

# ホエータンパク質-ゼラチン混合ゲルのレオロジー的特性に及ぼす pH と塩の影響

粟津原 理恵, 河村 フジ子\*

(飯田女子短期大学, \*東京家政大学家政学部)

平成 8 年 8 月 2 日受理

## Effect of pH and Added Salts on the Rheological Properties of Mixed Whey Protein and Gelatin Gels

Rie AWATSUHARA and Fujiko KAWAMURA\*

*Iida Women's Junior College, Iida 395*

\* *Faculty of Home Economics, Tokyo Kasei University, Itabashi-ku, Tokyo 173*

The effects were studied of pH and salts on the properties of mixed gels consisting of whey protein (WPI, 6%) and gelatin (3%).

The apparent rupture stress of the WPI and alkali-treated gelatin gel increased with increasing pH value, while the rupture stress of the WPI and acid-treated gelatin gel showed peaks at pH 3.5 and 4.5. When 0.1 N calcium chloride, and 0.1 N magnesium chloride was added to the WPI (0.6%) and alkali-treated (0.3%) gelatin mixed sol, the transparency decreased with increasing temperature and an aggregate was formed. The effect of sodium citrate on the WPI and alkali-treated gelatin sol was to form a macromolecular aggregate formed at more than 80°C, this aggregate formation being accelerated under the conditions of 90°C for 10 min. The strength of apparent rupture stress of the mixed gels depended upon which salt was added. The highest rupture stress was observed with added calcium chloride, which was followed in decreasing order by chloride and sodium citrate. This order was directly correlated with the percentage of bound water.

(Received August 2, 1996)

**Keywords:** gelatin ゼラチン, whey protein ホエータンパク質, pH pH, sol ゾル, mixed gel 混合ゲル, rupture property 破断特性.

### 1. 緒 言

ホエータンパク質は単独でゲルを形成させる場合、タンパク質濃度、加熱温度・時間、pH のほかにイオン強度および塩の種類の影響を受けることが知られている(粟津原と河村 1996; 上野川と清水 1983; 勝田 1990; 河村等 1993; 桑田等 1985; 藤野等 1993; 中村等 1995; 佐藤等 1995)。そのうち、ホエータンパク質のゲル化性においてイオン強度および塩の種類の影響を検討しているものとして桑田等(1985)、藤野等(1993)は、一定濃度のホエータンパク質溶液に塩化カルシウムや塩化ナトリウムの濃度を変えて添加し、pH を調整した後昇温することにより、ホエータンパク質の加熱凝集不溶化が著しく促進するという結果を

得ている。

一方、中村等(1995)、佐藤等(1995)は、一定濃度のホエータンパク質をあらかじめ加熱昇温させた後 pH を調整して、塩化カルシウム、塩化ナトリウムの添加量を変えた場合のゲル強度について検討している。いずれの場合も、ホエータンパク質は、部分的なアンホールディングまたは解離反応および pH、イオン強度、温度などの条件変化で数珠状の凝集体を形成してゲル化すると考えられている(Nakamura *et al.* 1984)。この場合、ホエータンパク質の熱変性をどの段階で行うかによって塩添加の影響に差が生ずるのではないかと考えられる。また、ホエータンパク質に親水性の高いゼラチンのタンパク質を混合した場合の塩添加の影

響についての報告は見当たらない。

著者らは、すでに、前報(栗津原と河村 1996)においてホエータンパク質を熱変性させ、処理法別ゼラチンゾルと 40℃で混合した場合のゲル化性について検討し、両者の等電点付近である pH 4.5 で安定した良質のゲルを得ることを報告した。そこで、今回は処理法別ゼラチンゾルと未変性ホエータンパク質を混合した複合系ホエータンパク質の形で加熱変性をさせ、ゾル-ゲル転移を試みた。その際に引き起こされるであろう相互作用について考察するために pH を変化させて破断試験を行った。さらに、各種の塩を添加して、昇温させた場合のゾルの透明度と分子量分布およびゲルの破断特性について検討した。

