

立体の形状と立体内部の温度変化

細谷 祐馬 谷 将樹 東原 実咲 溝口 太雅

1. 要旨、概要

世界には様々な形の家があることから、家の形が快適な室温に影響しているのではないかと考え、この研究を行った。研究目的は、立体模型の形状（特に表面積）と立体内部の温度変化について調べることである。

立体模型は、四角錐、かまぼこ型、直方体の3種類を作成した。このとき「熱容量」と、底面にある熱源から「吸収する熱量」を一定とするため、各立体の体積と底面積は同じとなるように計算して模型を作成した。

実験では、熱源（ヒーティングパッドと呼ばれるシート状の金属抵抗）の上に、立体模型を被せ、その上から温度センサーをさし込み、立体内部の温度を測定した。

実験の結果より、立体内部の温度変化は表面積に依存するという私達の仮説が、ある程度はあてはまることが分かった。しかし立体内部の温度測定位置によっては、表面積ではなく、熱源から温度測定位置までの体積が小さい程、温まりやすい結果となった。また熱源から温度測定位置までの体積を一定とした実験では、四角錐、直方体、かまぼこ型の順に温まりにくかった。熱源のスイッチを切って放熱させる実験では、最も表面積の小さい直方体が冷えにくいことが分かった。

このような結果となった理由については、立体の形状が異なれば、表面積だけでなく、温度測定位置と外壁までの距離、また立体内部の空気の対流の仕方が異なるからではないかと考えている。

今後は、立体模型をより大きくし、表面積のみを入力変数とできる様な複雑な立体の形状を考えていきたい。

2. 問題提起、研究目的

私達のメンバーの一人は、以前より建築に興味があり、快適な家を作りたいと考えていた。ここでの快適とは、夏は涼しく、冬は暖かいということである。住宅メーカー等は、外気温の影響を少なくするための「断熱材」や、省エネの面で「通気性」等を中心に研究を続けているようだ。しかし、デザイン重視以外の理由で家の「形」に着目した研究は、インターネット上で検索しても見つけることができなかった。そこで私達は、立体の形状が室温に与える影響について調べることにした。

まず、私達は、太陽のモデルとして白熱電球を熱源に使い、立体模型の周りを少しずつ動かしながら温める実験を行った。しかし、立体内部は十分に温まらなかった。そこで、内部をより高い温度まで上げられるよう、次はドライヤーやホットプレートを用いて実験を行った。しかし、データのばらつきが大きい結果となった。

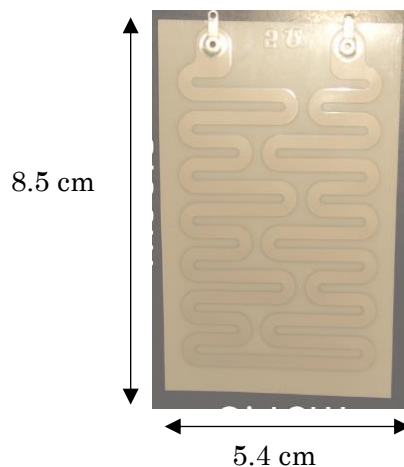
約1年間のこうした試行錯誤を経て、データが最も安定したヒーティングパッドを熱源として用いることにした。これは金属の抵抗線がシート状になった薄い熱源で、床暖房のモデルとして使えるのではと考えた。調べてみると、近年、床暖房の家は増加傾向にあり、実験が成功すれば、この分野等で応用できるかもしれないと思った。

関連する先行研究は、インターネット上で見つけた「温室ハウスの冬季の温度管理・暖房機について」である。この記事には、温室ハウスの表面積が大きくなると空気と触れる面が大きくなり、温度変化が急、すなわち、温まりやすく冷めやすくなると書いてあった。また、温室ハウスの体積が大きくなると熱容量が大きくなり、温度変化が緩やか、すなわち、温まりにくく、冷めにくくなると紹介されていた。しかし、これらは計算上の話であって、実験によって得られたデータから導かれたものではなかった。更に、熱源は太陽や温室内の暖房機であるため、私達の想定とは異なっていた。

私達の実験設定、すなわち熱源が底面のみにある場合、立体の表面積が大きくなるほど表面から逃げる熱が大きくなると考えられる。そこで、立体の体積が等しい場合、表面積が大きいほど熱しても温度が上がりやすく、また熱するのをやめた時は温度が下がりやすいという仮説を立てて、これについて調べることを研究目的とした。

