

感性でとらえる
なだれの科学おもちゃ

ナダレンジャー

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





目次

まえがき.....	2
基本のナダレンジャー.....	3
なだれは生きている.....	5
なだれの法則.....	9
なだれの一生.....	15
あとがき.....	16
おまけの工作.....	17



1992年11月14日山形県新庄市で世界初のピンポン球なだれ実験を行いました。傾斜30度、斜面長約20m、流したピンポン球は約7千個。最初に雪崩に巻き込まれる体験をしたのが変身前のDr. ナダレンジャーです。Dr. ナダレンジャーが誕生するきっかけの一つです。写真は1994年9月に新潟県十日町市で行った傾斜40度、斜面長40m、ピンポン球3万個の実験を表紙にした「防災科学技術 No.73 Jan 1995」です。この雑誌、実際に発行されたときの表紙は、ある理由でピンポン球なだれ実験のものではありませんでした。すでに20年以上も前のことです。



まえがき

「なだれ」は「なだれ込む」とか「なだれを打って」のように例えとして使うことさえある一般的な言葉です。例えば、「なだれ式」という言葉を冠して、ローブ最上段から繰り出すプロレスの必殺技の名前に使われたりすることだってあります。ですから、日本人で「なだれ」という言葉を知らない人はほとんどいないくらい、少なくとも、言葉の上では身近な自然現象です。

でも、本当のなだれを見たり、なだれに巻き込まれたりした経験を持っている人はごくわずかですし、そのような経験は簡単に持てるものではありません。これは専門の研究者にとっても同様です。

そんな、言葉としては日常的でも、経験としては危険がともなう非日常的な現象を、おもちゃ感覚で何度も繰り返し観察し、感覚的に納得してもらうために考え出したのがなだれシミュレータ「ナダレンジャー」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を体験した方のための副読本です。



50万個のピンポン球なだれの先端部。くっきりとした頭となって迫ってきます。



基本のナダレンジャー

ナダレンジャーは透明なプラスチック製の容器の中に、水とガラスビーズなどの粒子を入ただけの簡単なものです。それをシーソーのように交互に傾けて、片方のすみに集まっている粒子をもう片方に流下させるだけです。実際のなだれでは液体を空気、粒子を雪と想像してください。さてどうなるでしょう。斜面の角度を変え、流す方向を変え、中に入れる材料を変えて何度も試して見ましょう。側面だけでなく、正面からのぞき込むと、自分がなだれに巻き込まれる感じが体感できます。



ナダレンジャー1号(長さ150cm、高さ10cm、幅2.5cm)
液体は水、粒子は直径約2mmのプラスチックビーズ



ナダレンジャー2号(長さ30cm、高さ5cm、幅2.5cm)



ナダレンジャー4号(長さ7cm、高さ1cm、幅1cm)



ナダレンジャー0号(長さ3.5m、直径0.5m)
ポリ袋に発泡スチロール粒子と空気を入れて作ります。
空気を抜けば小さくなってどこにでも持って行けます。



■ 本当の雪崩についてちょっとだけ

雪崩というのは斜面上に一旦積もった雪が、重力の作用で、肉眼で識別できる速さで流れ下る現象です。したがって、雪が落下しているからといって、地面に着地する前の降雪は雪崩ではありません。斜面に一旦積もった雪が、重力ではなく風で飛ばされても、雪崩ではありません。斜面に積もった雪が重力でゆっくりと変形するクリープと呼ばれる現象や、斜面上をゆっくりと滑るグライドと呼ばれる現象も、肉眼で識別できる速さではないので雪崩ではありません。

斜面上の積雪が雪崩となって動き始める領域を発生区といいます。このとき動き始める積雪層の下面が地面か積雪層内かにより、全層雪崩と表層雪崩に分類されます。また、一点から動き始めるか、ある程度の広がりを持って動き始めるかで、点発生雪崩と面発生雪崩に分類されます。さらに積雪が水を含むか含まないかで、湿雪雪崩か乾雪雪崩に分類されます。以上、 $2 \times 2 \times 2$ の組み合わせで、8通りに分類されます。

雪崩の流下中の運動に関しては、雪煙を高く巻き上げ流れる雪崩を煙型雪崩、煙を伴わずに流れる雪崩を流型雪崩といいます。厳寒期に発生する乾雪雪崩は煙型となり、融雪期に発生する湿雪雪崩は流型になりがちですが、実際は上層部で煙型、下層部で流型の中間的なものが一般的です。いずれにしても、よく発達した雪崩の先端は明瞭な頭となり、末端はバラバラとした尻尾のような形になります。



