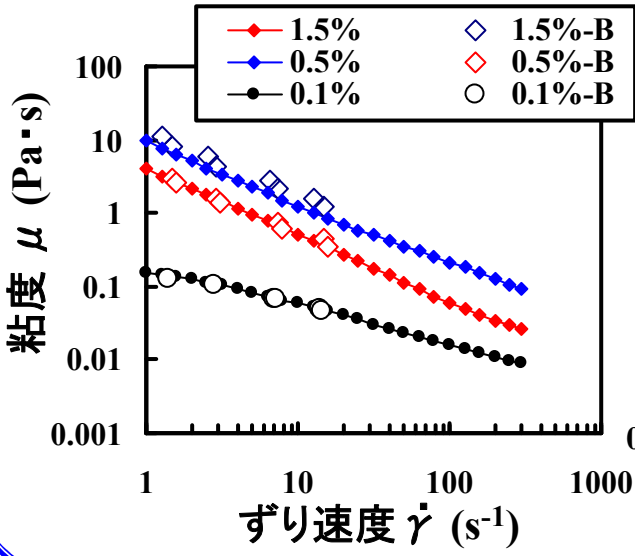
# 増粘剤溶液の粘度

コーンプレート型  
B型

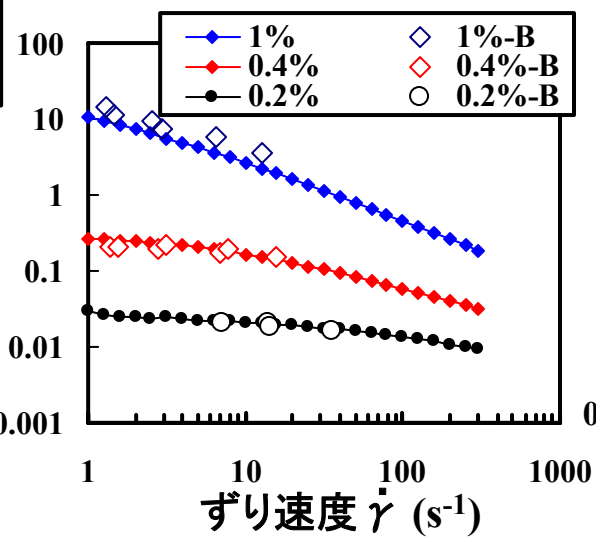


非ニュートン流体(ずり流動化)

