

水ロケットの飛行を連写しよう

本教材は宇宙とのつながりを軸として科学を身近に感じてもらうために作った科学教材です。本教材の利用による事故等については一切責任を持ちかねますので、本教材の利用は、経験のある指導者の指導の下に行ってください。



●教材提供●
日本宇宙少年団
川崎分団 大貫一朗氏

★水ロケットの基本的な作り方や打ち上げ方については、「基本型水ロケット」(ロケット1-1～8ページ)をご覧ください。

目標とねらい

目にも留まらぬ速さ——発射されるときの水ロケットには、この表現がぴったりです。確かに、人間の目で追う限り速いことはわかって、どのように加速していくのかわかることはできません。でも、デジタルカメラやデジタルビデオカメラを使えば、水ロケットの打ち上げのようす、加速していくようすを鮮やかにとらえることができます。この内容を加えることで、水ロケットを打ち上げる活動は、さらに驚きと発見の多いものになります。

対象学年	小学校低学年以上	所要時間	2～3時間
------	----------	------	-------

●用意するもの

【水ロケット】

- 水ロケット
- 打ち上げに使うランチャー
(水ロケットの製作、打ち上げに必要な材料や道具については、ロケット1「基本型水ロケット」を参照してください。)

【撮影用の機材】

- カメラ 次の3つの中から、用意できるものを選んでください。詳しくは、8-4ページを参照。
 - ①デジタル一眼レフカメラ：1秒間におよそ5コマ以上の連写ができる機種
 - ②デジタルコンパクトカメラ：次のどちらかの性能・機能を持つ機種
 - ア. 高速連写ができる機種
 - イ. 動画機能つきで、撮影した動画をコマ送りで再生できる機種

③デジタルビデオカメラ：撮影した動画をコマ送りで再生できる機種

三脚：大型でしっかりしたものが望ましい。

【水ロケットの飛行を再生するための機材や道具】

- プロジェクター：デジタルカメラや、デジタルビデオカメラに直接接続して、画像を投影できるもの。
 - ホワイトボード：ここに画像を投影し、マーカーで飛行中のロケットの位置や形をトレースする(なぞって描く)。
 - ホワイトボード用のマーカー
*ホワイトボードが用意できないときは、模造紙と鉛筆でも代用できる。
 - パソコン(画像をパソコンに取り込んで投影する場合)
- 【画像をパソコンで加工する場合は……】
- デジタルカメラに対応した画像編集ソフト

水ロケットの発射をデジタルカメラで連写!



★この写真は、13枚の連続写真を合成したものです。実際にこのような写真が撮れるわけではありません。



デジタルカメラで誰でも撮れる！

左(8-2)ページの写真は、高速連写ができるデジタルカメラ(カシオ EX-F1)で撮影した水ロケットの発射の様子です。実際には、撮影すると何枚もの画像になりますが、その画像を画像編集ソフトで合成するとこのようになります。

使用したカメラ(カシオ EX-F1)は1秒間に最大60コマの写真が撮れます。今回は、1秒30コマで撮影した写真を1コマ飛ばして選び合成しました。つまり、ここに映っているのは、打ち上げから15分の1秒ごとの水ロケットの飛行軌跡です。打ち上げから時間の経過に沿って①~③まで番号を付けましたが、この番号からわかるように、ここには打ち上げから1秒弱のロケットの飛行軌跡が写っています。最近のデジタルカメラの進歩にはめざましいものがあり、こうした写真も簡単に撮ることができるようになりました。



1 機材の準備

次の①～③の中から、撮影するためのカメラを選びます。

① デジタル一眼レフカメラ

連写速度が、1秒間に5コマ以上の性能をもつ機種（中級者・上級者向けの機種にこの機能を備えたものがある）。露出やシャッタースピードを自由に調節できるうえ、レンズ交換ができるので使いやすい。

