

球状ゲルの衝突と跳ね返り

富山県大 工学部 田中良巳¹

お茶大 理学部 奥村剛

1 はじめに

球体の衝突は、スポーツ科学、固体力学、惑星科学など広範囲の研究分野に関わる古くて新しいテーマである。ソフトマター物理に関連した話題としては、粉体動力学をミクロレベル（一粒子という意味で）から基礎付ける目的で行われた固体球の衝突に関する研究や、超撥水面への水滴の衝突に関する研究等を挙げることが出来る。ここでは、ソフトマター物理と衝突が関係する一つの例として球状ゲルと固体基板との衝突について述べる [1]。

2 ゲルの衝突過程

弾性率が異なる4種のアクリルアミドゲルを試料として用いた。これらを弾性率の低いものから、BIS4、BIS10、BIS15、BIS20と呼ぶことにする（BISは架橋剤を表す）。これらの試料のYoung率 E （単位は $\times 10^4 [\text{Pa}]$ ）は各々1.24、2.71、3.87、4.56である。球状ゲルを作成し、高さ h から自由落下させて基板と垂直に衝突させ、接触過程を高速CCDビデオカメラで記録した。図1に、最大変形に達した時のゲルが示されている。最大変形時の形状は、衝突速度 V （この値は $\sqrt{2gh}$ によって決定した）に応じて3つに分類される。図1(a)は V が十分遅い条件における記録画像で、変形は基板との接触部分付近に局在している（Hertz 領域）。図1(b)は中間的な衝突速度におけるもので、変形がゲル球全体に及んでいる（Ellipsoidal 領域）。図1(c)はさらに大きな衝突速度におけるもので、ゲル球

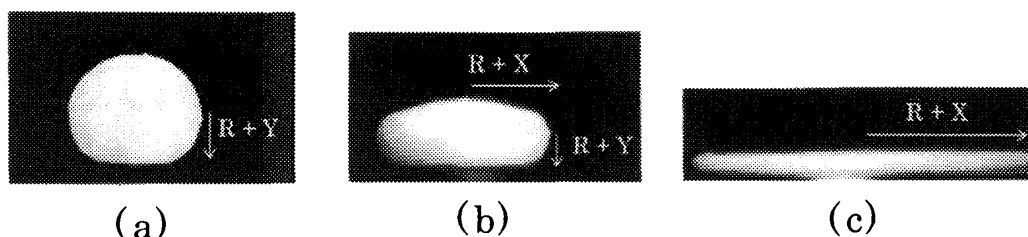


図1: 最大変形時のゲルの形状（半径 $R=31.5\text{mm}$ ）。(a) は BIS10 で $V < 0.4\text{m/s}$ 、(b) は BIS4 で $V=2.0\text{m/s}$ 、(c) は BIS4 で $V=7.0\text{m/s}$ 。

¹E-mail: ytanaka@pu-toyama.ac.jp

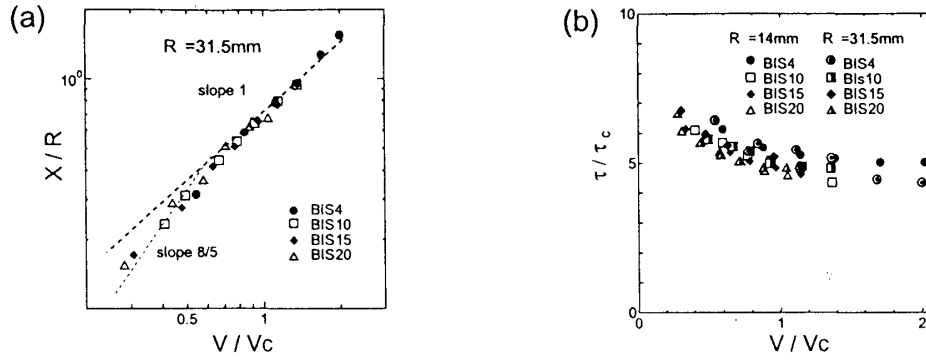


図 2: (a) 最大変形時における横方向のサイズ変化 X と衝突速度 V の関係を示す無次元化プロット。(b) 接触時間 τ と衝突速度 V の関係を示す無次元化プロット。(V_c , τ_c の定義は本文中。)

が薄いパンケーキ状になっている (pancake 領域)。図 2(a) は、最大変形時の横方向の半径の増加 X (図 1 参照) と衝突速度 V の関係をゲル球の半径 R と特徴的速度 $V_c \equiv \sqrt{E/\rho}$ (ρ はゲルの密度) によって規格化してプロットしたものである。図 2(b) は、接触時間 τ (ゲル球の底部が基板と接触している期間) と衝突速度の関係の規格化プロットである。ここで、特徴的時間スケール $\tau_c \equiv R/V_c$ を導入した。以上の結果は、この実験で用いたゲルの衝突挙動が、大変形領域も含め、弾性に関連した量のみによって上手くスケールされることを示している。

3 スケーリング解析

図 2 の結果を、各速度領域でのゲル球の変形モードを考慮したスケーリングによって解析した [1]。詳細は文献に譲り、ここでは、pancake 領域の場合のみを述べる。最大変形時に、ゲル球が貯える弾性エネルギー U のスケーリング形は、 $\{\text{弾性率 } E\} \times \{\text{歪の典型値}\}^2 \times \{\text{歪んでいる領域の体積}\}$ で与えられる。pancake 領域では、横方向への伸張が主たる変形のモードであり、このような変形は球全体に及ぶので、 $U \sim E(X/R)^2 R^3 = ERX^2$ となる。これと衝突前の運動エネルギー $\rho R^3 V^2$ を等値すると、 $(X/R) \sim (V/V_c)$ が得られ、これから、大きな V では、 X と V が比例することが予想される。また接触時間 τ は、水平方向のサイズ変化 X が本質的なので $\tau \sim X/V = \tau_c$ となり、 V に依らない一定値に漸近することになる。これらの傾向は、図 2 において見出される。

ここでは、ゲルの衝突現象について接触時間を中心に述べたが、物理的により興味深い量である跳ね返り係数についても現在研究中である。

参考文献

- [1] Y. Tanaka, Y. Yamazaki and K. Okumura, *Europhys. Lett.* **63**, 149(2003). また、種々の衝突現象に関する研究についてもこの中の参考文献を参照のこと。