

感性でとらえる 共振現象の科学おもちゃ

ゆらゆら

対象：幼児から専門家まで

いつでも
どこでも
なんどでも
遊び心があれば
どなたでも
楽しくまなぶ
こわい災害

防災科学技術研究所
Dr. ナダレンジャー・ナダレンコ

目次

まえがき	1
基本のゆらゆら	2
いろいろなゆらゆら	5
ゆらゆらで免震・耐震・制振	7
自由研究	11
あとがき	14



まえがき

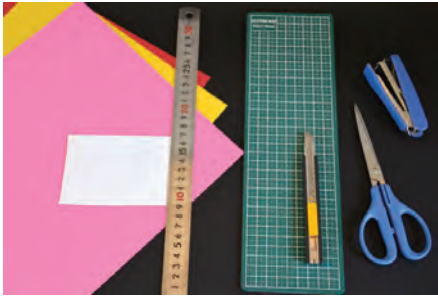
東日本大震災以後、長く続くゆっくりした地震動による超高層ビルの揺れが、新聞やテレビなどで取り上げられることが多くなりつつあります。「震度のわりに被害が小さかったのは揺れが小刻みだったから」とか、「木造家屋に被害を与えるキラーパルス・・・」などのように、震度とは別に、被害と関連した揺れの周期に対する認識が一般化しつつあります。ここで紹介する「ゆらゆら」は、遊び心と感性で、地震動による揺れの世界を科学するおもちゃです。

本冊子は Dr. ナダレンジャーの自然災害科学実験教室の副読本としてご利用ください。



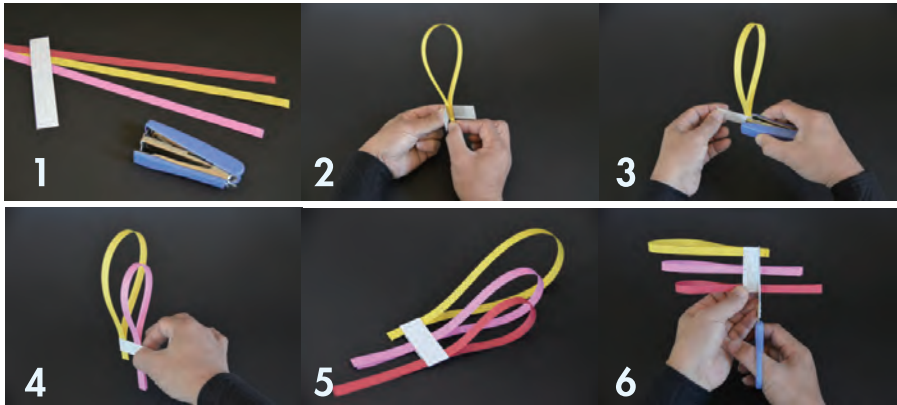
基本のゆらゆら

● 用意するもの



- 材料：・ 薄い色紙
・ 厚紙
- 道具：・ ホチキス
・ ハサミ
・ 定規
・ カッター
・ カッターマット

● つくり方



- (1) 比較的薄い色紙を幅 1cm の帯状に切ったもの 3 本、厚紙を幅 1.5cm、長さ 10cm に切ったもの 1 本を用意する。
- (2) 帯状の色紙を輪にし、根元を、半分に折り曲げた厚紙の台紙ではさんで指で固定する。
- (3) これを一定のリズムで台紙を往復させて揺らしてみ、一番よく揺れる周期が 1 秒くらいになるように、台紙にはさんだ色紙を上下させて調整し、ホチキスで固定する。
- (4) 別の色の色紙をさらに短くし、周期が (3) の約 2 分の 1 になるように調整して、ホチキスで固定する。
- (5) さらに (4) の約 2 分の 1 の固有周期に調整した別色の色紙をホチキスで固定する。
- (6) 下から飛び出した紙をハサミで切って、裾をそろえて完成。



● 遊び方

台紙の端を軽く持って、3つのうち揺らしたいものだけに神経を集中し、それが一番大きく揺れるように、一定のリズムで台紙を水平に往復させ、揺らしてみる。台紙の振れ幅は可能な限り小さくする。リズムはおおよそ、1秒間1往復(1Hz)、1秒間2往復(2Hz)、1秒間4往復(4Hz)。リズムをとるには声を出してみるとよい。例えば「ユーラーユーラー」、「ハイハイハイハイ」、「ウィー」または「ガタガタガタガタガタガタガタ」。



