 総 説

食 品 の レ オ ロ ジ ー 序 説

松 本 幸 雄*

An Introduction of Food Rheology

 SACHIO MATSUMOTO

レオロジーという述語が生まれてすでに 40 年余を経た今日ではあるが、本邦では昭和 43 年 10 月に第 5 回国際レオロジー会議が京都で開催されて以来、昨年からはレオロジー専門誌が刊行されるようになり、また去る 10 月 16 日、福井市で開かれた第 20 回レオロジー討論会の会場で、日本レオロジー学会が発足するなど、レオロジーに関心ある者にとって何となくあわただしい動きが感じられる昨今である。このことは、日本におけるレオロジーの研究活動が最近になって始まったという意味ではなく、レオロジーに対する関心が広い範囲におよんできたことのあらわれであろう。

「流動を含めた、物質の変形に関する学問」であると定義¹⁾されているレオロジーは、従来物性物理学の一部門として取り扱われてはいるが、その成立の経過や応用の範囲からみて、いわゆる境界領域における学問体系であると考えられる性格のものである。すなわちレオロジーは、まず与えられた物質や材料の力学的性質を客観的に精確に把握する方法を求めつつけるが、つぎにそこで得られた知見は、物質や材料の種類および用途に応じて広い範囲にわたる諸学科と深い関連をもつようになり、ここにレオロジー研究の意義が認識されるようになるであろう。極端な例をひけば、物質のかたさに対する人間の感覚の問題を取り扱うサイコロロジーは、心理学とも関連する研究の領域である²⁾。英国科学技術省が、1969 年英国のレオロジー研究者達に於てアンケートの中で示されているレオロジー研究分野の分類を、そのまま第 1 表に示す³⁾。

食品材料のレオロジー的性質を研究の対象とする場合、その方法の基本においては何ら異質のものは見出せ

ないが、その結果を応用する範囲は生物レオロジーの研究成果と関連しつつ食品の貯蔵、加工、調理などにおよび、また食品の食感要素の一つであるテクスチャーの問題とも密接に関係する。さらに、食品の多くは複雑な多成分混合系であって、このような複合材料のレオロジー的性質は、分散系の分散状態を取り扱うコロイド学に重要な研究課題を提供するとともに、その成果に期するところが大きい。

食品のレオロジー研究における具体的個々の問題については、曾根敏磨博士の労作「食品の粘稠性」⁴⁾に詳述されている。それに対する高い評価がヨーロッパにおいてなされ、筆著拙訳による英語版がオランダで刊行されたところである。また SHERMAN 博士の著書「Industrial Rheology」⁵⁾に、食品材料に関するユニークな記述が多くの頁をさいてなされている。筆者も、最近食品のレオロジーの一端について解説記事を書いているので⁶⁾、本稿では食品レオロジーの周辺の問題について考えてみたい。

レオロジー研究の成立と展開

BINGHAM 教授の命名になるレオロジーという述語は、古代ギリシャの哲人 HERACLITUS の名言「万物は流転する」にヒントを得てつくられたものとされている⁷⁾。とにかく、BINGHAM 教授の提唱によって最初のレオロジー学会が開かれたのが 1929 年であるが、このことだけでその必然性は理解されない。

科学の歴史において、古くから深く人々の関心を集めてきた問題の一つに、天体の運行を含めた力学的諸現象に関する命題があった。よく知られているように、それ

* 大阪府立大学農学部（堺市百舌鳥梅町）

College of Agriculture, University of Osaka Prefecture. Mozu-umemachi, Sakai, Osaka.

