

食材料としての豆乳泡沫の特性

Foaming Properties of Soy Milk as Food Material

金親あつ美^{*§} 高木稚佳子^{*} 大越ひろ^{*} 藤井恵子^{*}
 Atsumi Kaneoya Chikako Takagi Hiro Ogoshi Keiko Fuji

Cellular foods prepared with soy milk have been developed to benefit health. The foaming properties of soy milk were investigated for its use as a cellular food material. Soy milk foam whipped at 40°C was superior in both its foamability and foam stability to that whipped at 10°C or 25°C. In contrast, higher whipping temperature increased the foamability of egg white, but decreased its foam stability. Salts such as NaCl and CaCl₂ added to soy milk increased both its foamability and foam stability. Soy milk foam whipped at a stirring rate of 650 rpm was harder than that whipped at 950 rpm.

キーワード：豆乳 Soy milk；起泡 Whipping；攪拌翼 Agitator；泡沫 Foam；レオロジー特性 Rheological properties；粘弾性 Viscoelasticity

緒言

肉や魚や卵と並んで、日本人の重要なタンパク質源である大豆は、近年の健康志向の高まりに伴い、価値が見直されている。大豆に含まれるペプチドにはコレステロール低下作用や血圧抑制作用など、現代人が悩まされている疾病に有効な機能性が見出され、特にイソフラボンの生理作用が注目されている¹⁻⁴⁾。一方で、アメリカを中心に油糧残渣を食糧化する研究が盛んに行われてきた。1980年代には搾油後の脱脂大豆からタンパク質を分離する生産ラインが確立され、脱脂大豆を多角的に利用するための食品加工特性に関する研究⁵⁻¹³⁾が進んだ。特に分離大豆タンパクは他の分離タンパク質に比べて、加工特性に優れていることから、添加物として特に練り物製品などに利用されている。

大豆タンパク質の泡沫特性については卵白アルブミンや乳清と比較しながら、多くの研究が行われている¹³⁻²⁰⁾。豆乳については栄養学的見地からの評価が高まり、食材として広く用いられるようになってきたため、その泡沫特性についての基礎的な研究は、今後の用途拡大のために重要である。そこで本研究では、豆乳の泡沫特性が調理の最終段階に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、攪拌条件を変化させて泡沫を調製し、泡沫の特性について検討した。

実験方法

1. 材料

泡沫の原材料として、豆乳（成分無調製豆乳 紀文ケミファ；タンパク質 9.4 g/100 g, 脂質 2.6 g/100 g, 炭水化物 1.8 g/100 g）を用いた。また、豆乳の比較対照とし

て新鮮卵の卵白（採卵後3日以内；タンパク質 10.5 g/100 g, 脂質 Tr/100 g, 炭水化物 0.4 g/100 g）を用いた。割卵後に卵黄を取り除き、ストレーナーを通して均質にした卵白を用いた。

添加物として塩化ナトリウム（特級；関東化学(株)）、塩化カルシウム（特級；関東化学(株)）を用いた。なお、試料のpHを調整するために、塩酸（特級；関東化学(株)）、水酸化ナトリウム（特級；関東化学(株)）をそれぞれ用いた。

2. 試料調製

振盪法および攪拌法により泡沫を調製した。振盪法では、50 ml 容量の遠沈管に豆乳または卵白を 20.0 g 量り入れ、室温 25°C に設定した恒温室内において、振盪器（振盪器 YS-8 D；(株)ヤヨイ）に固定し、振盪数 250 回/分、振盪時間を 30 秒~40 分間とし、実験を行った。

攪拌法では、2種の攪拌器（ハンドミキサー MK-H 3；パナソニック(株)、ハンドミキサー HTM-5 J；(株)クイジナートサンエイ）を用い、攪拌翼には3種を用いた。A（帯状ステンレスビーター；パナソニック(株)、以降は平形と呼ぶ）、B（丸状ステンレススチール製ビーター；(株)クイジナートサンエイ、以降は丸形と呼ぶ）、C（バルーンウィスク；(株)クイジナートサンエイ、以降はホイッパー形と呼ぶ）とする（Fig. 1）。ガラス製ボール（φ 18 cm；(株)岩城ハウスウエア）に豆乳を 50.0 g 量り入れポリエチレン製フィルムで覆い、25°C に保った恒温槽に 30 分間放置した後、試料温度が 25°C になったことを確認してから、攪拌を開始した。攪拌速度は 650 rpm または 950 rpm、攪拌時間は 1~15 分間、試料温度は 10, 25, 40°C とした。添加物の影響を見るため、塩化ナトリウム、塩化カルシウムを添加し、各条件で攪拌して泡沫を調製した。

* 日本女子大学
 (Japan Women's University)

