

物体の表面構造と温まりやすさの相関関係の解明

石川県立金沢泉丘高等学校理数科

池永 美宙 片岡 律貴 駒形 圭吾 本多 翔 楊 晨鑫

要旨

同じ物質でできた物体であっても、表面の構造の違いによって温まり方が異なるのではないかと思い、研究を始めることにした。本研究では、平らなゴム板とくぼみのあるゴム板を用意し、表面温度が上昇しにくい構造を考察した。その結果、同じ材質であっても、平らな物体よりくぼみのある物体のほうが温度上昇しにくいことがわかった。

1. 研究背景・目的

自動車のハンドルにおいて、表面に凹凸が多いほうが表面の温度が高くなりやすいという話を聞き（真偽の程は定かでないが）、表面構造と表面温度の関係に興味を持った。そこで、本研究で物体の表面構造と温まりやすさに相関関係があるのかどうかの解明を目指すこととした。また、仮に相関関係があると判明した場合は、どのような原理で相関関係を生じているのか、ということや、どのような形状だと温まりにくいのか、ということを追究していきたい。この研究が発展した場合の応用例を挙げるとするならば、公園の金属製の遊具の表面を温まりにくい形状にすることで夏場に遊具が過度に熱くなるのを防いだり、都市部の道路表面を温まりにくい形状にすることでヒートアイランド現象を抑制したりできる可能性があると考えられる。

2. 目的

物体の表面構造と温まりやすさの間に相関関係が存在するのかを確かめる。また、相関関係の存在が認められた場合は、それが生じる原理や、どのような表面構造だと温まりにくくなるのかを解明する。

3. 仮説 1

同じ物質でできた物体では、表面にくぼみがあるもののほうが平らなものより温まりにくいと考える。

4. 実験 1

4-1. 実験方法 1

① 実験手順

実験 1 では、仮説を確かめるために、以下の

- ゴム板 A (100mm 四方、厚さ 10mm、質量 102.9g)
- ゴム板 B(ゴム板を貫通する直径 10mm の穴 16 個が等間隔に空いている、縦 100mm、横 87.4mm、厚さ 10mm、質量 102.9g)
- 縦 31.5cm、横 38.0cm、高さ 23.0cm の段ボール箱
- 白熱電球
- 放射温度計

を用いて実験を行った。段ボールで覆った密閉空間中で、白熱電球によって一定の距離からそれぞれのゴム板を加熱した。実験開始から 5 分ごとに段ボールの覆いを一定時間外し、放射温度計でゴム板の温度を計測しながら、1 回の実験で 1 時間加熱を続け、合計 11 回実験を行った。

② 実験器具

写真1 ゴム板 A



写真2 ゴム板 B



写真3 電球付き段ボール



写真4 放射温度計



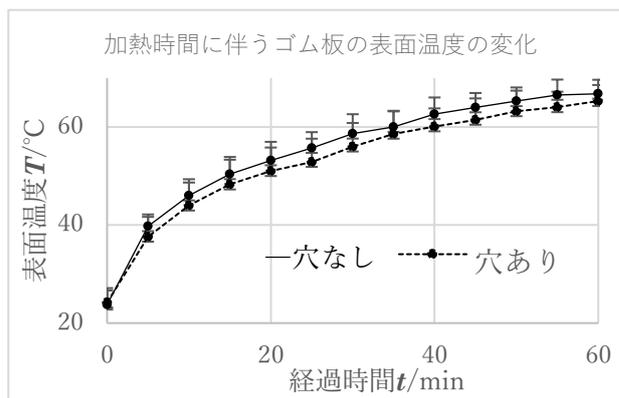
図1 実験1の図



4-2. 実験結果1

- ・平らなゴム板より穴をあけたゴム板のほうの表面温度が上昇しにくかった。
- ・温度差は実験開始後すぐに現れ、時間が経っても温度差の大きさはほぼ変わらなかった。

図2 実験1の結果のグラフ (11回分の実験データの平均値)