3. 研究方法

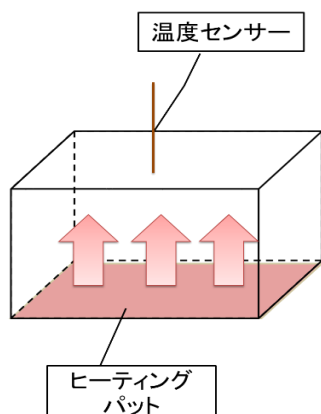
私達は、厚紙を使って四角錐、かまぼこ形、直方体の3種類の立体模型を作成した。のりしろの幅は約1cmで、接着には両面テープを使用した。各立体の体積と底面積は同じにそろえた。各立体の表面積は大きい順に、四角錐(147.25 cm²)、かまぼこ形(128.78 cm²)、直方



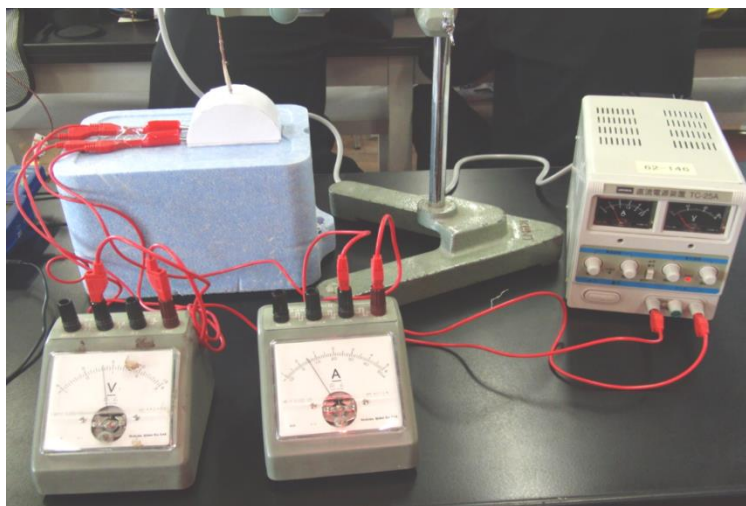
(写真1) ヒーティングパッド

体 (92.85 cm^2) である。

熱源には、これまでの予備実験にて最もデータが安定していた「ヒーティングパット (写真 1)」を使用した。実験では、ヒーティングパットの上に立体模型を被せ、その上から温度センサーをさし込み立体内部の温度変化を測定した (図 1)。電源装置、電流計、電圧計、ヒーティングパットは (写真 2) のようにつないだ。

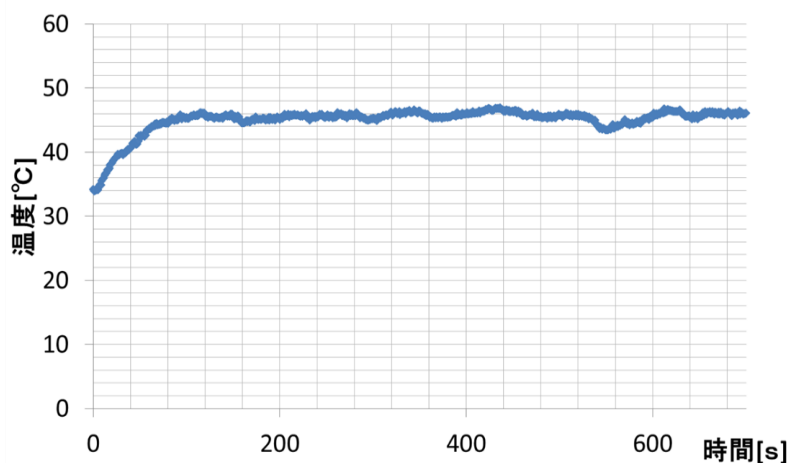


(図 1) 実験のセッティング



(写真 2) 実験の電気回路

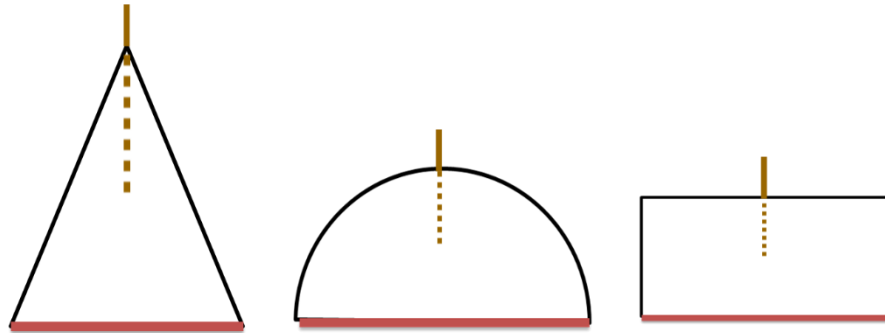
(グラフ 1) は、時間に伴うヒーティングパットの温度変化を示している。抵抗 5Ω のヒーティングパットに 3.5V 、 0.6A の電流をかけたところ、約 100 秒後に約 45°C で一定となった。以後の実験は、この設定を用いて行った。