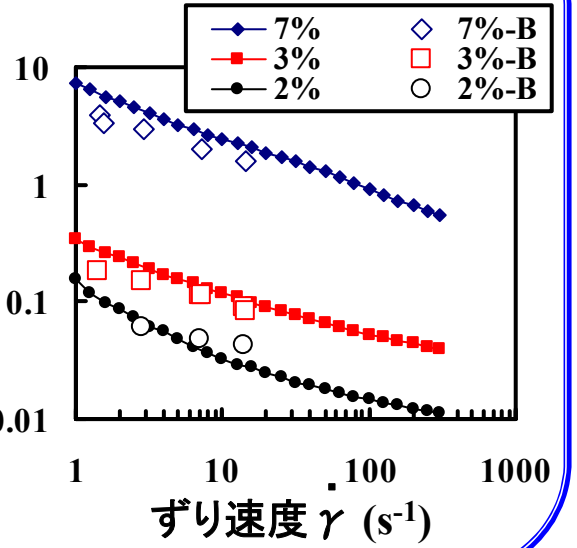
## キサンタンガム



## グアガム

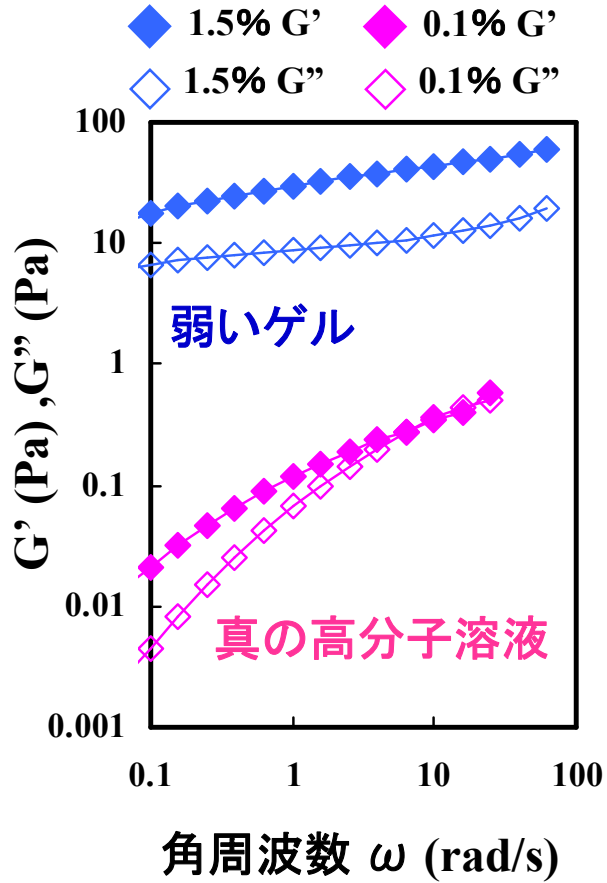


## α化デンプン

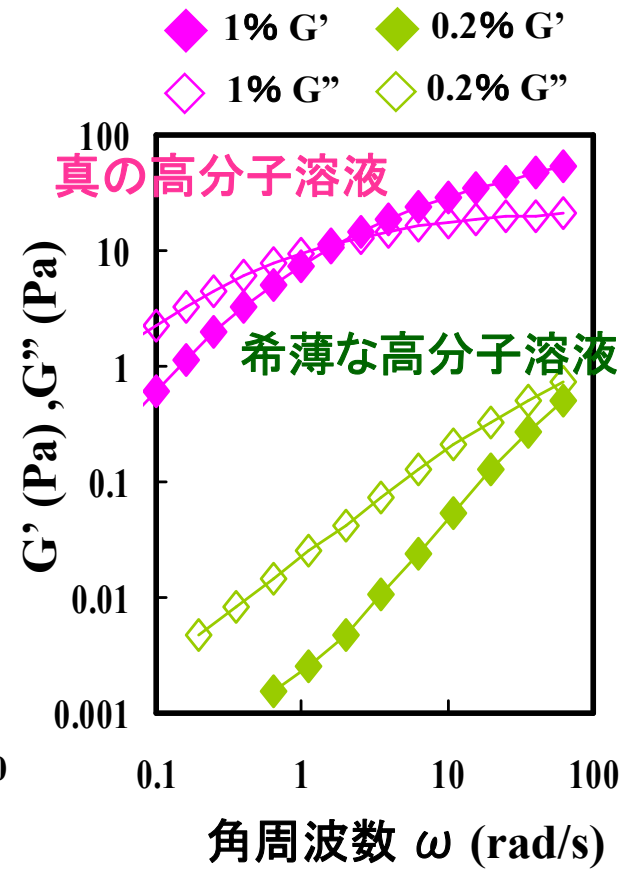


# 増粘剤溶液の動的粘弾性測定の結果

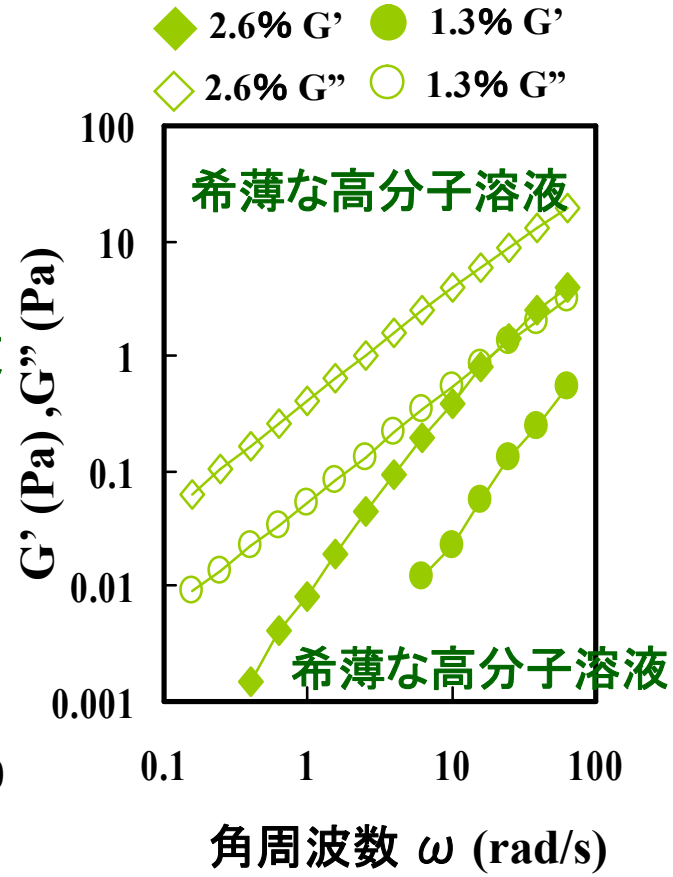
## キサンタンガム



## グアガム



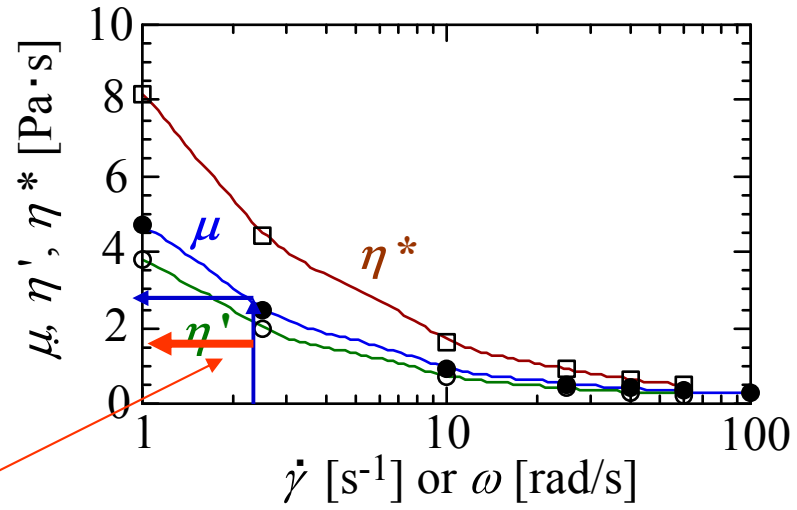
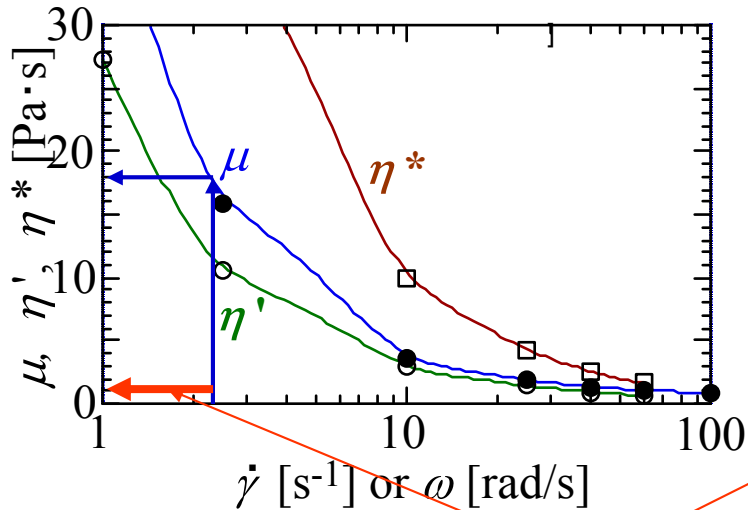
## CMC



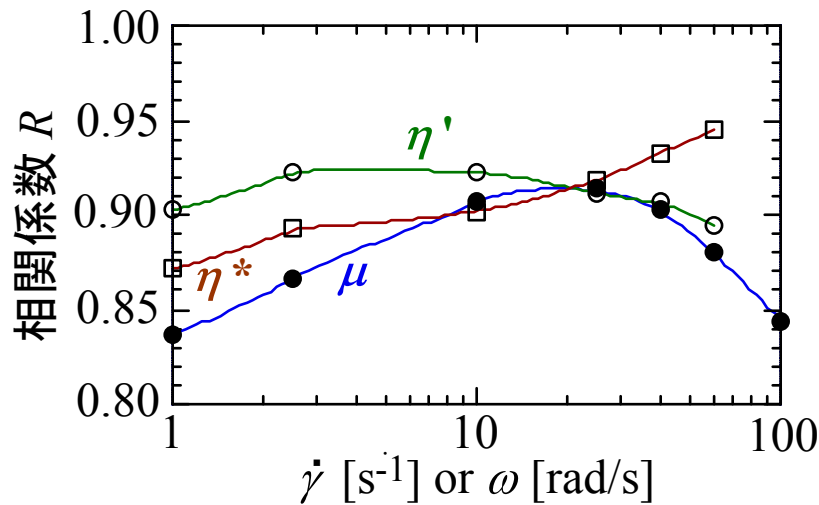
# 液状の介護食として必要な $\mu$ , $\eta'$ , $\eta^*$ の値の推定