## 2. 実験方法

### (1) 実験材料

供試ゼラチンとして、新田ゼラチン(株)製のアルカリ処理、酸処理の各ゼラチンを用いた。

ホエータンパク質は、太陽化学(株)製の WPI サンラクト I-1 (タンパク質含量 90.0%, 以下 WPI と略記)を用いた。

添加する塩として、クエン酸三ナトリウム 2 水和物 ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), 塩化ナトリウム ( $\text{NaCl}$ ), 塩化カルシウム ( $\text{CaCl}_2$ ), 塩化マグネシウム ( $\text{MgCl}_2$ ), リン酸水素ナトリウム 12 水和物 ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ), 炭酸水素ナトリウム ( $\text{NaHCO}_3$ ) を用いた。

### (2) 試料調製法

6 g の WPI を 50 g の蒸留水に溶解させて、40℃に昇温して未変性 WPI ゾルとした。一方、3 g のアルカリ処理、酸処理の各ゼラチンにそれぞれ 15 g の蒸留水を加えて 10 分間膨潤させた後、湯せんにして 50℃で 10 分間保持してゼラチンゾルを得た。両者を 40℃で混合し、pH 調整剤(クエン酸、クエン酸ナトリウム)または 0.1 N の各種塩を添加して、定量(蒸発量を含む)としたものを塩添加 WPI-ゼラチン混合ゾルとした。次に、内径 32 mm, 高さ 15 mm のペトリ皿にゾルを分注し、蒸気により 90℃-10 分間の高温加熱処理をした。続いて、5℃で 1 時間保持したものをゲル特性測定用試料とした。

また、WPI を 0.6 g, ゼラチンを 0.3 g として上記と同様に調製したゾルを 60, 70, 80, 90℃の各時点、および 90℃-10 分間の各条件で加熱処理したものを分子量分布・透明度測定用試料とした。

### (3) 測定方法

#### 1) ゾルの透明度の測定

角セルに、1~20%の 0.1 N の各種塩を未変性 WPI-ゼラチン混合ゾルに添加し、上記の各条件で加熱した試料を注ぎ、測色色差計(日本電色工業(株)製, ND-1001 DP)を用いて UCS 系 L 値を測定して試料の透明度とした。

#### 2) 破断特性値

レオロメーター(株)山電製, RE-3305)を用いてゲルの破断試験を行った。測定条件は、プランジャーの直径: 11 mm  $\phi$ , 試料の高さ: 15 mm, クリアランス: 3 mm, 貫入速度: 1 mm/s, 測定温度: 30℃とした。得られた応力-歪み(変位)の関係をコンピュータに取り込み、自動解析ソフトウェア(株)山電製, CAS-3305-16)を用い、みかけの破断応力、みかけの破断歪み、みかけの弾性率、破断エネルギーを算出した。

#### 3) ゾルの遠心分離

遠心機(国産(株)製, H-108 NA 2)を用いて 40 ml の試料を室温において 5,000 rpm で 10 分間の遠心分離したものを高速遠心分離ゾルとした。さらに、高速遠心分離ゾルを分離用超遠心機(日立製作所製, SCP 85 H: ロータ; SRP 28 SA)を用いて、40 ml の試料を室温において 28,000 rpm で 150 分間の遠心分離したものを超高速遠心分離ゾルとした。

#### 4) タンパク質のみかけの分子量

タンパク質のみかけの分子量分布を高速液体クロマトグラフィー(HPLC)を用いて測定した。条件は次の通りである。ポンプ: 島津 SPD-6 A, カラム: Asahipak GS-620 (7.6 mm ID  $\times$  35 cm), 移動相: 0.1 M リン酸緩衝液 (pH 6.8), 流速: 1 ml/min, 検出: Shimadzu SPD-6 A による 240 nm の吸光度, 試料負荷量: 20  $\mu$ l とした。

クロマトグラムの記録およびピーク面積の算出は、自動記録装置(島津製, C-RIB)を用い、標準物質(ferritin  $4.5 \times 10^5$ , catalase  $2.4 \times 10^5$ , aldolase  $1.58 \times 10^5$ , bovine serum albumin  $6.8 \times 10^4$ , chymotrypsinogen  $2.5 \times 10^4$ , cytochrome  $1.25 \times 10^3$ )による校正曲線を作成し、試料の分子量を求めた。