5. 考察1

ゴム板に限って言えば、仮説1で予想したように、表面が平らな物体より表面にくぼみや起伏のようなものがある物体のほうが温まりにくいと考える。

また、そういった関係が発生する原因の予想として、以下の仮説2を考えた。

6. 仮説2

表面にくぼみがある物体が平らな物体より温まりにくいのは、くぼみの部分に空気塊が固定されて対流を妨げ、断熱材として振る舞うためである。

7. 実験2

7-1 実験方法2

ゴム板の穴の内部に空気塊が固定されて断熱性を呈しているという仮説を検証するため、実験2を行った。

実験2では、ゴム板を加熱する密閉空間内の空気の動きを可視化するために、段ボールの代わりに透明なガラス製の水槽で密閉空間をつくり、その内部に火のついた線香を入れた。そして、実験1と同様にゴム板を加熱し、ゴム板の温度を測りながら空気の動きを観察した。

7-2. 実験結果2

ゴム板の穴の部分に注目して実験をしたが、煙が穴に留まる様子は見られなかった。

7-3. 考察2

実験2でゴム板の穴に空気塊が固定されていることを示すような結果が得られなかったことから、仮説2で予想した「空気塊の固定による断熱効果」は存在しないと考える。

また、実験2で水槽内の空気が滞りなく循環する様子を見て、くぼみのある物体が平らな物体より温まりにくい原因は、空気の断熱材としての側面ではなく対流による熱輸送の媒質としての側面にあるのではないかと考え、以下の仮説3を考えた。

8. 仮説3

表面にくぼみのある物体が平らな物体より温まりにくいのは、体積や質量に比べて表面積が大きく、周囲の空気に対する熱流量が大きいためである。

9. 検証

9-1. 検証方法

仮説3の検証のため、以下の式1を用いて実験1の結果を再度分析し、実験中に穴があるゴム板と平らなゴム板がそれぞれ赤外放射や対流で失った熱量を算出して、ゴム板の表面積と熱損失量の関係を数値化した。

式1 使用した数式

$$H = F + G$$

$$F[W] = (D - E) \times A \times C$$

$$G[W] = (D^4 - E^4) \times A \times B \times \sigma$$

H:ゴム板が単位時間あたりに失う熱量(W)

F:対流による単位時間あたりの熱損失量(W)

G:放射による単位時間あたりの熱損失量(W)

A:ゴム板の表面積(m²) B:物体表面の放射率

C:外気への対流熱伝達率(W m⁻²K⁻¹)

D:ゴム板の温度(K) E:ゴム板の周囲の気温(K)

σ:シュテファンボルツマン定数(W m⁻²K⁻⁴)

9-2. 検証結果

図4-1, 2で示したように、穴があるゴム板のほうが失った熱量が多かったため、仮説3は実験1の結果との整合性が高いと考えられる。

図4-1 穴ありの場合の熱損失量

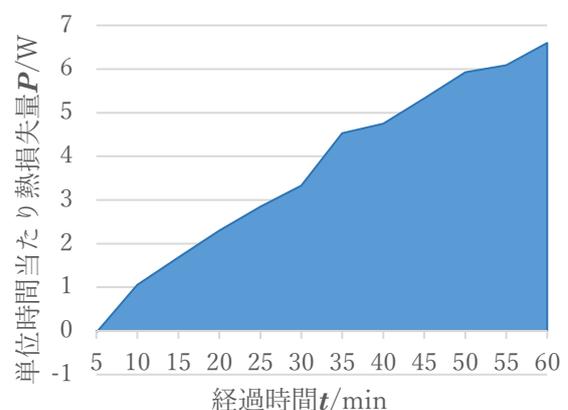
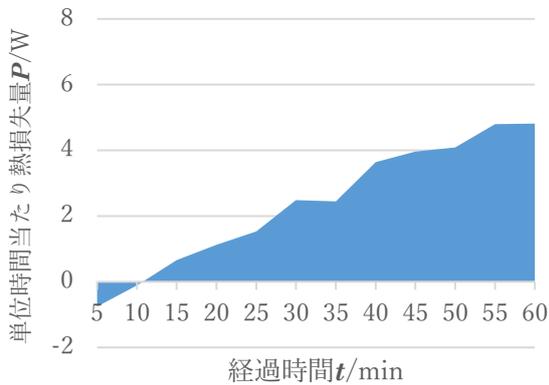