第1表 レオロジー研究の分類例⁸⁾

1. <i>Materials being studied</i>
Agglomerated solids
Glasses
Idealized materials
Metals and alloys
Molten or dissolved polymers or elastomers
Multi-phase 'liquids' (emulsions, suspensions, gels, pastes, clays)
Powders or granular solids
Solid polymers, elastomers of fibres
2. <i>Basic research—phenomena being studied</i>
Biological phenomena
Creep
Fatigue and fracture in non-Hookean solids
Heat transfer in non-Newtonian fluids
Plastic deformation
Surface or interfacial rheology
Thixotropy
Tribology (friction, lubrication, abrasion and wear)
Turbulence or mixing in non-Newtonian fluids
Viscosity/rate of shear effects
3. <i>Applied research—processes under development</i>
Casting, Calendering, Drawing, Extrusion, Grinding or pulverization, Handling granular materials, Mixing, Pipe and channel flow, Pressing, Rolling, Roller transfer, Settling, Spinning, Vacuum including pressure or injection moulding
4. <i>Methods of attack</i>
Bending
Birefringence and other optical methods
Continuous shear viscometry and rheometry
High pressure viscometry (above 10^8 atm)
High rate of shear viscometry (above 10^4 s ⁻¹)
Measurement of normal forces during shear
Model testing
Oscillatory rheometry
Penetromethods
Simple tensile and compressive testing
Theoretical
Torsion testing
Triaxial and combined stress testing
Ultrasonic velocity measurements
Vibrating reed

は長い年月と幾多の曲折を経たのち 17 世紀のヨーロッパにおいて古典力学体系を築き上げるための源流となり、それが現代自然科学の礎石ともなったのである。その流れは、18 世紀末から 19 世紀初頭にかけて古典力学すなわち弾性力学および流体力学としていちじるしく展開してゆくことになる。同じ頃、産業革命を契機として勃興した化学工業が急速な成長をみせ、人類社会に多量の加工材料を提供するような情勢を迎えるようになる。ここに、そのような材料を作る側も使用する側も、その材料の諸性質を熟知することの必要性が生じ、そこにあった力学理論の成果を実在の各種の物質や材料に適用する試みがなされ、塑性や粘弾性に関する概念の提出、あるいは流体力学に関する諸現象の発見などがちく次な

れていったのである。同様な傾向は、20 世紀の化学がもたらした合成材料の出現のときにも見られる。たとえば、合成高分子材料のレオロジーが、現今のレオロジー研究の主流を占めているのも、こちら辺の事情からであろうと考えられる。一方では、19 世紀後半から物質の状態学として発達してきたコロイド学の分野で、種々の複合物質（分散系）の力学的性質について、単純な力学理論では画一的に説明できないような異常現象の幾つかが発見され指摘されたのが、20 世紀初頭においてであった。このような研究の推移と発展の中で、1929 年レオロジーが一つの学問体系として統合され出発したこと意義は、容易に理解されよう。

ところで、現在のレオロジー研究の動勢あるいは内容

第1図 レオロジー研究の一つのパターン

に関する筆者の解釈を一つのパターンで示すと、第1図のようになる。すなわち、研究の前提となるのはいうまでもなく被検物質や材料が存在することであり、そしてそのレオロジー的性質を測定し記述するための理論的背景および実験技術が存在することである。このような前提をふまえて、まず与えられた物質や材料のレオロジー的性質を、各種の条件において物理的意味を失なうことなくいかに精度よく測定するかという方法論が、レオロジー研究における第一の課題である。つぎに、被検物質や材料について適当な方法で観測された力学的諸現象を適確に整理し表現して、そこに物理的意味を見出そうとする現象論的探究が、レオロジー研究における第二の課題である。物質や材料の力学的諸現象を普遍的に記述することの重要性は、つぎに問題とすべき分子論的あるいは状態論的考察へのステップとして、また客観的に測定された力学的性質を人間の感覚にもとづくそれについての主観的判断と対比させるサイコロロジーへの導入部として認識されるものである。レオロジー研究の終局が、なべて物質や材料の分子論的状態論的考察を行なうところにあるとは断定できない。生物レオロジーの成果は、生体の生理現象と結びつく部分が多いであろうし、食品のテクスチャーの問題は、サイコロロジーと深く関連しつつ展開してゆくであろう。しかし、少なくとも物質材料学 (Material Science) の立場からは、力学的諸特性の原因となる被検物質や材料の分子状態あるいは成分の分散状態について、情報を得ることを望まれるに違いない。そこで、被検物質や材料の諸性質については、あらかじめ化学、生物学、高分子学、あるいはコロイド学の立場からできるだけ詳細な情報を得ておくことが必要であるし、レオロジー的測定によって得られた知見に対する解釈には、他の諸物性との関連がつねに考えられなければならないであろう。このような認識のもとに、レオロジー研究の第三の課題である分子論的状態論的考察へのアプローチが試みられることになる。

