Osaka University Knowledge Archive

Title	消化管造影用硫酸バリウムの流体力学的研究-添加剤(トラガント)の硫酸バリウム懸濁液に及ぼす影響について-
Author(s)	岡橋, 進
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1985, 45(1), p. 31-43
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20620
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

日本医放会誌：45（1），31—43，1985（昭60）

消化管造影用硫酸バリウムの流体力学的研究

—添加剤（トラガント）の硫酸バリウム懸濁液に及ぼす影響について—

大阪医科大学放射線医学教室（主任　赤木弘昭教授）
岡　橋　進

（昭和59年5月22日受付）
（昭和59年6月22日最終原稿受付）

Rheological Studies on the Barium Meal

—Effects of the Addition of Tragacanth on the Barium Sulfate Suspension—

Susumu Okahashi
Department of Radiology, Osaka Medical College
(Director: Prof. Hiroaki Akagi)

Reseach Code No. : 502

Key Words : Barium sulfate, Tragacanth, Contrast media, Viscosity, Visco-elasticity

Double contrast method with barium meal is a useful technique for detecting lesions in the upper gastrointestinal tract. However, exact properties of aqueous suspension of barium sulfate as a contrast medium are still unknown, and no product has been obtained to fill all of the clinical demands. The object of this study was to improve barium sulfate suspension for better contrast medium by adding tragacanth.

Tragacanth was added to pure barium sulfate at various mixing ratios of 0.25, 0.35, 0.50, 0.60, 0.80 and 1.25 weight/weight per cent. In each mixture, aqueous suspensions of 100, 120 and 150 weight/volume per cent were then prepared. Suspensions containing pure barium sulfate and tragacanth were also examined rheologically.

The following methods were employed: Cone-plate type rheometer connected to FFT-analyzer was used to measure viscosity of the suspensions at the rate of shear 75 sec^{-1}. The dynamic visco-elasticity was also estimated on the basis of dynamic elasticity (G′) and dynamic viscosity (G″). Fluidity of the suspensions was determined by the maximum distance moved on the aclylic board leaned at 30 degree. Double contrast method on the model stomach was used to evaluate visualization in the gastric area.

The results were as follows: When the suspension containing 0.35 per cent of tragacanth was used, the lowest viscosity was observed with the lowest value in G′ and G″. The G′ and G″ curves, when plotted on the same dyne-frequency diagram crossed each other, which was not seen in the other suspensions examined in this study. G″ of the suspensions, especially in 150 weight/volume per cent, has apparently increased with increasing concentrations of tragacanth. When the suspension containing 0.35 per cent of tragacanth was used, fluidity was best. The suspensions of 0.6 to 0.8 per cent tragacanth were the most effective in regard to visualization in the gastric area. However, when 0.35 per cent suspension was used at 150 weight/volume per cent, almost complete visualization was observed.

I. 緒　　言

消化管造影剤としての硫酸バリウムの臨床的評価は高く，これを使用した胃X線検査は，胃疾患の診断に不可欠となっている．特に二重造影法の導入により，硫酸バリウム懸濁液にも，新たに高濃度，低粘性で，流動性が高く，胃壁に良く付着し，酸に凝集しないなど[1)~4)]の諸要求が生じて来た．

しかし，造影剤としての硫酸バリウムの性状には不明の点が多く，現在提供されている製剤は必ずしも臨床的な要求を満足するものではなく，更に硫酸バリウム懸濁液の性状を左右する因子を分類し，基礎実験を展開して行く必要[5)]がある．

特に，硫酸バリウム造影剤は添加剤を含む製剤として提供され，懸濁液として使用されるから，硫酸バリウム製剤の原料，即ち硫酸バリウム粒子の状態と添加剤，ならびに調整，使用方法の面から検討する必要がある．この内，硫酸バリウム粒子の大きさと粘性については，教室で既に種々の報告[1)6)~8)]を行って来ており，今回は，添加剤について実験を行った．

本研究では，添加剤としてトラガント[9)10)]を採用し，種々の添加量の異なった実験用硫酸バリウム造影剤を試作，これを硫酸バリウム濃度別懸濁液として調製し，試料とした．実験項目としては，粘性率の測定に加え，動的粘弾性率（dynamic visco-elasticity）の測定と解析を行うとともに，更に展延性の計測，X線写真による胃ファントームへの各懸濁液の経時的付着性を追求した．

II. 実験方法

1. 試料

局方硫酸バリウム（丸石製薬株式会社，以下純硫酸バリウム）と局方トラガント末（鈴粉末製薬株式会社，以下トラガント）を用い，トラガント添加硫酸バリウム（以下，試作製剤）を試作した．

トラガントの添加量は，純硫酸バリウムに対するトラガントの重量混合比で0.25，0.35，0.50，0.60，0.80，1.25%の6段階とした．

実際の試料の作成は，トラガントと蒸留水300 mlを乳鉢で混合し，10時間放置後，実験用ニーダ（試作品，Fig. 1）を用い，純硫酸バリウムとともに40分間練り合わせた．次に，乾燥器（ヤマト科学株式会社，MODEL DX58, Fig. 2）により90℃，5時間の乾燥を行い，最後にニーダと乳鉢を用いて粉砕，粉末状製剤とした．これを濃度別（100，120，150w/v%）懸濁液として調製し使用した．

対照試料として，純硫酸バリウム懸濁液（50，100，120w/v%），トラガント水溶液（1，2，3%）を使用した．

2. 粘性率および動的粘弾性率の測定

1）使用装置（Fig. 3）

円錐一円板型レオメータ RM-1[11)12)]（島津製作所株式会社）をデュアルチャンネル FFT アナライザ CF-500（小野測器株式会社）に接続した装置を用い，結果の解析とその表示には FM-8（富士通株式会社）を使用した．

なお，レオメータと FFT アナライザの間には，

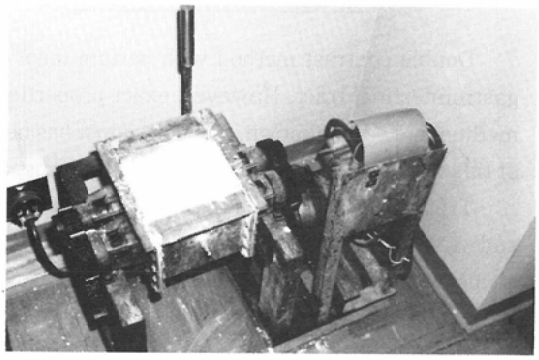

Fig. 1　Kneader used in this study

Fig. 2　Drying oven MODEL DX-58 (YAMATO).