#### 5) ゲルの自由水の測定

示差走査熱量測定装置(Seiko, DSC 100)により試料の自由水の測定を行った。試料を約 65 mg の円筒型に切り出し、銀製の試料ケースに入れ密封する。レファレンスとして空の試料ケースを用意し、両者を試

## ホエータンパク質-ゼラチン混合ゲルのレオロジー的特性に及ぼす pH と塩の影響

料台に乗せ一定速度で加熱し、二つの試料間の温度差を 0 に保つのに必要なエネルギーを求め、水を 100 とした場合の割合を自由水量とした。測定条件は、昇温速度：1 °C/min, 昇温幅：100°C (−50~70°Cの測定における), ガス：N<sub>2</sub> ガスとした。

## 3. 結果および考察

## (1) 混合ゲルの破断特性に及ぼす調製法の影響

前報において、変性 WPI 単独ゲル (河村等 1993) と変性 WPI-ゼラチン混合ゲルとでは pH の影響に相違がみられ、みかけの破断応力のピークがゼラチンの等電点側に移動したことを報告した (粟津原と河村 1996)。この際の混合条件として、変性 WPI ゾルとゼラチンゾルの両者を 40°C で混合して pH を調整する混合法を用いた。今回は、塩、未変性 WPI ゾルとゼラチンゾルを混合して pH を調整した後、90°C で 10 分間保持する混合法を用いた。後者の混合法であると、WPI のゲル化性の発現に不可欠な変性がゼラチンの存在下で行われることとなり、あらかじめ変性させた WPI とゼラチンを合わせる混合法の場合とは異なった pH の影響を受けると考えられる。そこで、混合ゾルの調製法と pH がゲルの破断特性に及ぼす影響について検討した。この測定において、破断特性値の相関係数を求めた結果、破断時におけるみかけの破断応力がみかけの弾性率 (両者の相関係数 0.86 : 危険率 1%)、破断エネルギー (両者の相関係数 0.83 : 危険率 1%) と正の相関があったため、混合したゼラチンの種類別にゲルのみかけの破断応力を Fig. 1 に示した。なお、比較のため、変性 WPI ゾルとゼラチンゾルの両者を 40°C で混合して pH 調整を行った混合法による特性値も図中に示した。

Fig. 1 より、塩、未変性 WPI ゾルとアルカリ処理ゼラチンゾルを混合して pH を調整した後、90°C で 10 分間保持する混合法の場合、みかけの破断応力は pH の上昇に伴い顕著に高くなり、変性 WPI ゾルとゼラチンゾルの両者を 40°C で混合して pH 調整を行った混合法の場合 (粟津原と河村 1996) とは異なる結果となった。特に、pH 4~6 においては WPI 分子の主成分である  $\beta$ -ラクトグロブリンの等電点 (pH 5.3) 付近まではほぼ直線的に上昇している。ゲルの性状も、前者の混合法で得られるゲルは米澱粉ゲル (天野等 1995) に類似して粘性があり、相対的にやや不均質であったが、後者の混合法においては両者の等電点以上の pH で弾力性のある均質な卵白様のゲル (川端 1989)

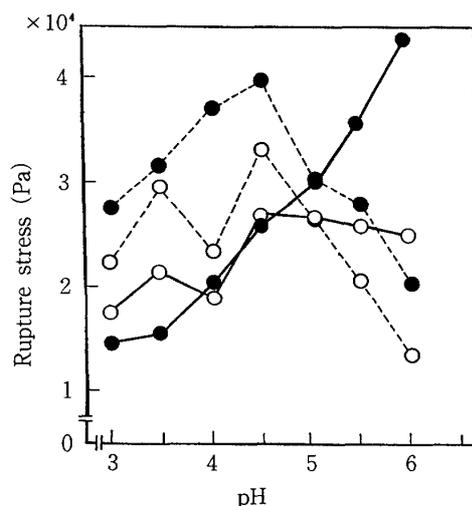


Fig.1. Effect of pH on the rupture stress of treated WPI-gelatin gels

—●—, alkali-treated gelatin with denatured WPI mixed at 40°C; --●--, alkali-treated gelatin with undenatured WPI heated for 10 min at 90°C; —○—, acid-treated gelatin with denatured WPI mixed at 40°C; --○--, acid-treated gelatin with undenatured WPI heated for 10 min at 90°C. Each WPI-gelatin sol was cooled for 1 h at 5°C to form a gel.