図4-2 穴なしの場合の熱損失量



しかし、実験1では「白熱電球の放射によるゴム板の加熱」と「ゴム板の放射や空気に対する熱伝導によるゴム板の冷却」が同時に起こっており、その実験結果から、「くぼみがあることによってゴム板の冷却のはたらきが大きくなる」という仮説3が有意であると主張するのは些か恣意的であるように思われる。そこで、以下の実験3を行い、仮説3を客観的に検証することとした。

10. 実験3

10-1. 実験方法3

穴があるゴム板と平らなゴム板の冷えやすさの違いを定量化するために、実験1と同じ実験器具を用いて、以下の手順で合計5回実験を行った。

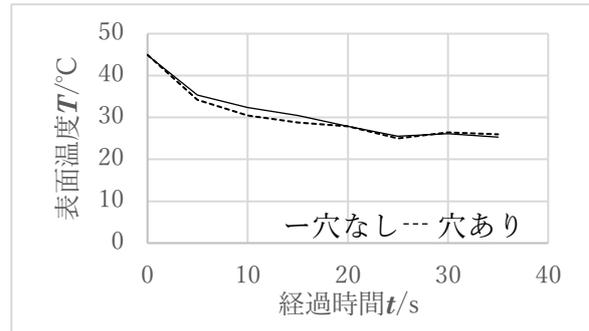
①段ボール箱で覆った密閉空間の中に、穴があるゴム板と平らなゴム板を並べて配置し、白熱電球で45℃付近まで加熱する。

②2種類のゴム板を密閉空間から取り出し、実験机の上に放置して自然に冷却し、5分ごとに放射温度計を用いて温度を測定する。

10-2. 実験結果3

冷却過程で、2種類のゴム板の間に温度差はほとんど生じなかった。

図5. 実験3の結果のグラフ (5回分の実験データの平均値)



11. 考察3

実験3で穴があるゴム板と平らなゴム板の間に冷えやすさの違いが見られなかったのは、実験のデザインに不備があったためではないかと考える。以下、その詳細を説明する。

実験3で加熱後に実験机に放置されたゴム板は、「周囲の空気」と「実験机」の、大きく分けて2つの物体に対して熱伝導を起こしていたと考えられる。ここで、今回使用した2種類のゴム板は平面部分の表面積が互いに等しいので、実験机との接地面積も互いに等しいことになる。よって、2種類のゴム板それぞれの、実験机に対する熱流量の間に差はほとんどなかったということが言える。

以上のことから、実験3は、仮に2種類のゴム板の間に冷えやすさの違いがあったとしても、その違いが実験結果に影響を及ぼしにくいような実験デザインになっていて、仮説3を検証する実験としては不適當であったのではないかと考える。

12. 結論

2種類のゴム板の温まりやすさの違いの原因について言及した仮説2、3の内、仮説2は否定され、仮説3は十分に検証することができなかった。今回の研究で明らかになったことは、考察1で述べた、「ゴム板に限って言えば、表面が平らな物体より表面にくぼみや起伏のようなものがある物体のほうが温まりにくい」ということのみであった。

13. 今後の展望

仮説3の検証を進めたい。実験3の結果のデータから、9. 検証と同様にして、周囲の空気に対する2種類のゴム板の熱流量をそれぞれ求め、それらの大小を比較する、というような手法が有効だと考える。

また、白熱電球で温めた場合、ゴム板は表面から先に温まるため、ゴム板の表面から内部に向かって熱伝導が起きていると考えられる。このこともゴム板の温まりやすさに関連している可能性があるが、今回の研究では考慮できていなかった。これを考慮した研究をすれば、熱電対を用いて加熱中のゴム板の内部の温度変化を調べる、といった手法が有効だと考えている。

14. 謝辞

本研究をご指導して頂いた本校教諭の道下一哉先生、並びに北陸先端科学技術大学院大学特任助教授の小田和司先生に感謝申し上げます。

15. 参考文献

「舗装材の表面特性と表面温度の関連性に関する実験的研究」吉田長裕 西村昂 日野泰雄
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jriet/1972/29/7/29_7_560/_pdf

「熱伝導について」株式会社八光電機
<https://www.hakko.co.jp/>