最大流速  $V_{\max} = 0.2$  m/s  
(ヨーグルト程度)

最大流速  $V_{\max} = 0.3$  m/s  
(やや妥協した値)



1994年厚労省基準値 1.5 Pa·s



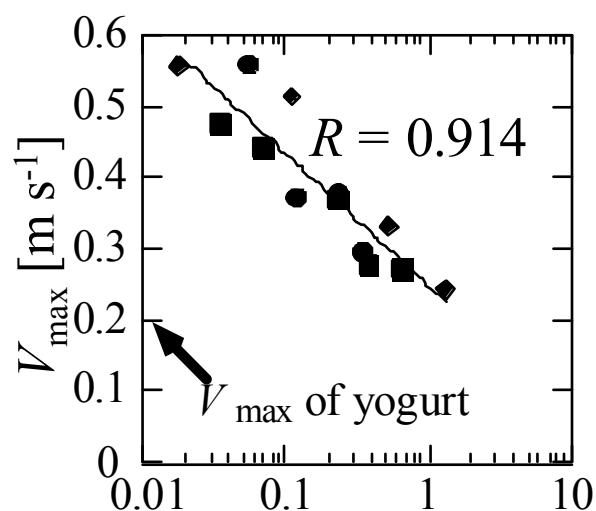
咽頭部サイズ



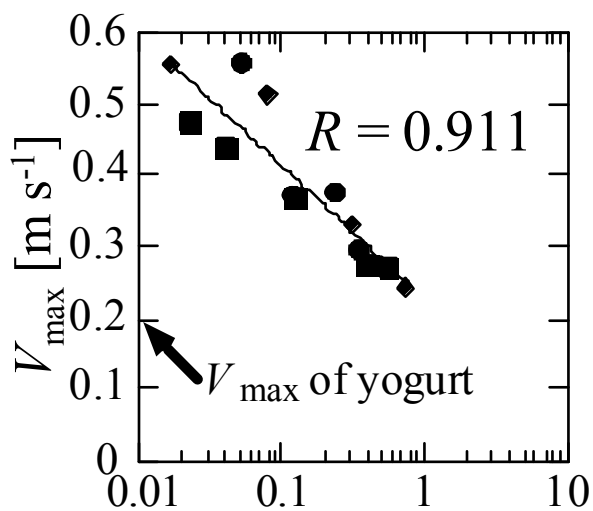
ずり速度: 数十  $s^{-1}$  程度



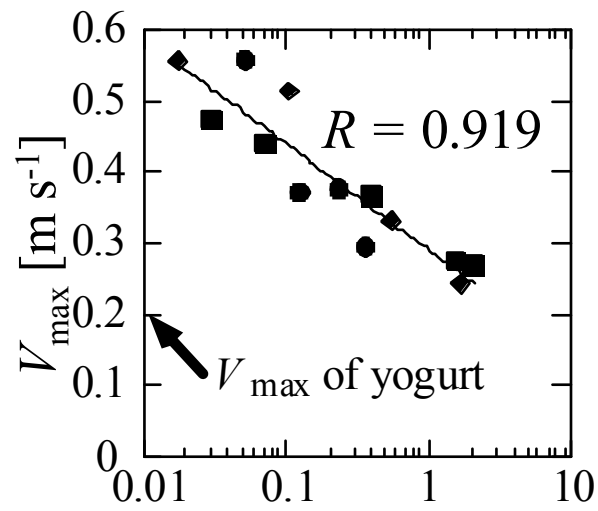
増粘剤溶液の粘度  $\mu$ , 動的粘性率  $\eta'$ , 複素粘性率  $\eta^*$  と最大流速  $V_{\max}$  との相関 ( $\dot{\gamma}$  or  $\omega = 25$  [ $\text{s}^{-1}$ ] or [ $\text{rad/s}$ ])



粘度  $\mu$  [Pa·s]



動的粘性率  $\eta'$  [Pa·s]



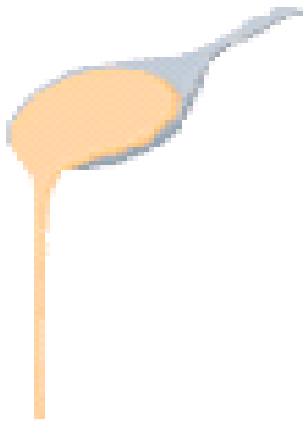
複素粘性率  $\eta^*$  [Pa·s]

粘度  $\mu$ , 動的粘性率  $\eta'$ , 複素粘性率  $\eta^*$  ( $\dot{\gamma}$  or  $\omega = 10 \sim$  数十  $\text{s}^{-1}$ )  
液状介護食の物性指標