§ 連絡先 日本女子大学家政学部
 〒 112-8681 東京都文京区目白台 2-8-1
 TEL 03(5981)3439 FAX 03(5981)3439

食材料としての豆乳泡沫の特性

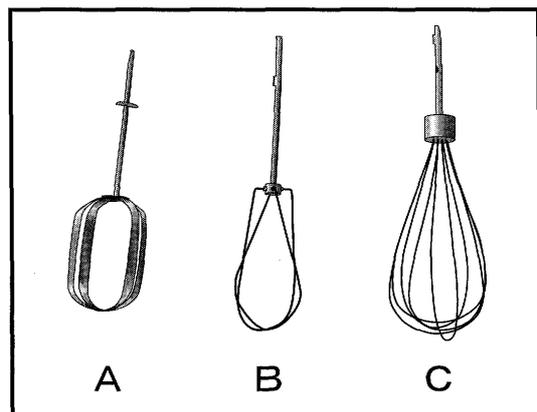


Fig. 1. Types of agitator
A: Flat, B: stick, C: whipper

3. 測定方法

1) 起泡力

攪拌速度が 650 rpm または 950 rpm, 攪拌翼がホイッパー形, 平形, 丸形, 攪拌時間が 1~30 分間の各条件で攪拌し得られた泡沫を, 予め質量を測定したサンプルケース ($\phi 5.5 \text{ cm} \times$ 高さ 1.9 cm) に充填し, その質量を測定した。なお, 豆乳の密度は 1.02 g/cm^3 であった。泡沫に含まれる液体と気体の体積を算出し, 液体の体積に対する気体の体積の割合 (%) を起泡力として算出した²¹⁾。

2) 泡沫安定性

攪拌速度が 650 rpm または 950 rpm, 攪拌翼がホイッパー形, 平形, 丸形, 攪拌時間が 3, 5, 10 分間の各条件で攪拌し得られた 15 種類の泡沫を試料とした。25°C の条件下で 50 ml 容量のメスシリンダーの上に $\phi 10 \text{ cm}$ のロートを置き, これに 10.0 g の泡沫をのせ, 乾燥を防ぐためにポリエチレン製フィルムで覆い, 経時的に離水の質量を測定し, 離水率 (% , w/w) として算出した。

3) 食品テクスチャー測定

試料の食品テクスチャー特性を, 圧縮・引張型レオメータ (レオナー RE-3305 S; (株)山電) を用いて測定した。ホイッパー形, 平形, 丸形の攪拌翼を用い, 攪拌時間が 1~10 分間, 攪拌速度が 650 rpm または 950 rpm の条件で攪拌して得られた泡沫を試料として用いた。攪拌直後の泡沫をサンプルケース ($\phi 5.5 \text{ cm} \times$ 高さ 1.9 cm) に充填し, 表面をスパチュラーですりきったものを試料とした。円盤状プランジャー ($\phi 4 \text{ cm}$, ポリアセタール樹脂製) を用いて圧縮し, 圧縮速度 $0.5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ で, 変形量を試料の高さの 80% とした。なお試料温度は 25°C である。応力-ひずみ曲線の変曲点での応力 [Pa] を硬さとした。

4) 動的粘弾性測定

攪拌直後の豆乳泡沫を試料として, 粘弾性測定装置 (ARES 粘弾性測定装置, TI Instruments(株)) を用いて貯蔵弾性率 G' および損失弾性率 G'' の周波数依存性を測定した。さらに, 粘弾性要素を示す損失正接 $\tan \delta$ (G''/G')

を算出した。ホイッパー形, 平形, 丸形の 3 種の攪拌翼を用いて, 攪拌速度を 650 rpm または 950 rpm, 攪拌時間を 1~10 分間にして攪拌し, 得られた泡沫を試料とした。治具には平行平板 ($\phi 50.0 \text{ mm}$) を用い, ギャップを 2.0 mm, ひずみを 0.001, 周波数を 0.01~15.0 Hz, 試料温度を 25°C にして測定した。

結果および考察

1. 起泡方法の影響

振盪法では試料が全て起泡することはなく, 起泡と破泡が繰り返されることが観察できた。振盪法は攪拌法に比較して泡立ての作業効率が低いことから, 以降の実験では攪拌法により泡沫を調製し, 各測定を行うこととした。

2. 起泡力

Fig. 2 に攪拌速度 650 rpm における, 豆乳および卵白の起泡力に及ぼす攪拌時間の影響の結果を示す。攪拌時間が 2 分間までは液体と泡沫が共存していたが, 攪拌時間 3 分

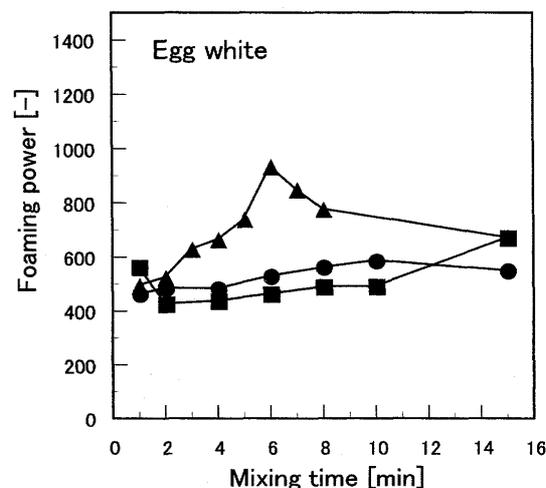
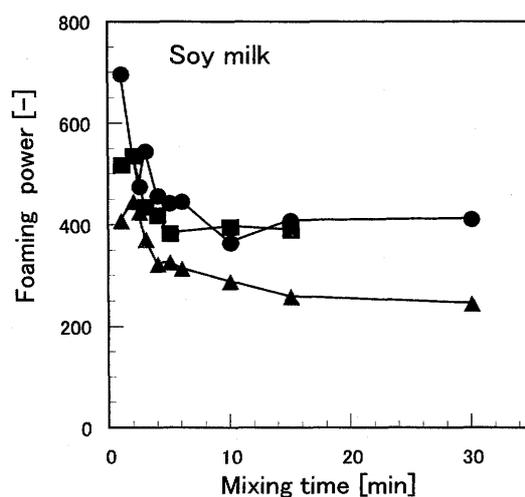