点発生湿雪表層雪崩



面発生湿雪全層雪崩





なだれは生きている

なだれは斜面上の粒子の集団が重力の作用で、一気に流れ下る現象です。土砂で起こる土石流、火砕流、岩屑流も同じ仲間です。これを、例えば、1mのミニチュア斜面で再現しようとして、空気中でガラスビーズを流してもただバラけるだけで本物のように見えませんし、日常で経験する類似の現象から結果が予想できるため、このような実験では退屈するかもしれません。ところが、ガラスビーズの代わりに発泡スチロールの軽い粒子を流すと、あら不思議、無秩序な粒子の集団はまるで生き物のように先頭に頭、後ろに尻尾を持つヘビかおたまじゃくしのような形のミニチュアのなだれに変身します。



おたまじゃくしのような発泡スチロール粒子なだれの形。先にスタートした小さなおたまじゃくしを、後からスタートした大きなおたまじゃくしが追いついて飲み込んでしまいました。



この頭と尻尾を持つ生き物のような構造が、巨大な実物とミニチュアを結びつけるとも大事な物差しなのです。この構造の形成は斜面の長さ、斜面が無限に長かった場合になだれの持ちうる最大の速さで決まり、速いなだれには長い斜面が必要になります。空気中の1mの斜面で再現するなだれには発泡スチロールのような軽くて遅い粒子が必要だったのです。

ナダレンジャーはプラスチックビーズの速度を水の抵抗力で小さくすることで小さな斜面でも頭と尻尾ができるようにしてあるのです。100mのスキージャンプ競技場の着地斜面で行なう模擬なだれ実験が、ゴルフボールではなくピンポン球でなければならないのも、この頭と尻尾を持つ生き物みたいななだれを作るためなのです。

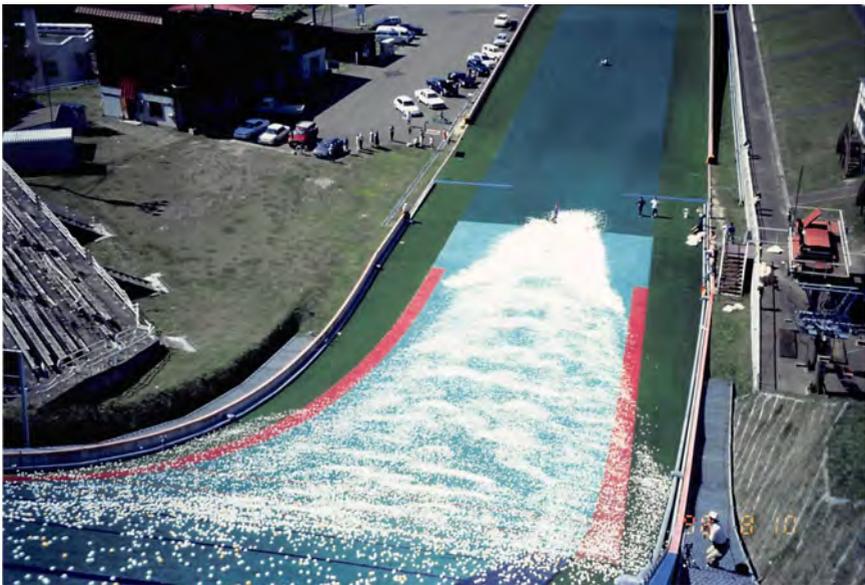


明瞭な頭を持つピンポン球30万個によるピンポン球なだれ。左の写真中央の青年（ネモト君）が右の写真には写っていません。あっという間に20m以上も下に流されてしまいました。



■ 雪崩から助かる方法

Dr. ナダレンジャーも、ときには雪崩の専門家としてメディアの取材を受けることがあります。そんな中でよくある質問が「雪崩に襲われたときどうすれば助かりますか、助かる方法を教えてください」というものです。ほとんどは一般の人向けのQ & Aですが、そんなときは「雪のある急斜面には近づかないことです」と、質問の趣旨をわざと外した、しかも面白みのないお答えをします。おそらく、「泳げばいいです」とかそのような答えを期待してのことだと思いますが、一般人でそのような状況になる人はほとんどいません。しかも、その様な状況で助かるのは九死に一生ものであり、その前の段階である、「雪のある急斜面に近づかない」以外に答えはありません。もちろん、一般人でなく、職業的に関わらなければならない方や、先鋭的な趣味に生きる方は、経験にのみ頼ることなく、しっかりと、過去の事例にもとづいた科学的教育を受ける必要があります。科学的な知見なしの経験は過信につながりかねないからです。なぜならば、一人の人間が一生で経験することができる雪崩体験など、雪崩のほんの一部にすぎないからです。