以上に述べたような経緯で、非常な成果を収めつつあるものに高分子のレオロジーがある⁸⁾。合成高分子は、化学的に純粋なものを調製することが可能であり、レオロジー測定も比較的容易であって、しかもその結果に線型の力学理論が適用できる利点を有するとはいへ、高分子鎖の configuration に関する統計熱力学的考察

などの面にすぐれた研究があったことも見逃せない。しかし、このような例はむしろまれであって、上述のどの課題をとっても、それぞれがレオロジー研究の重要な問題を多く含有しているのが現状である。このことを食品材料の特質に照らして、つぎに考察してみる。

食品のレオロジーにおける諸問題

1. 測定方法

食品のレオロジーの方法において、とくに異質のものはないと前述した。これはまさしくレオロジー的性質の観測が、いかなる物質や材料についても、応力へひずみ～時間の相互の関係においてなされるという原則を指したのであって、食品材料の多様性に対応して使用すべき測定装置も多様になることは別である。

一口に食品材料といっても、観測されるべき力学的性質は、果汁のような低粘度液体から穀物類のようにかなりの硬度を有する固体状態のものにいたるまで、いちじるしく広い範囲におよぶのが食品のレオロジーにおける一つの特徴である。また、食品材料は動植物個体そのものあるいはそれらの生産物からなるものであり、したがって種々の生体成分が混合されたものであって、その中にはこれを分散系と呼ぶにはあまりにも複雑な状態のものも多い。すなわち、肉製品や果実あるいは野菜類のようにその力学的性質に異方性があらわれ、それを測定することが困難な試料があるのが、食品のレオロジーにおける他の特徴であろう。さらに、食品の加工や調理において重要であるのは、試料の平衡状態での静的な性質よりむしろ短時間内に起こる性状の変化であり、このような動的な性質を種々の試料について観測しなければならないのも、食品のレオロジー研究において問題となる点である。

これらの事情を背景として、食品材料に対しては以前から個々の試料状態に適合させたレオロジー的性質に関するいわゆる試験機が各種考案され、使用されている。

たとえば、食用油脂類に対する針入度試験機⁹⁾、ゲル状物質に対するゼリー試験機¹⁰⁾、野菜や果実あるいは肉類の繊維性を調べるシャーププレス (Shear Press) 粘稠計¹¹⁾、小麦粉パン生地に対するファリノグラフ (Farinograph) などである。また、比較的最近 SZCZESNIAK 女史によって開発された テキスチュロメーター (Texturometer) は、食品のレオロジー的性質に対する人間の主観的判断を客観的測定値と対応させるためのものであるが、試料状態によらず装置の適用範囲が広いこと、やはり試験機としても本邦で使用されており、その結果が物性値として報告されている場合もある。

