

「五重塔はなぜたおれないのか？」

【ジェンガで探れ！心柱の不思議】



筑波大学付属小学校
1部4年
雨宮 龍ノ介

【実験のきっかけ】

柱が浮いている！

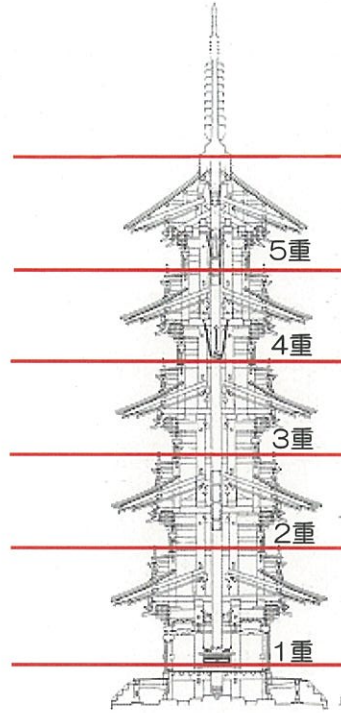
家族で日光東照宮に出かけた時に、五重塔の柱が浮いていることを知ってびっくりした。柱は土の中にしっかり埋めないと、建物はすぐにくずれてしまうのではないかと疑問に思っ調べてみた。すると、五重塔は、今までの大きな地しんでも一度もたおれたことがないことを知って、そのしくみについて詳しく調べてみたくなった。ほくがいつも家族と遊んでいるおもちゃのジェンガも積み木のバランスを考えるおもちゃなので、これを使って五重塔がたおれない理由を探ってみることにした。



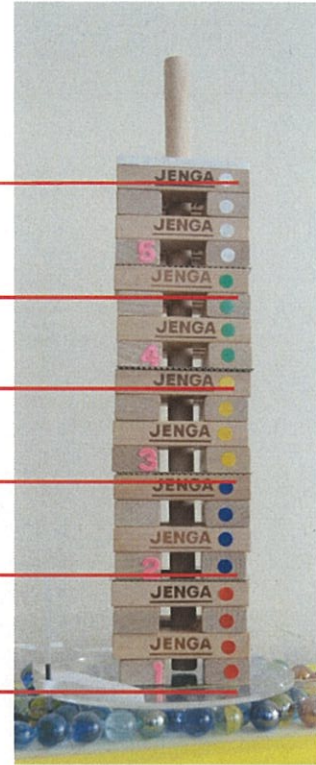
日光の五重塔



五重塔の縁の下の写真を撮った



日光の五重塔の構造
(インターネット参照)

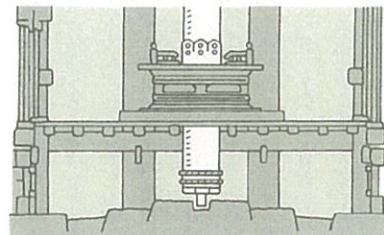


ジェンガで作った五重塔

五重塔は、「木組み」といって木をどんどん積み重ねて作っていることがわかった。ジェンガも木を積み重ねて作っているのも、もしかして五重塔と似ているかもしれないと思った。ふつう、ジェンガはすき間を作らないで積んでいくけれど、実験をする時は、五重塔と同じにするためにジェンガの真ん中を空洞にして、そこに心柱をぶら下げて、五重塔と同じような構造にしてみた。



五重塔の床下部分の心柱の写真
(心柱が宙に浮いている！)



浮いている心柱の図



日光五重塔の木組み



心柱を浮かせたジェンガ



ジェンガで作った木組み

参考文献 五重塔の科学 日刊工業新聞社

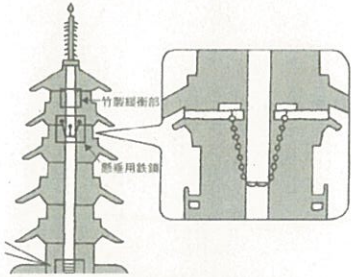
【五重塔についての調査と実験方法】

■日光の五重塔について

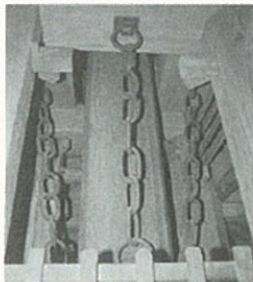
創建： 1650年
 創建者： 酒井忠勝（さかい ただかつ）
 大きさ： 6m×6m
 高さ： 約36m
 心柱の太さ： 約60cm