巨大なピンポン球なだれには、先端のみならず後方にも、いくつもの集団が形成されます。





科学イベントでのピンポン球1万個によるピンポン球なだれ。ほとんど絶叫マシンです。少し痛いですが、怪我をすることはありません。

■ snow avalanche と雪崩

Dr. ナダレンジャーの実験教室の対象は幼児から専門家までで、小学校1、2年生くらいの小さいお子さまをお相手することは珍しくありません。そのような団体の中には、インターナショナルスクールの皆さまということもあります。英語と日本語のバイリンガルの子ばかりです。そんなとき、災害をもたらすようないろいろな自然現象を知っているかどうか質問します。「earthquake」、「tornado」、「typhoon」・・・皆さま元気よく、「知っている」と手を挙げます。でも「snow avalanche」では「？」です。では「雪崩」は・・・皆さまご存知でした。日本にいる英語と日本語のバイリンガルの小さなお子さまにとっては、「雪崩」のほうが「snow avalanche」よりも認知度が上なのでしょうか。データ数が少ないのであくまで仮説です。ちなみに「soil liquefaction」と「液状化現象」は両方とも「？」でした。





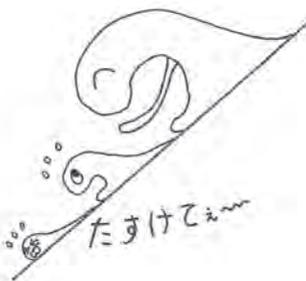
なだれの法則

ところで軽い粒子と長い斜面では、なぜ頭と尻尾のあるなだれになるのでしょうか？

● なだれの法則：大きいなだれは小さいなだれよりも速い

斜面上の粒子の集団が空気抵抗や底面抵抗を受けて流れ落ちる粒子のなだれを考えてみましょう。このとき集団の中で底面や前面、上面など外界と接している領域の粒子は外の厳しさと直接向き合わなければなりません。それに比べ内側の粒子は盾となってくれている外側の粒子のおかげで少ない抵抗力で身軽に動けます。集団全体としては、全粒子がバラバラになってそれぞれが単独で外界からの抵抗力を受けつつよりも、まとまった集団を作り、盾となってくれる粒子の好意に甘えた方がずっと速く流れ落ちます。

一般に、大きななだれほど速度は大きく、到達距離も長いといわれるのは、実は、こんなことが理由なのです。



● トップスピードがなだれの法則を生む

大きななだれほど速度は大きいというなだれの法則は、いつでも成り立つわけではありません。一般に、静止状態から出発したなだれは、速くなるにつれて大きな抵抗力を受けます。そしてこの抵抗力が駆動力とつり合ったところでトップスピードとなります。このトップスピードに近づくにつれて、なだれの特徴を表す「なだれの法則」が成り立ち始めるのです。スタートしてからトップスピードに到達するのに要する時間・距離はこの値が大きいほど長くなります。ナダレンジャーは、トップスピードを小さくコントロールすることでミニチュア実験を可能にしているのです。



● 頭と尻尾ができるわけ

なだれを無秩序な崩壊現象と思うのは大間違いです。「大きいなだれは小さいなだれよりも速い」というなだれの法則はなだれの運動に秩序を与え、頭と尻尾をもつ生き物を作り出します。

大きな集団ほど速いので粒子は先端に集中し、頭のような集団になります。このとき、この大きな先頭集団から小さな集団が前に抜け出そうとしても、小さい集団はなだれの法則によって大きな集団に飲み込まれ、抜け出すことはできません。したがって先端はバラバラには崩れず安定した頭になります。

一方、後ろでは小さな集団が何らかのきっかけで大きななだれ本体から落ちこぼれたとします。この場合、小さい方が遅いのでますます落ちこぼれとなってこの母集団から離れていきます。これが繰り返されると、後端では粒子がバラバラに崩れて尻尾のように細長くなるのです。