これら試験機は、前述のような複雑な状態の試料に対して容易にしかも短時間内に適用できるので、食品工業における品質や工程の管理にこれら試験機が果たしてきた役割は大きい。しかし、それらの結果から被検試料の応力～ひずみ～時間の関係を導びくことの困難な装置が多く、したがってレオロジー測定装置と呼べないものが、これら試験機に多い。このことは、しかし、これら試験機が存在意義の否定につながるのではなく、その用途と得られた結果の利用範囲をよく認識することが重要であって、現状においてはむしろ食品材料に対してこれら試験機に依存しなければならない部分が多いことを認めなければならないであろう。一方、針入度試験についてその例がみられるように¹²⁾、レオロジー研究の立場からは、これら試験機が与える結果に物理的意味を見出そうとする努力が必要であり、同時に食品材料に対して十分な精度で適用し得る本来的なレオロジー測定装置を、広い視野をもって考究することが必要である。いい換えれば、食品のレオロジーにおいては、まず方法論に関する研究の展開が非常に望まれることの一つである。さらにつけ加えるならば、食品は加工、調理の過程で、あるいは口腔内での咀嚼時に、攪拌、混合、破断などのいわゆる大変形を受けるが、このような大変形のレオロジーは実用上きわめて重要であるにもかかわらず、その測定法や解析法は十分でない。この問題は、食品のみならず他の物質や材料についても、今後のレオロジー研究における重要な課題である。

2. 食品のレオロジー的性質の記述

実験によって得られた被検試料の応力～ひずみ～時間を記述し表現する方法は、試料の状態や測定法によって異なる。いずれにしても、その基本となるのは液状物質の定常流動に関するニュートンの粘性法則であり、弾性体の弾性変形に関するフックの法則である。そして、現在の各種物質や材料の力学的性質に関しては、この二つ

の基本法則を組み合わせた粘弾性理論で説明される場合が多い。すなわち、試料に一定の応力を加え続けたとき試料に生じるひずみの時間的変化の基本を示した Kelvin-Voigt の遅延弾性、および試料に一定のひずみを加え続けたとき試料に生じる応力の時間的変化の基本を示した Maxwell の応力緩和が、その最も簡潔な理論である。これらの基本方程式から出発して、現在では試料に交番応力や交番ひずみを加えた場合の試料に生じる応答の問題も含めた、いわゆる線形粘弾性理論が展開されているが、このことについてはすでにレオロジーの解説書¹³⁾に詳しい。

現在まで、各種の食品材料のレオロジー的性質を記述するのに広く用いられているのは、遅延弾性体としての取り扱いであろう。たとえば、SHERMAN らは、流動性のいちじるしいクリームからスポンジケーキやチーズにいたる種々の状態の各種食品に対して、いずれも一定の微小な応力を加えたとき試料に生じる微小な変形の時間的な変化を精度よく検出する方法を用いて、いわゆるクリープ曲線を求め、これを解析して試料のレオロジー的性質を幾つかの粘性寄与と弾性寄与の組み合わせとして表現する方法をとっている¹⁴⁾¹⁵⁾。また、曾根らは、平行板ブラストメーターを可塑性油脂に対して適用しクリープ曲線を求め、その結果から試料の粘弾性体としての特徴を記述している¹⁶⁾。一般に、試料に一定の応力を保持する操作が比較的簡単であるため、クリープの測定にもとづいた試料のレオロジー的性質の解析が、かなり広く用いられていると考えられる。一方、筆者らは、小麦粉パン生地のような比較的やわらかい試料を対象に、一定のひずみを保持したとき試料にみられる応力緩和現象を測定することを試みているが¹⁷⁾、この場合高分子材料における取り扱いと同様、ある種の食品材料についても応力緩和曲線の温度依存性から、温度～時間換算法則の適用とそれにもとづく緩和時間分布の計算などの実施が期待できる。しかし、これらの方法を適用する場合にきわめて重要な前提となるのは、試料のレオロジー的挙動に線形性がなりたつことである。ところが、食品のような多成分からなる複合材料の場合には、むしろそのレオロジー的性質に非線形性が目立つことが特徴であって、SHERMAN らのクリープ測定においても筆者らの応力緩和測定にしても、非常に微小な応力やひずみを扱った場合にのみ線形性が近似的になりたつという仮定のもとに行なったものであるが、やはりこのような方法には大きな問題が残されていることを自覚しなければならない。

