

サイエンスネット

物(化)生(地)...

数研出版株式会社

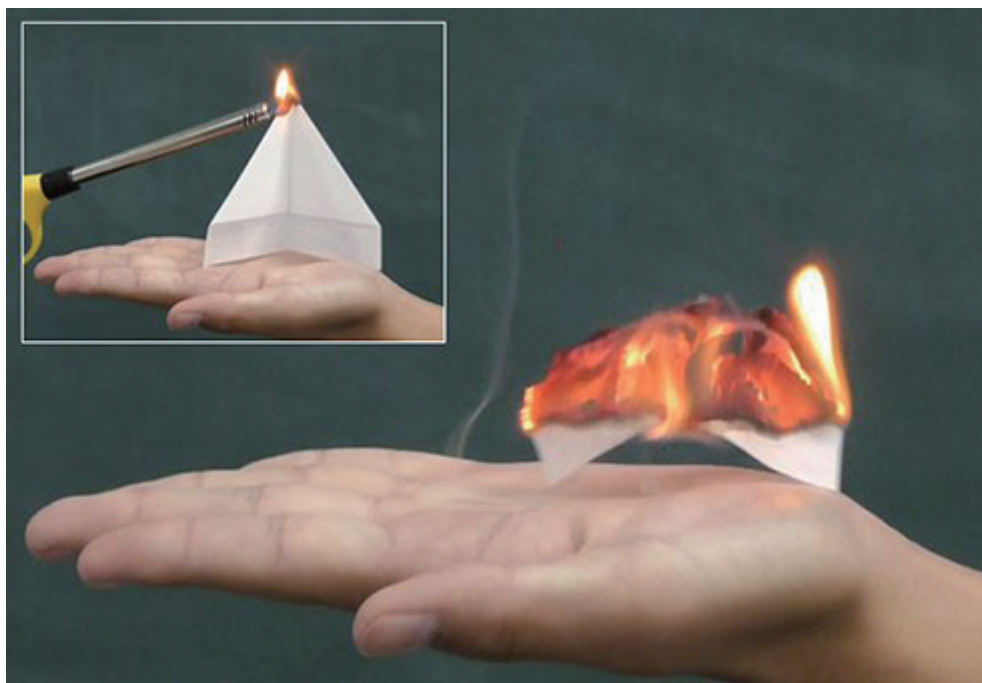
SCIENCE NET

Contents ▶ 特集 1 / 道家瑞穂・塚平恒雄…1 ▶ 特集 3 / 新教育課程カリキュラム案…10
 ▶ 特集 2 / 福士公一朗 …6 ▶ コラム / 田崎文得 …14

特集 1

机の上の竜巻

早稲田摂陵中学校・高等学校 道家 瑞穂 塚平 恒雄

図 1 実験「和紙ロケット」¹⁾

和紙でつくったロケットを掌にのせて先端に火をつけると、高く舞い上がる。この実験は、従来からある実験「舞い上がる和紙」を「ロケット型」にただけであるが、実験名を「和紙ロケット」に変えたことで子供たちの大人気となった。「舞い上がる和紙」に比べ、火が掌に達する直前まで舞い上がらないことも、子供たちの好奇心をかき立てる一因となっている。簡単にできる実験ではあるが、室内で火をつかうことや、掌に汗をかいた状態でおこなうと舞い上がらずに火傷することがあるなど、十二分に注意しておこなわなければならない。実験「和紙ロケット」は、「机の上の竜巻」の発見・発明のきっかけとなった実験であり、写真中央の掌から立ち昇る一筋の「白い煙」、これが今回の主役である。

1. はじめに

毎年の夏に大阪ハービスホールで開催されている「青少年のための科学の祭典・大阪大会」で、子供たちに大人気となった実験がある。2017年の実験「和紙ロケット」(図1)と、2018年の実験「机の上の竜巻」(図5)である。どちらの実験も開始から終了まで3分たらずなので、二日間の大会で300人もの子供たちに実験を楽しんでもらうことができた。

この2つの実験では、実験を始めるにあたって「何の実験か」は一切説明せず、実験の手順だけを教えた。そして、実験中は息を殺して見守ってもらい、自分の目で発見してもらおうという方法をとった。そのときに子供たちが見せてくれた驚きの表情は、わたしたちが始めて「和紙ロケット」を経験したときや、「机の上の竜巻」を発見したときのものであった。