(グラフ 1) ヒーティングパットの温度変化

実験 1-1

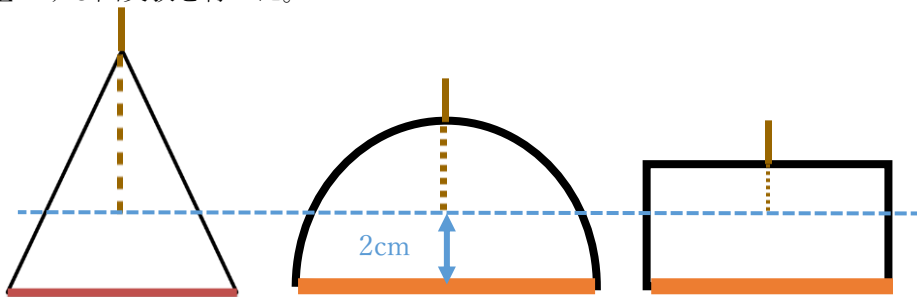
まず、立体の体積が等しければ表面積が大きい順に温まりにくいのか調べた。この時温度センサーの先端 (温度測定部位) は立体の高さの半分の位置に設置した。実験時の立体の断面をイメージした図を (図 2) に示す。ヒーティングパットの表面温度を約 45°C で一定にした後、立体をかぶせて 450s 温めた。実験は、1つの立体につき 2 回ずつ行った。なお、外気温との影響を考え、暗室で同じ日の 1 時間以内にすべての実験を行い、また風の影響を考え、測定中は誰も動かないように注意した。



(図2) 立体内の温度測定位置 (立体の高さの半分で固定)

実験 1-2

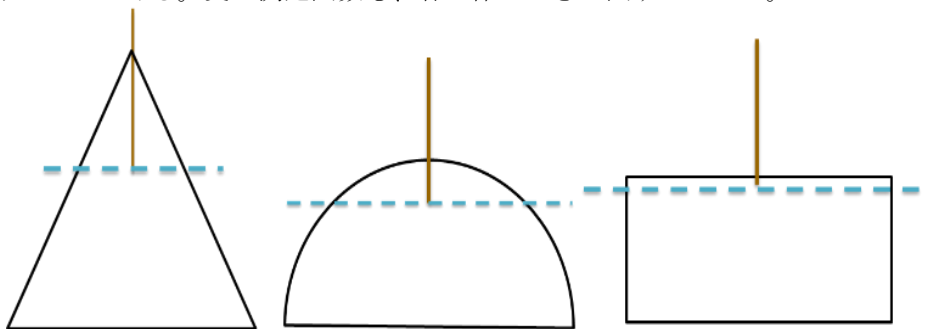
実験 1-1 の結果を受けて、熱源から温度測定位置までの距離が等しければ、温度計は同じような値を示すのかを検証するために、熱源と温度測定位置の距離を 2cm に統一し (図 3)、他の条件は実験 1-1 と変えずに同様の実験を行った。2 回ずつ実験を終えた時点でかまぼこ型の温度変化のばらつきが大きかったため、かまぼこ型のみ 3 回実験を行った。



(図3) 立体内の温度測定位置 (熱源から 2 cm で固定)

実験 1-3

実験 1-2 の結果を受けて、実験 1-3 では、実験方法を以下の 2 点変更した。一つは熱源から測定位置までの体積を等しくしたこと (図 4) で、もう一つは一定時間で電源を切るのではなく温度が一定となるまで温めつけたことである。更に測定回数も、各立体につき 3 回ずつとした。



(図4) 立体内の温度測定位置 (熱源から測定位置までの体積が一定)