# 市販のトロミ剤

## 増粘多糖類

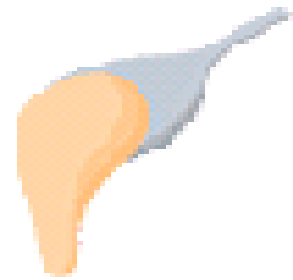
ポタージュ状



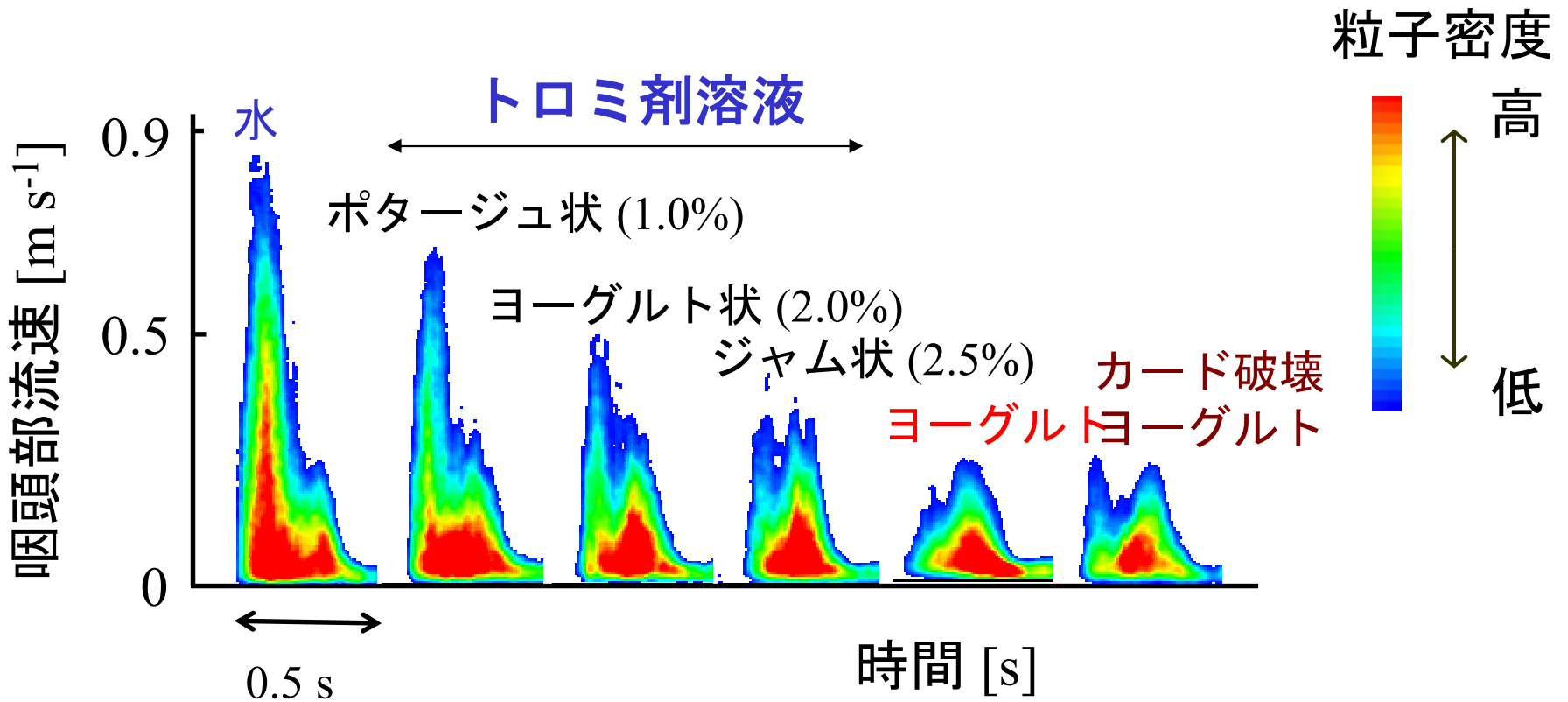
ヨーグルト状



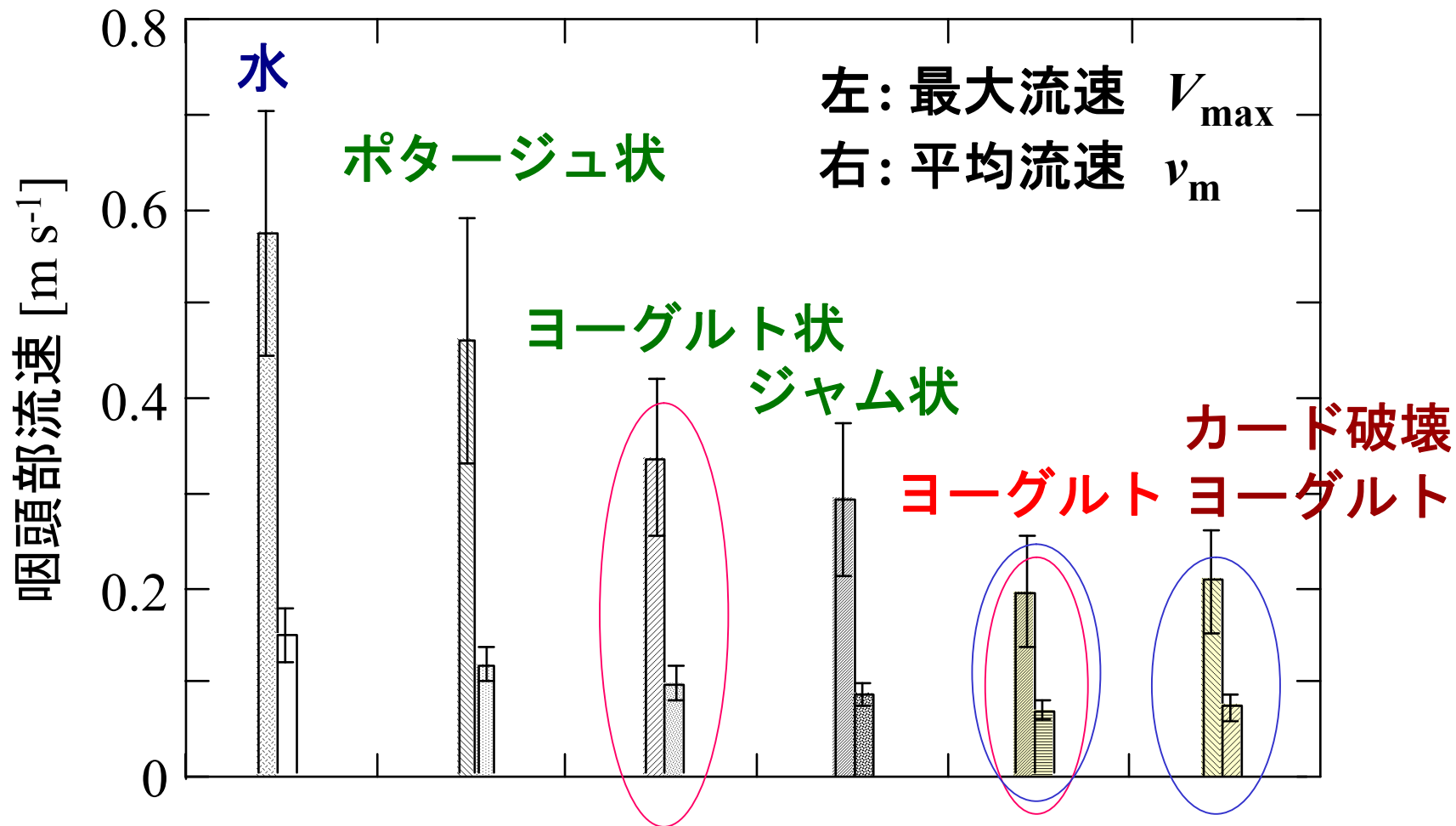
ジャム状



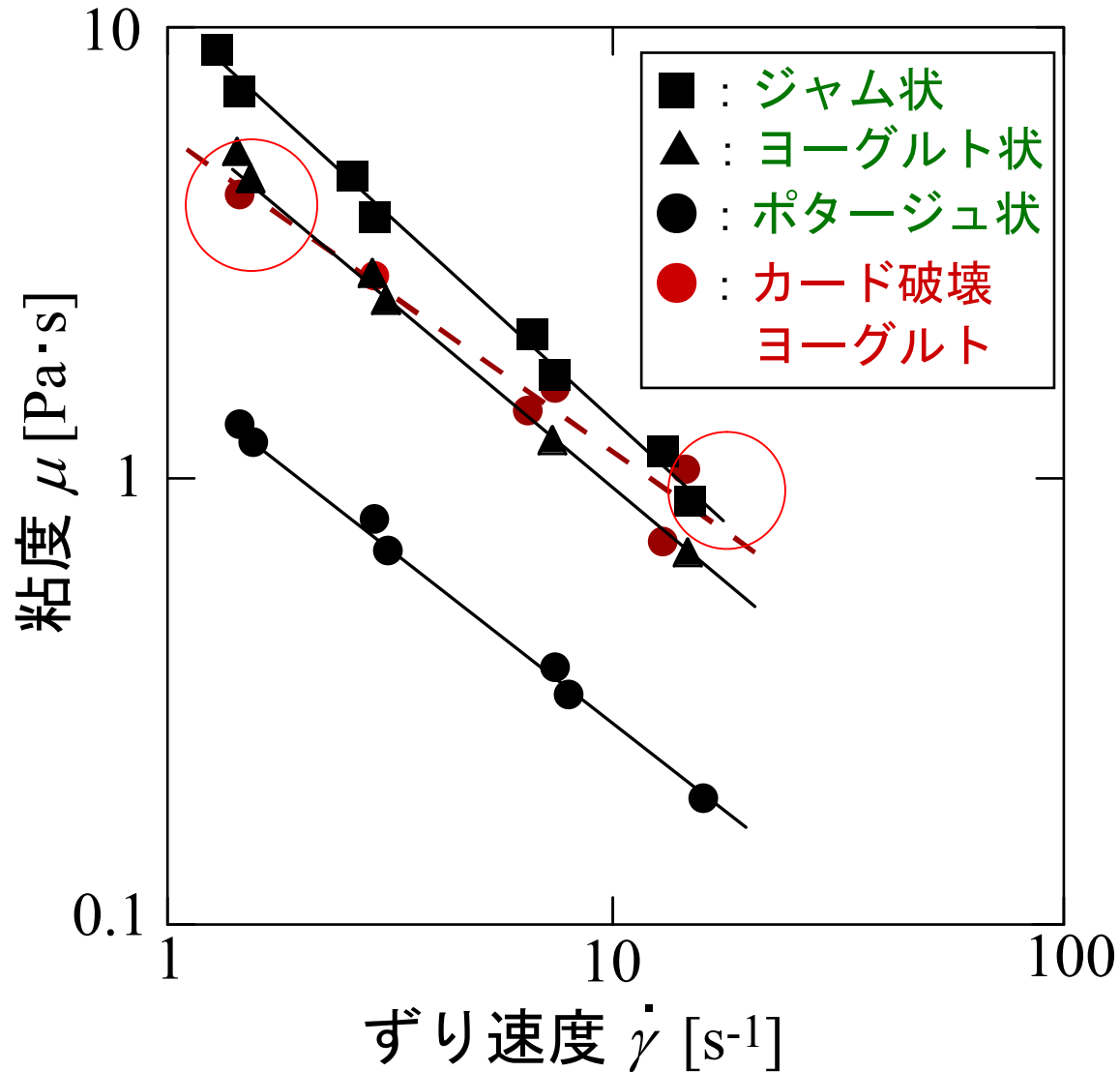
# トロミ剤溶液, ヨーグルト・カード破壊ヨーグルト の流速スペクトル



# トロミ剤溶液, ヨーグルト, カード破壊ヨーグルト の咽頭部流速