「わたしたち」というのは、著者、道家瑞穂・塚平 恒雄と、二氏が顧問をしている早稲田摂陵中学校・高等学校の生物研究部の生徒たちのことである。

2. 実験「机の上の竜巻」²⁾

タイトルの「机の上の竜巻」は実験の名称であるが、本実験によって発生する「竜巻状の白い煙の渦」の名称でもある。また、色画用紙を「ロケット型」に折ったものを「ロケット型」または「卓上竜巻発生装置」と呼ぶ。

(1) 実験材料

① 紙: 紺色の色画用紙をつかっている。

紙の種類は問わない(新聞紙でもレシートの紙でもよい)が、折りやすいこと、「机の上の竜巻」の発生継続時間が長いことから、少し厚めの画用紙を用いることにした。また、「白い煙」の観察や撮影がしやすいよう濃い色の画用紙を選んだが、黒色と赤色の色画用紙は火のつきが悪かった。紙の大きさはB7判(91×128 mm:B4判を八つ切りにしたもの)を用いた。これ以上大きい紙は防火の観点からつかわない。B7判の大きさでも「机の上の竜巻」を十分に観察でき、満喫できる。また、B7判以下でも「机の上の竜巻」は発生するが、発生継続時間が短いと考えた。

② ステープラー(ホッチキス): 紙を「ロケット型」に折り重ねた部分をとめるために用いる。

「白い煙」の正体は、紙を折り重ねた部分が蒸し焼きになることで発生する木ガスである(図4)。

折り重ねた部分が開いてしまうと、「白い煙」の発生が悪くなり、またバックドラフトを起こしやすくなる。したがって、折り目がしっかりとできていればステープラー(ホッチキス)をつかわなくてもよい。

(2) その他の使用器具

① チャッカマン(ライター)

② ルツボバサミまたは割り箸: 「卓上竜巻発生装置」の紙を折り重ねた部分が燃え終わる前に、ルツボバサミ(または割り箸)でつまんで洗面器の水につけ火を消す。

③ 洗面器: 水を半分以上入れてつかう。

④ ざる: 実験終了後に洗面器の水に浸けた「卓上竜巻発生装置」の燃えカスや灰を取り除くためのもの。洗面器の内側に重ねてつかうとよい。

⑤ 雑巾

(3) 「卓上竜巻発生装置」のつくり方

図2のように、B7判の色画用紙を「ロケット型」に折るだけである。

「机の上の空気の流れ」をコントロールする目的で、紙の折り方や紙の一部を切り取るなどの工夫を重ねてみたが、これといった成果は得られていない。よって、ここでは、もっとも簡単につくることができる「ロケット型」の「卓上竜巻発生装置」を紹介している。

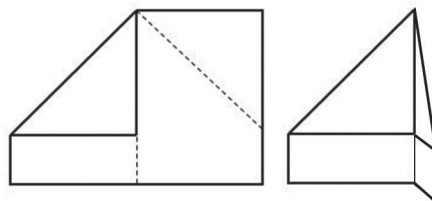


図2 「卓上竜巻発生装置」の作り方
B7判の色画用紙を「ロケット型」に折ってつくる。この「竜巻発生装置」を耐火性の机の上に立て、先端に火をつけて燃やす。後は、息を殺してジッと見守る。

(4) 実験方法

① 実験は屋内で窓を閉め切った状態でおこなう。実は、「机の上の竜巻」の発生には「机の上の空気の流れ」が関係していることが分かっているが、窓が開いていると風が強すぎて「白い煙」が吹き飛んでしまうことが多い。とうぜん、エアコンは切っておくことになる(前述の「青少年のための科学の祭典・大阪会場」ではエアコンが入った状況でおこなったが問題はなかった)。

② 「卓上竜巻発生装置」を机の上に立てて、その先

端にチャッカマンで火をつける。

- ③ 後は、息を殺してジッと観察し続ける。観察時間は1分前後である。
- ④ 燃えカスを捨てる。「卓上竜巻発生装置」の上部6割が燃えたのを見計って、ルツボバサミ(または割り箸)を用いて「卓上竜巻発生装置」をつまみ、洗面器の水につけて火を消す。「6割が燃えたのを見計って」と書いたが、この時点で処理すると灰を机の上に落とすことがない。
- ⑤ 机の上についた汚れを雑巾でふき取る。

(5) 注意事項

- ① 締め切った屋内で紙を燃やす実験である。防火対策・安全対策を考えた上でおこなわなければならない。また、30分ごとに5分間窓を全開にして換気をおこなうようにする。
- ② 実験は耐火性の高い机の上でおこなう。また、「白い煙」の成分には木タールが含まれているので、机に茶色の汚れがつく。これを簡単にふき取れる天板でなくてはならない。
- ③ ②のような机でない場合は、ステンレス製トレーを裏返して置き、その上に、水でぬらしたB6判の紺色の色画用紙を敷き、その上で実験をおこなうようにする(図3)。
- ④ ③の場合は、実験が終わるつど刷毛を用いてトレーの上に敷いた色画用紙を水でぬらす必要がある。