が得られた。

これは、酸性下で加熱を続けることにより加水分解が進み低分子化を起こすゼラチンも (白井 1978)、中性付近では安定で、WPI と共存した形で加熱されることにより WPI 分子の数珠状凝集体の形成において緩衝的作用が働き、ゲル形成が緩慢に進行し、冷却することで、あらかじめ変性させた WPI とゼラチンを合わせる混合法の場合よりも均質なゲル構造が形成されたと推察される。

塩、未変性 WPI ゾルと酸処理ゼラチンゾルを混合して pH を調整した後、90°C で 10 分間保持する混合法の場合には、pH 3.5, 4.5 の 2 カ所に顕著なピークがみられ、pH 4.5 以上になると pH の上昇に伴い破断応力は低下した。これは、前報における結果と同様の結果であった。酸処理ゼラチンは組成が複雑で、酸性側において加熱してもアルカリ処理ゼラチンと比較して低分子化が緩やかであることも報告されていることから (河村と高柳 1990)、混合する際の加熱温度の影響は些少であると考えられる。

以上のことより、WPI と酸処理ゼラチンとの混合ゲルに関しては今後さらに検討する必要があると考えられるが、以下の実験においては、pH の変化に伴う特性値の変動がとらえやすく、市販品の大部分を占め

ているアルカリ処理ゼラチン (日野出と河村 1995) を用いて, 塩, 未変性 WPI ゼルと混合し, pH を調整した後, 90℃で 10 分間保持する混合法により行うこととした。以下, この混合法を用いて調製した試料を WPI-ゼラチン混合ゾルおよびゲルとする。

### (2) 混合ゾルの透明度に及ぼす塩の影響

WPI-ゼラチン混合ゾルの加熱による凝集性に及ぼす塩の影響を検討するために, 実験方法に示したように透明度を測定して, Fig. 2~5 に示した。この際, 塩のみの影響を知るために pH 調整は行わなかったが, pH の影響を考慮して塩添加ゾルの pH を図中に示した。

Fig. 2 より, 塩化カルシウム添加において, 1%では 80℃, 5%では 70~80℃, 10%以上では 70℃付近で透明度が最小となった。さらに, 5%以上の添加ではどの濃度においても加熱温度が上昇することにより透明度が低下し, ついにはゾル中において不均一にゲルの形成が起こった。このゲルが沈殿することにより, ゼルの透明度は顕著に高くなった。また, pH に関しては添加量を増しても変化が些少であったため, pH の影響は少ないと考える。この傾向は, 塩化マグネシウムにおいても同様にみられた。

Fig. 3, 4 より, 塩化ナトリウム, クエン酸ナトリウムでは, 温度, 濃度が高くなるのに伴い明らかに透明度が低下したが, 不均一なゲルの形成による沈殿は起こらなかった。また, この両者とも pH の変化が些少であった。

Fig. 5 より, リン酸水素ナトリウムにおいては添加濃度や加熱温度を上昇させても明らかな透明度の低下が認められなかったため, 透明度への影響を与えないと考える。炭酸水素ナトリウムもこれと同様の結果が

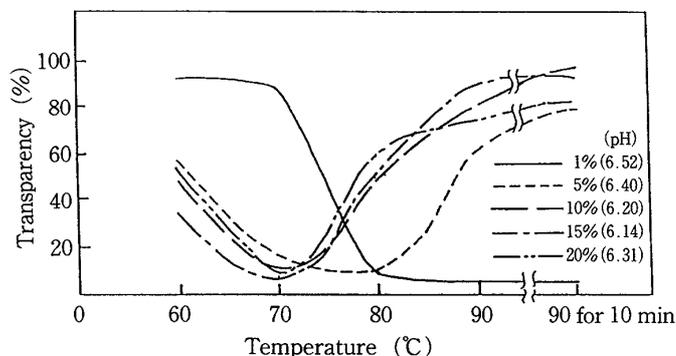


Fig. 2. Effect of  $\text{CaCl}_2$  (0.1 N) on the transparency of WPI and alkali-treated gelatin sols at various temperatures