# トロミ剤(トロメイク)溶液とカード破壊ヨーグルトの流動特性



# 液状食品(増粘剤溶液)のまとめ

## 介護食の物性指標

$\eta'$ ,  $\eta^*$

(動的粘弾性測定)

粘度  $\mu$

(流動特性測定)

$\dot{\gamma}$  or  $\omega$ : 10~数十  $s^{-1}$  or  $rad/s$

## 1994年の厚生労働省の旧基準における粘度

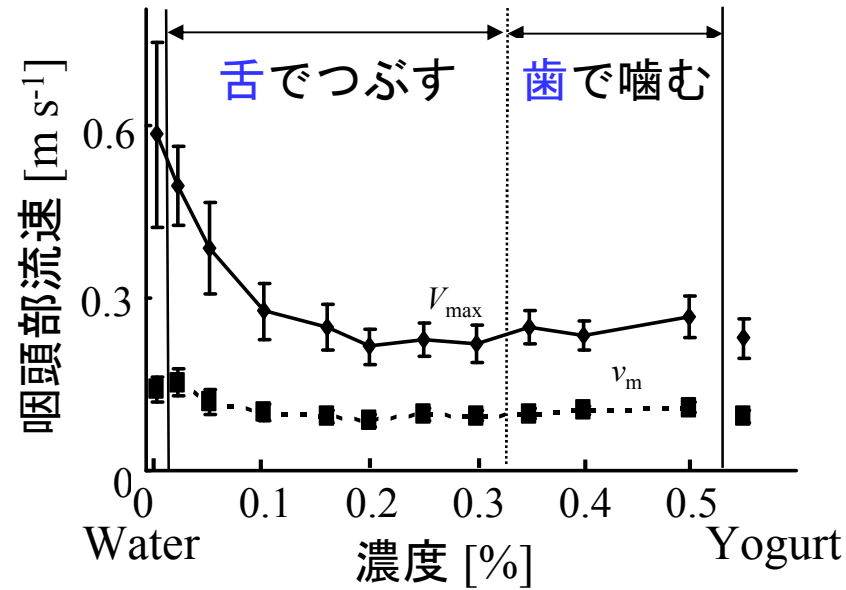
ずり速度(ロータ回転数): 2-3  $s^{-1}$  (12 rpm)