■実験方法

- 【1】心柱のある／なしで比べる
心柱があると、本当にたおれないのか？
- 【2】心柱の重さを変えて比べる
心柱は、どのくらいの重さがいいのか？
- 【3】心柱の長さを変えて比べる
心柱は、どのくらいの長さがいいのか？
- 【4】心柱をつるす高さを変えて比べる
どの高さからつると、たおれにくいのか？
- 【5】心柱の支え方を変えて比べる
心柱は、本当にういていた方がいいのか？
- 【6】五重塔（ジェンガ）の重ね方を変えて比べる
バラバラにして重ねるのがいいのか？



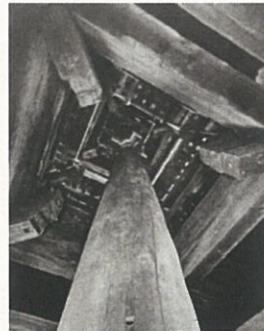
心柱は吊り下げられているけれど、振り子にはなっていない



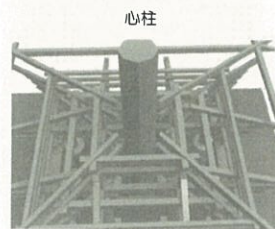
日光五重塔の心柱の上部



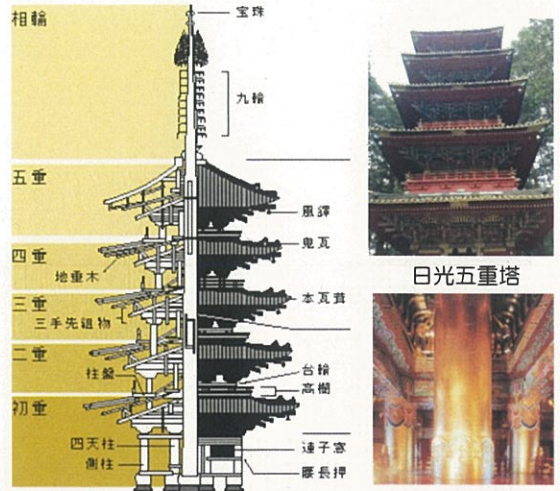
ジェンガで作った木組みと心柱



心柱はどこにもくっついていない！



心柱は、建物を支えていない！



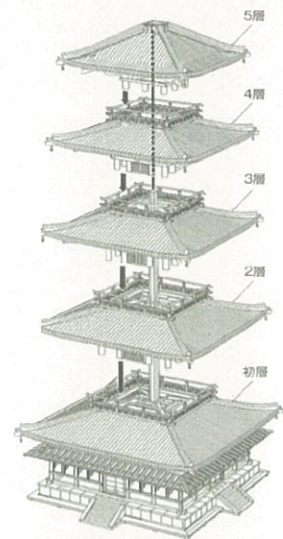
日光五重塔



日光五重塔の心柱



境内にとっても大きな切りかぶがあった。
五重塔もこんな大きな木を使って建てたのだろうか