Fig. 2. Effects of mixing time on foaming power with 3 types of agitator at 650 rpm
■: Flat, ●: stick, ▲: whipper

間を超えると、どの攪拌翼を用いた場合でも均質な泡沫が得られた。豆乳はいずれの攪拌翼を用いても攪拌時間が長くなるにつれて起泡力が低下し、攪拌時間5分間を過ぎると起泡力が安定した。また、ホイッパー形を用いた場合の起泡力は平形と丸形を用いた場合に比較して低くなる傾向を示した。一方、卵白は豆乳の傾向とは異なり、平形および丸形を用いた場合には攪拌時間に伴う起泡力の変化は小さかった。しかし、ホイッパー形を用いた場合には攪拌時間6分間で起泡力が最も高くなり、平形および丸形を用いた場合よりも起泡力が大きくなるという結果が得られ、豆乳とは逆の結果となった。

豆乳と卵白を比較すると、豆乳の起泡力は卵白に比べて全体的に小さかった。豆乳では攪拌初期の起泡力が高く、その後低下した。一方、卵白では攪拌により起泡力は上昇し、その後の変化はそれほど大きくないという結果となり、特徴が異なった。前述したように、豆乳では攪拌初期においては液体と泡沫が共存するが、卵白の場合は攪拌初期においても均一に起泡するという違いがある。起泡力の値は、起泡した泡沫の部分を試料としているので、攪拌初期において均一に起泡しない豆乳でも見かけ上は、その起泡力が高く算出されることとなる。

泡沫の形成は三段階に分かれ、第一段階ではタンパク質分子が溶液中に拡散して気-液界面に到達し、第二段階ではタンパク質の界面への吸着が起これ、表面の膜を形成する。第三段階では吸着タンパク質分子同士が互いに相互作用して、タンパク質の二次元網目構造が形成され、結果としてより安定な泡沫になる。卵白や大豆タンパク質等では第三段階に入るまでに時間がかかるために、この間に攪拌の機械的作用によって破泡が起きてしまい、起泡と破泡が繰り返されるようになる²²⁾。したがって、豆乳の場合には、攪拌時間5分間以降は破泡と起泡が繰り返行われているために、起泡力にほとんど変化が見られなかったと考えられる。卵白の場合、平形と丸形の攪拌翼を用いた場合には豆乳と同様の現象が起きているものと考えられるが、ホイッパー形を用いた場合には、攪拌翼を構成する攪拌棒の数が他の2種に比べて多いため、試料に与えるエネルギーが高く、起泡性に差が生じたと考えられる。一方、豆乳ではホイッパー形の攪拌翼を用いた場合には、他の2種に比べて起泡力が低値を示す傾向となった。このことから、攪拌による起泡挙動が豆乳と卵白では異なることが明らかとなった。

Fig. 3に攪拌速度950 rpmにおける豆乳および卵白の起泡力に及ぼす攪拌時間の影響の結果を示す。ホイッパー形の攪拌翼を用いて豆乳を攪拌すると、豆乳の粘度が低いために攪拌による遠心力に従ってボールの外に試料が出てしまい、泡立てることが出来なかった。したがって、以後豆乳においてはホイッパー形の攪拌翼は650 rpmの攪拌速度でのみ実験を行った。豆乳においては、丸形の攪拌翼の方が平形に比べてやや起泡力が高くなる傾向となったが、

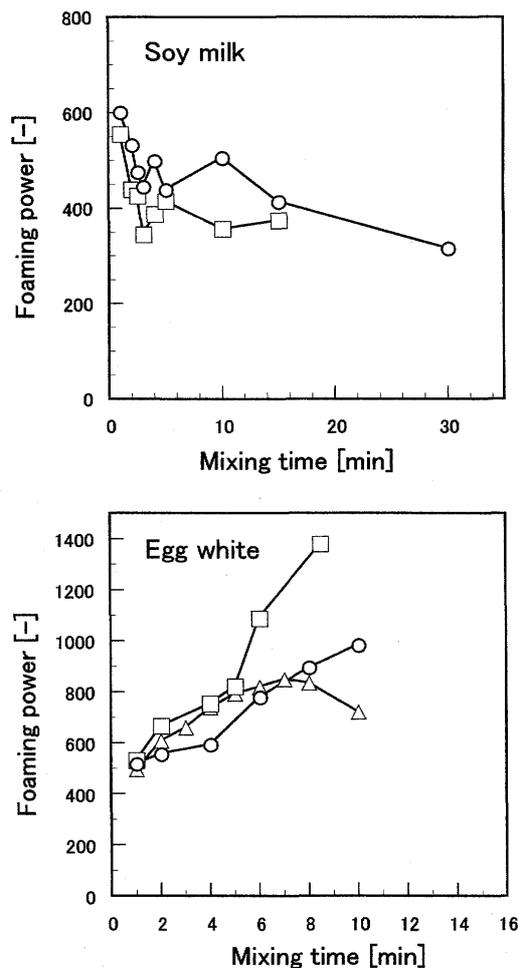


Fig. 3. Effects of mixing time on foaming power with 3 types of agitator at 950 rpm
□ : Flat, ○ : stick, △ : whipper

