

# 物体表面の法線方向の変化に基づく陰影変化を用いた粘弾性の可視化

青砥 隆仁<sup>1,a)</sup> 向川 康博<sup>1,b)</sup>

## 1. はじめに

物体に外力を与えると変形や流動が生じる。この時、物体の変形のしやすさと物体の流れやすさを併せ持つ性質を粘弾性と呼び、この性質を調べることによって材質や鮮度などが推定可能である。従来、粘弾性を非破壊・非接触で計測するために、音波や空気ジェットによって物体を加圧・加振し、その変位を計測することで物体の粘弾性を計測する手法が開発されてきた。また、近年音波によって振動した物体の模様の変化から物体の粘弾性を推定する手法も開発されている。これらの手法は原理上、物体を共振させ変位を大きくする必要があり、物体を共振させるために物体固有の固有振動数を探索する必要がある。そのため、計測にかかる時間が長いという問題や共振による多き変位で物体自身を破壊する可能性があるといった問題が存在する。そこで、本研究では対象物体表面で生じた変位を直接計測するのではなく、微小変位によって生じた法線方向の変化に基づき鏡面反射方向が変化し、カメラに入射する鏡面反射光の時間的な割合の変化に基づき陰影が変化することを利用し、間接的に物体の粘弾性を推定する方法を提案する。提案手法は、(1) 物体の変位を非接触で計測することが困難な散乱物体の粘弾性を計測可能、(2) 物体を共振させる必要がないため、固有振動数の探索が不要、(3) 共振による塑性変形の危険が少ない、という特徴を持つ。

## 2. 物体表面における法線方向の変化と陰影情報の変化の関係

図 1 に示すように、光源から放射された光は物体表面で鏡面反射しカメラ上で観測される。物体表面が非固有振動数によって加振されている場合、物体表面の変位が十分小さいため変位が無く法線方向のみ変化していると仮定することができる。物体の法線方向の変化が十分大きい場合、カメラの画素に入射する鏡面反射光は図 1 に示すように、

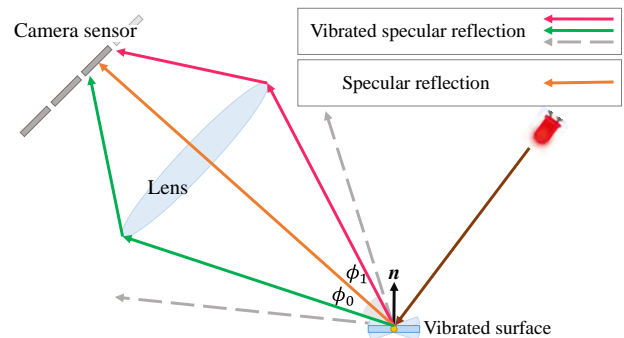


図 1 法線方向が変化する物体表面における光線の反射方向。図中の灰色の点線で囲まれた領域が鏡面反射光が放射される方向の範囲を表す。鏡面反射光は図中の赤と緑の範囲内にある場合のみカメラ上で観測される。

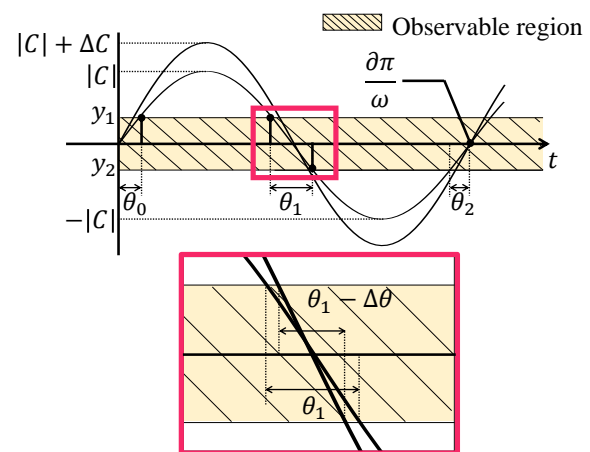


図 2 物体上の変位と観測される領域の関係。図中の  $y_1$  から  $y_2$  の範囲に存在する場合のみ鏡面反射光が観測可能である。

レンズに入射する光とレンズに入射しない光に分類することができる。法線方向の変化に対して観測時間が十分に長い場合、この 2 種類の鏡面反射光がカメラに入射する時間は、図 2 に示すように、物体の変位  $C$  に依存して変化する。物体が加振されていない場合の物体上の明るさを  $I_n$ 、物体が加振されている場合の物体上の明るさを  $I_v$ 、とする。物体上で観測される明るさは以下のように表現できる。