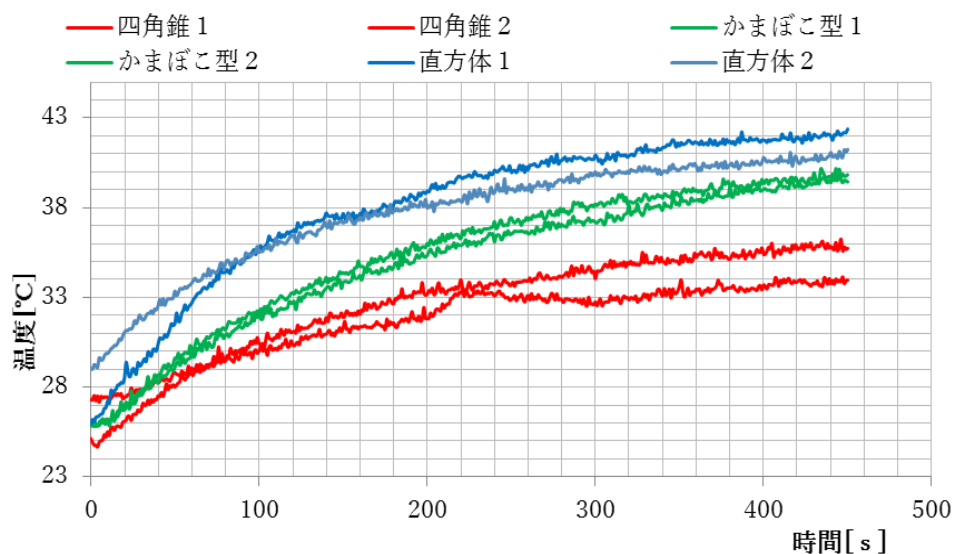
実験 2

実験 2 では熱源の電源を切って、自然に放熱した場合の冷え方について調べた。私達は、体積が等しければ、表面積の大きい順に冷えやすいと考えた。冷え方を調べるためには、初めの立体内部の温度を一定にする必要があるため、まずそれぞれの立体を 40℃まで温めた。このときの温度測定位置は実験 1-3 と同じである。次に電源を切り、その後の 3 分間の温度変化の様子を調べた。

4. 結果

実験 1-1

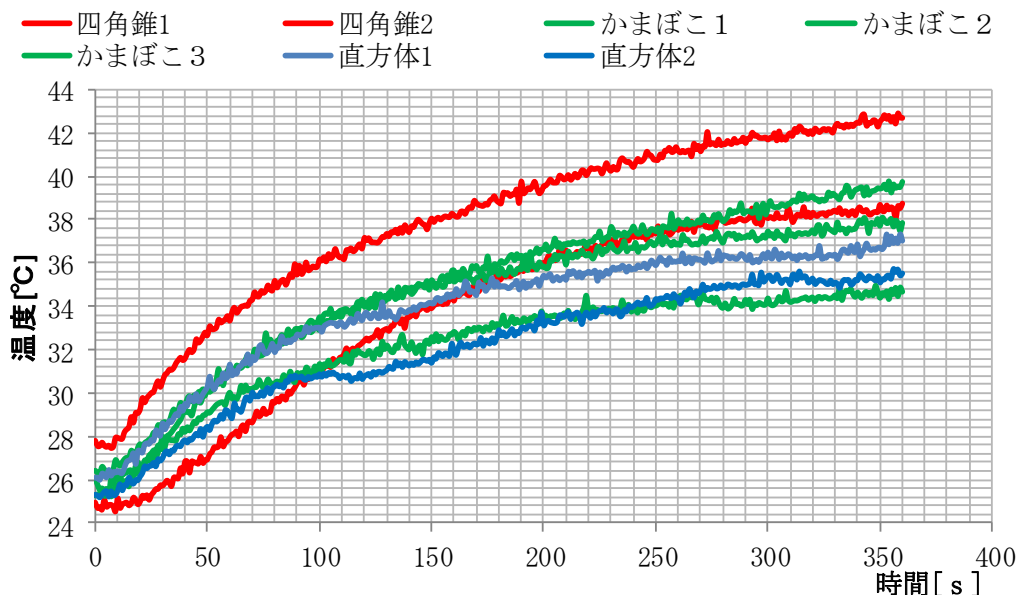
約 45°C のヒーティングパットに立体模型を被せてから 450 秒間の、時間の変化に伴う立体内部の温度変化を、(グラフ 2) に示す。四角錐、かまぼこ型、直方体の順に温まりにくい結果となった。



(グラフ 2) 各立体内部の温度上昇 (温度測定は立体の高さの中心)