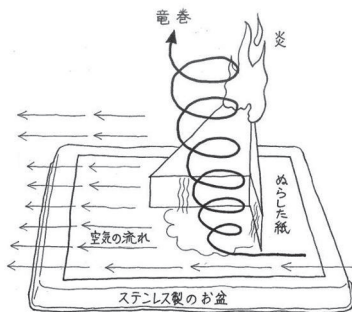


図3 ステンレス製トレーを用いた方法
机が耐火性でない場合には、底を上に向けたステンレス製トレーに水にぬらした色画用紙を敷き、その上で実験をおこなう。

3. 「科学の祭典・大阪大会」での実験方法

5. で後述するように、「ロケット型」に机の上で火をつけると発生する「白い煙」(図4)が、「机の上の竜巻」の発見につながった。

「青少年のための科学の祭典・大阪大会」では、子供たちに自分の目で「机の上の竜巻」を発見してもらうことを目的とした。そのため、実験を次の3段階に分けて、流れ作業的におこなった。

- (1) 「ロケット型」と「二つ折り」の比較実験
- (2) B7判「ロケット型」の本実験
- (3) 「和紙ロケット」の演示実験

なお、実験はステンレス製トレーをつかう方法でおこない、時間短縮のためにホッチキス止めはしなかった。また、会場はエアコンが入った状況ではあったが、事前に空気の流れの向きと強さを調査し、大会主催者をお願いして、最適な場所にブースを出すことができた。

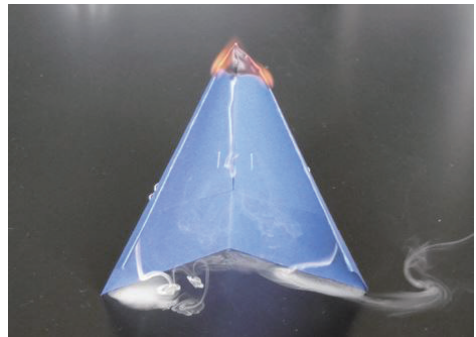


図4 「白い煙」のダウンバーストの発生
「ロケット型」では、燃え始めると直ぐに「白い煙」のダウンバーストが発生する。紙を折り重ねた部分のない「二つ折り」では、「白い煙」のダウンバーストは発生しない。

(1) 「ロケット型」と「二つ折り」の比較実験

- ① B8判に切った色画用紙を2枚わたし、見本を見せて、1枚は「二つ折り」に、もう1枚は「ロケット型」に折ってもらおう(以下、それぞれを「二つ折り」、「ロケット型」と呼ぶ)。
- ② 「二つ折り」と「ロケット型」を並べて立て、チャッカマンで、先に「ロケット型」の先端に、次に「二つ折り」の中央上部に火をつける。チャッカマンの操作は実験指導者がおこなう。
- ③ 息を殺して観察してもらい、「二つ折り」と「ロケット型」との違いを発見してもらおう。
- ④ 発見したことを自分の言葉で発表してもらおう。