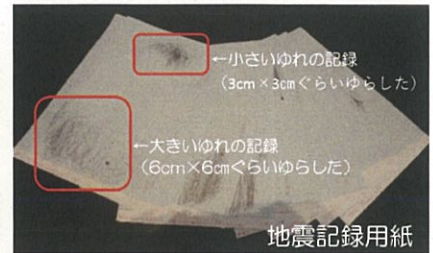


五重塔は部材をつみ上げているので、上下方向に分解できる！すごい！
 （画像提供：アートモデル）

参考文献 五重塔の科学 日刊工業新聞社
 五重塔入門 株式会社新潮社

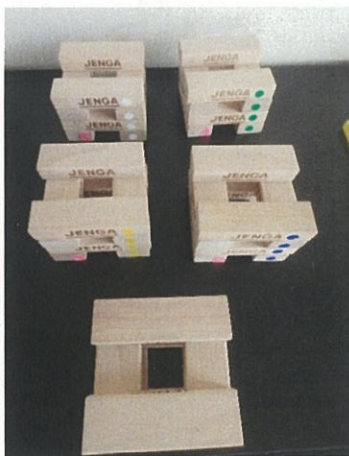
【実験装置】

地震のゆれと同じような動きができるような装置を作った



ゆれの大きさを記録するために取り付けたボールペン

- ① アクリルケースにビーズを入れて、地しんと同じようなゆれがジェンガに伝わるようにした
- ② アクリルケースの下にゴムマットをして、アクリルケースがずれないようにした
- ③ ジェンガを乗せる板は、丸いアクリル板にして、動かしやすいようにした
- ④ ゆれを記録するために、アクリル板にボールペンを取り付けて、アクリルケースの下に方眼紙をして、ゆらした時の大きさが分かるようにした (大きくゆらした時と小さくゆらした時の2種類を実験することにした)



五重塔をまねて、ジェンガで5つのかたまりで作った

<心柱の種類>



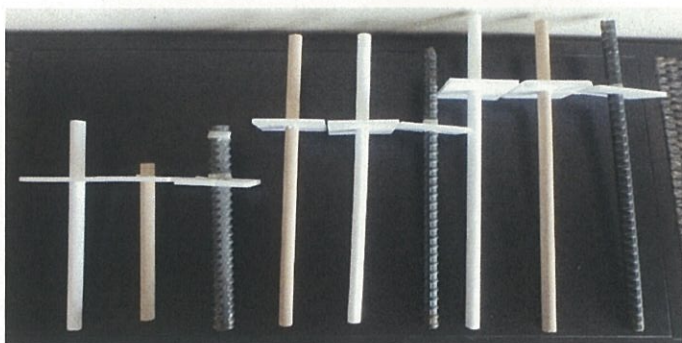
鉄の心柱 (495g)



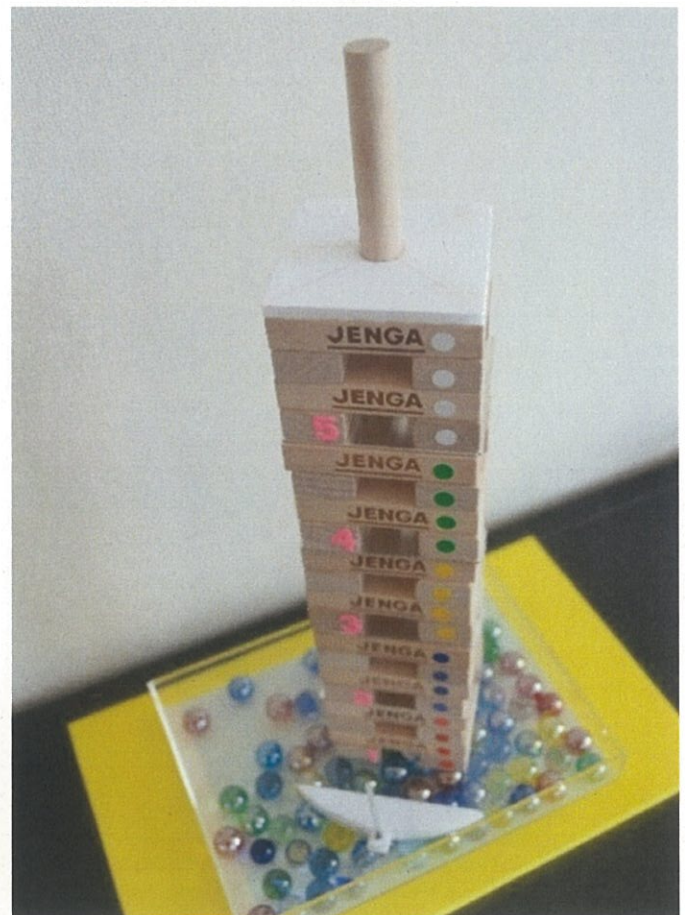
木の心柱 (47g)