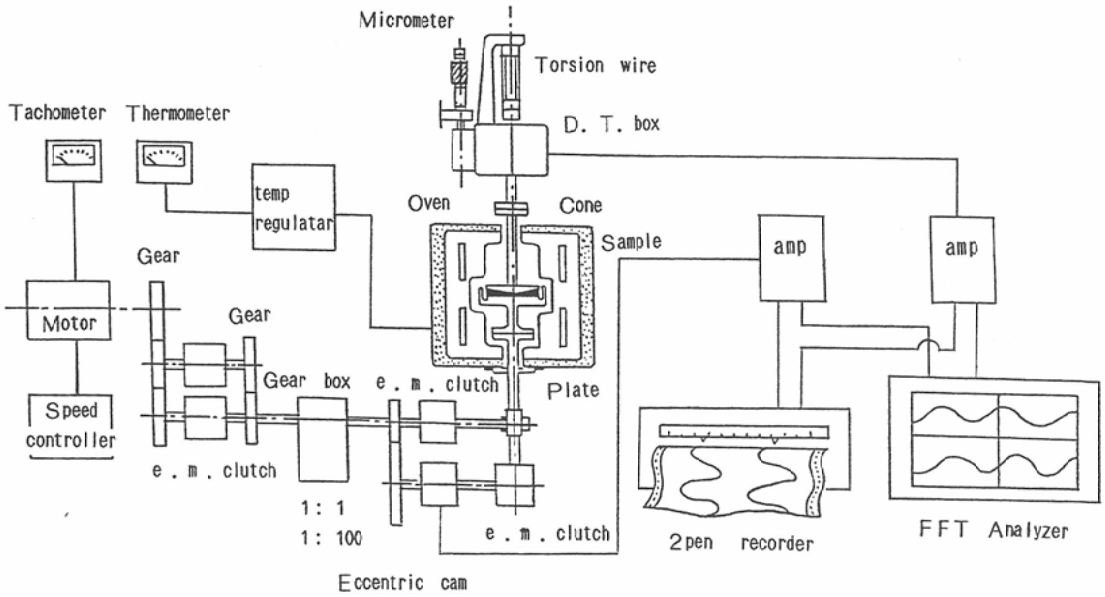

Fig. 3　Block diagram of Rheometer RM-1 (SIMAZU) and FFT analyzer CF-500 (ONOSOKKI).

レオメータの出力電圧を円板側については10倍，円錐側については100倍とする増幅器を接続した．

2）測定方法

レオメータの円板(Fig. 4)に，粘性率の測定では定速度の回転を，動的粘弾性率の測定では往復運動を与え，これに対する円錐の応答より，それぞれ粘性率，動的粘弾性率を求めた．

a）粘性率の測定

粘性率 η は，レオメータの円板を一定角速度 ω で回転させ，円錐に生じた回転角の平衡値 β を測定し，この値より計算した[12]（Table 1）．

実際の状態としては，$\omega=5.25\mathrm{rad}\cdot\mathrm{sec}^{-1}$ として速度勾配 $\dot{S}=\omega/\theta=75\mathrm{sec}^{-1}$ における粘性率を測定した．

なお，用いたバネのねじれ定数 $k=2.205\times10^6$ dyne•cm/rad，円錐半径 $R=4.0$cm であった．

b）動的粘弾性率の測定

動的粘弾性率の測定には，レオメータの円板に往復運動，$\alpha=\alpha_0\cos\omega t$，（振幅 α_0，角速度 ω）を行わせ，円錐に生じる運動を，$\beta=\beta_0\cos(\omega t+\phi)$，（位相差 ϕ）と看做し，両者の振幅比 P，位相

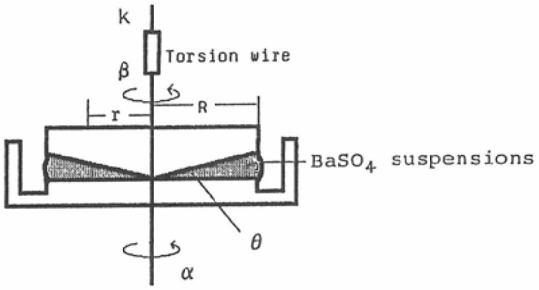

Fig. 4　Schematic illustration of cone and plate of rheometer.

α : rotation angle of the plate (rad), β : rotation angle of the cone (rad), θ : conic angle of the cone (rad), R : radius of the cone (cm), r : distance from the center of the cone (cm), k : torsional constant of the wire (dyne・cm/rad).

Table 1　Definition and calculation of viscosity (η)[12]

$$\eta=\frac{3\theta k\beta}{2\pi R^3\omega}$$

$$\dot{S}=\omega/\theta$$

η: viscosity (dyne•sec/cm²) (Poise)
β: rotation angle of the cone (rad)
θ: conic angle of the cone (rad)
R: radius of the cone (cm)
ω: angular velocity (rad/sec)
$\dot{S}$: velocity gradient (sec⁻¹)
k: torsional constant of the wire (dyne•cm/rad)

差 ϕ を求め，動的弾性率（以下 G′）および動的粘性率（以下 G″）を計算した[12]（Table 2）.

実際の測定ではレオメータの円板に与えた振幅 $\alpha_0=1.753\times10^{-2}$rad, 周波数 $\omega/2\pi$ (sec^{-1}) の振動と，それにより生じた円錐のねじれ角 β_0を差動変圧器で電気信号に変えFFTアナライザーでフーリエ変換し，CRT上にそのパワースペクトラムおよび位相差角などを表示した．周波数 $\omega/2\pi$ は 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0Hz の5段階に変えて測定を行った．

3. 展延性実験

各硫酸バリウム懸濁液をピペットで0.5ml取り，水平にしたアクリル板上に滴下，一定速度で30度に起し，懸濁液の最大到達距離を測定した．

Table 2 Definition and calculation of dynamic elasticity (G′) and dynamic viscosity (G″)[12]

$$G'=\frac{-B(1-\cos\phi/p)}{(1-\cos\phi/p)^2+(\sin\phi/p)^2}$$

$$G''=\frac{B(\sin\phi/p)}{(1-\cos\phi/p)^2+(\sin\phi/p)^2}$$

$$\alpha=\alpha_o\cos\omega t$$

$$\beta=\beta_o\cos(\omega t+\phi)$$

$$P=\beta_o/\alpha_o$$

$$B=3k\theta/2\pi R^3$$

α_o: amplitude of α (rad)
β_o: amplitude of β (rad)
ω: angular frequency (rad/sec)
t: time
ϕ: phase difference between α and β (rad)
k: torsional constant of the wire (dyne•cm/rad)
θ: conic angle of the cone (rad)
R: radius of the cone (cm)