実験 1-2

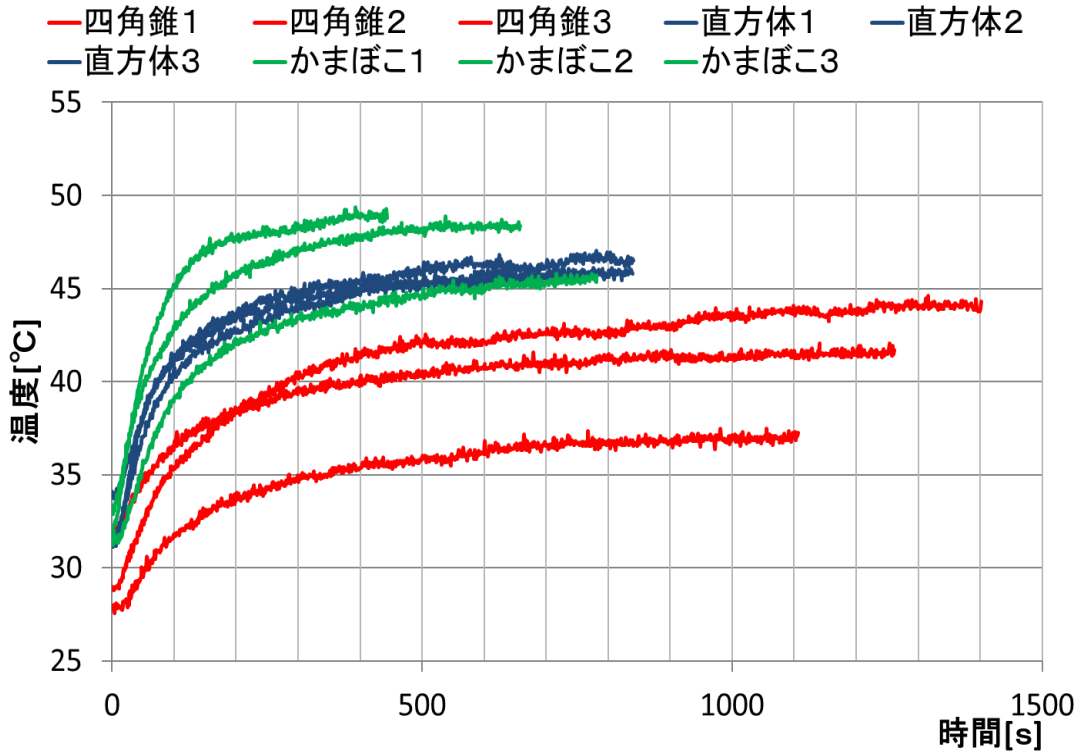
熱源からの距離を 2cm で統一した場合の、時間の変化に伴う立体内部の温度変化を、(グラフ 3) に示す。結果は、直方体、かまぼこ型、四角錐の順に温まりにくいように見えるが、実験 1-1 の結果程データが安定しなかった。



(グラフ 3) 各立体内部の温度上昇 (温度測定は熱源から 2cm)

実験 1-3

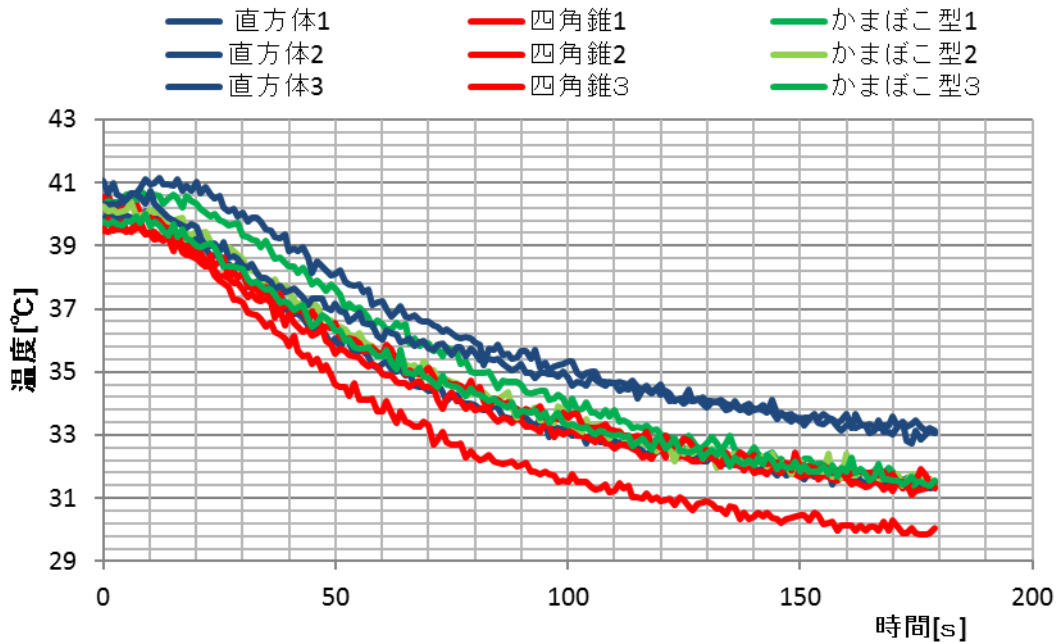
熱源から温度測定位置までの体積を一定とした場合の、時間の変化に伴う立体内部の温度変化を、(グラフ 4) に示す。四角錐が最も温まりにくい結果となった。直方体は結果が安定しており、かまぼこ型はばらついているが最も温まりやすいように見えた。