なだれの法則のもとでは、個々の粒子は実力が同じであっても先頭集団に属するか否かによって、単にトップに追いつけないばかりかどんどん先頭集団との差が開いて落ちこぼれとなるという絶望的な結果を生みます。逆に、多少劣っていても先頭集団にもぐり込めばしめたものともいえます。



平面上の発泡スチロールなだれ。向かって右の方が左よりも粒子数が2倍。同時にスタートしたが、粒子数が多い方が先頭のスピードは速い。同じ物質であれば粒子数を100万倍にすると速度は10倍程度大きくなる。



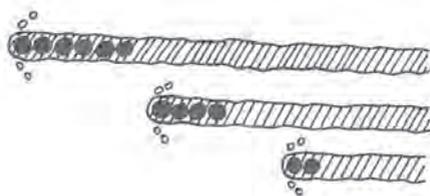
■一人旅

一人で慣れない海外旅行をする時は、かなり緊張し、行動も慎重になるものです。空港のアナウンスにも、大事な情報を聞き逃さないように注意を払います。ところが複数で旅行をすると、皆同じように不慣れな人だけの集団であっても、まるで緊張感がなくなります。もちろん、二人でも一人とは比べものにならない気楽さがあります。集団が大きくなればなるほど、一人が背負う緊張感の負担が少なくなるということでしょうか。もちろん、緊張感こそが旅の楽しみ、一人の方が気楽という人は別です。



絵・宮本浩江

■雪道ラッセル



新雪で覆われた道を、一列縦隊になって雪をかき分け、踏み固めながら進むときも同じことがいえます。先頭を進む人こそ歩きにくく大きな負担を強いられますが、後ろの人は踏み固められた歩きやすい道を快適に進むだけです。疲れた先頭の人と元気のある後ろの人が効率よく交代することができれば、大きな集団ほど速く進むことができます。



■パシュートにおけるなだれの法則



2010年のバンクーバー冬季五輪スピードスケート女子団体パシュートで日本チームが銀メダルを獲得し、大いに盛り上がったことをご記憶でしょうか。この競技はバックストレートとホームストレートの中央部分で半周ずれた位置から、1チーム3名からなる2チームが同時にスタートして、女子は6周、男子は8周してチームの最後尾の選手が先にゴールした方が勝ちとなる競技です。この競技の面白さは空気抵抗が重要な要素となる点です。走者は隙間を空けずにびたりと1列縦隊になり、先頭が時々入れ代わります。これは先頭ほど空気抵抗が大きいので、疲れを蓄積しないために先頭が入れ代わります。その結果、同じ距離を単独で滑るよりもはるかに速く滑ります。

■捕食されないためには

タンチョウツルが、河原の広く見晴らしのいいところで群れを成して寝るのは、天敵のキタキツネなどの接近を発見しやすいためであるといわれています。一羽よりも多数で監視する方が確かに天敵を発見する確率は高くなり、逃げやすくなるといえます。肉食動物の捕食の対象となる野生動物ではよくある習性です。一方、人間はというと大勢の場合、誰かが見ているだろうと、単独の場合よりも幻想の安心感で、注意散漫になります。危険を顧みず、川の中州でテントを張る人でも、単独のときは雨が降れば、すぐ避難することでしょう。でも、リーダーのいない集団では、この根拠のない誤った安心感が取り返しのつかない結果になることは珍しくありません。逆に、九死に一生というような緊迫した状況では、大勢の仲間がいるという安心感がパニックを抑え、生き延びることができたということもあります。





撮影：赤松伸彦



Dr. ナガレンジャーが出動する現場は、小学校だけではなく、幼稚園に入る前のお子さまから、小・中・高・大学・一般・専門家までが対象です。

ご依頼があればどこにでも伺います。講演回数は年間 200 回以上、生でご覧いただく方は 2 万人以上です。

写真は過去に出動した現場の一部です。





お問い合わせ：
TEL：029 - 863 - 7783
E-Mail：toiawase@bosai.go.jp
Dr. ナダレンジャー係





ところでこの安定した頭を生き物と考えると落ちこぼれの尻尾は排泄物とみなすこともできます。動きはじめたなだれがトップスピードになって頭と尻尾を持つようになる過程は、生命の誕生と成長を模擬しているようにもみえます。食物がなければ、頭は排泄をしながらやがて消滅することになります。自然界のなだれのように前方の自然積雪を取り込みながら進むなだれにとって、取り込む雪はより長く生き続けるための食料に他なりません。その意味で、なだれの発生・発達・停止までの過程は、生命の誕生から成長、老化、死に至るまでを模擬していることにもなります。実際のなだれでは、斜面が短すぎて頭をもつ一人前のなだれになる前に静止して死んでしまうものもあります。