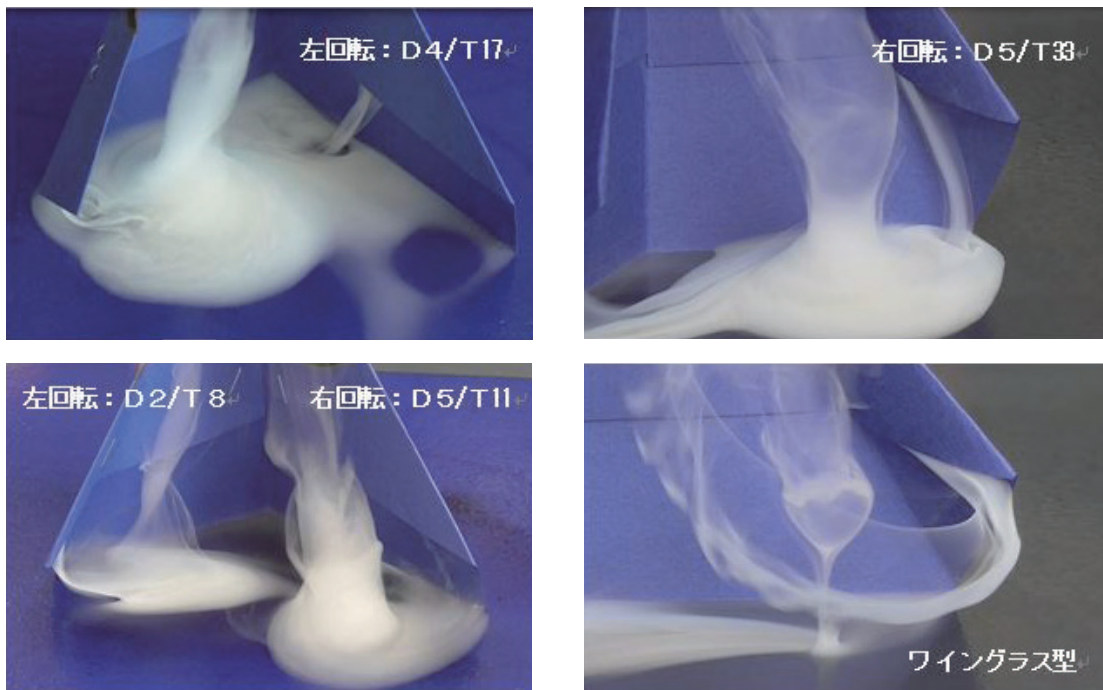


図5 さまざまな「机の上の竜巻」²⁾
写真に表記されている「D4/T17」「D5/T33」「D2/T8」「D5/T11」の「D」は Desk の「D」と道家の「D」からとったもので、「机の上の竜巻」の規模を表すものである。「藤田スケール」³⁾に習って「D0」～「D5」の6段階に分けたが、はっきりした基準があるわけではない。もう片方の「T」は Time の「T」と塚平の「T」で、こちらは「机の上の竜巻」の継続時間(秒)を表す。

(2) B7判「ロケット型」の本実験

- ① B7判の色画用紙を1枚わたし、「ロケット型」にしっかりと折ってもらう。
- ② 「ロケット型(卓上竜巻発生装置)」に点火し、ダウンバーストの発生と、やがてそれが「机の上の竜巻」に発展する様子を観察してもらう。

(3) 「和紙ロケット」の演示実験

- ① 「和紙ロケット」の演示実験をおこなう。
- ② 汗をかいた手で「ロケット型」を折ると舞い上がらなかったこと、火傷したことを話す。
- ③ しかし、この火傷が原因で「机の上の竜巻」が発見・発明できたことを話す(図6)。

4. これまでに解明できたこと

- ① 「机の上の竜巻」の発生率は、100%であった。
- ② 「白い煙」のダウンバーストがなければ「机の上の竜巻」が発生しているかどうかは発見できない。これは、「二つ折り」でも「机の上の竜巻」ができていた可能性を示すものである。
- ③ 「白い煙」のダウンバーストは、紙を折り重ねた部分が蒸し焼きになることで発生する。

- ④ 「机の上の竜巻」の発生は「卓上竜巻発生装置」の燃焼によって生じる上昇気流による。
- ⑤ ④の条件に「机の上の空気の流れ」が加わると、それを「ロケット型」の翼がささぎるように働く反対側に発生する(図5)。
- ⑥ 「机の上の空気の流れ」がないときでも「机の上の竜巻」は発生するが、発生までの時間が長くなり、かつ発生しても直ぐに消えてしまうなど不安定なものになることが多い。
- ⑦ 「机の上の竜巻」は、右回転のものも左回転のものもどちらも発生する。
- ⑧ 「机の上の竜巻」の発生時には回転流は観察できなかったが、発生後は観察できた。
- ⑨ 「机の上の竜巻」の上部が「卓上竜巻発生装置」のつくる上昇気流と合流することはない。