プラスチックの心柱 (8g)



厚紙に穴をあけて心柱を差し込んで、両面テープで貼り付けて、心柱が動かないようにした



五重塔に見立てたジェンガと実験装置 (ゆれている場所がわかりやすいように印をつけた)











【実験1】心柱があると本当にたおれないのか？

☆本物の五重塔の同じくらいの高さにするために、ジェンガ4つで一重と考えて、1重から6重までつんでみた。
 ☆心柱は、一番重い鉄の柱を使って実験した。

<予想>

☆低い建物の方が、高い建物よりたおれにくいと思う。

☆心柱を入れることで本当にたおれにくくなるのか半信半疑だ。心柱があると、その心柱の重さのせいで余計に早くたおれるかも知れない。

搭	①心柱あり			②心柱なし			結果
	写真	ゆっくりゆらす	早くゆらす	写真	ゆっくりゆらす	早くゆらす	
1重					6.73秒	7.10秒	1重の場合、とても簡単にたおれてしまった
2重					17.08秒	9.15秒	1重より2重の方がたおれにくかった
3重		35.05秒	9.96秒		28.03秒	9.13秒	<心柱なし> おそいゆれの場合、2重より3重の方がたおれにくくなった <心柱あり> 心柱なしよりも、少したおれにくかった
4重		1分30秒以上	15.73秒		20.70秒	11.93秒	<心柱なし> 早いゆれの場合、4重が最もたおれにくかった <心柱あり> 大幅にたおれにくくなった
5重		1分30秒以上	28.11秒		25.71秒	4.51秒	<心柱なし> おそいゆれの場合、5重が最もたおれにくかった <心柱あり>おそいゆれの場合も早いゆれの場合も、5重が最もたおれにくかった
6重		40.26秒	7.76秒		25.03秒	7.93秒	6重になると3重よりもたおれやすくなった

【まとめ】

☆心柱があると、何重にしてもたおれにくくなる事がわかった。

☆心柱を入れると、4重と5重が最もゆれに強いことがわかった。

☆五重塔は、大きくてゆっくりしたゆれには強く、早いゆれには弱い事がわかった。

☆地しんが起きた時、古いお寺では、低い建物がたおれても、五重塔はたおれないと本に書いてあって、不思議に思っていたが、実験してみても、やはり1重や2重の方が弱いことがわかった。

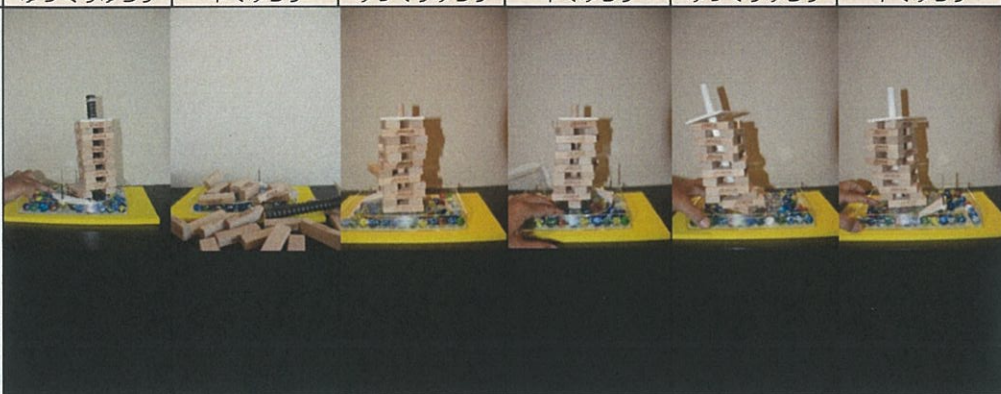
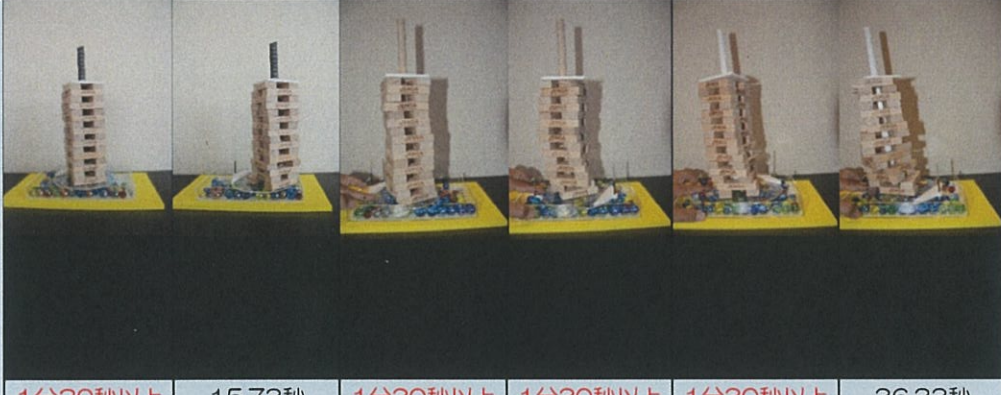