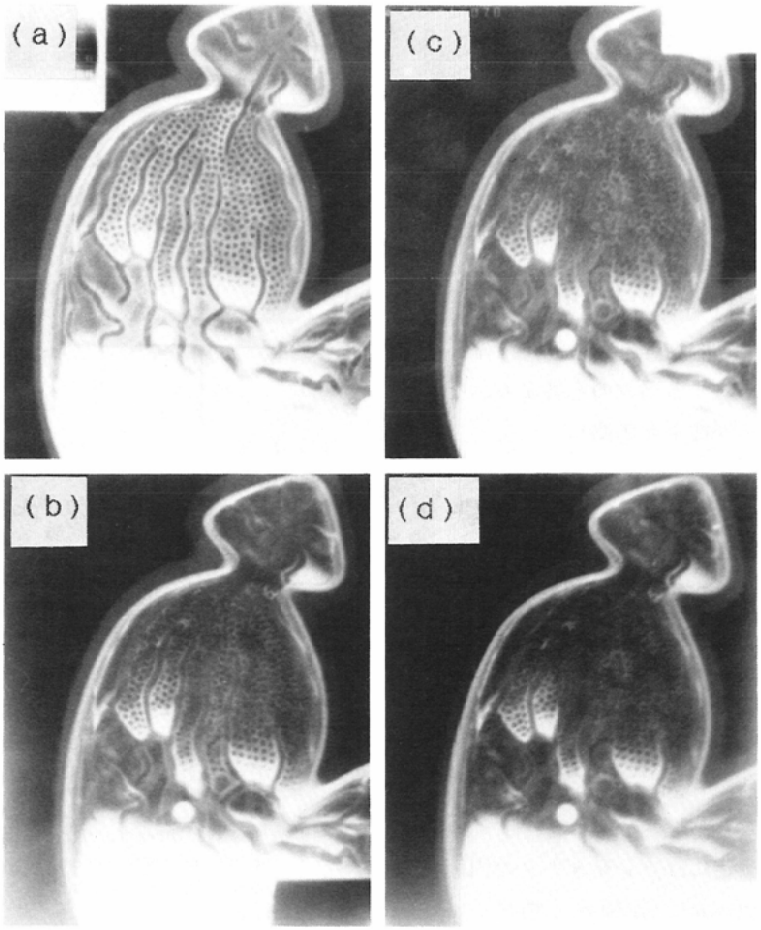

Fig. 5 Classification of visualization of gastric area on model stomach in double contrast method.

4. 付着性実験

胃ファントーム（Model Stomach, 指導・監修：国立癌センター集団検診研究部，企画：エーザイ株式会社）を使用した．材質はシリコン樹脂で胃小区は直径約1mm，高さ約0.5mmの凹凸で構成されている．これに各硫酸バリウム懸濁液30mlを入れ水平状態の透視台に固定，まず，水平より－15度，続いて＋30度まで起こして静止させ，10，30秒後の2回，同一撮影条件下に前庭部後壁の二重造影像をX線フィルムに撮影した．判定基準（Fig. 5）は，X線写真上の胃小区の描出比率により，（a）ほぼ全域が描出されたものを4/4，（b）3/4程度，（c）1/2程度，（d）1/4以下の4段階とした．

III. 実験結果

1. 粘性率

純硫酸バリウムでは，いずれの懸濁液濃度でも2,000cp（centi poise）を大きく上回り測定できなかった（Fig. 6）．しかし，トラガントの添加により，粘性率は著明に低下し，いずれの濃度でも添加量0.35%で最も低く，150w/v%で260cp，120w/v%で120cp，100w/v%では40cpまで低下した．

トラガントの添加量がさらに増加すると，粘性率は再び上昇し，添加量1.25%の150w/v%懸濁液で1,520cp，120w/v%懸濁液で1,210cp，100w/v%懸濁液で320cpとなった．

2. 動的粘弾性率

1）測定結果のCRT表示

測定結果は，FFTアナライザのCRT画面上に3種類の曲線として表示した．振動周波数0.2Hzに於ける純硫酸バリウムの50w/v%懸濁液を例示

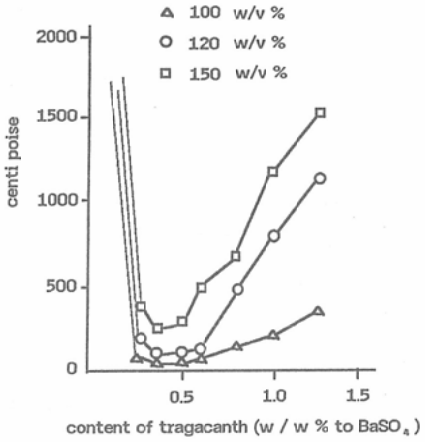

Fig. 6 Viscosity of $BaSO_4$ suspensions (100, 120 and 150w/v %) at various contents of tragacanth.
Rate of shear: $75sec^{-1}$.

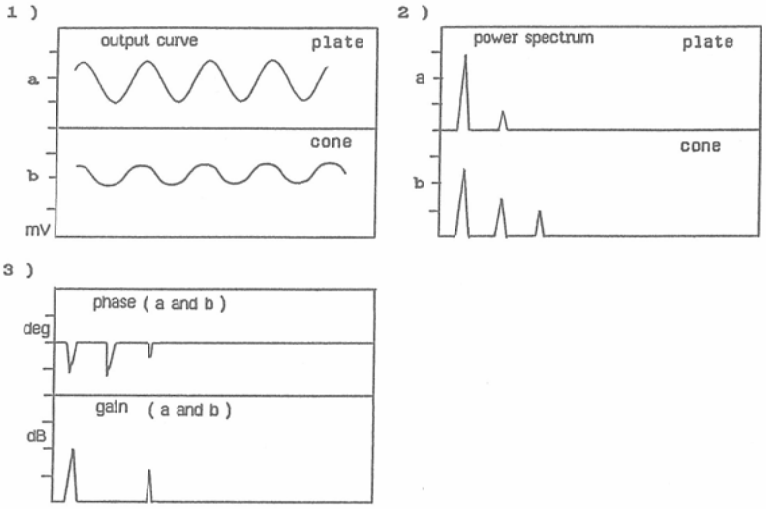

Fig. 7 CRT display of FFT analyzer.
Samples: 50w/v % $BasO_4$ suspension, a: connected to the plate of rheometer, b: connected to the cone of rheometer.

する（Fig. 7）.

表示曲線の第1は，レオメータの入出力波形で（Fig. 7の1），円板に与えた振動とこれにより円錐に生じた動きを表示した.

続いて，両曲線をフーリエ変換したパワースペクトラムが対数表示され（Fig. 7の2），円錐側には，歪みを反映して3倍，5倍周波数などの非線形成分が現われたが，その成分は極めて小さい値であった.