震動共振曲第一番 ゆらゆら

作詞・作曲：雪崩んじゅー

♩ = 60

ゆらゆら ゆらゆら ハイハイハイハイ ウィー

楽譜にするとこんな感じ

- コツ 1：揺らしたいものだけに神経を集中し、他は見ない。
- コツ 2：台紙は水平に往復させ、傾けたり、上下動させたりしない。
- コツ 3：台紙の往復する幅は可能な限り小さくする。
- コツ 4：恥ずかしがらずに声を出す。

👂 対象は関心層ではありません

ゆらゆら実験、地震と関係ない単なるおもちゃとしても、その挙動の意外性は、たとえ頭で分かっていたとしても、楽しく感じられませんか？防災に対して、強い思い入れのないごく一般の観客を対象にした防災教育普及の場合、重要という先入観に囚われるあまり、初めから災害・防災を前面に出すとその時点で関心層のみを対象としたものになります。だから、アートであり、科学であり、お笑いが必要なのです。

●固有周期と共振現象

台紙は動かさずに、一番大きなゆらゆらだけを指で押して横に傾けてから、その指を外すと、ユウラーユウラーと自由に揺れながら、徐々に揺れ幅は小さくなってやがて静止する。この揺れの幅を振幅、揺れの一往復にかかる時間を周期、揺れが小さくなることを減衰という。

今度は、そのユウラーユウラーの一定のリズムで台紙を規則的に水平に往復させると、大きなゆらゆらが一番大きく揺れることがわかる。この一番大きく揺れるリズムをこのゆらゆらの固有周期という。固有周期で揺らすと大きく揺れることを共振という。中くらいのゆらゆらと小さいゆらゆらにはそれぞれ別の固有周期がある。

ゆらゆらと同様に、本物の建物にも、それぞれ固有周期があり、これと同じ周期の地震動が来ると、その建物は共振する。周期が長い地震動を長周期地震動といい、固有周期の長い超高層ビルは大きく揺れる。一方、周期の短い短周期地震動では、小さな建物が大きく揺れることになる。

・・貧乏ゆすりで自分地震

自分の体の一部を揺らして共振させる自分地震実験もおもしろいかもしれませんが、たとえば、貧乏ゆすりも共振現象で、だいたいウィーのリズムでもあります。幼児でも、ゆらゆらで遊ぶことができますが、なぜか子どものうちはこの一番短い周期の動きが苦手です。確かに、幼児が貧乏ゆすりをしているのを見たことはありませんが、無意識でやっている貧乏ゆすりも、できるようになるには成長過程での経験が必要なのかもしれません。

ちなみに貧乏ゆすりにはストレス発散効果があるといわれていますが、ゆらゆらも共振現象なので同じです。人前で貧乏ゆすりをするには多少ためらいがありますが、ゆらゆらなら科学実験と称して、人前でもストレス発散できるのではないのでしょうか。



いろいろなゆらゆら

科学好きにとっては、共振現象がわかれば十分かもしれませんが、科学に特別な関心を持たないごく一般の人の関心、好奇心を引きつけるためには、見た目がかなり重要です。例えば、色のついた小奇麗な紙を用い、ハート型にするなど、自由な発想で造形としての工作を楽しむことも大切です。



●星の瞬き



●きのこ渦



●→矢印



●揺れる心

さらに、紙以外に、クリアファイル、OHP シート、薄手のプラスチックケースなどと、100 円ショップで市販されているシール、ビーズ、梱包用の発泡スチロール、包装用の飾りの花、クリップなどの組み合わせでできるバージョンアップしたゆらゆらもいかがですか。