5. きっかけは実験「和紙ロケット」での 火傷

2016年の4月、早稲田摂陵中学校の新入生の前で、著者の一人が「和紙ロケット」を掌の上でおこなったところ、「和紙ロケット」が舞い上がらず、掌を火傷

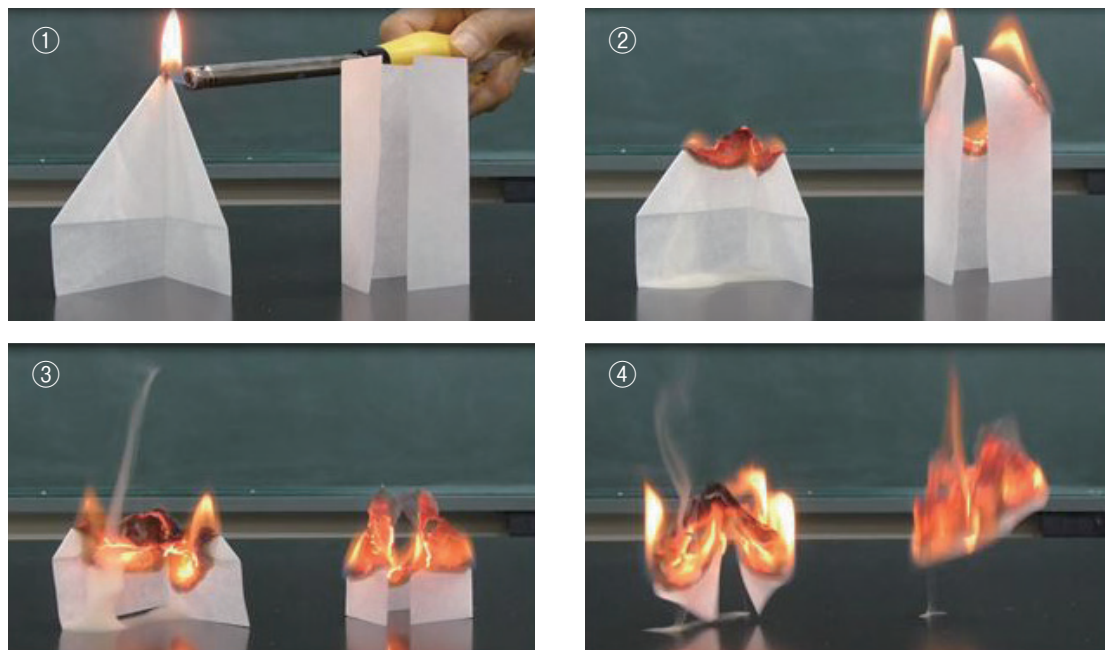


図6 「和紙ロケット」(左)と「舞い上がる和紙」(右)の比較実験⁴⁾

実験「舞い上がる和紙」とは、和紙の2・3箇所を折って角柱状にしたものに火をつけて舞い上がらせるものである(ハトロン紙でもできると聞いている。また、YouTube上では「ティーバックの袋」の実験が公開されているが、「ティーバックの袋」の素材が何であるかは確認できていない)。

その「舞い上がる和紙」を「ロケット型」にしたものが実験「和紙ロケット」である。「和紙ロケット」も火をつけて燃やすと舞い上がるが、紙を折り重ねた分、表面積が小さくなるので舞い上がる力が小さくなり、舞い上がるまでに要する時間が長くなる。この写真は、実験机の上に「和紙ロケット」と「舞い上がる和紙」を並べて立て、比較実験をしたときのものである。和紙の大きさはどちらも83×122mmであるが、舞い上がるまでにかかった時間は、「和紙ロケット」が11秒、「舞い上がる和紙」が6秒であった。違いはそれだけではなかった。「和紙ロケット」では紙を折り重ねた隙間から「白い煙」のダウンバーストが発生し、それが渦を巻きながら上昇することを発見したのである。

するという事故が発生した(火傷は掌に太さ0.3mmほどの白い線が直角についただけで水疱の生じる「二度の火傷」には至っていない)。

なぜ、舞い上がらなかったのか…原因は掌にかいた汗とわかったが、それを調べるためにおこなった実験(図6)が、「机の上の竜巻」の発見につながった。

この比較実験において、「舞い上がる和紙」はただ燃えるだけであったが、「和紙ロケット」では和紙を折り重ねた隙間から「白い煙」のダウンバーストが発生し、それが渦を巻きながら上昇している様子を発見したのである。

おわりに

名古屋市科学館の「竜巻ラボ」には高さ9mの竜巻発生装置がある。この装置は、空気を吸い上げるために天井に備えたファンと、回転流を発生させるための3本の柱からなり、竜巻の可視化には床下にある超音波加湿器で発生させた水滴がつかわれてい

る。

わたしたちの発明した「卓上竜巻発生装置」は、掌大の大きさである。上昇気流は装置を燃やすことによって生じる熱対流であり、竜巻(机の上の竜巻)の可視化には、紙の蒸し焼きによって発生する木ガスを利用している。これらの理由から、「卓上竜巻発生装置」で発生する「机の上の竜巻」は自然の竜巻に近いものではないかと考える。

このレポートをとおして、多くの方に「机の上の竜巻」の存在を知っていただき、多くの方に「机の上の竜巻」の実験をしていただくことで、竜巻の発生メカニズムの解明につながればと願うものである。

参考文献

3) Wikipedia 藤田スケール

1)2)4) YouTube Crazy Clever Science

実験動画はこちらからご覧いただけます。