食品に限らず、一般に分散系はその定常流動において

非線形性にもとづく異常現象（非ニュートン流動）を呈することは、今世紀のはじめコロイド学者によってすでに観測されたところである。各種液状食品の多くについてもその例外ではない。したがって、まずこのような試料の応力とひずみ速度との関係をさらに時間の関数としてひろい範囲にわたり実測し、その結果にもとづいての現象論による定式化¹⁸⁾、あるいは EYRING らの絶体反応速度論による表現¹⁹⁾を適用することは可能である。非線形粘弾性の場合、その理論的な取り扱いがまだ十分でない現状からして、複雑な分散系の非線形粘弾性挙動を満足に記述する方法を筆者は知らない。ただ、高分子濃厚系に対する山本の積分型構成方程式の取り扱い²⁰⁾に注目したい。

以上のような状況からして、より妥当な方法を用いて各種の条件下で観測された食品材料のレオロジー的性質に関するデータを集積すること自体が、現在食品のレオロジー研究において最も必要なことではないかと考える。

3. 分子論的状態論的考察へのアプローチ

不十分な実験結果を用いて、安易にこの問題に入ることの危険性については、これまでの記述から理解されよう。しかし実際には、部分的断片的ではあるが、食品材料についてもこの方面の解釈がなされている場合がある。たとえば、曾根は練圧後のバターのみかけの粘度の変化が、脂肪結晶の生長速度と密接に関係することを、バターの練圧後の比容積の変化と併せて考察した²¹⁾。この場合、粘度の変化を比容積の変化と対応させた着眼点は、用いられている理論が金属の結晶成長に関するものであったこととともに興味深い。また、小麦粉パン生地レオロジー的性質が、小麦粉の成分の一つであるグルテンタンパク質分子間の SH 基と S-S 結合との交換反応に影響されることは、多くの研究者が指摘しているところであるが²²⁾、このことは小麦粉に微量の酸化剤や還元剤を添加した場合のパン生地のレオロジー的性質の変化を測定した結果から導びかれたものである。これは、小麦粉パン生地に限らず、広くタンパク質を含む系についても取り上げられるべき問題である。筆者と SHERMAN は、主観的に判断される牛乳の粘度が、均質化したものとそうでないものとの間に差があることに注目し、牛乳のモデルとしてのより単純な組成の O/W 型エマルジョンを調製して、その粘度と分散粒子の大きさとの関係を実験的に明らかにした²³⁾。この実験では、試料の粒度分布の測定が非常に重要であったことはいうまでもない。また、ここで得られた関係は、分散系の粘性流動のみな

らず粘弾性挙動にもあらわれるようであって、分散系の一つの基本的な問題を与えているように思われる。

これらの例が示唆するように、複雑な系になるほど、分子論的状態論的考察へのアプローチを試みるためには、他方面からの実験や考察をレオロジー研究に持ち込む必要があり、またより単純なモデルを用いた実験の結果から類推を進める必要がある。

食品のテクスチャー

食品材料を加工、調理する目的の一つに、食品の食感要素を好ましいものにととのえることが挙げられよう。食感要素とは、食品の味、香り、色、テクスチャー (Texture) など人間の主観的な感覚によってもたらされる問題を指すのであって、食品の価値を決める重要な因子の一つである。ここで食品のテクスチャーとは、幾何学的な形状や各成分の分散状態をも含めた食品の巨視的な力学的性質を意味し、広義には食品の物理的な品質を表現する述語として用いられる。食感要素の一つである以上、テクスチャー研究においては感覚にもとづいた食品の「かたさ」などの物理量に対する主観的な判断が心理学的な立場で問題の中心となるであろうが、食品が実在する材料である限り、物質の力学的性質を物性物理学的に取り扱うところのレオロジーや、多成分系の分散状態を研究の対象とするコロイド学、あるいは客観的な物理量と主観的感覚的な量との接点を求めようとする精神物理学などが、テクスチャー研究の背景として重要な位置を占めなければならない必然性がある。