最後に，入出力波形のFFT解析結果は伝達関数として表示され（Fig. 7の3），両曲線の各周波数成分の位相差と振幅比が表示された.

2）バリウム懸濁液の測定解析結果

同一試料に対し，周波数を順次変化させて測定を行い，円錐側に生じた各周波数成分の振幅比（Fig. 8）と位相差（Fig. 9）の表示を行った．Fig. 8, 9には，50w/v%純硫酸バリウム懸濁液の測定結果を例示したが，各周波数成分の位相差は，ほぼ35度前後の遅れが認められた.

3）各試料懸濁液の濃度別G′およびG″曲線

同様の手順で，各試料懸濁液の各濃度について測定と解析を行い，各測定結果より最終的に算出したG′およびG″を，周波数を横軸にとり，表示した.

a）純硫酸バリウム懸濁液（Fig. 10）

懸濁液濃度50w/v%では，G′, G″はともに小さく，G′は0.2Hzで3dyne/cm²，1.0Hzで1dyne/cm²，G″は0.2Hzで5dyne/cm²，1.0Hzで7dyne/cm²と両者とも周波数に対しほぼ水平であった.

100w/v%では，50w/v%懸濁液に比し，G′は微増に留まったのに対し，G″は0.2Hzで51dyne/cm²，1.0Hzで42dyne/cm²と著明な増加を示し，周波数に対しては，両曲線とも凹型を描いた.

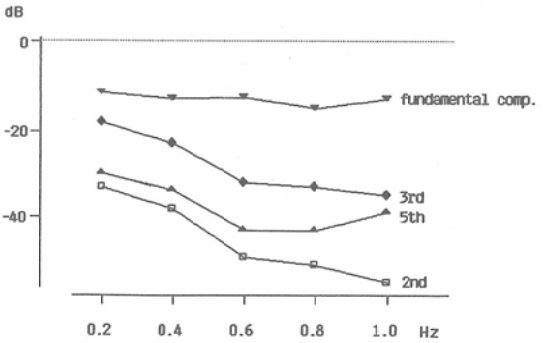

Fig. 8　Relation of frequency between plate and cone. The fundamental component and the other harmonics in each frequency.
Samples : 50w/v % pure $BaSO_4$ suspension.

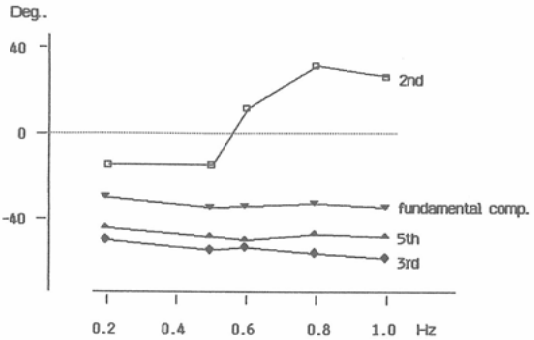

Fig. 9　Relation of phase between plate and cone.
Samples : same as those in Fig. 8.

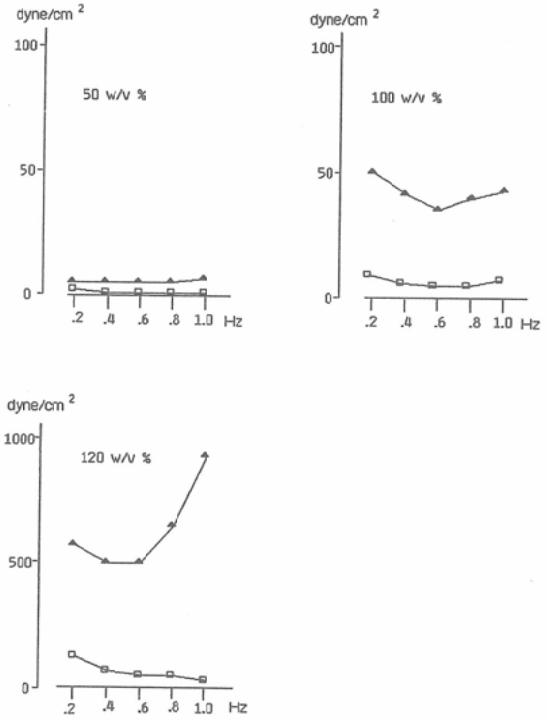

Fig. 10　Frequency and G′ (□) G″ (▲).
Sample : pure $BaSO_4$ suspensions of 50, 100, 120 w/v %.

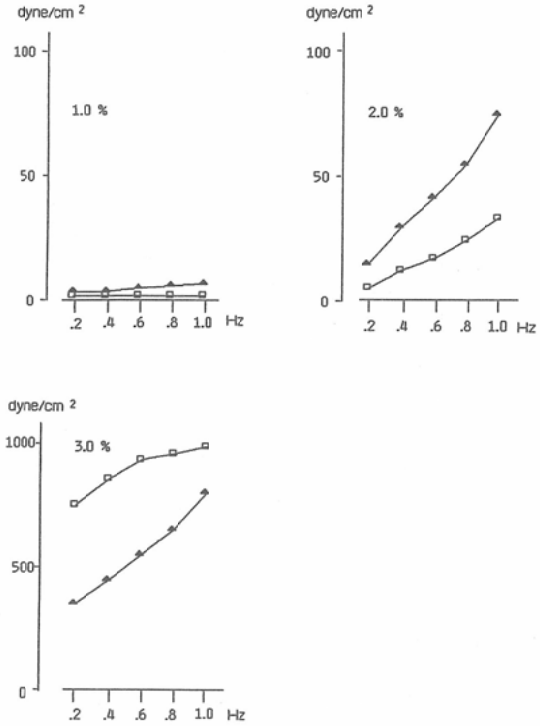

Fig. 11　Frequency and G′ (□) G″ (▲).
Sample : aqueous tragacanth solutions of 1.0, 2.0, 3.0%.

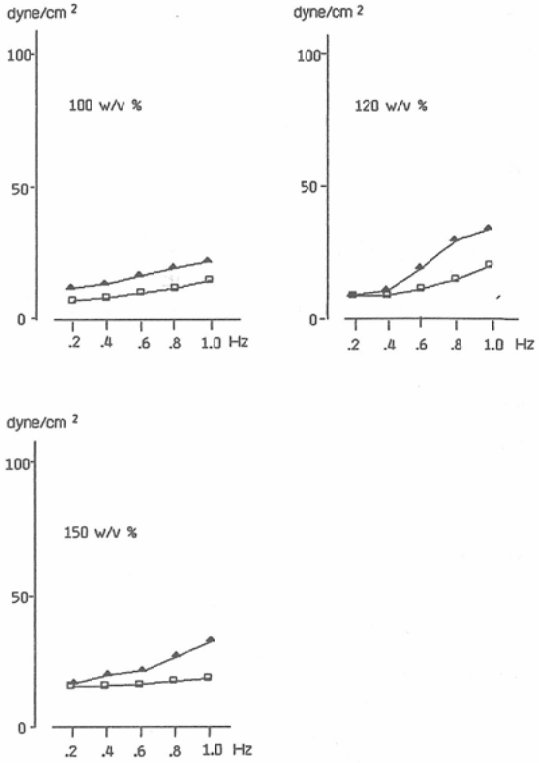

Fig. 12　Frequency and G′ (□) G″ (▲).
Sample : $BaSO_4$ suspensions 100, 120, 150w/v % tragacanth 0.25%.