いずれの攪拌翼を用いても攪拌時間に伴って低下した。攪拌速度650 rpmで起泡した場合と比べると、950 rpmで起泡した方が全体的に起泡力が高くなる傾向が見られた。一方、卵白において平形および丸形の攪拌翼を用いた場合には、攪拌時間に伴い起泡力が上昇したが、ホイッパー形において攪拌時間7分間で起泡力が最大となり、その後は低下した。このことから、卵白ではより攪拌翼の形状の影響を受けるとことが示された。呉らは攪拌棒の本数は、泡沫の生成速度を速くするという報告をしている¹⁷⁾。他の2種よりも攪拌棒が多いホイッパー形を用いると、より速く起泡され、平形および丸形とは異なる起泡挙動を示したものと考えられた。

起泡力に及ぼす試料温度の影響をFig. 4に示す。一般的に、卵白は試料温度が高いとその泡沫の起泡力が增大するが²³⁾、本研究においても同様の結果が得られた。一方、豆乳では試料温度が10℃と25℃では起泡力に差が認められなかったが、40℃では有意に起泡力が増大した。白川ら⁷⁾は、ゴを加熱するとゴ中のタンパク質ドメインが一旦解離し、サブユニットが再形成されることを報告している。し

食材料としての豆乳泡沫の特性

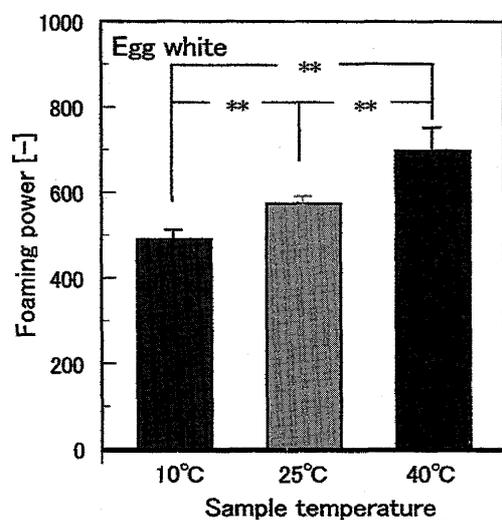
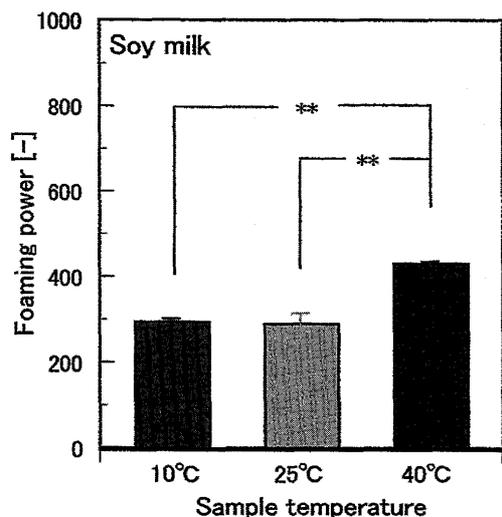


Fig. 4. Effects of temperature on foaming power
** : $p < 0.01$
(Type of agitator : whipper, rotation : 650 rpm, mixing time : 10 min)

たがって、試料温度が高くなることでタンパク質が表面変性しやすい状態となって、新たにサブユニット構造あるいは不規則な凝集体が生成した結果、豆乳の起泡力が増大したと考えられた。

豆乳の起泡力に及ぼす pH の影響を Fig. 5 に示す。pH 3 では起泡力が高く、等電点付近である pH 4~5 では低下し、pH 6 で起泡力が最大を示した。そして、pH 6 以上では再び起泡力が低下した。この結果は pH-大豆タンパク質の溶解曲線と同じような形をしており⁹⁾、タンパク質の溶解性と起泡性には関連性があることが考えられた。等電点付近の pH、あるいは高いイオン強度ではタンパク質分子はランダムな凝集体を形成し、静電的反発により疎水の相互作用が弱められ、数珠玉様の線状会合体を形成する¹⁾。起泡力が低下した等電点付近ではタンパク質は凝集体となり、起泡力が高値を示した付近では数珠玉様の線状

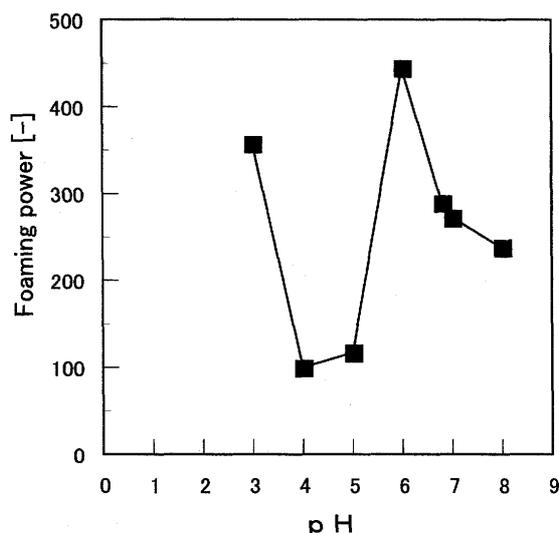


Fig. 5. Effects of pH on foaming power of soy milk
(Type of agitator : whipper, rotation : 650 rpm, mixing time : 10 min)