粘度の閾値: 1.5 Pa·s

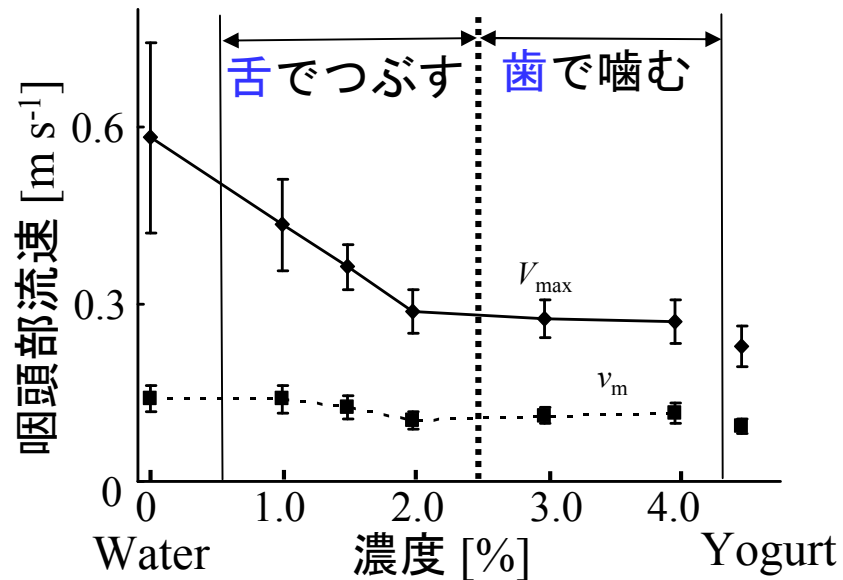
いずれも不適切で現実に合わない

# ジェランおよびゼラチンの咽頭部流速

(a) ジェラン



(b) ゼラチン



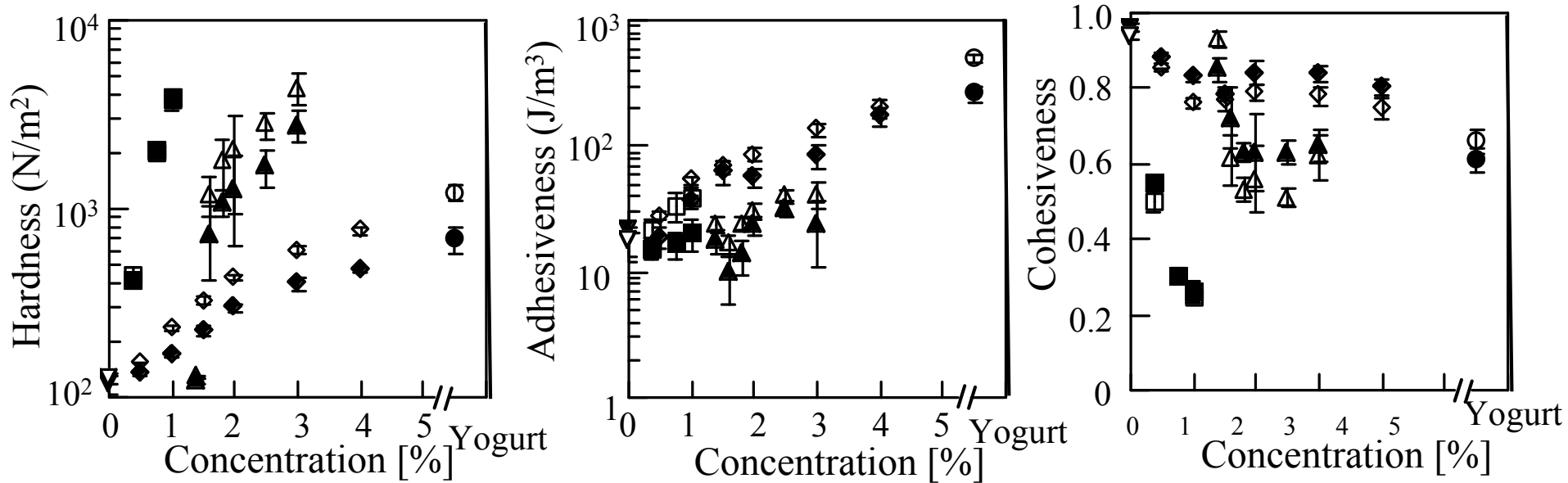


Fig. Concentration Dependence of the Parameters obtained from TPA Test.

◆◇, a Thickening agent;

▲△, CA (a Commercial Gelling Agent containing  $\kappa$ -Carrageenan);