120w/v%では，G′, G″とも更に増加したが，G′は0.2Hz で138dyne/cm²,周波数が増えるにつれ下降し1.0Hz では21dyne/cm²であったのに対し，G″は0.2Hz で580dyne/cm²，1.0Hz では920 dyne/cm²と著しく増加，周波数に対しては凹型曲線を描いた．

即ち，純硫酸バリウム懸濁液では，G′, G″いずれも，濃度の上昇とともに増大したが，G′の増加に比して，G″の増加が顕著であった．

b）トラガント水溶液（Fig. 11）

水に対する重量比１%では，G′, G″ともに小さく，0.2Hz において G′, G″は2dyne/cm²で，G″は周波数の上昇とともに若干上昇したが G′は殆ど変化がなかった．

２%では，１%水溶液に比して，G′, G″とも増加したが，G′よりも G″が常に大きく，曲線はいずれも周波数の増加につれて上昇した．

３%では，G′, G″ともさらに増加し，両曲線とも周波数に対しては同様に上昇曲線を描いたが，G′の増加が大きく，いずれの周波数に於いても G′が G″を上回った．

即ち，トラガント水溶液では，G′, G″とも，周波数，濃度に対して上昇曲線を示したが，濃度の上昇とともに G′の増加がより顕著となり，G′, G″値の関係が，３%水溶液では１%，２%水溶液の場合とは逆転した．

c）添加量0.25%製剤（Fig. 12）

G′, G″とも，100～150w/v%懸濁液では，周波数に対して，大差のない上昇曲線を示し，G′は，それぞれ0.2Hz で8, 9, 10dyne/cm², 1.0Hz で12, 18, 14dyne/cm²，G″は，それぞれ0.2Hz で10, 9, 12 dyne/cm², 1.0Hz では18, 29, 29dyne/cm²であった．

添加量0.25%製剤では，懸濁液濃度にかかわらず，G′, G″とも比較的小さいが，常に，G″が G′よ

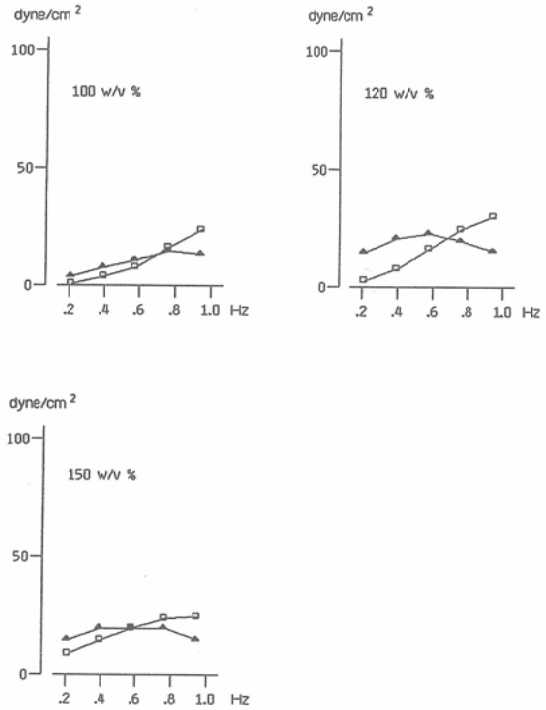

Fig. 13 Frequency and G′ (□) G″ (▲).
Sample : $BaSO_4$ suspensions 100, 120, 150w/v % tragacanth 0.35%.

り高値をとり，周波数の上昇につれて増大した．

d）添加量0.35%製剤（Fig. 13）

G′は，100～150w/v%懸濁液で周波数の増加につれて上昇曲線を描き，それぞれ0.2Hz で2, 5, 9 dyne/cm², 1.0Hz では24, 35, 24dyne/cm²であった．G″は周波数に対して凸型の曲線を描き，それぞれ0.2Hz で4, 18, 17dyne/cm², 1.0Hz で15, 18, 17dyne/cm², 凸型の頂点ではそれぞれ0.8Hz で17dyne/cm², 0.6Hz で24dyne/cm², 0.6Hz で20 dyne/cm²であった．

添加量0.35%製剤では懸濁液濃度にかかわらず，G′, G″ともに比較的小さく，しかも，G′が周波数に依存して上昇曲線を描くのに対し，G″は凸型の曲線を描き，測定周波数の中央付近で両曲線の交叉がみられた．

e）添加量0.50～1.25%製剤（Fig. 14～17）

添加量0.50%以上の試作製剤では，添加量の増加，懸濁液濃度の上昇とともに，G′, G″とも増大した．

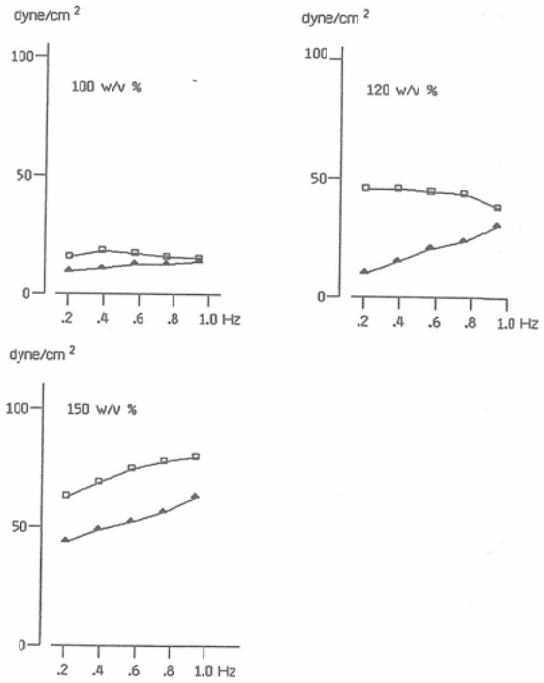

Fig. 14 Frequency and G′ (□) G″ (▲).
Sample : $BaSO_4$ suspensions 100, 120, 150w/v % tragacanth 0.50%.