(グラフ 4) 各立体内部の温度上昇 (温度測定は熱源からの体積一定)

実験 2

熱源の電源を切った後の、時間の変化に伴う立体内部の温度変化を (グラフ 5) に示す。直方体が最も冷えにくい結果となった。



(グラフ 5) 各立体内部の温度降下

5. 考察

実験 1-1 (グラフ 2) では、仮説通り、表面積が大きい順 (四角錐 : 147.25 cm²、かまぼこ形 : 128.78 cm²、直方体 : 92.85 cm²) に温まりにくい結果となった。しかしこの結果は、温度測定位置が熱源から近い順でもあったため、熱の伝わり方において放射の影響が大きい場合は、そのせいでこのような結果になったとも言える。そこで、熱源からの距離を固定した実験 1-2 を行った。

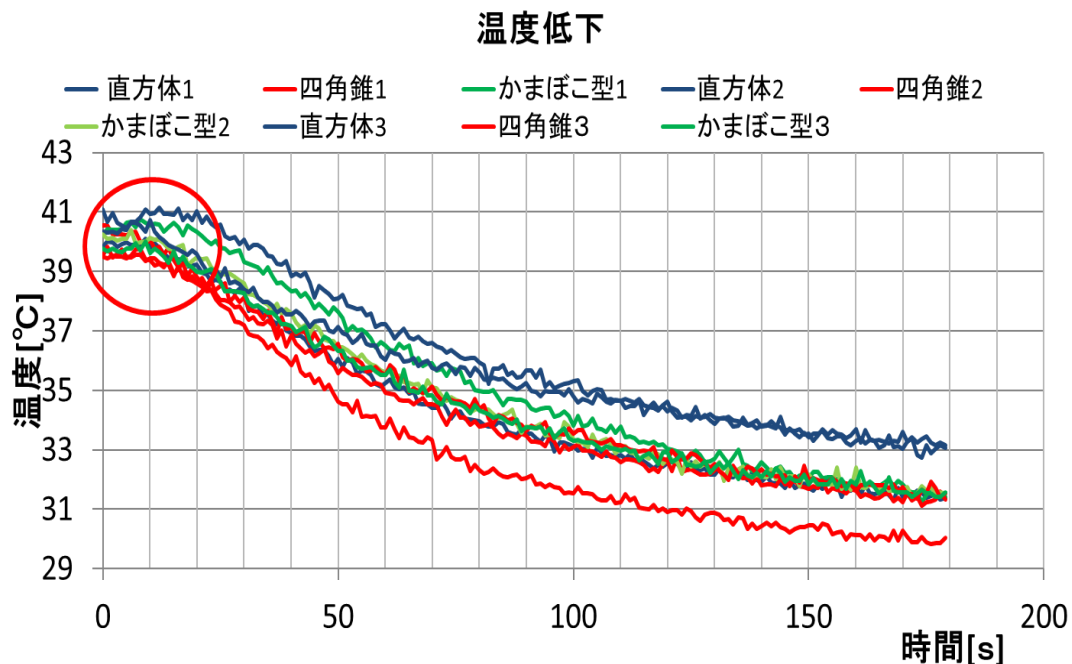
実験 1-2 (グラフ 3) では、まず熱源からの距離を固定しても、立体によって異なる結果となることが分かった。更に、温まりにくさは表面積の大きい順にならなかった。しかしこの結果は、熱源から温度測定位置までの体積が大きい順になっているのではないかと気がついた。そこで、熱源からの体積を一定とした実験 1-3 を行った。

実験 1-3 (グラフ 4) では、最も表面積の大きい四角錐が温まりにくい結果となったが、かまぼこ型と直方体では、仮説通りにはならなかった。ここでは、立体の形状に伴う対流の違いが影響しているのではないかと考えられる。