材 料



●目玉ゆらゆら
不気味にゆらゆら



●アートゆらゆら
ちょっとだけアート



●シールゆらゆら
100円ショップのシール



●指人形ゆらゆら
100円ショップで市販の
指人形で作成



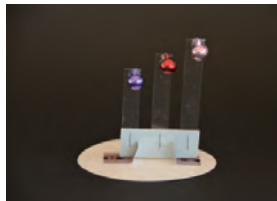
●汽車ポッポゆらゆら
煙突の煙をゆらゆら



●シンクロナイズゆらゆら
「ハイハイ」と「ウィー」でシ
ンクロナイズ



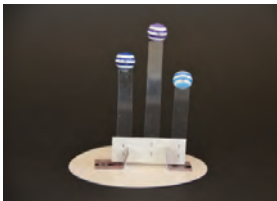
●木の実ゆらゆら
公園で見つけた木の実で
ゆらゆら



●鈴ゆらゆら
鈴の音で共振を確認



●クリップゆらゆら
100円ショップの木製ク
リップ



●ビーズゆらゆら
100円ショップの飾りビー
ズ



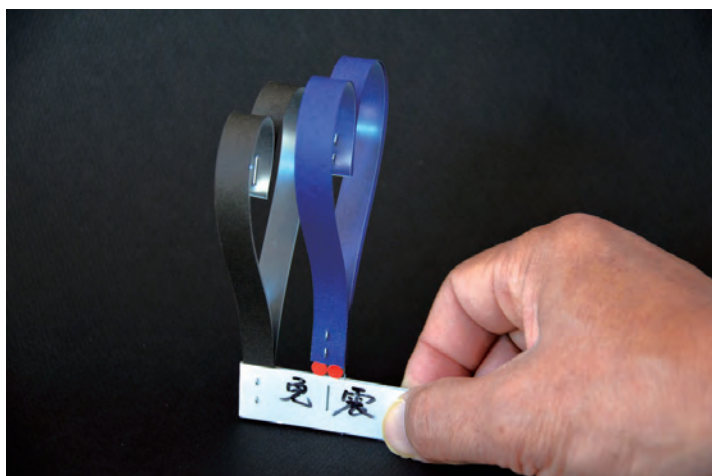
●玉ゆらゆら
ちょっとかわいく



●目玉つき玉ゆらゆら
もっとかわいく

ゆらゆらで免震、耐震、制振

● 免震ゆらゆら

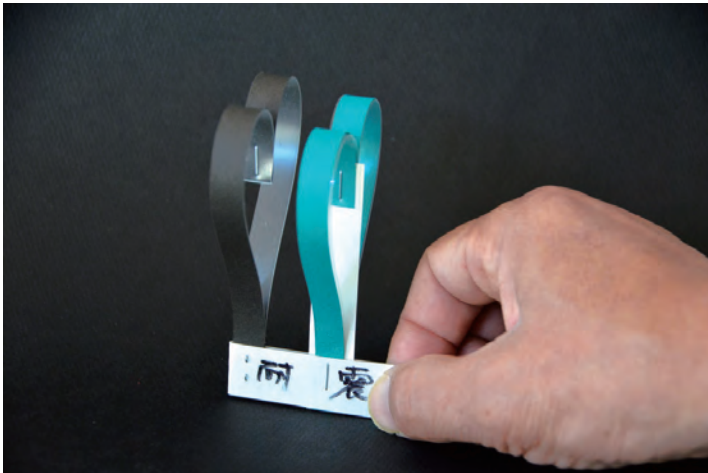


免震の理想は 周期無限大

イメージとして、免震は、例えば建物の基礎にゴムのような柔らかいものを入れて地面の揺れが上の建物に伝わらないようにする仕掛けです。この免震ゆらゆらは、例えば、固有周期がハイハイのハート型ゆらゆらを基本の建物と考え、その基礎にこのハート型ゆらゆらが自立できる程度の柔らかい素材を免震装置として入れたものです。これを、何もしていない基本のハート型ゆらゆらと同じ台紙にホチキスで固定して完成です。

はじめにこの免震装置を親指と人差し指でつまんで動かないように固定して台紙をハイハイのリズムで揺らしてみると、基本ゆらゆらも免震ゆらゆらも同じように共振します。ところが固定を解除してハイハイのリズムで揺らすと、基本ゆらゆらは共振しますが免震ゆらゆらは共振しません。さらに長周期にして揺らすと今度は免震ゆらゆらが共振します。免震とは固有周期を長周期側にずらすことです。

● 耐震ゆらゆら



耐震の理想は 共振周期ゼロ

耐震は、イメージとしては、建物に筋交いを入れたり、硬い素材で補強したりして、揺れにくい頑丈な構造にする手法です。耐震ゆらゆらでは、ハート型ゆらゆらの中心に若干硬い紙を入れて補強しています。これを、何もしてない基本のハート型ゆらゆらと同じ厚紙の台紙にホチキスで固定して完成です。

いっしょに台紙をハイハイのリズムで揺らしてみると基本のゆらゆらは共振しますが、耐震ゆらゆらは共振しません。今度は、短い周期で揺らすと耐震ゆらゆらが共振します。耐震とは固有周期を短周期側にずらすことです。