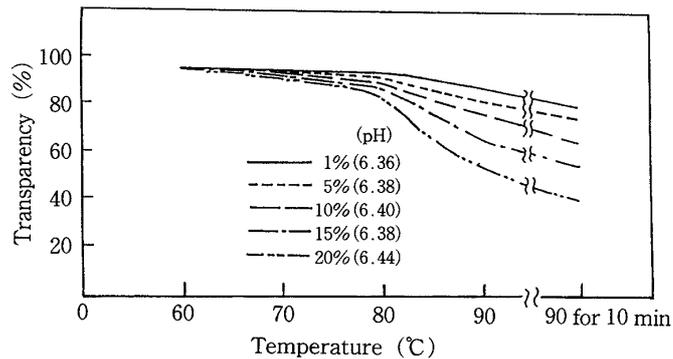


Fig. 3. Effect of  $\text{NaCl}$  (0.1 N) on the transparency of WPI and alkali-treated gelatin sols at various temperatures

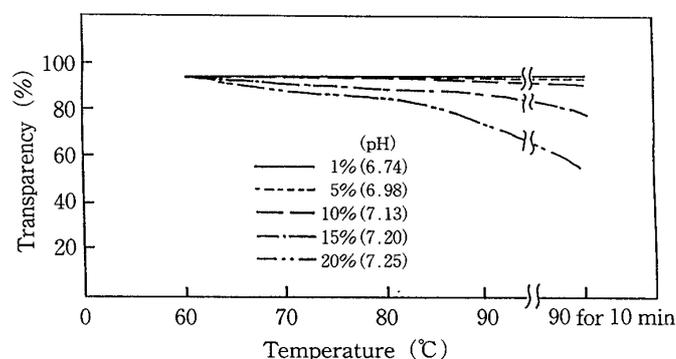


Fig. 4. Effect of  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  (0.1 N) on the transparency of WPI and alkali-treated gelatin sols at various temperatures

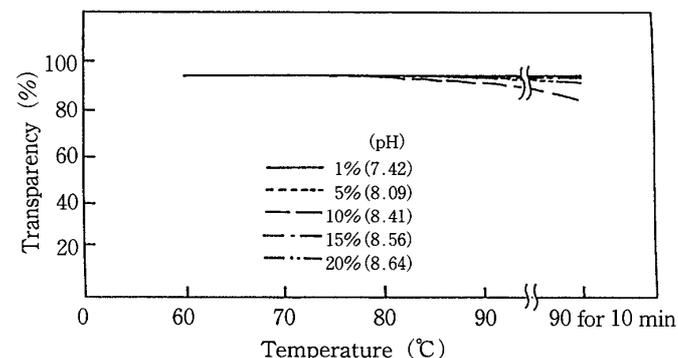


Fig. 5. Effect of  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (0.1 N) on the transparency of WPI and alkali-treated gelatin sols at various temperatures

得られた。これは, 両者とも, 混合ゾルに添加することにより, ゼラチンや WPI の等電点より pH が離れてしまうためである (西成と矢野 1990) と推察される。

## ホエータンパク質-ゼラチン混合ゲルのレオロジー的特性に及ぼす pH と塩の影響

## (3) 塩添加ゾルの加熱に伴う分子量分布の変化

そこで、塩添加による透明度低下の過程を明らかにするために、果汁などの酸味食品の中和剤として用いられているクエン酸ナトリウム (0.1 N) を未変性 WPI-ゼラチン混合ゾルに 10% 添加し、加熱温度の違いによる分子量分布の変化を HPLC により経時的に測定した。HPLC で測定した試料は、各条件の加熱ゾルを 5,000 rpm で 10 分間 (以下高速回転と略記) 遠心機にかけた際の上清と、それをさらに 28,000 rpm で 150 分間 (以下超高速回転と略記) 遠心分離した際の上清とした。超高速回転では  $10\sim 1,000 \text{ \AA}$  程度のコロイドの分離が可能であるという (道本等 1985)。この測定結果のうち、それぞれ  $70^\circ\text{C}$ 、 $80^\circ\text{C}$  および  $90^\circ\text{C}$ -10 分間の加熱をした試料のクロマトグラムを Fig. 6 に示した。