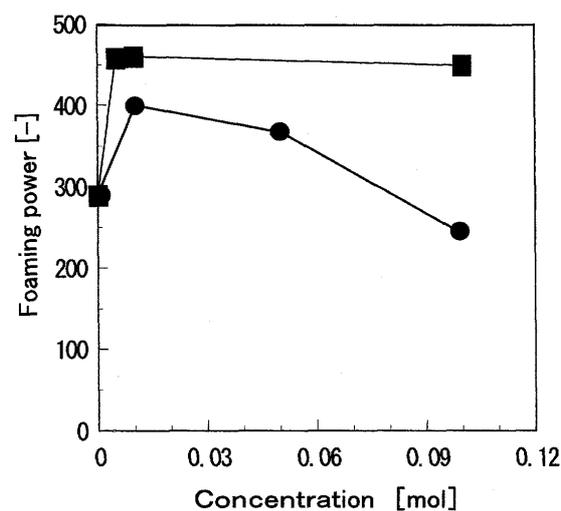


Fig. 6. Effects of NaCl and CaCl₂ additions on soy milk foaming power

(Type of agitator : whipper, rotation : 650 rpm, mixing time : 10 min)

■ : NaCl, ● : CaCl₂

会合体が形成されているものと考えられた。

豆乳の起泡力に及ぼす塩の影響を Fig. 6 に示す。塩化ナトリウムを 5 mmol 添加すると無添加の場合に比べて起泡力が約 1.5 倍になり、それ以上に添加量を増やしても大きな変化は見られなかった。一方、塩化カルシウムを添加すると、10 mmol の添加で起泡力が無添加に比べ約 1.3 倍になるものの、それ以上に添加量が増加するのに伴い起泡力が低下した。卵白タンパク質に塩化ナトリウムおよび塩化カルシウムをそれぞれ添加した場合には、その起泡力に差は認められなかったが²⁴⁾、豆乳に一価の塩を添加した場合と二価の塩を添加した場合とでは影響が異なることが明ら

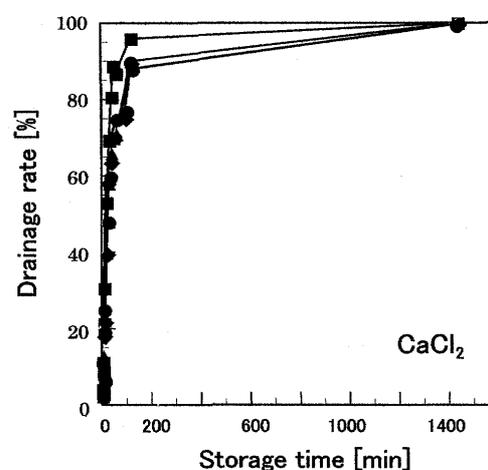
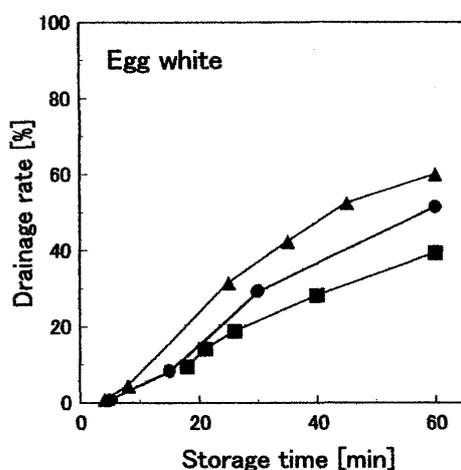
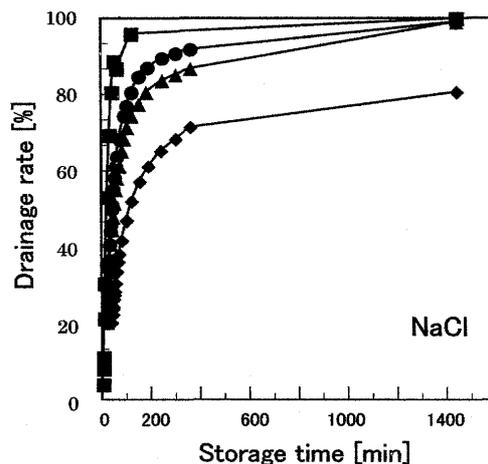
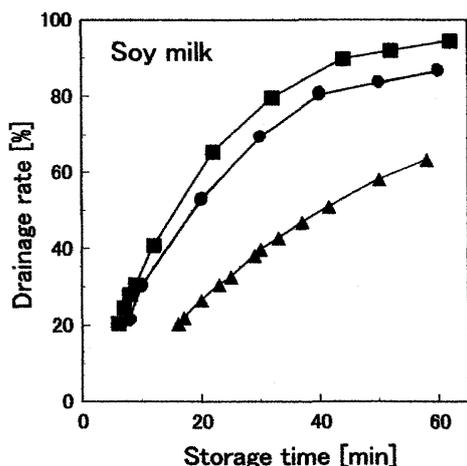


Fig. 7. Effects of temperature on foam stability
 ■ : 10°C, ● : 25°C, ▲ : 40°C
 (Type of agitator : whipper, rotation : 650 rpm,
 mixing time : 10 min)

Fig. 8. Effects of NaCl and CaCl₂ additions on
 drainage rate of soy milk
 ■ : Without, ● : 0.005 mol, ▲ : 0.01 mol, ◆ : 0.1 mol
 (Type of agitator : whipper, rotation : 650 rpm,
 mixing time : 10 min)

かとなった。この結果から、豆乳に含まれるキレートを形成しやすい成分が、起泡力に寄与していることが示唆された。

3. 泡沫安定性

予備実験を踏まえて最も泡沫安定性の高い泡沫が得られた攪拌方法により、泡沫を調製した。すなわち、攪拌翼はホイッパー形を用い、攪拌時間を10分間とした。

泡沫安定性に及ぼす攪拌温度の影響を Fig. 7 に示す。豆乳では攪拌温度を高くすると離水率が顕著に低下した。試料温度 40°C で起泡すると、タンパク質の変性に伴い保水力が高まり、泡沫安定性が向上したと思われる。一方、卵白では試料温度が低い方が泡沫安定性がよく、豆乳と卵白とは逆の傾向となることが明らかとなった。