われわれが認識している実在の世界は、ことごとくわれわれの感覚を通して知り得たものであって、個々の知覚の間に普遍性がある場合にのみそのことが客観的事実として一般に認知される。自然科学における諸法則もその例外ではない。しかし、現代自然科学思潮の根源をなすものはヘレニズムであって、就中「数学的論証によってのみ実在を予測し得る」とするプラトン主義的思想が、大きな位置を占めている事実を見逃すわけにはいかない。すなわち、先人達が築き上げてきた科学的方法（問題→仮説→仮説の演繹→観察・実験→結論）の中で感覚に依存する部分はわずかであって、最終的に到達し得るのは、われわれの感覚を超越した単位・次元を有する物理量に他ならないのである。食品のテクスチャーにおいては人間の感覚の問題がその研究の根幹をなすものであるにしても、感覚にもとづく主観的判断に対比させ得る唯一のものは客観的に測定された量であって、現在のところその方法はレオロジーに求めなければならない。

第2表 Szczesniak のテクスチャープロフィール

	←クラス→	←一次特性→	←二次特性→	←一般用語→
力学特性	{	かたさ	soft→firm→hard	
		硬集性	brittleness→crumbly→crunchy→brittle	
			chewiness→tender→chewy→tough	
			gumminess→short→mealy→pasty	
		粘度	thin→viscous	
幾何特性	{	弾性	plastic→elastic	
		粘着性	sticky→tacky→gooey	
		粒子径と形粒	gritty, grainy, coarse, etc.	
その他	{	子係と会合状態	fibrous, cellular, crystalline, etc	
		水分含量	dry→moist→wet→watery	
		脂肪含量	oiliness→oily greasiness→greasy	

第3表 SHERMAN のテクスチャープロフィール

ところで、およそわれわれの周囲にある物質や材料の多くは、多成分が複雑に混合された状態のものであり、前述のように食品の多くもその例外ではない。このような複合物質や材料の諸性質は、構成々分個々のそれよりはむしろ、各成分の量比とそれらの混合の状態に負うところが大きく、主観的な判断にしろ客観的な測定値にしろ、テクスチャーのような物質の巨視的な性質を問題にする研究においては、被検物質や材料の状態に関する正しい認識が常に必要であると思われるゆえである。ここに、食品のテクスチャー研究において、コロイド学が果たすべき役割が明らかになる。また分散系においては、系内に存在する各成分間の広大な界面積の故に、熱力学的には分散状態が不安定であって、程度の差こそあれ界面積を小さくする方向に時間的な変化が生じるのが普通である。このような不安定系の生成や解消に関する取り扱いもまたコロイド学における重要な研究課題の一つである。

最後に、食品のテクスチャー研究で触れなければならないものに、テクスチャープロフィールの問題がある。すなわち、われわれの感覚による主観的判断は、直ちに言葉をもって表現される。したがって、このような用語は主観的判断に対してより普遍的な意味を与え、客観的な量にアプローチするものとして大切である。1962年、SZCZESNIAK はテクスチャーに関係のある一般用語を収集し、これを客観的物理的要素にしたがいテクスチャープロフィールとして第2表のように分類した²⁴⁾。これに対して、SHERMAN は SZCZESNIAK の分類法を検討し、その改良案ともいえるべき第3表のようなテクスチャープロフィールを提唱している²⁵⁾。その特徴は、食品の使用の段階に対応したテクスチャーの変化にしたがって、用語を分類したところにある。ここで注意しなければならないことは、表に示された用語は英語国民のものであって、微妙な感覚の表現は、到底他国語にほん訳し得ないところがある点である。このような観点から、吉川らは日本語

によるテキスチャー用語の収集を試みている²⁶⁾。しかし日本語の特徴として、集められたそれら用語の中には擬音擬態語が非常に多く、その中には表現の内容にどの程度本質的な差があるのか不明確なものもあって、分類が非常に困難であると報告されている。したがって、食品のテキスチャー研究も、言語学をその背景に包含しなければならぬことになる。