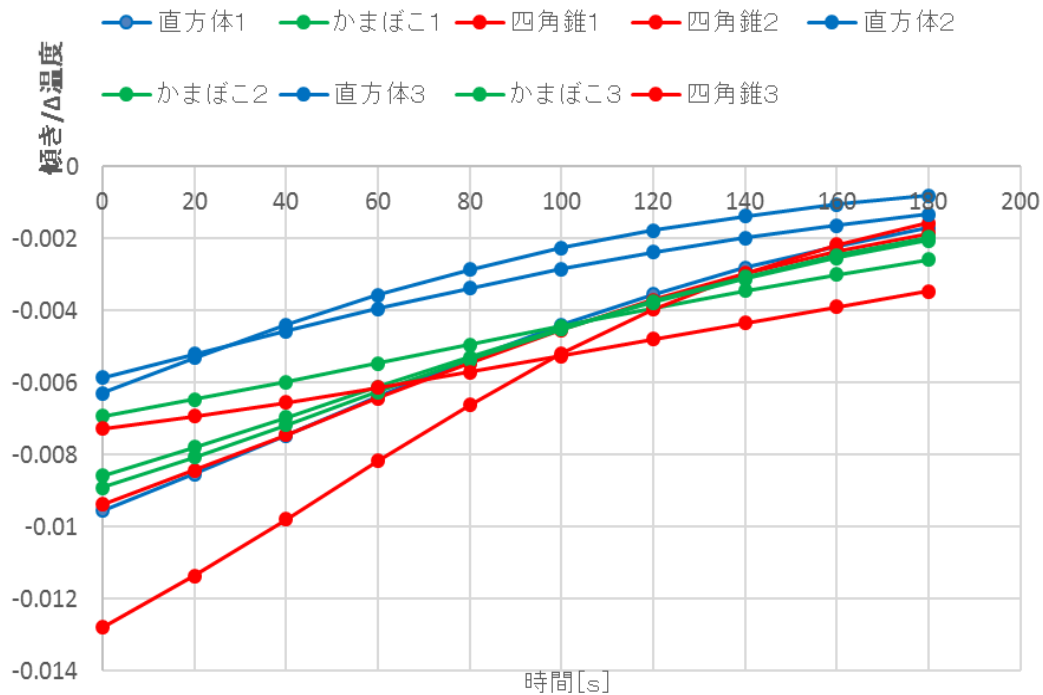
最後に、冷え方について調べた実験 2 (グラフ 5) では、ある程度、表面積の大きい順に冷えやすいという仮説通りの結果となっているように見える。しかし、やはり室温の影響がグラフ上に表れている可能性があると考え、次のような処理を行った。

〈データ処理の方法〉

- (1) グラフのデータから傾きを求めると、誤差が大きくなってしまうため、各グラフの近似曲線をつくる。
- (2) 温度が下がっていない、0~20 秒のデータを除外する (図 5)。
- (3) 20 秒ごとの時刻の中央値における傾き (= 冷えやすさ) を求める。
- (4) 立体と室温との差 1℃ 当たりの冷えやすさを求めるため、先ほど求めた値をその時の立体内部の温度と室温との温度差で割る。
- (5) これまでの作業でできたそれぞれのグラフで、室温との温度差が 10℃ に達した時点を開始点としてグラフを作成する。