豆乳の泡沫安定性に及ぼす塩の添加影響について Fig. 8 に示した。いずれの塩を添加しても豆乳の離水率は減少し、泡沫安定性は増大する傾向が認められた。塩化ナトリウムでは、その添加量が増加するに従い泡沫安定性が高まった。北島らによると、泡立てにより表面変性を起こした吸着分子間の静電的反発は、塩濃度の増加によって抑えられ

る²²⁾と考えられており、本研究でも同様の現象が起こっているものと考えられた。

4. 食品テクスチャー特性

Fig. 9 に豆乳および卵白泡沫の硬さの結果を示す。豆乳泡沫では、いずれの攪拌翼を用いて起泡しても攪拌時間5分間を超えると硬くなった。一方、卵白においては、豆乳とは異なり、硬さの経時変化にピークが現れた。攪拌翼に平形または丸形を用いた場合、泡沫の硬さのピーク値は、豆乳では 650 rpm で起泡した方が硬くなったのに対し、卵白では 950 rpm で起泡した方が硬くなり、逆の傾向となった。

以上の結果より、豆乳泡沫および卵白泡沫の硬さは、攪拌速度の影響を顕著に受けることが明らかとなり、豆乳の場合と卵白とは異なり、攪拌時間が短い場合には遅い回転数で起泡した方が硬い泡沫が得られることが明らかとなった。

5. 動的粘弾性

泡沫の流動性を見るために、貯蔵弾性率 (G') および損

食材料としての豆乳泡沫の特性

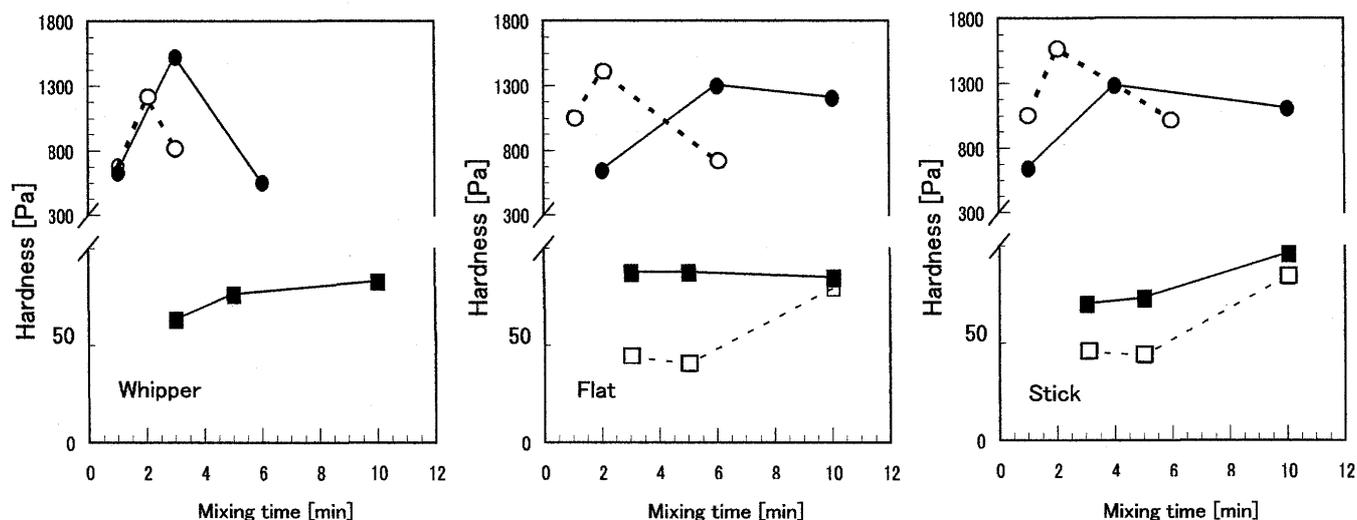


Fig. 9. Effects of mixing time on foam hardness

■ : Soy milk whipped at 650 rpm, □ : soy milk whipped at 950 rpm
 ● : Egg white whipped at 650 rpm, ○ : egg white whipped at 950 rpm

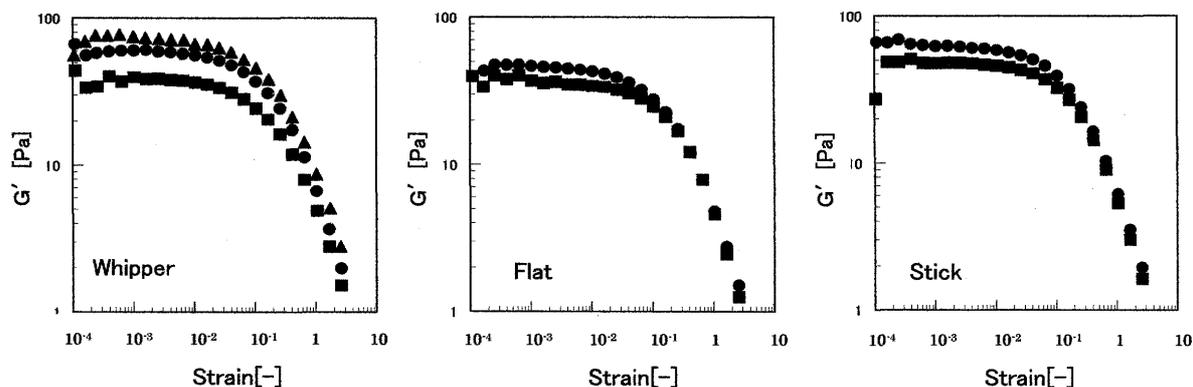


Fig. 10. Strain dependency of storage modulus of soy milk foam

Whipper ■ : 650 rpm, mixing time 3 min ● : 650 rpm, mixing time 5 min ▲ : 650 rpm, mixing time 10 min
 Flat ■ : 650 rpm, mixing time 10 min ● : 950 rpm, mixing time 10 min
 Stick ■ : 650 rpm, mixing time 10 min ● : 950 rpm, mixing time 10 min