【実験2】心柱は、どのくらいの重さがいいのか？

鉄（495g）と木（47g）とプラスチック（8g）の心柱を使って、重さのちがいによってたおれにくさが変わるか実験した。

<予想>

☆軽い心柱は、軽くて動きやすいのでたおれやすいと思う。

☆重い心柱は、しっかりと支えられるのでたおれにくいと思う。

塔	①鉄の心柱（実験1より）		②木の心柱		③プラスチックの心柱		結果
	ゆっくりゆらす	早くゆらす	ゆっくりゆらす	早くゆらす	ゆっくりゆらす	早くゆらす	
3重							木の心柱が最もたおれにくかった 鉄の心柱は、重すぎてたおれやすいのかもしれない
	35.05秒	9.96秒	1分30秒以上	44.61秒	1分17.70秒	12.85秒	
4重							4重になるとかなり丈夫になったが、 木>プラスチック>鉄の 順番は変わらなかった
	1分30秒以上	15.73秒	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	36.33秒	
5重							4重よりも5重の方がもっと 丈夫になった 木>プラスチック>鉄の 順番は同じだった
	1分30秒以上	28.11秒	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	49.91秒	

【まとめ】

☆木が一番たおれにくく、鉄が一番たおれやすいことがわかった。

☆重すぎても、軽すぎてもダメで、木の重さがちょうどいいようだ。

☆心柱を入れると、5重>4重>3重の順でたおれにくく、高い塔ほどたおれにくい事がわかった。

（でも、実験1から、6重はくずれやすいことがわかったので、五重塔が最大の高さだと思う。）

☆実験をされていて、心柱はほとんどゆれていない事に気がついた。







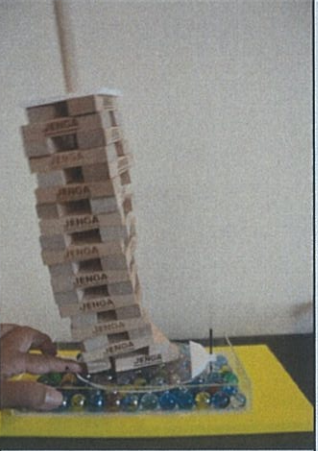
☆心柱も振り子のように動いてバランスを取っていると思っていたけれど、動いていないことを発見しておどろいた。

【実験3】心柱は、どのくらいの長さがいいのか？

☆屋根の上に突き出ている心柱（相輪）の長さのちがいで、五重塔のたおれにくさが変わるか実験した。
 ☆心柱は、長さ37.5センチの木の心柱を使った。

<予想>

☆一番新しい五重塔と同じ長さの心柱が最もたおれにくいと思う。（5重が一番たおれにくいと思う。）

相輪の写真	塔	木の心柱あり		結果	
		ゆっくりゆらす	早くゆらす		
	3重 心柱が屋根から一番長く出ている	 1分26.56秒	 16.38秒	おそいゆれの場合も、早いゆれの場合も最もたおれやすかった	
	4重 心柱が少し長めに出ている	 1分30秒以上	 1分17.46秒		おそいゆれの場合も、早いゆれの場合も、4重が最もたおれにくかった
	5重 五重塔と同じぐらい心柱が屋根から出ている	 1分30秒以上	 29.30秒		