Fig. 6 より、 $70^\circ\text{C}$  において保持時間 5 分に現れる両者のピーク面積に差がみられ始めた。較正曲線により分子量を算出した結果、保持時間 5 分に現れるピークはおよそ 100 万以上の高分子である (河村等 1993)。 $80^\circ\text{C}$  において保持時間 5 分のピーク面積の差は最大となるが、 $90^\circ\text{C}$ -10 分間の加熱によりその差がほぼみられなくなった。

このことから、 $70^\circ\text{C}$  では両者ともに 100 万以上の高分子が認められるが、超高速回転の結果より、コロイ

ドの大きさは、 $10\sim 1,000 \text{ \AA}$  以下であると推定される。 $80^\circ\text{C}$  においては、 $10\sim 1,000 \text{ \AA}$  より大きい凝集体を形成し、超高速回転では分離できるが高速回転では分離できない大きさのコロイドの形成が起こったため、保持時間 5 分のピーク面積に顕著な差が生じたと考えた。さらに、 $90^\circ\text{C}$ -10 分間の加熱では、高速回転でも分離できるほど重合が進んだため高分子側のピーク面積が両者とも小さくなったものと推察した。

## (4) 破断特性に及ぼす塩の影響

次に、透明度の測定において顕著な変化がみられたクエン酸ナトリウム、塩化ナトリウム、塩化カルシウムの 3 種類の塩 (0.1 N) を用いてそれぞれ 10% ずつを添加して形成させたゲルの破断特性を測定し、Table 1 に示した。

Table 1 より、無添加のゲル (対照) と比較して、みかけの破断応力、破断エネルギーともに塩化カルシウム添加が最も高い値を示し、次いで塩化ナトリウム、クエン酸ナトリウムの順に値が小さくなった。みかけの破断歪みにおいては、クエン酸ナトリウムにおいて対照と同程度に高い値を示し、弾力のあるゲルが得られた。この結果から、他の塩より低濃度添加、低温加熱で透明度の最小値を得た塩化カルシウムの影響を大きく受けることがいえる。また、塩化カルシウム添加においては加熱混合の段階ですでにゲルを形成し、塩

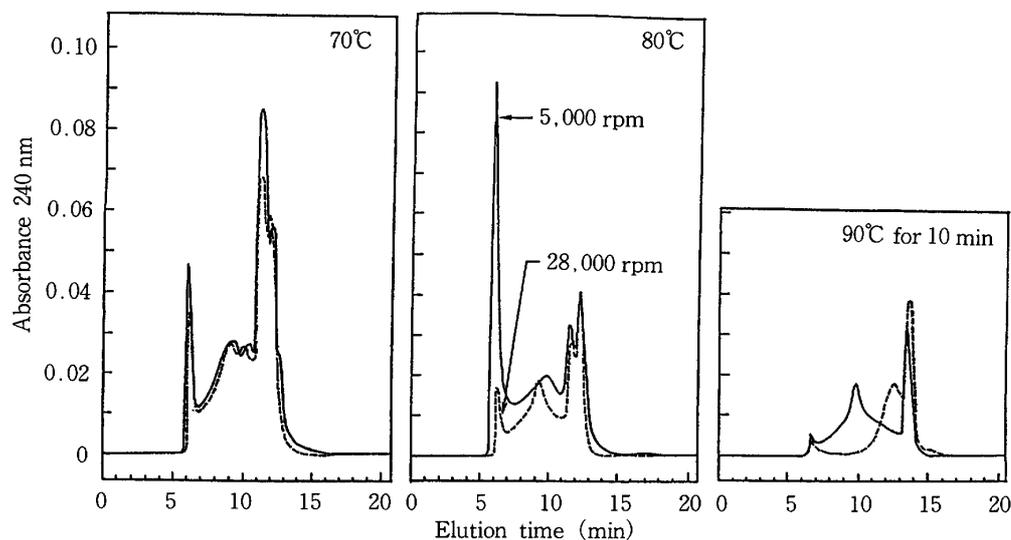


Fig. 6. HPLC of the supernatant of the WPI and alkali-treated gelatin mixture containing  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$

HPLC: SPD-6A (Shimadzu Co.), column: Asahipak-GS-620 (7.6 mm  $\times$  350 mm), flow rate: 1.0 ml/min, buffer: 0.1 M sodium phosphate (pH 6.8). Sample: 40 ml. Centrifugation: 5,000 rpm for 10 min (Kokusan Co.), 28,000 rpm for 150 min (SCP85H Hitachi Co.). Temperature:  $30^\circ\text{C}$ .