■□, MC (CA with Milk and Sucrose); ●○, Yogurt; ▼▽, Water

Test speed: ◆▲■●▼, 1 mm/s; ◇△□○▽, 10 mm/s



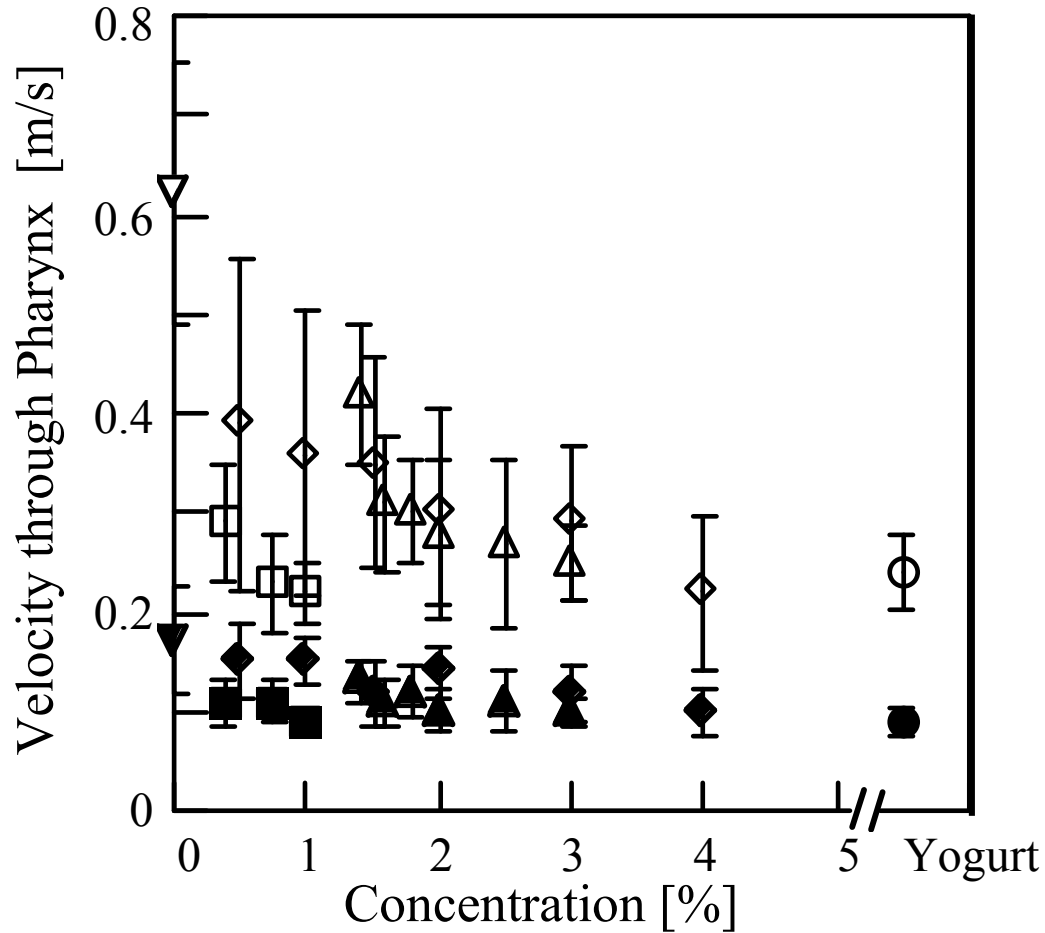


Fig. Concentration Dependence of the Parameters obtained from TPA Test.

◆◇, a Thickening agent;

▲△, CA (a Commercial Gelling Agent containing  $\kappa$ -Carrageenan);

■□, MC (CA with Milk and Sucrose); ●○, Yogurt; ▼▽, Water

Test speed: ◆▲■●▼, 1 mm/s; ◇△□○▽, 10 mm/s

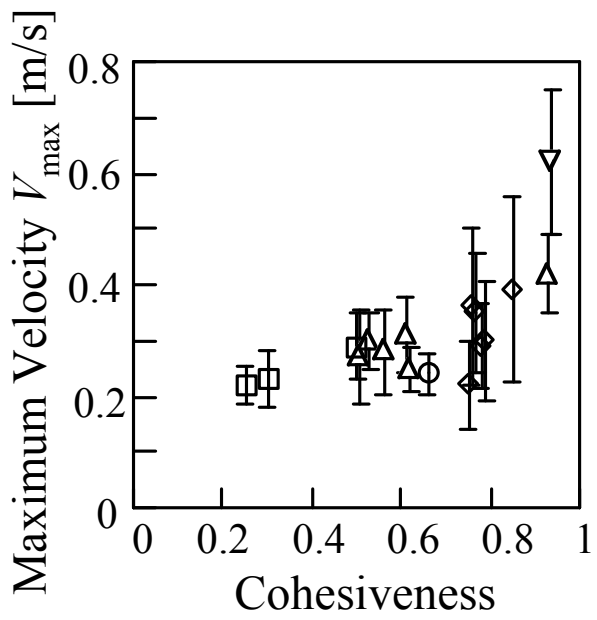
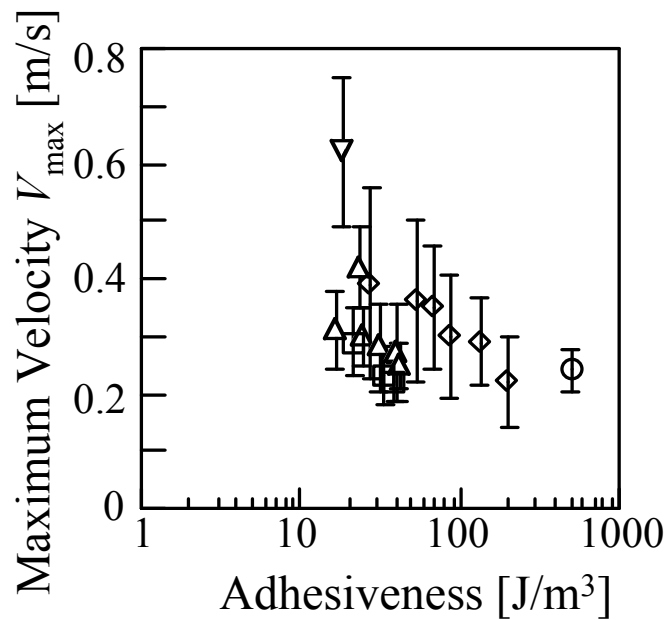
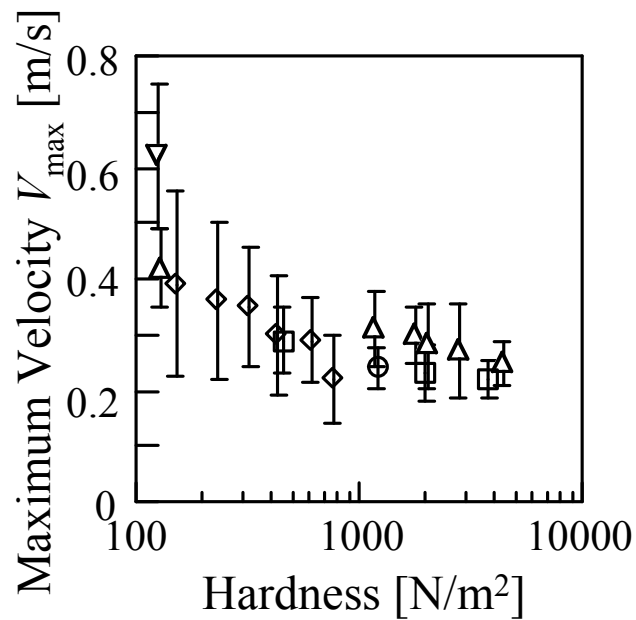


Fig. Relation between the Parameters from TPA Tests and  $V_{\max}$   
 $\diamond$ , T;  $\triangle$ , CA;  $\square$ , MC;  $\circ$ , Yogurt;  $\nabla$ , Water  
 Test speed: 10 mm/s