【まとめ】

☆予想とちがいで、4重（心柱が少し長めに出ている）が最もたおれにくかった。



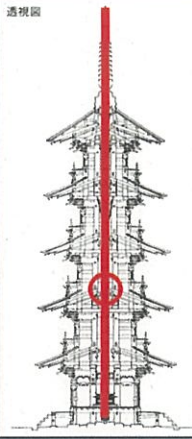


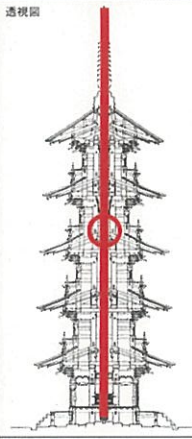


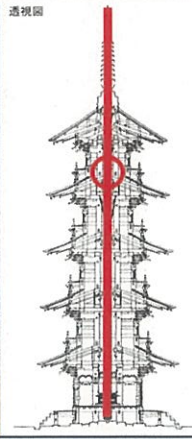
☆本物の五重塔は、時代が新しくなるほど相輪の部分が短くなっているのので、短い方がたおれにくいと思ったけれど、実験の結果はちがっていた。建物全体のバランスと合わせて考えることが大切なんだろうと思った。

【実験4】心柱は、どの高さからつるすとたおれにくいのか？

☆心柱を固定しておく位置のちがいによって、たおれにくさが変わるか実験した。
 ☆心柱は、長さ37.5センチの木の心柱を使った。

<予想>

☆高い位置からつり下げた方が振り子の原理がはたらいて、たおれにくくなると思う。

塔	木の心柱		透視図	結果
	ゆっくりゆらす	早くゆらす		
5重 上から 4つ目 心柱を つるす				おそいゆれの場合、たおれにくかった 早いゆれの場合は、最も早くたおれた
	1分30秒以上	51.53秒	上から2つ目	
5重 上から 3つ目 に心柱 をつる す				
	52.23秒	1分6.70秒	上から3つ目	
5重 上から 2つ目 に心柱 をつる す				おそいゆれにも早いゆれにも強かった
	1分30秒以上	1分30秒以上	上から2つ目	

【まとめ】

☆本物の五重塔と同じように、上から2つ目につるすのが最もたおれにくいことがわかった。

☆やはり、五重塔はよく考えて建てられているようだ。



















☆おそいゆれの場合には、上から4つ目（真ん中くらい）につるしても、同じように1分30秒以上たおれなかった。また、どこからつるしても、50秒以上はたおれなかった。このことから、つるす位置は、それほど重要ではないのかもしれないと思った。

【実験5】心柱は、本当にういていた方がいいのか？

☆五重塔は、初めは柱が地中にうめられていて、次に1階の石の上に乗せられるようになって、最後に宙に浮いた形に進化した。
 ☆その3つの方法で、どれが最もたおれにくいか実験した。