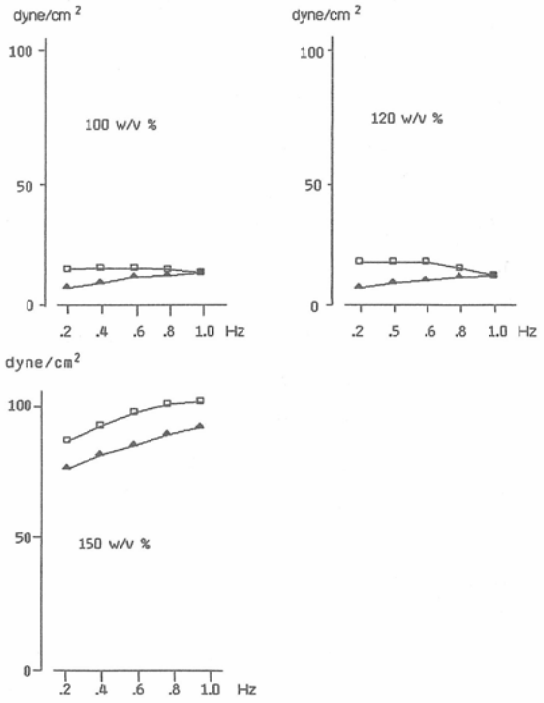

Fig. 15 Frequency and G′ (□) G″ (▲).
Sample : $BaSO_4$ suspensions 100, 120, 150w/v % tragacanth 0.60%.

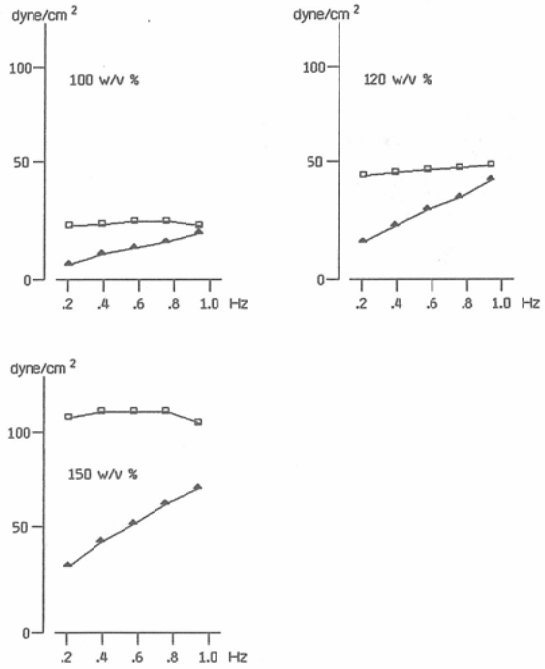

Fig. 16　Frequency and G′ (□) G″ (▲).
Sample : $BaSO_4$ suspensions 100, 120, 150w/v % tragacanth 0.80%.

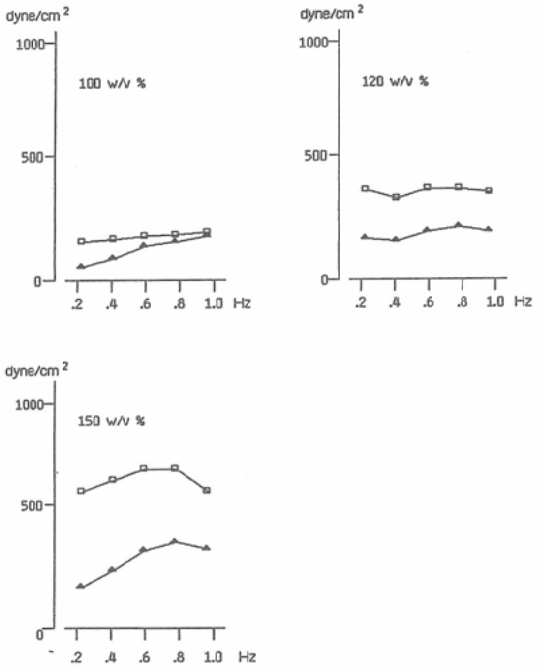

Fig. 17　Frequency and G′ (□) G″ (▲).
Sample : $BaSO_4$ suspensions 100, 120, 150w/v % tragacanth 1.25%.

即ち，添加量0.50%と1.25%製剤の100～150w/v%懸濁液では，添加量0.50%製剤のG′はそれぞれ0.2Hzで12, 46, 62dyne/cm², 1.0Hzで11, 37, 80dyne/cm²であったのに対し，添加量1.25%では，G′はそれぞれ0.2, 1.0Hzとも160, 350, 600 dyne/cm²に増大した．また，G″は，添加量0.50%製剤でそれぞれ0.2Hzで7, 12, 46dyne/cm², 1.0Hzで11, 32, 62dyne/cm²であったのに対し，添加量1.25%では，0.2Hzで30, 180, 200dyne/cm², 1.0Hzで160, 200, 350dyne/cm²へと増大した．

0.50～1.25%の添加量では周波数に対し，G″は殆どの添加量，懸濁液濃度に於いて上昇曲線を描いたが，G′は添加量，懸濁液濃度により周波数に対して一定の曲線パターンは示さなかった．G′とG″曲線の関係ではいずれの懸濁液，周波数に於いてもG′がG″より高値を示した．

以上の結果を要約すると，純硫酸バリウムでは，G″が大きく，トランガントの少量添加では，G′, G″とも減少したが，特にG″の減少が大きかった．しかし，添加量0.25%ではG″がG′に対して依然として高値を維持し，添加量0.35%で両曲線の交叉が見られた．添加量がさらに増加すると，G′, G″とも再上昇したが，特にG′の増加傾向が著明となり，G′とG″の関係は純硫酸バリウムや添加量0.25%の場合と逆転した．

3. 展延性実験 (Fig. 18)

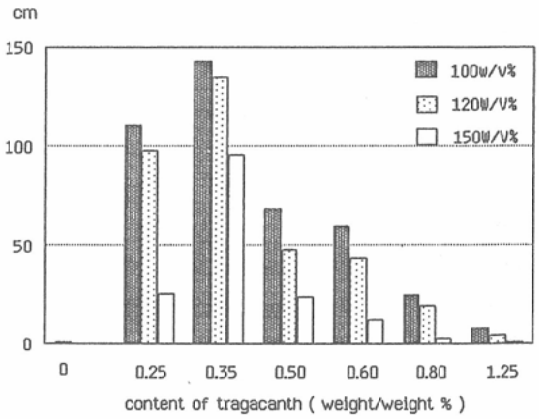

Fig. 18　Results of flow test.
Sample : pure $BaSO_4$ suspensions and various % of tragacanth added.