# ゲル状食品の物性と咽頭部流速について

食塊のまとまりやすさの指標とされている“凝集性”は咽頭部流速との相関がみられなかった。

硬さ”の値が $1000 \text{ N/m}^2$ 以上で咽頭部の最大流速  $V_{\max}$  の値はヨーグルト程度まで低下した。

このことから、TPA測定から得られるパラメータでは“硬さ”が誤嚥の危険性の尺度として適していると考えられた。

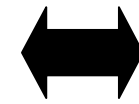
# まとめ

## 食品ハイドロコロイドの構造と物性

高分子物理学の理論・レオロジー

機器による物性測定・解析

生体計測



官能評価  
臨床試験



実用

テクスチャーデザインなど

## [参考文献]

### [パーコレーション, フラクタル]

#### 原著論文

- (1-1) T. Yano, H. Kumagai, T. Fujii, and T. Inukai, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 528-531 (1993).  
(1-2) H. Kumagai, T. Fujii, T. Inukai, and T. Yano, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 532-535 (1993).  
(1-3) T. Hagiwara, H. Kumagai, and K. Nakamura, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **60**, 1757-1763 (1996).  
(1-4) T. Hagiwara, H. Kumagai, T. Matsunaga, and K. Nakamura, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **61**, 1663-1667 (1997).  
(1-5) T. Hagiwara, H. Kumagai, and T. Matsunaga, *J. Agric. Food Chem.*, **45**, 3807-3812 (1997).  
(1-6) T. Hagiwara, H. Kumagai, and K. Nakamura, *Food Hydrocolloids*, **12**, 29-36 (1998).  
(1-7) H. Kumagai, T. Matsunaga, and T. Hagiwara, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **63** (1), 223-225 (1999).

#### 総説・解説論文

- (1-8) “食品のゾル-ゲル転移点近傍における力学物性”, 熊谷仁, *New Food Industry*, **38**, 19-26 (1996).  
(1-9) “牛血清アルブミンゲルのフラクタル解析”, 熊谷仁, *日本バイオレオロジー学会誌*, **13**, 1-8 (1999).

### [誘電緩和]

#### 原著論文

- (2-1) S. Ikeda, H. Kumagai, and K. Nakamura, *Carbohydrate Research*, **301** (2), 51-59 (1997).  
(2-2) S. Ikeda, H. Kumagai, and K. Nakamura, *Food Hydrocolloids*, **11** (3), 303-310 (1997).  
(2-3) S. Iwamoto and H. Kumagai, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **62** (7), 1381-1387 (1998).  
(2-4) S. Ikeda and H. Kumagai, *J. Agric. Food Chem.*, **45** (9), 3452-3458 (1997).  
(2-5) S. Ikeda and H. Kumagai, *J. Agric. Food Chem.*, **46** (9), 3687-3693 (1998).  
(2-6) S. Iwamoto, H. Kumagai, Y. Hayashi and O. Miyawaki, *Int. J. Biol. Macromolecules*, **26**, 345-351 (1999).  
(2-7) H. Kumagai, T. Sugiyama, and S. Iwamoto, *J. Agric. Food Chem.*, **48** (6), 2260-2265 (2000).

#### 総説・解説論文

- (2-8) "Dielectric Analysis of the Inner Structure of Food Polyelectrolyte Solutions and Gels",  
H. Kumagai and S. Ikeda, *Recent Research Developments in Agricultural & Biological Chemistry*, **2**, 133-141 (1998).  
(2-9) “Analysis of Molecular or Ion Mobility in Glassy and Rubbery Foods by Electric and Proton-NMR Measurements”,  
H. Kumagai and H. Kumagai, *Food Sci. Technol. Res.*, **8** (2), 95-105, 2002.  
(2-10) “食品の物性そして水 II 電気物性と誘電緩和”, 熊谷仁, *日本食品工学会誌*, **9**, 123-134 (2008).  
(2-11) “食品の物性そして水 III 電気物性測定およびパルスNMRを用いたガラス・ラバー状食品中分子の運動性に関する解析”, 熊谷仁, 熊谷日登美, *日本食品工学会誌*, **9**, 197-206 (2008).

## [嚥下関係]

### 原著論文

- (3-1) 長谷川温子, 乙黒明子, 熊谷仁, 中沢文子, 日本食品科学工学会誌, **52**, 441-447 (2005).
- (3-2) 長谷川温子, 中澤文子, 熊谷仁, 日本食品科学工学会誌, **55**, 330-337 (2008).
- (3-3) 長谷川温子, 中澤文子, 熊谷仁, 日本食品科学工学会誌, **55**, 541-548 (2008)
- (3-4) H. Kumagai, A.Tashiro, A. Hasegawa, K. Kohyama and H. Kumagai,  
*Food Science and Technology, Research*, **15**, 203-210 (2009).
- (3-5) A.Tashiro, A. Hasegawa, K. Kohyama, H. Kumagai, and H. Kumagai,  
*Biosci. Biotech. Biochem.*, **74** (8), 1598-1605 (2010).
- (3-6) A.Tashiro, K. Ono, A. Hasegawa-Tanigome, H. Kumagai, and H. Kumagai, *Japan J. Food Eng.*, **11**, 177-185 (2010).
- (3-7) 谷米 (長谷川) 温子, 小倉聖美, 秋間彩香, 神山かおる, 熊谷日登美, 熊谷仁,  
日本食品工学会誌, **14** (2), 87-96 (2013).

### 総説・解説論文

- (3-8) “食品の物性そして水 V レオロジーと食品工学-嚥下障害者用介護食の物性を中心として”,  
熊谷仁, 熊谷日登美, 日本食品工学会誌, **10**, 137-148 (2009).
- (3-9) “高齢者が誤嚥しにくい食品の物性”, 熊谷仁, 谷米 (長谷川) 温子, 田代晃子, 熊谷日登美,  
*New Food Industry*, **53**, 29-40 (2011).
- (3-10) “超音波による咽頭部流速測定に基づく食物の嚥下特性評価”, 熊谷仁, 谷米 (長谷川) 温子, 熊谷日登美,  
*Food & Food Ingredients J. Jpn* (FFI Journal), **216** (3), 194-206 (2011).
- (3-11) “高齢者が誤嚥しにくい介護食の物性”, 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).
- (3-12) “超音波パルスドプラー法による咽頭部における食物の流速測定”,  
熊谷仁, 谷米 (長谷川) 温子, 冷凍, **87** (1018), 534-540 (2012).
- (3-13) 「進化する食品のテクスチャー研究」, 株式会社エヌ・ティー・エス,  
山野善正監修, 第4章 咀嚼と嚥下, 6. 嚥下障害用介護食のテクスチャー・物性,  
熊谷仁, 谷米 (長谷川) 温子(2011).

## [食品物性全般]

- (1) “食品の物性そして水 I 食品工学における物性そして水”, 熊谷仁, 熊谷日登美, 萩原知明,  
日本食品工学会誌, **9**, 79-89 (2008).
- (2) “食品ハイドロコロイドの物性に関する研究”, 熊谷仁, 日本食品工学会誌, **13**, 79-90 (2012).