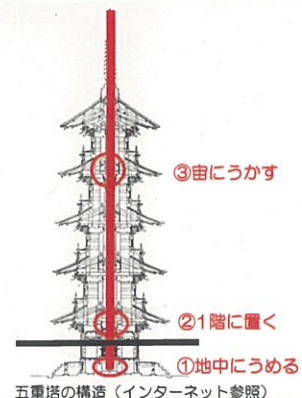
<予想>

☆ふつうに考えると、柱は土に埋めた方がしっかり地面に固定されて丈夫だと思う。

塔	①地下に心柱をうめる		②1階に心柱を乗せる		③宙に心柱を浮かす		結果
	ゆっくりゆらす	早くゆらす	ゆっくりゆらす	早くゆらす	ゆっくりゆらす	早くゆらす	
3重							おそいゆれの場合、③>②>①の順でたおれにくかった 早いゆれの場合は、③>①>②の順でたおれにくかった
	52.58秒	40.31秒	1分10.71秒	36.05秒	1分30秒以上	44.61秒	
4重							おそいゆれでも、早いゆれでも、全部たおれにくかった ゆらした後のすれの大きさは、①>③>②の順で大きくなっていた
	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	
5重							おそいゆれでも、早いゆれでも、②と③はたおれなかった ゆらした後のすれの大きさは、①>③>②の順で大きくなっていた ②は大きくねじれた
	1分28.40秒	52.81秒	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	

【まとめ】

☆心柱を宙に浮かす方法が最もたおれにくいことがわかった。
 ☆地中に心柱をうめた方が、1階に心柱を置くよりもたおれやすいのが意外だった。
 ☆地面にしっかり柱を固定してしまうと、そのままゆれが柱に伝わってしまい、柱の上の部分が大きくゆさぶられてしまうことがわかった。
 ☆地中に心柱をうめた場合と1階に心柱を置いた場合では、ゆれによって柱が突き上げられた。




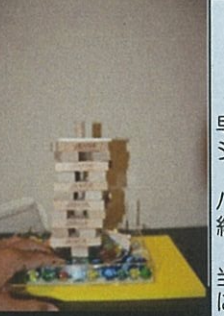
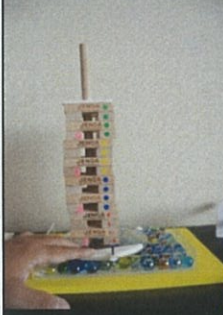


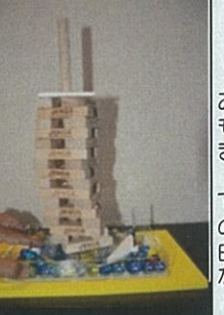
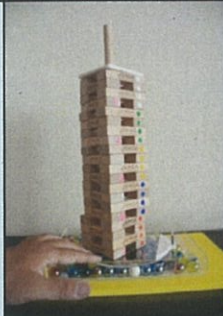


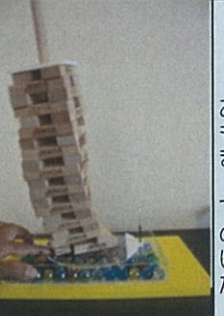


【実験6】重ね方はどうするのがいいのか？

☆バラバラに一つずつジェンガをつむ方がいいのか、4つで一組にして両面テープでくっつけて、ひとつのかたまりにしてつんだ方がいいのか実験した

<予想>

☆バラバラのジェンガの方が、それぞれがはなればなれになってしまうので、たおれやすいと思う。

搭	かたまりにしたジェンガ		バラバラのジェンガ		結果
	ゆっくりゆらす	早くゆらす	ゆっくりゆらす	早くゆらす	
3重					<p>早いゆれの場合、かたまりにしたジェンガの方がたおれにくかった</p> <p>バラバラのジェンガは、一つ一つが細かく動いた</p> <p>当たり前のことだけれど、かたまりにしたジェンガは、かたまりでずれた</p>
	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	44.61秒	
4重					<p>おそいゆれの場合も早いゆれの場合も、1分30秒以上たえることができた</p> <p>でも、早いゆれの場合は、バラバラのジェンガは、カーブを描くように曲がっていて、今にもくずれそうになっていた</p> <p>かたまりにしたジェンガの方が、まだこの先もたえられそうに見える</p>
	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	
5重					<p>おそいゆれの場合も早いゆれの場合も、1分30秒以上たえることができた</p> <p>でも、早いゆれの場合は、バラバラのジェンガは、ななめにかたむいていて、今にもくずれそうになっていた</p> <p>かたまりにしたジェンガの方が、まだこの先もたえられそうに見える</p>
	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	1分30秒以上	