Table 1. Effect of various salts on the rupture properties of WPI and gelatin gels

Type of salt <sup>a</sup> added to the mixed gel <sup>b</sup>	pH	Apparent rupture stress ( $\times 10^4$ Pa)	Apparent rupture strain (cm/cm)	Apparent modulus of rupture ( $\times 10^4$ Pa)	Rupture energy ( $\times 10^4$ J/m <sup>3</sup> )
None	4.5	3.26	0.85	3.80	7.94
CaCl <sub>2</sub>	6.2	4.47	0.74	6.03	10.90
NaCl	6.4	3.73	0.74	4.23	8.20
Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	7.1	3.65	0.82	4.42	7.25

<sup>a</sup>Salt concentration was 10% (0.1N). <sup>b</sup>3% (w/w) alkali-treated gelatin with 6% (w/w) WPI heated for 10 min at 90°C. Each gel was cooled for 1 h at 5°C.

Table 2. Free water and bound water in the gels containing various salts

Sample	pH	Free water (%)	Bound water (%)
Water	5.6	100	0
WPI <sup>a</sup> alone	5.5	81.8	18.2
Alkali-treated gelatin alone <sup>b</sup>	5.5	81.2	18.8
Alkali-treated gelatin with WPI <sup>c</sup>	6.64	74.2	25.8
Alkali-treated gelatin with WPI containing CaCl <sub>2</sub>	6.55	62.8	37.2
containing NaCl	6.62	69.6	30.4
containing Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	6.72	73.7	26.3

<sup>a</sup>6% (w/w) WPI solution heated for 10 min at 90°C. <sup>b</sup>3% (w/w) alkali-treated gelatin solution. <sup>c</sup>3% (w/w) alkali-treated gelatin with 6% (w/w) WPI heating for 10 min at 90°C. Each gel was cooled for 1 h at 5°C. The salt concentration was 10% (0.1N).

化ナトリウム、クエン酸ナトリウムも、添加濃度を0.1N-15%以上にすることにより同様に加熱段階でゲル化した。この際に形成されたゲルは、荷重をかけると放水を起こすが、変形させずに急速冷却することにより水分の分離現象は防止された。これは、冷却によりゼラチンのゲル形成が起こったためであると考えられる。

(5) 示差走査熱分析による自由水および結合水の測定

破断特性の測定において明らかとなった塩添加による混合ゲルの良好な破断特性はゲル構造の変化によるものと考えられる。そこで、ゲルの力学特性に影響を及ぼすとされている水の挙動を知るために、示差走査

熱分析（以下 DSC と略記）により WPI とゼラチンの単独ゲルおよび塩を添加しなかった混合ゲルを対照として、前実験に用いた 3 種類の塩添加混合ゲルの自由水および結合水の測定を行い、測定結果より算出した自由水、結合水の結果を Table 2 に示した。

Table 2 より、WPI とゼラチンを複合系で加熱すると単独の試料より結合水が多くなった。最も結合水の多いゲルは塩化カルシウム添加混合ゲルであり、次いで塩化ナトリウム添加混合ゲル、クエン酸ナトリウム添加混合ゲルの順となった。これは、破断特性値の測定の結果と対応している。

このことから、WPI とゼラチンを混合することにより両者の相互作用により多くの水を結合水として分子内に取り込み、安定したゲルを形成するが、この相互作用は塩化カルシウム、塩化ナトリウム、クエン酸ナトリウムの添加により促進されると考える。

#### 4. 要 約

(1) 塩、未変性 WPI ゾルとアルカリ処理ゼラチンゾルを混合して pH を調整した後、90°C で 10 分間保持する混合法を用いてゲルを調製した場合、pH の上昇に伴いみかけの破断応力が高くなった。同混合法において酸処理ゼラチンを用いた場合では pH 3.5, 4.5 にピークがみられた。