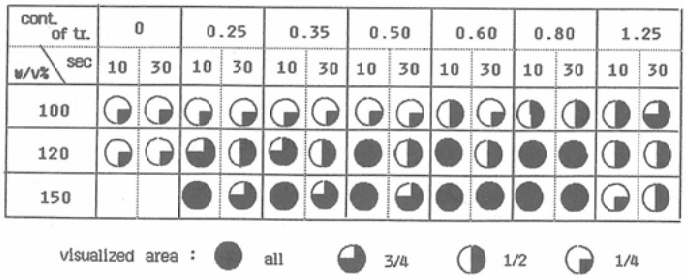

Fig. 19　Results of visualization test of gastric area on model stomach. Double contrast method with suspensions in each content of tragacanth and $BaSO_4$ suspension concentration.

純硫酸バリウムおよびトラガント添加量の多い懸濁液では展延性が悪くなるとともに，同一添加量では懸濁液濃度が高くなるに従い展延性が悪くなった．

最も展延性が良かったのは，いずれの懸濁液濃度でもトラガント添加量0.35%の試作製剤であり，150w/v%懸濁液では95.8cm，120w/v%では134.5cm，100w/v%では143.2cm であった．

4. 付着性実験（Fig. 19）

純硫酸バリウム懸濁液ではいずれの濃度でも胃小区の描出は1/4以下であった．

添加量0.25%と0.35%製剤は，150w/v%懸濁液のみ10秒後4/4の描出率を示し，添加量0.80%までは，添加量の増量について，描出率は向上し，0.80%添加では120，150w/v%で30秒後まで4/4の描出率を示した．しかし，添加量1.25%ではいずれの懸濁液濃度でも描出率は1/2程度に低下した．

IV. 考　　察

1. 添加剤の選択と製剤化の方法

添加剤として使用したトラガント(Tragacanth)は，マメ科の植物 Astragalus gummifer Labillardiere ないしは，その同属植物 Lagumminosa の幹から得た分泌物である．平均分子量は80万と言われ，溶液は弱酸性を示し pH 5 で最大粘度を呈する．

添加剤として，広い pH 域で安定で，特に酸性(約 pH 2.0)で安定性が良い[9)10)]ことなどから硫酸バリウムの添加剤として汎用されている．

添加方法も硫酸バリウム粒子，添加剤の種類，量と同様に造影剤の性能に大きな影響を与える[5)]．しかし製剤に関する報告は Miller[13)]によるものがあるのみで，本邦においては，詳細な方法に関する報告例はない[3)5)]．そのため，最も単純な方法，即ち，純硫酸バリウム粉末と添加剤に水を加え泥状にして練り合せた後，一度乾燥を行い再度粉末状にする方法を採用した．

2. 粘性率，動的粘弾性率の測定

変形と流動に関する科学，すなわちレオロジー[14)~17)]によると弾性率により変形しやすさが，粘性率により流動し易さが表現される．

流体は速度勾配(歪みの変化率 $\dot{S}$)をもって流動し，粘性率は速度勾配と応力 f の関係を表わす．応力と速度勾配が正の直線関係（線形）の流体，即ち粘性率が速度勾配により変化しないものをニュートン流体(Newtonian-fluid)，これ以外のもの(非線形)が非ニュートン流体(non-Newtonian-fluid)と言われる[16)]．硫酸バリウム懸濁液は極端な低濃度のものを除いては非ニュートン流体である[1)6)]．

従って，その粘性率は，速度勾配の大きさ $\dot{S}$ に応じて変化するので，速度勾配 $\dot{S}=75\mathrm{sec}^{-1}$ 即ち二重造影法による造影剤の動きに相当する[6)]場合の粘性率を求めた．

その結果，粘性率は，純硫酸バリウムにトラガントを少量添加することで急激に低下し，添加量0.35%を最低値として，ほぼ0.25～0.80%の範囲で低値を示し，さらに添加剤を増量すると粘性率は再び顕著に増加した．

一般に物質に加えられる外力に対して生じる応力は，物質が粘性体であればニュートンの粘性法則により，速度勾配 $\dot{S}$ と粘性率 η を用いて，$F=\eta\dot{S}$ で与えられ，物質が弾性体であればフックの弾性法則により，歪み S，弾性率 γ より，$F=\gamma S$ で求められる．硫酸バリウム懸濁液を完全粘性体と看做す場合は，その流体力学的性質は粘性率により表現されるが，実際には，完全粘性体や完全弾性体ではなく，粘性的性質と弾性的性質を有しており，応力は，一般的に $F=\eta\dot{S}+\gamma S$ の形の式の適用を受けると考えられる．この γ, η は各々動的弾性率 G' と動的粘性率 G'' と関係をもち，$G'=\gamma$，$G''=\eta\omega$ で与えられる．

ところで，実際の臨床で加えられる外力としては，良好な造影像を得る手技として，反復回転運動（ローリング）を中心とした体位変換の操作が用いられる．そのため，体位変換に相当する外力をレオメータの円板に与え，動的粘弾性率を測定した．

しかし，非ニュートン流体では外力に対する応答が非線形で，外力以外の振動数をもった成分(非線形成分)が応力に含まれてくる[14]．しかし，今回の実験範囲内ではこの非線形成分は小さく，高周波成分を除外して近似的に計算を行った．

結果として，純硫酸バリウム懸濁液ではいずれの濃度でも，G'は小さく，弾性の成分は殆どないが，G''は濃度の増加とともに大きくなった．

これに対し，トラガント水溶液では濃度の上昇につれ G', G'' も大きくなったが，特に G' が大きくなったのに対し，G''は2％，3％でほとんど差が見られず，3％になると G', G'' の両曲線は入替り G'のほうが大きくなった．即ち，濃厚なトラガント水溶液では弾性の性質が強くなった．

試作製剤では，トラガント添加量0.25％では，G''が G' より高い値であり弾性成分が少ないが，0.35％では G'', G' 両曲線が交叉し，それ以上の添加量になると G'は G'' より高値となり弾性成分が増加した．即ち，純硫酸バリウムに対するトラガントの添加とその増量は，懸濁液の弾性的な性質を強くした．しかも，粘性率の測定結果と対応して特徴的であったのは，粘性率が最も低下した添加量0.35％の懸濁液で G'および G'' が交叉した事実であった．

3. 展延性および付着性

展延性は，いずれの懸濁液濃度でも，添加量0.35％で最も延び，しかも硫酸バリウム懸濁液濃度が高くなるほど，添加量0.35％と他の添加量の製剤との差は顕著となった．