むすび

以上の記述にはおよそ見当違いのことがあるであろうし、補足を要する点も多々あると思われる。しかし、多様化しつつある食品学がさらにレオロジーとの接点を求めようとするとき、そこには単独ではなし得ない多くの問題があることを、この稿を借りて筆者は指摘したかったのである。はげしく学問が流動する中で、ともすれば日本の学問研究に対する視野が閉鎖的になりがちではないかという筆者の危惧が、間違いであることを願って止まない。最後に、研究のレベルにとらわれることなく各自の研究について自由に討論できる場が、日本の食品レオロジー研究者達に与えられるよう、各位のご配慮を切望する。

文 献

- 1) REINER, M. and SCOTT BLAIR, G.W.: "Rheological Terminology" in EIRICH, F.R. (Ed.) "Rheology: Theory and Practice." Academic Press, New York, Vol. 4, p. 461 (1967).
- 2) SCOTT BLAIR, G.W.: "A Survey of General and Applied Rheology." Pitman, London (1949).
- 3) Ministry of Technology, "Rheological Research in Britain, 1968." p. 114 (1969).
- 4) 曾根敏磨：食品の粘稠性，光琳書院（1966）。
- 5) SHERMAN, P.: "Industrial Rheology." Academic Press, London (1970).
- 6) 松本幸雄：表面，9，711 (1971)。
- 7) SCOTT BLAIR, G.W.: "Elementary Rheology." Academic Press, London, p. 1 (1969).
- 8) FERRY, J.D.: "Viscoelastic Properties of Polymers." John Wiley & Sons, Inc., New York (1961).
- 9) HAIGHTON, A.J.: *J. Amer. Oil Chemist Soc.*, **36**, 345 (1959).
- 10) GAYDON, H.A.: *Food*, **24**, 287 (1955).
- 11) KRAMER, A.: *Food Eng.*, **29**, 57 (1957).
- 12) 神戸博太郎・村上隆之：工業化学雑誌，**63**，208 (1960)。
- 13) 中川鶴太郎・神戸博太郎：レオロジー，みすず書房（1959）。
- 14) WHITEHEAD, J. and SHERMAN, P.: *Food Technol.*, **21**, 107 (1967).
- 15) SHAMA, F. and SHERMAN, P.: "An Automated Parallel-plate Viscoelastometer for Studying the Rheological Properties of Solid Food Materials." S.C.I. Monograph, No. 27, p. 77 (1968).
- 16) 岡 小天・深田栄一・曾根敏磨：材料試験，**10**，333 (1961)。
- 17) 松本幸雄・福田英憲・米沢大造：第20回レオロジー討論会講演要旨集，p. 49 (1972)。
- 18) CASSON, N.: "A Flow Equation for Pigment-oil Suspensions of the Printing Ink Type." in MILL, C.C. (Ed.) "Rheology of Disperse Systems." Pergamon Press, London, p. 84 (1959).
- 19) REE, T. and EYRING, H.: *J. Appl. Phys.*, **26**，793 (1955).
- 20) 山本三三三：材料，**21**，355 (1972)。
- 21) SONE, T.: *J. Phys. Soc. Japan*, **16**，961 (1961).
- 22) BLOKSMA, A.H.: *J. Texture Studies*, **3**，3 (1972)。
- 23) MATSUMOTO, S. and SHERMAN, P.: *J. Colloid Interface Sci.*, **30**，525 (1969). PARKINSON, C., MATSUMOTO, S. and SHERMAN, P.: *J. Colloid Interfac. Sci.*, **33**，150 (1970).
- 24) SZCZESNIAK, A. S. and KLEYN, D. H.: *Food Technol.*, **17**，74 (1963).
- 25) SHERMAN, P.: *J. Food Sci.*, **34**，458 (1969).
- 26) 吉川誠次・西丸震哉・田代豊久・吉田正昭：品質管理，**19**，66 (1968)。

(昭和47年12月18日受理)