あとがき

ナダレンジャー 4号はかわいいおもちゃです。ピンポン球 1万個のなだれも絶叫マシンのように楽しめます。でもそれは自然界の罨です。ピンポン球を東京ドーム満タンにして流すと、先頭のスピードは新幹線に匹敵するくらいになります。絶叫マシンが本当の危険なマシンになってしまうのです。でも、逆に言えば、どんなに危険に見えてもミニチュアにしてしまえば楽しい遊具になるともいえます。本当はこわい災害も、小さくすれば楽しく学べるおもちゃにもなるのです。



全員で体験！楽しく学ぶ こわい災害

ナダレンジャーについての参考文献

- ・納口恭明(2001): 粒子なだれの相似について、防災科学技術研究所報告、61、15-19.
- ・納口・西村(1997): 模擬雪崩の相似について、気象研究ノート、190号、103-112.





おまけの工作：倒しても起き上がる斜面ライダー



◎ 用意するもの

材料：折り紙 7.5cm × 7.5cm、厚紙

道具：ハサミ、スティックのり、つまようじ

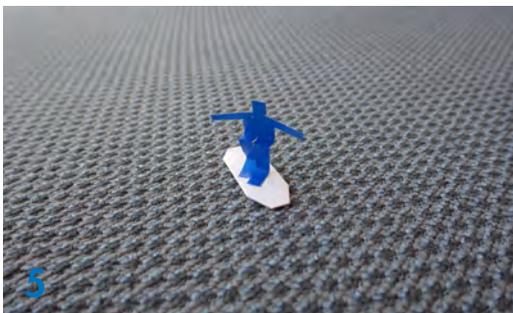
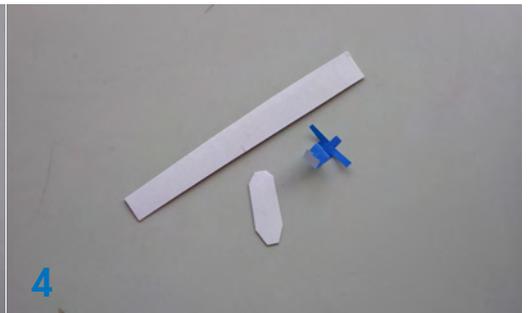
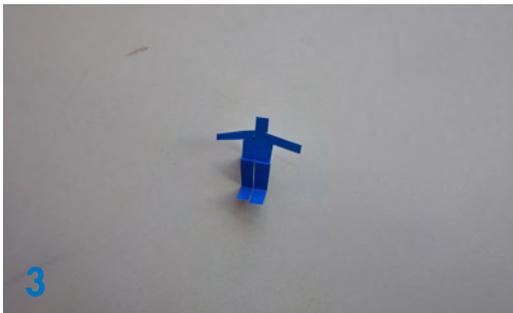
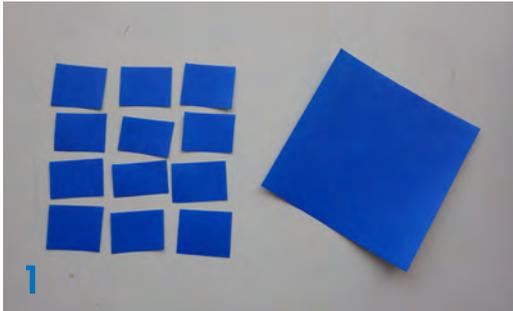
◎ 作り方

1. 折り紙(7.5cm × 7.5cm)を縦に3等分、横に4等分して12枚の紙片をつくる。
2. 各紙片を人の形にカットする。
3. こし、ひざ、かかとで折り、うでを曲げて人が完成。
4. 厚紙をボードの形にカットする。
5. この人をボードに正面から45度くらい傾けて、つまようじを使ってのりで貼る。

◎ 遊び方

発泡スチロールなだれの斜面を滑らせてスキーパトロールをさせても、高く放り上げても倒れません。わざと倒しても起き上がります。







感性でとらえるなだれの科学おもちゃ
ナダレンジャー

2017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