<sup>1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916 番地 5

a) takahito-a@is.naist.jp

b) mukaigawa@is.naist.jp

$$I_v(c) = \alpha S(c) + G(c), \quad (1)$$

$$I_n(c) = S(c) + G(c) \quad (2)$$

ここで  $S$  は鏡面反射光成分、 $G$  は拡散反射成分、 $\alpha$  は鏡面反射光が観測される時間に依存する割合を表す。振幅を  $\beta$  倍だけ微小変化させた場合、物体上の明るさは以下のように表現できる。

$$I'_v(c) = \beta\alpha S(c) + G(c) \quad (3)$$

式 (2)、(3) より鏡面反射光がカメラに入射する割合  $\alpha$  を計算できる。 $\alpha$  は物体の粘弾性に依存する相対的なパラメータでもあるため、 $\alpha$  を計算することにより物体の粘弾性の変化を計測することが可能となる。

### 3. 実験

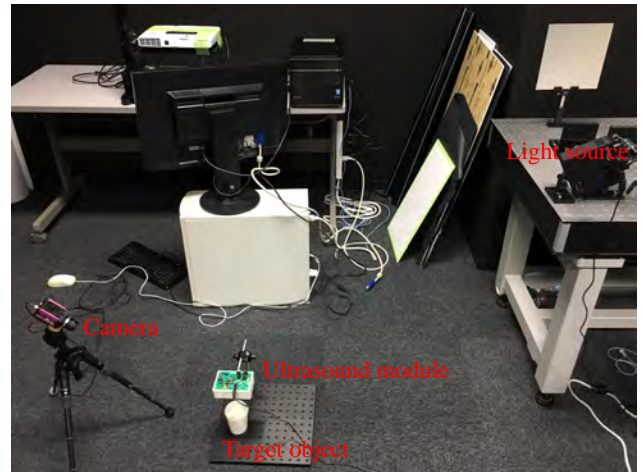
図 3 に示すような環境において、光源であるプロジェクタの光が正反射する方向にカメラを設置する。対象物体にはシャボン玉の原液を牛乳によって濃度を变化させたものを用いた。また、物体を加振するために図 (3)b に示す超音波モジュールを用いた。図 (3)c に示すように超音波の力は 0.5g 程度の力で物体表面を加振可能である。図 4 に対象物体および入力に用いた三枚の画像、実験結果を示す。また図 5 に濃度の変化に対する粘弾性の変化を示す。牛乳の濃度を濃くしていくに連れ粘弾性が低くなっていることが確認できる。ただし、提案手法は物体の陰影変化に基づき物体の粘弾性を推定しているため観測されるノイズに対して実験結果が大きく変化する。

### 4. まとめ

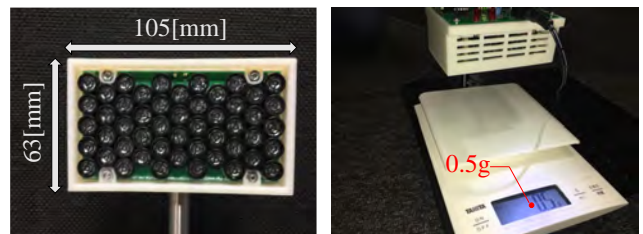
本研究では超音波センサを用いて物体表面を加振し、鏡面反射光の時間的な変化による物体表面の陰影変化から物体の粘弾性の相対的な割合を求める手法を提案した。実験により物体の粘性の変化に伴い陰影が変化することを確認した。今後の課題として直接物体の粘弾性を計測する方法との定量的な比較をする必要がある。また、鏡面反射だけでなく透明な液体の屈折を利用して粘弾性を計測する方法が考えられるためこれらの方法についても検討していく必要がある。

### 謝辞

本研究の一部は総務省 SCOPE 特別枠「異能 (inno)vation」による。



(a) 実験環境。



(b) 超音波モジュール。

(c) 超音波の力。

図 3 実験に用いたカメラの構成および実験環境。

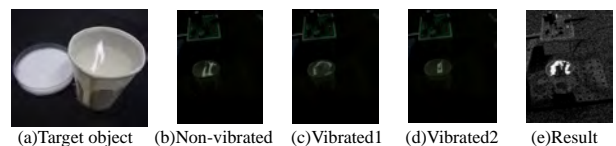


図 4 対象物体および入力に用いた画像および実験結果

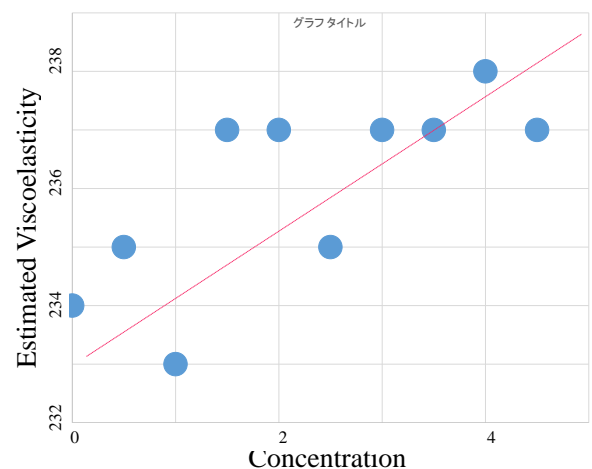


図 5 濃度の変化に対する粘弾性の変化。