

研究レポート

「Marshmallow challenge!

～高く、強度のあるタワーを作りたい！～」

福井県立武生高等学校

研究期間 8月20日～8月22日

きっかけ

英語の授業で初めて挑戦したマシュマロチャレンジ。自分のチームでは記録を伸ばすどころかタワーを立てることすらできなかった。クラスの中で成功しているチームもあったが、英語の教科書に出ている写真と比べるとかなり低かった。また、学校でみんなで話しあったときに出た意見の中で、実践できなかったところもたくさんあったので、その疑問点を解決したいと思った。そこで、自分も高いタワーを作りたいと思い、今回は一人で挑戦することにした。

そもそもマシュマロチャレンジって何？

マシュマロチャレンジとは、乾燥パスタ麺、テープ、紐、マシュマロを使って自立可能なタワーを立てるチームビルディングのためのゲーム。グループ内で意見を出し合い協力しなければ成功できないので、コミュニケーションをとることが必要になる。だから、学年が上がって初めての授業や人事異動後の職場など初対面の人が集まる場面で行われることが多い。

マシュマロチャレンジのルール

- ・ 4、5人1チームで、作戦タイムも含めて18分間で行う。
- ・ 自立可能で出来るだけ高いタワーを立て、タワーの上にマシュマロを置く。（パスタに刺してもOK）
- ・ テープで足場を固定してはいけない。
- ・ パスタやテープ、ひもは切ったり、貼ったりするのはOKだが、マシュマロは切ってはいけない。
- ・ 計測の最中もタワーが立っていなければ、記録とはならない。

※今回は、時間制限なしで制作する。

※また、クラスで挑戦したときに、高さを測定する前に立てたタワーが崩壊してしまったチームがあったため、今回は作ったタワーに風をあてて、タワーの強度も調べることにする。

実験方法

パスタ、テープ、紐、マシュマロ、ハサミを使ってタワーを作り、高さを計測する。作ったタワーにサーキュレーターで強さをかえながら風をあてて、弱、中、強の風のうちどこで倒れたかを記録する。特徴の違うタワーを何種類かつくって計測し、比較する。今回は、土台に着目して、①土台が三脚である場合②底面が三角形である（主に三角形を組み合わせて作る）場合③底面が四角形である（主に正方形と長方形を組み合わせて作る）場合の3種類に分けてタワーを作り、実験することとする。

仮説

前回制作したとき、三脚の上に1本パスタを載せてマシュマロを刺しただけで倒れてしまったから、底面積の大きい土台を作ったほうが安定する。また、パスタは細く、よくなるため、地面に接する面積が大きいほうが倒れにくい。同じ長さのパスタを使って正三角錐と立方体を作る場合、立体の高さは立方体のほうが高くなる。つまり、③の底面が四角形である場合のタワーが一番高く、強度があると思う。

用意するもの

〈タワーを作るために必要なもの〉



乾燥パスタ麺：20本
マスキングテープ：90cm
紐：90cm
マシュマロ：1つ
はさみ：1つ
メジャー：1つ（記録測定の為）※

〈強度を調べるために必要なもの〉

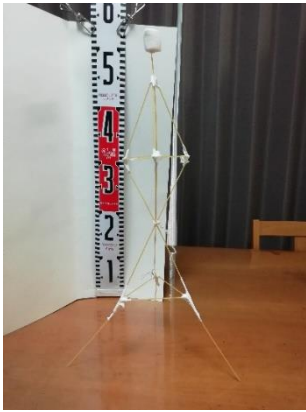


風力調整のできるサーキュレーター（風を送るため）
（弱 中 強 の三段階）

※今回は高さをわかりやすく写真に残すために、目盛りの見やすいメジャーを別で用意している

実験結果、考察

タワー ① まずは、前回チャレンジしたときに失敗した、三脚のタワーに挑戦した。



結果：53cm

前回チャレンジしたときは、パスタ1本にマシュマロを刺してタワーを作ろうとしてうまく建てるができなかったけれど、パスタの長さを短くすることで、上に刺したマシュマロによってタワーが崩壊することを防ぐことができた。土台を一本ずつの三脚にしたら、重さに耐えきれずかなりしなっていた。パスタを立体的に組み立てていくのは難しく、てっぺんにマシュマロをつけるとテープが外れてしまった。また、タワーのバランスがとれるように、紐を利用して固定した。このタワーでは三脚の足3本に同じくらいの重力がかかっていたから崩れずに立てることができたと考えられる。