失弾性率 (G'') の周波数依存性を測定した。

貯蔵弾性率の周波数依存性を測定する際のひずみは、 G' が線形性を示す領域内にある必要がある。そこで、周波数 1 Hz の条件で G' のひずみ依存性を測定した (Fig. 10)。いずれの豆乳泡沫においても、ひずみが 0.001 では、その G' は線形性を示す領域内にあることが明らかとなった。よって、 G' の周波数依存性を測定する際のひずみは 0.001 が適当であると判断された。 G' および G'' の周波数依存性を測定することにより、試料の分子挙動に関する知見が得られる。

Fig. 11 に G' および $\tan \delta$ の周波数依存性の結果を示す。 G' の値は、いずれの豆乳泡沫も周波数の増加に伴い、高くなった。また、 $\tan \delta$ の値は周波数が 1 Hz より大きくなると、周波数の増加に伴い高くなることから、粘性要素が大きく、流動性が高くなることが明らかとなった。

以上の結果より、豆乳泡沫を食材料として利用する際の

調製条件が明らかとなり、今後の豆乳の用途拡大が期待できる。豆乳泡沫を利用するには、ホイッパー形の攪拌翼を用い、試料温度を高くし、攪拌速度を低速にし、必要に応じて塩を添加するという調理条件を選択するとよいと考えられた。

要 約

豆乳の泡沫特性について検討し、以下のような結果を得た。

1. 豆乳ではいずれの攪拌翼、攪拌速度においても攪拌時間に伴い起泡力が低下し、攪拌時間 5 分間を過ぎると変化が小さくなった。
2. 豆乳は卵白に比べて、いずれの攪拌翼を用いても起泡力が低くなった。豆乳をホイッパー形の攪拌翼を用いて泡立てると、起泡力は平形および丸形に比べて低値であったが、10 分間攪拌して調製した泡沫は、泡沫安定性

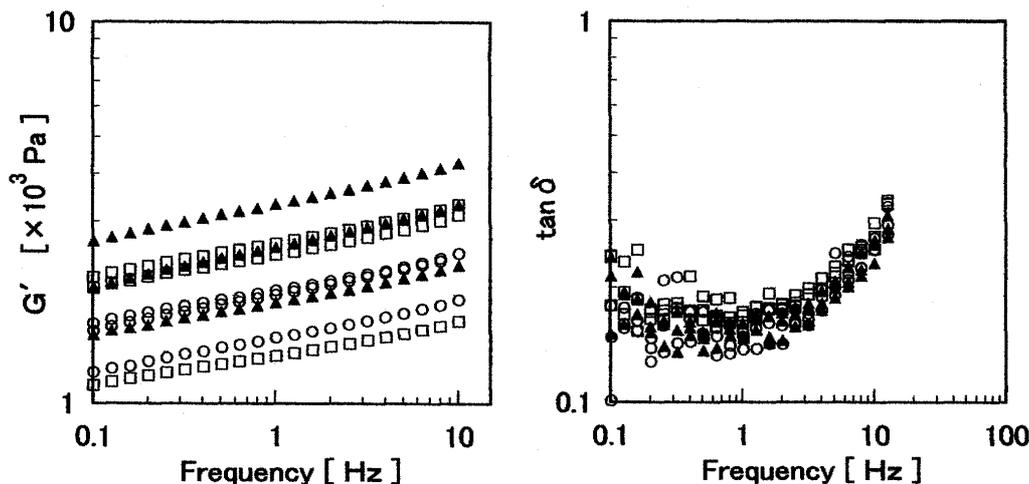


Fig. 11. Frequency dependency of storage elastic modulus and $\tan \delta$ of soy milk foam
 ■ : Flat, ● : stick, ▲ : whipper (Rotation : 650 rpm)

が最も良好であった。

3. 豆乳の起泡力は、試料温度が10℃または25℃に比べて40℃で有意に高かった。
4. 卵白では試料温度が低いほど泡沫安定性が大きくなったが、豆乳では試料温度が高い方が泡沫安定性は大きくなった。
5. 塩化ナトリウムの添加では起泡力が高くなるが、塩化カルシウムの添加では、10 mmol 添加で起泡力が最大となり、それ以上に添加量が増えると低下した。
6. 塩化ナトリウムおよび塩化カルシウムいずれの塩を添加した場合でも、泡沫安定性が増大する傾向が認められ、塩化ナトリウムではその添加量が増大するに従い泡沫安定性が高まった。
7. 豆乳泡沫は攪拌速度650 rpmで攪拌して得た方が攪拌速度950 rpmの場合に比べて硬くなったが、卵白では攪拌速度950 rpmで攪拌して得られた泡沫の方が攪拌速度650 rpmで調製した泡沫よりも硬くなり、豆乳と卵白では逆の傾向となった。
8. 周波数が1 Hzより大きくなると、周波数の増加に伴い $\tan \delta$ の値は増加し、泡沫の流動性が高くなることが明らかとなった。