● 制振ゆらゆら



制振は ゆらゆらせずに 減衰だ

免震、耐震と比べて、イメージしにくいのが制振ではないでしょうか。建物の最上階に何か揺れるものがあるとか、制振ダンパーという特殊な筋交いのようなものが入っている装置のイメージがあっても、では免震、耐震と物理的に何が違うのかといわれても、専門外の人には答えにくいものです。

この制振ゆらゆらは、基本のハート型ゆらゆらの中心に耐震ゆらゆらとは反対に柔らかくて長いクリアファイルのような素材を、ハートの中心に入れます。ハートから飛び出す部分の長さは、その固有周期が単独のハート型ゆらゆらの固有周期と同じになるように調整し、基本のハート型ゆらゆらといっしょに台紙に固定して完成です。

ハイハイのリズムで揺らしても、基本のゆらゆらは共振しますが、制振ゆらゆらは共振しません。長周期で揺らしても、短周期で揺らしても共振しません。ここが、免震、耐震と違うところです。では、減衰振動をさせてみましょう。基本のゆらゆらはハイハイのリズムで減衰しますが、制振ゆらゆらは振動が全く現れずに減衰します。制振とは固有周期を変えるのではなく、減衰を大きくして振動を防ぐ仕掛けです。この場合、本体のハートの建物が揺れる代わりにハートから突き出た部分が、逆方向に揺れることで本体の揺れを打ち消しています。

● 免震・耐震・制振ゆらゆら



同じ土俵でゆらゆら比較

基本のハート型ゆらゆらと免震ゆらゆら、耐震ゆらゆら、制振ゆらゆらの4つすべてを同じ台紙に固定しました。基本のハート型ゆらゆらを共振させてみても、他の3つのゆらゆらはあまり揺れませんが、それらは皆、異なる理由で揺れないのです。

✂ 揺さぶられ症候群

子育てに疲れた親が泣き止まない生後間もない自分の子どもを激しく揺らして、死亡させるという「揺さぶられ症候群」は、首から上の頭やその中の脳が、制振装置の働きをしています。子どもの体が共振していないからといっても、実は脳が体の揺れを相殺するように見えないところで激しく揺さぶられているのです。



自由研究

● ブロック倒して迫力を体感



こわいけど カラーブロック ターオレロ

イベントで迫力を求める場合は、発泡ポリスチレン製の市販のカラーブロックを、板に車をつけただけの手製の振動板の上に高さ3～4m程度に積み上げ、振動の周期を徐々に変化させて倒壊させることをお勧めします。この実験では、希望者には下敷きになってもらいその迫力を体感してもらうこともあります。

● 紙のタテヨコ

紙にはタテとヨコで力学的な異方性があるのをご存知でしょうか。同じ紙を使って、同じ長さになっているにもかかわらず、ゆらゆらの共振する固有周期が異なることがあれば、その原因は紙の異方性です。紙をたわませて、跳ね返す力が強い方がタテ目。紙を漉くときに、紙の繊維が整列してタテとヨコをつくりだします。その結果、「ゆらゆら」にしたときに固有周期に明らかな差ができます。したがって、紙を帯状に切る場合は方向を統一する必要があります。逆にそれを利用して、手品もどきの実験を見せることも可能です。是非、お試しください。



● ゆらゆらで湿度変化を調べよう

紙のゆらゆらは、湿度が高くなると水分を吸収して、一番長いゆらゆらは自立できなくなってクタッと傾き、固有周期も長くなってきます。したがって、湿度の低い梅雨前に用意したゆらゆらが、湿度の高い梅雨時に周期が変化して上手く行かなくなることがあります。これを逆手にとって、あらかじめ、同じゆらゆらに対して温度・湿度ごとに共振周期を求めておけば、そのゆらゆらの共振周期と温度から湿度を求めることも可能です。やってみませんか？

● ゆらゆらは周期もわかる地震検知器

弱い揺れの場合、それが地震なのか眩暈なのか、揺れがまだ続いているのか終わったのかを確かめるために、周りに揺れているものがないかを探します。かつては室内の照明灯からぶら下がっているスイッチの紐の揺れを見て、地震を判断していた人が多かったのではないのでしょうか。最近はそのような紐はなくなりました。そんなとき、「ゆらゆら」を地震検知器として室内のどこかに置いておいてはいかがでしょうか？ちょっとしたインテリアになるかもしれません。もちろん、風除けのフードをつける必要があります。できれば2個の「ゆらゆら」を直交するように配置すれば完璧です。この装置の面白いところは、周期まで分かるということです。