風を当てた結果：サーキュレーターが弱るとき…ほとんど動かなかった

- 〃 中るとき…倒れはしないもののがかなり揺れてパスタもよくなっていた。
- 〃 強るとき…風を当てた瞬間に倒れ、その衝撃でパスタが折れた。

これらの結果より、近くを人が素早く通ったくらいの衝撃が加わっても倒れたり崩壊したりすることはないが、強い風が吹いたり少し大きな衝撃をくらったりすると、タワーは倒れ、パスタが折れてしまうことがわかる。また、衝撃を加えなくても、さらに上にパスタを付け足したり長い間放置したりすると、細い三脚に大きな負担がかかり、土台が壊れる可能性が高いと思う。

タワー ② 底面積がおおきいほうが倒れにくいという仮説より、正三角錐を重ね合わせたような形のタワーを作ってみた。



結果：なし

まず半分に切ったパスタで正三角形を2つ作り、中央でクロスするようにこの2つの正三角形の頂点をつないだ立体を作った。この立体を3つつなげてみたのだが、クロスしている部分がだんだんずれて、バランスが取れなくなってしまい崩れた。クロスしている部分を紐で固定しようとしたが、うまくいかなかった。そこで、同じ正三角形を用いて正三角錐をいくつか作り、それらを重ね合わせて同じ形の立体をつくった。ところが、三角錐を3つ重ねた時点で、頂点と頂点を止めていたテープと紐がずれて、崩れてしまった。修復を試みたが、パスタが折れてしまい、記録を測定することができなかった。三角錐の頂点と頂点の接続部分は、ずれやすく安定していないためマシュマロの重みによって少しバランスが崩れただけで、タワーが崩壊しパスタが折れてしまった。同じ形のものを2パターンで作ろうとしたがどちらも失敗し、さらに解決策も見つからなかった。自立したタワーを作ることはできなかったため記録はないが、このタワーが自立したとすれば、記録は(手で補助を入れて測定すると) 55cm だった。

このタワーを作り上げることができなかったのは、接続部分が複雑になり、安定しなかったためだと考えられる。そこで、発想を変えて、いくつかの三角錐を重ね上げる形にするのではなく、大きな細長い一つの三角錐のような形であれば、接続部分が簡単になり、重心が安定するため強度が高く、高さのあるタワーを作ることができるのではないか、と思ったので、三角錐の形をしたタワー②-2をつくってみた。

タワー②-2 大きな三角錐の形をしたタワー



結果：56センチ

タワー②と同様に半分に切ったパスタで正三角形を作り、そこからパスタをつなげて大きな三角錐を作った。パスタをつなげる部分に正三角形を挟むことで側面の三角形の面積が小さくなるため強度が増し、側面の三角形の一边がたわみにくくなった。頂点は3本のパスタにマシュマロを刺すことでバランスを取りやすくなった。三角錐を重ねて作ったタワー②よりも作りやすく、接続部分も複雑ではなかったので、途中で外れることはなかった。

風を当てた結果：サーキュレーターが弱のとき…ほとんど揺れなかった。

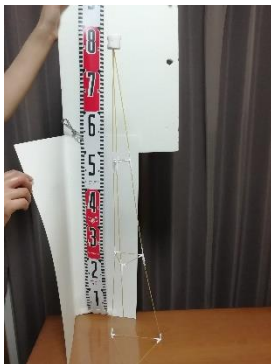
〃 中のとき…揺れていたが、安定していた。

〃 強のとき…中のときよりも揺れていたが、倒れなかった。

風を当てたときにタワー①よりも安定していたのは、三角錐の側面の三角形が支柱のような役割をしていたためだと考えられる。支柱の役割を担うパスタがあったため、少しバランスが崩れても、その支柱が全体のバランスを調整することにより全体のバランスが取れて強い衝撃にも耐えることができたのだと思う。また、タワー①やタワー②はタワーが高くなるときにすぼんだり広がったりを繰り返しているため、途中ですぼんでいる部分に風が当たりやすい。しかし、タワー②-2は錐であるため、中の空洞が大きくなり、風を逃がしやすいため倒れにくいと考えられる。三角錐の側面をなるべく小さくする（途中で正三角形を挟む）ことで三角錐がねじれたりパスタがたわんだりするのを防ぐことができたのでパスタも折れなかったと考えられる。