ジェンガを貼り付けてかたまりにした

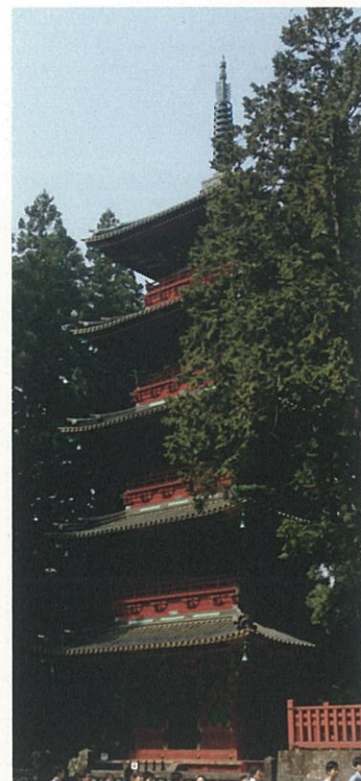
【まとめ】

☆本物の五重塔には、上から下まで通してつながった柱はなく、それぞれのかたまりだけが短い柱でつながっていると本に書いてあった。今回の実験でも、ジェンガがかたまりになっている方が「だるま落とし」のようにうまくずれて、たおれにくくなったんだと思う。

☆今回の実験では1分30秒までしか実験しなかったけれど、もっと長い時間をゆらしてみると、バラバラのジェンガは、かたまりのジェンガよりも早くたおれるように思う。

【実験からわかったこと】

【実験1より】心柱があると、建物が丈夫になる。
【実験2より】心柱は、やはり木が一番いい。
【実験3より】心柱の長さは、長すぎず、建物とのバランスを考えて ちょうどいい長さにする必要がある。
【実験4より】心柱は、上から2つ目につると、一番たおれにくい。
【実験5より】心柱は、宙にかす方法が一番いい。
【実験6より】五重塔（ジェンガ）は、バラバラではなく、かたまりにして つんだ方がたおれにくい。



日光五重塔

【感想】

☆心柱は、大発見だ！

1400年前に発見されたこの心柱の方法が、東京スカイツリーを建てる時にも活用されたそうだ。昔はコンピューターもなかったのに、どうしてこんな大発見ができたのだろうか？

☆実験は楽しい！

お父さんといっしょにはじめてこの実験をして、心柱を入れてゆらすと、なかなかジェンガがくずれないことを発見して、ぼくは感動した。うれしくて、何度も何度もくりかえて確認した。

1400年前に五重塔を建てた人たちも、きっと何千回も実験をして、たおれにくい塔を作るにはどうしたらいいのかを考え出したにちがいないと思った。

今回の実験では、自分の手でゆらして実験をしたけれど、同じような強さでゆらすのがとても大変だった。自動で動く機械があれば便利だなと思った。よい実験をするには、よい実験方法を考えることも大切なことがわかった。

今でも五重塔はどうしてたおれないのか、正確なことはわからないみたいだけれど、ぼくはほかの人よりも少しだけ、その理由がわかったような気がした。

☆ぼくの夢

ぼくの夢は、宇宙飛行士だけれど、ぼくは地しんが大きいので、どんな地しんが来てもぜったいにたおれない建物を発明することにもチャレンジしてみたい。

東日本大しん災でも、熊本地しんでも、たくさん家がこわされて、困っている人がたくさんいる。世界には、地しんの少ない国もあるけれど、日本は地しんが多い国だ。だからこそ、もっともっと地しんに負けない強い建物を作れるように、ぼくも大発見をしたい。

☆地しんに負けない家のアイデア

①巨大な磁石を作って、地面にN極の磁石を置いて、建物の底にもN極の磁石をくっつけておいて、クレーンで建物をつるして、それを真上からゆっくり下に下ろしていくと、N極とN極が反発して、くっつかないから、地面からういた建物が作れる。そうすると、地しんが起きても、建物はゆれない。地面に置く磁石の方を大きくしておくで、地面がゆれても、建物にはえいきょうがない。

②もう一つは、夢のような話だけれど、天空の城のようなものを作りたい。宇宙からの何かの力（重力の反対みたいなもの）を使って、宇宙から家を引っ張って、空にかぶ建物を作ってみよう。