手作り地震検知器

● 電車のつり革の揺れを観察

世の中、いたるところ揺れるものばかり。恋にときめいて、心が揺れ動くこともあります。そんな目に見えない揺れはともかくとして、かなり空いている電車の誰もぶら下がっていないつり革を見てみると、その長さの違いによる固有周期の違いを反映して、長いつり革だけが一齐に揺れているかと思えば、短いつり革だけが揺れはじめたりと、結構飽きないものです。



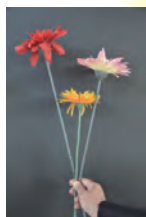
つり革ゆらゆら

●屋根雪で変わる固有周期



スノーボールゆらゆら

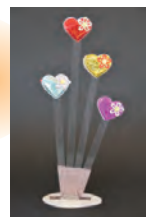
雪国では、豪雪時には 1m 以上の雪が屋根に積もることがあります。このとき建物の固有周期は、屋根の上の雪の荷重が大きくなるほど、長くなります。屋根雪が載った状態で、長周期地震動が来ると、本来は揺れない建物でも、大きく揺れる場合があります。長周期地震動を警戒するのは超高層ビルだけではなく、豪雪時の屋根雪にとっても要注意です。



●造花ゆらゆら



●スポンジゆらゆら



●ハートシールゆらゆら

手当たりしだいにゆらゆら、ごぼうでもできます



お安さ、お手軽さが一番

いくらすばらしい実験装置でも、見るだけでは身につけません。自分で作って、遊べる必要があります。高価なことで競う装置は、資金力がたよりですが、安価なことで競う装置はアイデアしだいで、永久に抜かれないNo.1に君臨し続けるかもしれません。材料費 10 円かからずに作れる「免震・耐震・制振・共振ゆらゆら」をお安さで越える装置はいつ現れるでしょうか。



あとがき

ゆらゆら、いかがでしたか？科学だけでなく、工作の楽しさについてもお分かりいただけたのではないのでしょうか。思い立ったら、すぐに作ってみましょう。材料はどれも身近にあるものばかりです。上手くできたら、家族やお友達に見せて、自慢しましょう。見ず知らずの人にお見せするのもスリルがあっていいかもしれません。ただし、押し付けがましくすることだけは避けません。



みんなでゆらゆら！

いろいろなところでゆらゆらを発表

- ・ 納口・下川(2009)：形で楽しむ固有振動工作「ゆらゆら」、形の科学会誌、第24巻、157-158.
- ・ 納口恭明(2010)：世界一安上がりな固有振動実験装置「ゆらゆら」、第59回理論応用力学講演会講演論文集、199-200.
- ・ 納口恭明(2010)：教育のための制振と免震の科学おもちゃ「ゆらゆら」、2010年度機械学会年次大会講演論文集(5)、237-238.
- ・ 納口・下川(2010)：固有振動おもちゃ「ゆらゆら」で表現する共振・免震・耐震・制振、第29回自然災害学会学術講演会講演概要集、139-140.
- ・ 納口恭明(2010)：Dr. ナダレンジャーによる世界一安価な制振・免震・耐震・共振おもちゃ「ゆらゆら」、日本物理学会講演概要集第65巻第2号第2分冊、262.
- ・ 納口恭明(2010)：教育・普及のための免震・制振工作おもちゃ「ゆらゆら」、第13回日本地震工学シンポジウム論文集、3682-3685.
- ・ 納口・下川(2010)：Dr. ナダレンジャーの免震・制振・耐震・共振ゆらゆら、SATテクノロジー・ショーケース2010「プログラム&アブストラクト」集、109.
- ・ 納口・罇(2015)：建物のゆれに対する屋根雪の効果—科学おもちゃ「ゆらゆら」を使って—、雪氷研究大会(2015・松本)講演予稿集、284.
- ・ 納口・罇(2016)：Dr. ナダレンジャーの自然災害科学実験「ゆらゆら2016」、SATテクノロジー・ショーケース2016「プログラム&アブストラクト」集、34.



感性でとらえる共振現象の科学おもちゃ
ゆらゆら

2016 年 3 月 第 1 版発行

発行：防災科学技術研究所

〒 305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1

TEL : 029-863-7783 / FAX : 029-863-7699

HP : <http://www.bosai.go.jp/>

E-Mail : toiawase@bosai.go.jp

著：納口恭明・罇 優子



防災科研

(2019.03.7000)