とても強い風を当てても安定していたため、さらに高さを出すことができるのではないかと思い、パスタを付け足してどこまで高いタワーを作れるのか調べてみることにした。

タワー②-3 タワー②-2の改造版



結果：83cm

タワー②-2で頂点に刺していたマシュマロを外して、さらに三角錐をプラスし、その頂点にマシュマロを刺した。パスタ1本の長さが27cm（多少の誤差がある）を使っているため、大体パスタ1本分高くなった。作っている途中でパスタが折れてしまうハプニングもあったが、何とか修正できた。この高さのタワーを作っても、まだパスタは5本程度余っていた。とても安定していたのでこれまでと同様に風を当ててみると、タワー②-2よりかは危うかったが、倒れなかった。余っていたパスタでさらに高さを付

け足してみても自立していたので高さを測定したら 95cm だったのだが、測定中にバランスを崩し折れてしまったため記録はなくなってしまった。仮に、これが正式に記録として成り立つならば、マシュマロチャレンジの世界記録 99cm にかなり近い記録だったが、これを改良するのは不可能であったため、タワー②-3 の記録は 83cm であった。



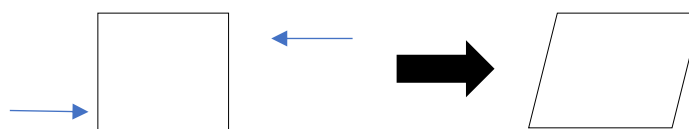
これらの結果より、底面積が三角形であるタワーのほうが三脚のタワーよりも安定し、より高さを出せることが言える。

タワー③ 底面が正方形のタワー

結果：なし



まず直方体を作って2つ重ねてみると、左の写真のように手で支えてもずれてしまった。タワー②をつくったときと同じ方法でパスタをくっつけているので、テープの止め方に問題があるとは考えにくい。そこで、パスタで作った正方形に左右方向から力を加えてみた。



すると、上の図のように平行四辺形になった。正三角形は、三辺の長さがすべて等しいときに成り立つが、正方形は 4 辺の長さが等しいことに加えて、1 つの角が 90° であるという条件が必要になるため、今回の形では安定しなかったと考えられる。四角形を用いて安定したタワーを作るのは難しい。この結論を出したとき、一つ疑問が浮かんだ。家や学校などの建築物の中は、基本的に立方体、直方体である。今回の実験結果をもとに考えると、いくら太い木などで形作られている建築物でもあまりにも大きな衝撃が加わったのならば崩れてしまってもおかしくない。現在の科学技術を利用すれば衝撃を和らげる素材が使われているということも想像できるが、古民家やお寺など古くから残る建造物には衝撃を受けても直方体や立方体を保つために何かしらの工夫が施されているはずだ。そこで、インターネットで建築物にみられる直方体や立方体を保つための工夫について調べてみた。

方向に変形することを防止するために縦方向、横方向の梁のあいだを、ちょうど直角三角形になるように横木や梁が組まれていることがある。この横木や梁のことを火打ち梁という。木造住宅の耐震性を上げるとともに、床部分の補強をしたり、構造物の水平方向のひずみを防止したりする働きがある。現代でも、さらに進化したかたちで受け継がれ、建物の水平方向への変形を防ぎ、強度を上げるために多くの木造建築で採用されている。



↑ 火打ち梁

火打ち梁は床面の補強を目的としているため、床の性能が不足する部分に設ける必要がある。主に設けられる場所として、吹き抜けなどがある。吹き抜けには床が無いので、最も床の性能が不足しやすい部分である。もちろん周囲に十分な量の床があれば大丈夫だが、リビング上部の吹き抜けなどはどうしても面積が大きくなってしまふ。その場合、吹き抜けに面した壁に力を伝えるのが難しくなってしまうため、火打ち梁を設ける必要がある。(ホームページ：木造住宅には欠かせない？火打ち梁の役割について知っておこう/火打ち梁とは より)

簡単にまとめると、直角を保ちたい部分に三角形を作るように梁を入れて固定するという技術が建築物の崩壊を防ぐために作られている。これをヒントに、タワー③の直方体に左の写真のように梁を入れて固定することで強度のあるタワーに改良することができるのではないかと思います、残りのパスタ6本でタワーを作ってみた。



結果：なし

火打ち梁の役割を担うパスタを追加することで、土台は安定した。しかし、直方体2個で使ったパスタと火打ち梁にするのに使ったパスタの本数は18本で、残り2本を利用して頂上にマシュマロを立てることはできなかった。改良を重ね、上に重ねていた直方体の形をすこし変えて上に三角錐をつけるとマシュマロを上につけることはできたが、最終的に自立したタワーを作ることはできなかった。手で補助を加えて高さを測定したところ、86cmだった。

