

続・紙風船はたたくとなぜ膨らむ

秋田県由利本荘市立大内中学校 科学部
奥山大聖 佐藤珠里 加藤遥奈 遠藤諒 吉尾龍馬 加藤優大 佐々木雄輔

研究を始めた理由

大内中学校科学部は個人ごとにテーマをいくつか持ち寄り、1年間楽しんで研究できるものを絞り込む。その結果、「カブトムシのフンの質量と月の周期との関係」と「紙風船はたたくとつぶれずになぜ大きく膨らむのか」というテーマが残った。紙風船のテーマは、部員の祖父が小さい頃から不思議に思っていた疑問だったそうである。科学部はこの疑問を解き、祖父の疑問に答えるべく実に3年間かけてこの魅力的なテーマを追った。この作品は、最後の1年間の研究報告である。

研究の目的

研究着手2年目の結論は、「紙のしわやへこみがつくり出す弾性と形状維持がその体積を大きくする」「中の空気の振動がその体積を大きくする」であった。以上の結果をふまえ、今年度は紙風船の紙のしわやへこみの持つ弾性と形状を維持する原因をもっと深く追求した。

研究の方法

- ① 紙風船をたたく音を集音し、低周波成分を分析する。
- ② 同じ力で紙風船をアタックすることのできるアタッキー3号機で紙風船をたたき、体積変化を3Dスキャナで測定する。
- ③ 体積がどのように大きくなるかではなく、へこんでいる部分の体積がどのように小さくなっていくのかに注目し考察する。
- ⑤ マクロな結果をミクロな視点から考察し、紙風船の物理的变化を熱力学の学習から考察する。

研究の結果

紙風船のサイズやしわ、へこみが千差万別であるにもかかわらず、体積変化が単純な指数関数的膨張曲線で表される。たたくことで表れる紙風船の音の振動波形は広い範囲の周波数を含んでおり、紙表面のしわやへこみの振動は複雑である。紙風船がたたかれたときのエネルギーは、紙の振動に変わり、短い時間(約30ms)紙風船の表面はエネルギーの高い状態にあることが音の波形やハイスピードカメラ映像から分かる。

研究から分かったこと

マクロな実験結果に現れた現象（図 1,2）は、たたくことによって、ミクロな素片である「曲面素片の数」から「平面素片の数」に指数関数的に変化することで説明できる。これらのグラフには、ミクロな素片の統計的なふるまいが表されていると考えられた。特に（図 2）のグラフからは、はじめにあった曲面素片で構成される体積のみが紙風船の体積膨張の原因を握っていることが分かる。なぜなら、しわやへこみの体積が前にあったその 90% に次々と変化しているからである。僕たちは、紙表面のしわやへこみの変化をミクロな視点から考察した。そして、それを構成する素片（図 3 のように紙の表面をどんどん細かくしたもの）が元々持っているエネルギーの違いに着目した。そして、曲面素片の持つエネルギーが平面素片の持つエネルギーよりも大きいことが、たたくと膨らむ原因の一つになっているということに気がついた。このことから（図 4）のように、たたくというエネルギーを平面素片と曲面素片の両方が受けたとしても、元々持っているエネルギーの大きな曲面素片の方が変形可能なエネルギーまで達することができ、平面素片に落ち着くと考えられた。以上のようなミクロな視点の考察で、僕たちが行った実験結果が説明できることは興味深い。

まとめ

今年度の研究はミクロな視点で考察する点で、とても難しかった。しかし、アタッキー 3 号機と 3D スキャナが僕たちの研究の武器となった。また、膨張曲線の考察を「しわやへこみ」の体積に置き換え、視点を変換したことが研究の鍵となった。分からないことは文献で検索した。また、北海道大学名誉教授である山崎巖先生や佐々木陽一先生にアドバイスをいただくこともできた。夏休みには北海道大学に 2 泊 3 日の勉強合宿を行い、充実した時間を過ごすことができた。大内中学校へも何度も御来校いただいた。僕たちのあきらめない姿勢が、研究を楽しく充実したものにつなげたのではないかと思う。

60 年前、東大の 7 名の先生で構成されたロゲルギストたちがまとめた紙風船の研究には、「球体が一番安定した状態である」と書かれていた。僕たちの実験結果からも同じことが言える。球体は、たたいてもそれ以上変化しないからである。「縮んでいる紙風船は不安定である」とも言える。たたくという活性化エネルギーを加えると、指数関数的にしわやへこみから平面へ一方向に変化し、その体積が大きくなっていくからである。これらは、熱力学第二法則に従っていると考えられる。普通は、時間と共に指数関数的変化が表れるのに対し、僕たちの紙風船のへこみはアタックで変化していたのが不思議だった。

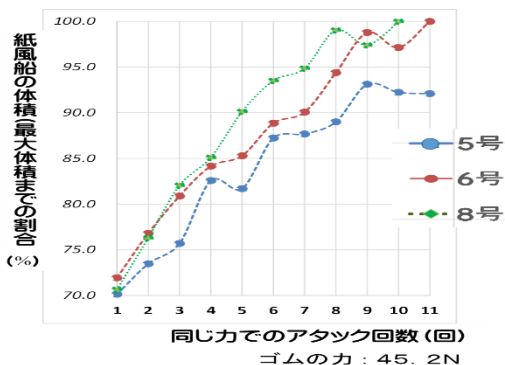


図1 5, 6, 8号紙風船の膨張曲線
 同じ力でたたいた紙風船の膨張

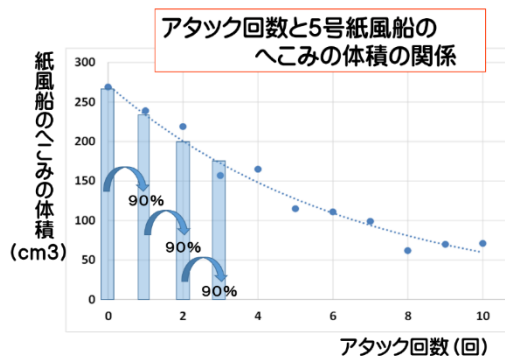


図2 5号のへこみの体積膨張変化
 はじめのへこみの90%に変化

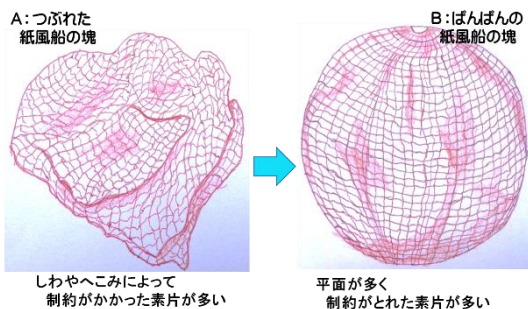


図3 しわの素片 → 平面素片
 一方向の変化が起こっている

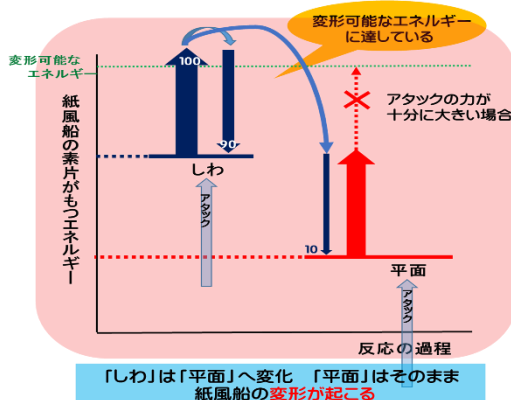


図4 素片が持つエネルギー
 ミクロな視点でエネルギーを考察