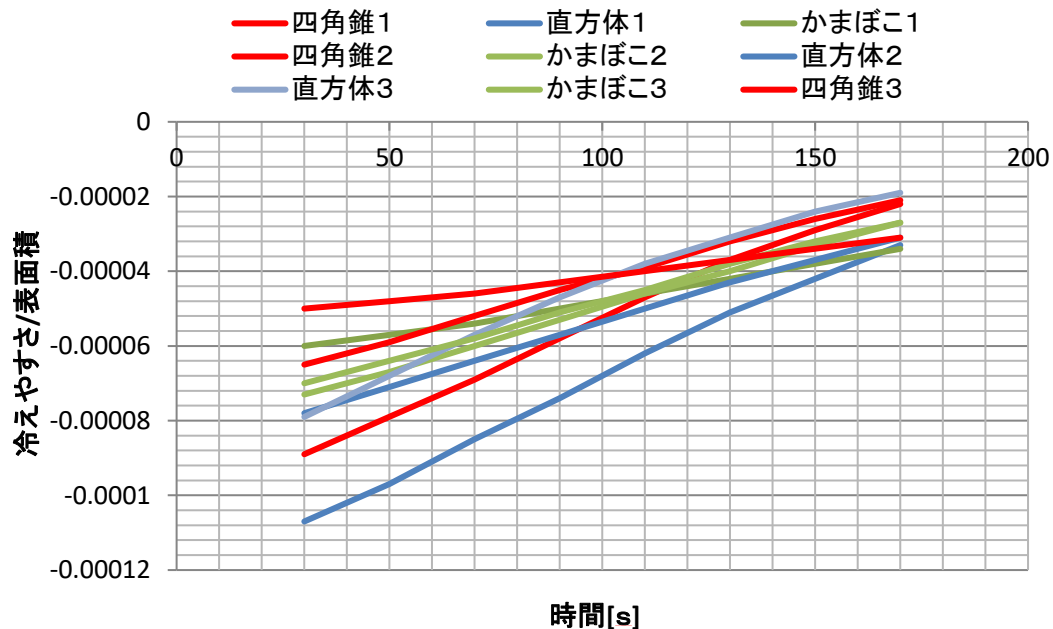


このようにして作成したものが (グラフ 6) である。傾きが負なので、縦軸は下へ行くほど冷えやすいと言える。このグラフより、全ての立体に共通して、時間が経過し室温との差が小さくなるにつれて、冷える速さも小さくなっていることが分かる。また表面積が最も小さい直方体が最も冷えにくいことも分かる。四角錐のデータが最もばらついた理由は、温度測定位置が外壁から最も近いいため、外気の対流等の影響を受けやすいためではないかと考えている。



(グラフ 6) 室温を考慮した温度変化

次に、表面積との関係をより分かりやすくするために、このグラフをそれぞれの表面積で割って、単位面積あたりの冷えやすさを調べたのが(グラフ 7)である。(グラフ 7)より、単位面積あたりの冷え方にはそこまで差がないことが分かる。このことから、冷え方と表面積には関係があるのではと考えている。

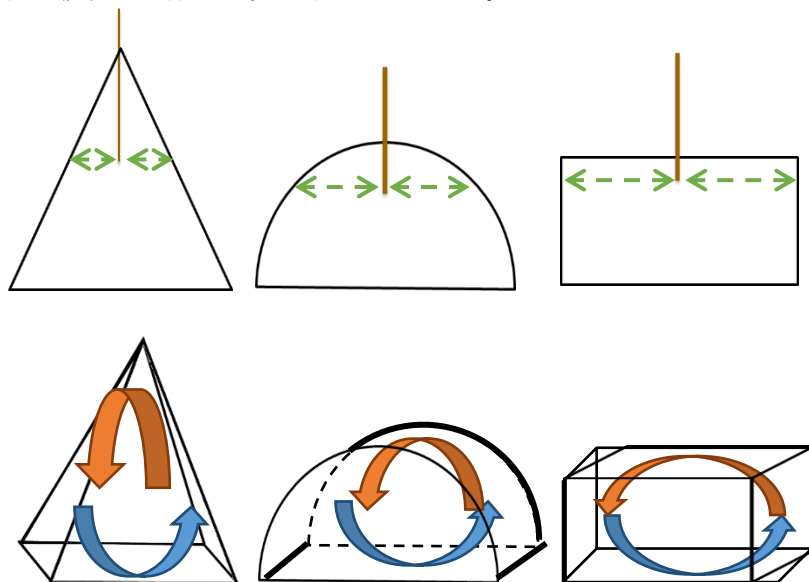


(グラフ 7) 単位面積あたりの冷えやすさ

6. 結論（課題）

以上の実験より、立体の冷え方及び温まり方には、仮説通り表面積がある程度影響していることが分かった。しかし、行った実験の内2つでは仮説と異なる結果が出た。その理由については、今回の実験だけでは分からないが、それぞれの立体で、温度測定位置と外壁との距離が異なることや、立体内部での対流の仕方が異なることが、影響しているのではないかと考えている（参考：図6）。

今後の課題は、よりよい実験の設定を考えることである。たとえば、表面積と温度変化の関係を明確にするためには、本来、立体の形状自体は変えない方が良いが、体積と底面積を一定とした条件の下で表面積を変えようとするれば、形状自体が異なってしまう。今後は、立体模型をより大きくし、表面積のみを入力変数とできる様な複雑な立体の形状を考えていきたい。



（図6）各立体における表面積以外の違い

7. 参考文献

温室・ハウスの冬季の温度管理、暖房機について
<http://www.mirai.ne.jp/~panther/onsitu/danbou.html>

8. 謝辞

御指導いただいた本田一恵先生、佐藤哲也先生、伊賀史郎先生をはじめとして理科・数学の先生方に厚く御礼申し上げます。