付着性については，最終的には臨床における胃小区像での評価が重要であるが，患者の個人差，伸展状態，胃液の量，質などに相違があり，過去の経験から客観的な評価が困難であるので胃ファントームによる評価を行った．臨床での胃内面への造影剤の付着とファントームへの造影剤の付着とが平行するというデータはないので，実際の人体の胃内面への付着性とは必ずしも相関しない可能性もあるが，今回の実験結果から，胃小区の描出率は試作製剤のトラガント添加量を上げ，懸濁液濃度を高くすると良好であった．しかし，更に添加量の多い試作製剤を高濃度懸濁液にすると，造影剤の移動が速やかでなく，均等な造影を得るのが困難となり描出率の低下を招いた．また，添加量が高くなるにつれ，一見良好な造影には見えるが，いわゆる“べったり”とした造影像となり，最終的には添加量をある程度に抑え懸濁液濃度をあげる方が良い結果を得た．

4. 理想的硫酸バリウム造影剤

造影写真は，写真コントラストより表現されるので投与する硫酸バリウムの絶対量が多い高濃度懸濁液が有利と考えられる．しかし，良好な胃の造影を得る為には，懸濁液を複雑にねじれた円筒状の胃内に，くまなく均等に行き渡らせる必要があり，懸濁液の流動性が問題となる．さらに，実際の撮影では，ある程度の操作時間は必要であり，胃壁への付着性と経時的な剝脱状況が，造影写真に与える影響も大きい[13]．

これらの観点から，まず，濃度的には，今回のトラガント添加量の範囲内では，いずれも，150w/v％の懸濁液の調製そのものは可能であり，それ以上の濃度となると添加量が多い試作製剤では，

ペースト状となり，懸濁液の調製そのものが困難なものが多くなった．しかも，実際の臨床症例にあっては，投与された懸濁液は胃液により希釈され，実質的な濃度が低下するので，懸濁液濃度が150w/v%でも必ずしも充分とは言えない面もある．

流動性に関しては，低粘性を指標として，トラガント0.80%前後以上の添加量では，高濃度懸濁液ほど粘性率の急激な上昇が見られ，添加量0.35%が展延性も，良好であった．

動的粘弾性率については，具体的な現象との関係を明確にした文献はなく典型的な粘弾性体の例を示すのみである[15]．しかし，力学的には，G′は，弾性効果にあたる成分で物質に蓄えられるエネルギーと関連をもち，G″は粘性効果にあたる成分で散逸するエネルギーと関連している[14]．従って硫酸バリウム懸濁液にあっては，両者の組合わせが臨床的に低粘性，流動性，付着性に大きく関係すると考えられる．特に，今回の実験結果からは，G′, G″の絶対値の大きさとともに，両者の相対的バランスの相違が，特に高濃度懸濁液では流動現象に大きく関与してくることは十分推測される．この点で添加量0.35%の試作製剤のG′, G″がほぼ等しい低値となり，両曲線が交叉したことは意義深い．付着性については，添加量0.35%の試作製剤の150w/v%では10秒後の完全な胃小区描出を見ており，粘性率，粘弾性率の面からも，さらに高濃度懸濁液の調製は充分可能であり，今回の試作製剤中では最も理想に近いものと考えられた．

V．結　　語

1．局方硫酸バリウムとトラガントを用い添加量別の硫酸バリウム造影剤を試作し，その濃度別懸濁液について粘性率および動的粘弾性率，展延性，付着性を測定した．

2．粘性率は，トラガント添加量0.35%で最低になり，さらに増量すると再び上昇した．

3．動的粘弾性率は，周波数0.2～1.0Hzに於ける各試料の動的弾性率G′，動的粘性率G″として求めた．

局方硫酸バリウム懸濁液ではG′に比し，G″の値が高く，トラガントの添加によりG′, G″は低下，添加量0.35%の懸濁液でG′, G″はほぼ等しい値となり両曲線の交叉がみられた．さらに添加剤を加えることによりG′, G″とも再上昇したが，G′がより高値となった．

また，同一添加量の製剤ではG′, G″とも高濃度懸濁液ほど高値を示した．

4．展延性は，添加量0.35%の試料が最も良好であった．

5．ファントーム実験に於ける胃小区の描出率は，添加量0.60～0.80%の高濃度懸濁液が良い結果を示した．しかし，添加量0.35%の製剤も150w/v%の懸濁液では10秒後まで胃小区のほぼ完全な描出を示した．

稿を終えるにあたり，御指導，御校閲賜りました大阪医科大学放射線医学教室，赤木弘昭教授に深甚なる感謝の意を表しますとともに本研究に御協力戴きました坂田恒彦講師，平井和三講師，河合武司講師，中央研究室の高渕雅広氏，薬剤部の増山幸男氏に深謝致します．また，御協力戴きました教室員各員に感謝します．

なお本論文の一部は第41回および第42回日本医学放射線学会総会，第192回日本医学放射線学会関西地方会にてそれぞれ発表した．

参考文献

1）平井和三：消化管造影硫酸バリウムの基礎的研究．第一編．硫酸バリウムに要求される性質について．大阪医大誌，34：103—111，1975
2）金井　厚，鈴木旦明：造影剤の検討．臨放，11：89—101，1966
3）唐沢信安：硫酸バリウム造影剤の基礎的研究．日本医放会誌，30：237—257，1970．
4）Gelfand, D.W.: High density. low viscosity barium for fine mucosal detail on double contrast upper gastrointestinal examination. American Roentgenology. 130: 831—833, 1978
5）窪田博吉，海老根精二：放射線技師のための消化管撮影技術．159—220，1981，金原出版株式会社，東京
6）林　達信：消化管X線検査用硫酸バリウム懸濁液のレオロジー的研究．大阪医大誌，37：113—125，1978．
7）末沢慶昭：二重造影用硫酸バリウムの基礎的研究—coulter counter法による粒子径の測定を中心として—．日本医放会誌，42：749—761，1982．

8) 平井和三：消化造影用硫酸バリウムの基礎的研究．第IV編．硫酸バリウムの粘度について．大阪医大誌，35：106—123，1976．
9) 松永藤雄，山口　保：消化管のX線診断における造影剤の工夫．臨放，6：302—313，1962．
10) 吉積智司：天然食品添加物の実際知識．159—185，1979．東洋経済新報社，東京
11) 萬谷道夫：新しいレオメータの製作とそれによる若干の測定．材料，22：424—426，1973
12) 定常流粘度・動的粘弾性測定用レオメータ RM-1 取扱い説明書．島津製作所
13) Miller, R.E. and Skucas, T.: Radiographic contrast agents. 1977, University Park Press, Baltimore
14) 後藤康平，平井西夫，花井哲也：レオロジーとその応用．1975，共立出版株式会社，東京
15) 林　静雄：レオロジー，1976，講談社，東京
16) 中川鶴太郎：レオロジー，1980．岩波全書，東京
17) 岡　小天：レオロジー入門．1970，工業調査会，東京