これらの結果より、四角形は三角形よりも弱く、強度を持たせるためには梁などを利用して三角形を作る必要があることが分かった。パスタの上限は20本であるため、強度を強くすることだけを考えていると、高さが低くなったりマシュマロを置けなかったりした。四角形を土台にすると、三角形を土台にするときよりも多くのパスタが必要になり、強度も劣るため四角形を土台にするのはマシュマロチャレンジには向いていないと考えられる。

全体の実験を踏まえて考察

自分の仮説では底面積が大きければ大きいほど土台が安定して、高く、強いタワーを作れると思ったけれど、底面積の大きさよりも土台や上に重ねる図形の形によって強度や高さが変わっていた。三角形は力を加えられても変形しにくい形をしているから、四角形を固定したいときやバランスをとるときなどに使われていることがわかった。身の周りでも、四角形を固定するために対角線を引いたり、網目状にクロスさせたりといろんな場面で、いろんな形で、三角形が使われているのは、三角形が変形しにくく強度のある形をしているからだと考えられる。

パスタは非常にもろく、重みや衝撃によってすこしの力が加わっただけでたわんだり折れたりしてしまうので、タワー②やタワー③のように倒れてしまう。タワー②-3のように単純な図形をイメージできれば方針が立てやすく、複雑な構造も少ないため、マシュマロチャレンジにおいて成功しやすいと思う。

さらに大きいタワーを作るには、土台を三角柱に近い形にして、その上にタワー②-3で作ったような三角錐を作っていく方法が一番良いと考えられる。タワー②-3を作ってもまだ数本パスタが数本残っていたため、この方法ならば世界記録である 99cm を超えるタワーを作ることも可能であると考えられる。

結論

三角錐をイメージして作ったタワー②-3が一番高く、倒れても壊れにくいタワーである。四角形を多く用いてタワーを作るよりも三角形を多く用いてタワーをつくったほうが、少ない材料で強度と高さのあるタワーを作ることができる。三角形は四角形を固定するためにも必要な図形であり、建築物を作るときに最も重要な形であると考えられる。また、バランスの取れた高いタワーを作るためには、安定する土台と少しの傾きやたわみ、ゆがみを調節するための支柱となる部分が必要である。自分たちで一から立体的なものをつくる際には、三角形をうまく利用してバランスの取れる形にできるよう考えることが大切だと思う。

今回の実験のように立体のものを作り上げる時には、単純な図形をイメージしてプランを立てることが重要であり、そのプランに沿って計画的に作り上げることが重要である。成功するイメージを立てやすくなるため、すでに存在するものからヒントを得ることも大切である。

感想

前回学校でチャレンジしたときにも同じことを感じたのだが、折れやすくもろいパスタをテープと紐だけでつなげて立体を作り上げるだけでも難しいと感じた。試しにパスター本にマシュマロを刺してタワーの頂上に建てると、それだけでパスタはしなり、しばらくすると折れてしまった。このことから、自分にとってマシュマロは軽いものだけど、パスタにとってはかなり重いものなのだと気づいた。今回は時間の制限を作らず、一人で挑戦したけれど、実際のマシュマロチャレンジはグループで行うため意見が分かれてまとまらない可能性があるし、18分間というタイムリミットもあるからスムーズにはできないと思う。だから、何度も挑戦して改善策を見つける、という試行錯誤を繰り返すことが大切である。これは、マシュマロチャレンジだけにいえることではなく、これからいろんな新しいことに挑戦しなくてはならない私たちは、失敗を重ねて成功への近道を探すことを繰り返していかなければならない。特に今回苦労したのは、タワー③の火打ち梁を活用してタワーを作ることだった。結果的に記録を取ることはできなかったが、パスタの本数が足りなくなるという予想外の事態に対処するのが大変だった。予定を立ててもなかなか計画通りに進めることはできないから、何度も予定を立て直して、成功やよりよい結果への近道を探します。今回もさらに高いタワーを立てられる可能性があるから、今回の実験を生かしてまた取り組みたいと思う。

参考文献

- ・ [火打梁とは？ | 敷島住宅の分譲ブログ \(shikishima-town.com\)](https://shikishima-town.com/blog/word-hiuchihari#) <https://shikishima-town.com/blog/word-hiuchihari#>
- ・ [木造住宅には欠かせない？火打梁の役割について知っておこう | LIXIL SQUARE](https://www.lixil.co.jp/square/articles/022/) <https://www.lixil.co.jp/square/articles/022/>
- ・ [日本マシュマロチャレンジ協会 - 日本マシュマロチャレンジ協会 \(marshmallow-challenge-japan.org\)](http://www.marshmallow-challenge-japan.org/) <http://www.marshmallow-challenge-japan.org/>