文 献

- 1) 村田克巳, 古沢克樹, 葵守一, 大島秀隆, 野田英司, 穎川一忠 (2003), 豆乳 (KFK-01) の12週間連続摂取による血清脂質に及ぼす影響および安全性, 日本臨床栄養学会, **25**, 36-46
- 2) 河野光登, 廣塚元彦 (2008), Soybean β -conglycinin reduces a risk of visceral fat syndrome, so-called metabolic syndrome, 医学と薬学, **60**, 245-259
- 3) 田中真実, 長内智弘, 奥村謙, 工藤重光, 渡辺毅, 及川和志, 打田悌治, 金沢武道 (2003), 日本臨床栄養学会, 大豆ペプチドによる高血圧自然発症ラットに対する血圧降下作用, **24**, 203-207
- 4) 石見佳子 (2001), 大豆イソフラボンと骨粗しょう症, 治療, **83**, 2032-2033
- 5) 山内文男 (1981), 大豆タンパク質の加熱による変性, *New Food Industry*, **23**, 27-41
- 6) 山内文男 (1982), 大豆タンパク質の構造と機能特性, *New Food Industry*, **24**, 43-58
- 7) 白川武志 (1985), 大豆タンパク質の熱変性, 香川県発酵食品試験場報告, **78**, 32-39
- 8) 松村康生, 森友彦 (1988), 大豆11Sグロブリンゲルの構造分析 粘弾性構造と分子間結合力, *New Food Industry*, **30**, 59-68
- 9) 土井悦四郎 (1992), 食品タンパク質の加工特性に関する研究, 日本食品工業学会誌, **39**, 1163-1169
- 10) M. C. Puppo, M. C. Anon (1999), Soybean Protein Dispersions at Acid pH. Thermal and Rheological Properties, *J. Food Sci.*, **64**, 50-56
- 11) K. H. Lee, H. S. Ryu, K. C. Rhee (2003), Protein Solubility Characteristics of Commercial Soy Protein Products, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **80**, 85-90
- 12) Y. Wang, D. Wang, X. S. Sun (2005), Thermal Properties and Adhesiveness of soy Protein Modified with Cationic Detergent, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **82**, 357-363
- 13) 北島直文, 土井悦四郎 (1987), 「食品物性」VI 泡沫の物性, 日本食品工業学会誌, **34**, 549-557
- 14) C. W. Pernell, P. J. Luck, E. A. Foegeding, C. R. Daubert (2002), Heat-induced Changes in Angel Food Cakes Containing Egg-white Protein or Whey Protein Isolate, *J. Food Sci.*, **67**, 2945-2951
- 15) H. M. Rawel, G. Muschiolik (1994), Effect of structural changes on foaming properties of soy proteins, *Food Hydrocolloids*, **8**, 287-298
- 16) L. Were, N. S. Hettiarachchy, U. Kalapathy (1997), *J. Food Sci.*, **62**, 821-850
- 17) 呉明淑, 飯淵貞明, 矢野俊正 (1982), Whipping の現象論, *New Food Industry*, **24**, 63-74
- 18) A. H. Martin, K. Grolle, M. A. C. Stuart, T. V. Vliet (2002), Network Forming Properties of Various Proteins Adsorbed at the Air/Water Interface in Relation to Foam Stability, *J. Colloid Interface Sci.*, **254**, 175-183

食材料としての豆乳泡沫の特性

- 19) J. M. R. Patino, S. E. M. Ortiz, C. C. Sanchez, M. R. R. Nino, M.C. Anon (2003), Dynamic properties of soy globulin adsorbed films at the air-water interface, *J. Food Interface Sci.*, **268**, 50-57
- 20) C. C. Sanchez, M. R. R. Nino, S. E. M. Ortiz, M. C. Anon, J. M. R. Patino (2004), Soy globulin spread films at the air-water interface, *Food Hydrocolloids*, **18**, 335-347
- 21) N. Kitabatake, E. Doi, (1982), Surface tension and foaming of protein solutions, *J. Food Sci.*, **47**, 1218-1225
- 22) 北島直文, 土井悦四郎 (1983), 食品のタンパク質の泡沫特性, *New Food Industry*, **25**, 63-75
- 23) 田名部尚子 (1990), 卵の食品機能性と調理利用学について, *調理科学*, **23**, 228-233
- 24) 中村良・佐藤泰 (1961), 鶏卵卵白の泡立ちに関する研究 (第3報) 卵白の構成蛋白質の起泡力, *農化*, **35**, 385-390

(平成 21 年 4 月 8 日受付, 平成 21 年 8 月 17 日受理)

和文抄録

豆乳を用いた含泡食品を健康面の観点から開発することを目的に, 豆乳の泡沫特性を調べた。攪拌温度 40℃ で得られた豆乳泡沫は, 攪拌温度 10℃ および 25℃ で得られた豆乳泡沫よりも起泡性および泡沫安定性が優れていた。卵白の場合では, 攪拌温度を上げると起泡性は高くなったが, 泡沫安定性は低下した。豆乳に塩化ナトリウムまたは塩化カルシウムを添加すると, 起泡性および泡沫安定性が向上した。攪拌速度が 650 rpm で調製した豆乳泡沫の方が, 950 rpm で調製した泡沫に比べて硬かった。