(2) WPI-アルカリ処理ゼラチン混合ゾルに対し、0.1N 塩化カルシウム、塩化マグネシウムを 1% 以上添加することにより、加熱温度の上昇に伴い透明度が低下し、不均一なゲル化による沈殿が起こった。0.1N 塩化ナトリウム、クエン酸ナトリウム添加では、濃度、加熱温度の上昇に伴い透明度の低下がみられたが、不均一なゲル化による沈殿は起こらなかった。リン酸水素ナトリウム、炭酸水素ナトリウムの添加ではいずれの濃度、加熱条件においても透明度の低下がみられな

## ホエータンパク質-ゼラチン混合ゲルのレオロジー的特性に及ぼす pH と塩の影響

かった。

(3) クエン酸ナトリウム添加 WPI-アルカリ処理ゼラチン混合ゾルは、80℃以上で、高分子の凝集体の形成が起こり、90℃-10 分間の加熱条件ではさらに、凝集体の形成が促進された。

(4) 塩添加 WPI-アルカリ処理ゼラチン混合ゲルは、塩化カルシウム、塩化ナトリウム、クエン酸ナトリウム添加の順にみかけの破断応力値が高く、結合水の多いゲルとなった。

終わりに、本研究全般にわたりご協力いただいた雪印乳業(株)技術研究所ならびにゼラチンを提供していただいた新田ゼラチン(株)に対し感謝する。なお、本報の概要は(財)日本家政学会第 46 回大会において発表したことを付記する。

## 引用文献

- 天野武雄, 林 明史, 三浦 靖, 石田欽一, 大島克巳 (1995) 澱粉ゲルの老化初期におけるクリーブ挙動, 応用糖質化学, **42**, 355-363
- 栗津原理恵, 河村フジ子 (1996) ホエータンパク質-ゼラチン混合ゲルのゲル化性, 家政誌, **47**, 1093-1098
- 道本千衣子, 毛利佳世, 五十嵐脩 (1985) カラギーナン大豆タンパク質および牛乳カゼイン溶液の分散安定性におよぼす影響, 家政誌, **36**, 923-927
- 藤野博央, 六車三治男, 伊藤肇躬, 大橋登美男 (1993) ホエータンパク質濃縮物およびホエータンパク質分離物の凝集性に及ぼす pH, 食塩および塩化カルシウムの影響, 日食工誌, **40**, 309-315
- 日野出恭子, 河村フジ子 (1995) 市販ゼラチンの品質特性, 家政誌, **46**, 11-18
- 上野川修一, 清水 誠 (1983) 乳タンパク質の機能特性(続), *New Food Ind.*, **25**, 33-40
- 勝田啓子 (1990) ホエータンパク質のゲル化, 日食工誌, **37**, 73-81
- 川端晶子 (1989) 『食品物性学』, 建帛社, 東京, 168
- 河村フジ子, 高柳茂代 (1990) ゼラチンの耐熱性について, 家政誌, **41**, 825-831
- 河村フジ子, 黛 明美, 中村道子, 小泉詔一, 木村利昭, 西谷紹明 (1993) ホエータンパク質酸性ゲルの調製および性質, 日食工誌, **40**, 776-782
- 桑田 有, 大伴英生, 堀 悦子, 山本良郎 (1985) ホエータンパク質の熱安定性に及ぼす脱鉛, 脱脂の影響, 日食工誌, **32**, 493-499
- 中村道子, 佐藤 薫, 小泉詔一, 河内公恵, 西谷紹明, 中島一郎 (1995) ホエータンパク質の塩によるゲル化, 日食工誌, **42**, 1-6
- Nakamura, T., Usami, S., and Mori, T. (1984) Network Structure Formation in Thermally Induced Gelation of Glycinin, *J. Agric. Food Chem.*, **32**, 349-352
- 西成勝好, 矢野俊正 (1990) 『食品ハイドロコロイドの科学』, 朝倉書店, 東京, 211-213
- 佐藤 薫, 中村道子, 小泉詔一, 河内公恵, 西谷紹明, 中島一郎 (1995) 塩によって誘導されるホエータンパク質のゲル化に伴う疎水性度と SH 量の変化, 日食工誌, **42**, 7-13
- 白井邦郎 (1978) 食用ゼラチン, 調理科学, **11**, 23-29