② デジタルコンパクトカメラ

ア. 高速連写ができる機種（カシオ EX-F1、オリンパス SP-590UZ など）

イ. 通常の動画機能付きデジタルコンパクトカメラ

撮影した動画をコマ送りで再生できる機種でないと使えません。カメラのマニュアルを参照して確かめてください。

③ デジタルビデオカメラを使う

撮影した動画をコマ送りで再生できる機種でないと使えません。カメラのマニュアルを参照して確かめてください。

*カメラの電池は、事前にフル充電しておきましょう。



しっかりした三脚にセットされたデジタル一眼レフカメラ。（手でボタンを押すときの振動を避けるための電子リリースも、あるとよい。）

2 撮影のポイント

水ロケットの飛行軌跡を撮る場合

- ①カメラと三脚を用意します。カメラを手持ちで撮影することはできません。手持ちで撮影するとブレが生じるので、あとで撮影した画像を投影したとき、飛行軌跡をトレースすることが困難になります。
- ②飛行軌跡を撮る場合は、ズームを広角側にセットします。カメラの焦点距離（35mm フォーマット換算）は、28～35mm がよいでしょう。広角側（焦点距離が短い）ほど、長い時間の飛行軌跡を写すことができます。
- ③ロケットの打ち上げ地点から少なくとも10m ぐらいがファインダーに収まるように、カメラの位置を決めます。
- ④マニュアル設定のできるカメラの場合、ISO感度、絞り値、シャッタースピードについて、次（8-5）ページの表を参考にしてください。



⑤ピントは、手動で合わせられる機種の場合は、手動で合わせましょう。発射前の水ロケットに合わせておきます。広角側のレンズを使うので、ピント合わせやシャッター速度の設定はそれほど厳密でなくても大丈夫です。下の表を目安に設定してください。

⑥連続撮影のコマ数が多くなるため、カメラが高性能でもメモリーカードの書き込み速度が遅いと、途中で連写速度が急激に低下することがあります。できるだけ高速タイプのメモリーカードを使用しましょう。

⑦一度や二度の撮影でうまく写るとは限らないので、メモリーカードは数枚用意しておきましょう。

⑧カウントダウンの「ゼロ、発射！」と同時かその直前にシャッターを押して連写します。

●焦点距離、シャッター速度、絞り値などのめやす

	飛行軌跡を撮るとき	水しぶきを撮るとき
レンズの焦点距離 (35 mmフォーマット換算)	魚眼～ 35mm 程度	50 ～ 100mm 程度
シャッター速度	1/250 より高速	1/1000 より高速
絞り値	開放から 2 段絞り込みの間	開放から 1 段絞り込み
ISO 感度	400 ～ 800	800 ～ 1600
画質	JPEG 低画質 (高圧縮)	JPEG 中画質

発展 ● その1 アルコールロケットを作って連写しよう

①フィルムのキャップなどを利用したアルコールロケットを作り、飛ばしてみましょう。アルコールロケットの作り方は、インターネットの次のサイトに載っています。
http://rika.jst.go.jp/kyouzai/data/01/01_frame.html (「飛行にかんするもの」の中にあります。)

②アルコールロケットを飛ばすのに慣れたら、水ロケットと同様にデジタルカメラで連写してみましょう。アルコールロケットは写真のように高い角度で打ち上げます。



水ロケットの水しぶきも撮る場合

- ①水しぶきをブレないように撮る場合は、1/1000 秒以下の高速シャッターが必要です。そのために、ISO 感度は高め（ISO400～1600）、絞り値は開放に近い値を使用します。
- ②ピントはあらかじめ水しぶきが飛ぶ距離あたりに合わせておき、撮影時はマニュアルフォーカスにしたほうがよいでしょう。露出制御モードもマニュアルでセットしておきましょう。
- ③レンズは中望遠（50～100mm 程度）を使うことになり、この焦点距離では焦点深度が浅いので、ピント合わせは正確に行いましょう。連写したときに、ロケットが画角内に収まるコマ数は、広角側のレンズのときより少なくなります。
F 値の小さい明るい単焦点レンズを使うとよりシャープな写真が撮れますが、焦点深度は非常に浅くなるため、ピント合わせはさらに慎重に行うことが重要です。
- ④たくさん撮影して、よいものを選びましょう。



3 室内で飛行軌跡を見る

①静止画の場合

プロジェクターにデジタルカメラを接続して、1コマずつホワイトボードに投影します。撮影した順にホワイトボードに投影し、水ロケットのロケットの輪郭をマーカーで写し取ります（トレースします）。打ち上げから、約1秒間（5～15ショット）ぐらいをトレースするとよいでしょう。



デジタルカメラとプロジェクターの接続例。（AVコードなどでつなく。）

* 1秒間に30コマ以上という超高速で連写して、写っている水ロケットの間隔が詰まりすぎていると感じたら、1コマおき、あるいは2コマおきにトレースします。

* 撮影した画像をパソコンに取り込み、パソコンとプロジェクターをつないで投影しても構いません。

②動画機能付きデジタルカメラで撮影した動画の場合

プロジェクターにデジタルカメラを接続して、1コマずつ（もしくは、1コマおきか2コマおきに）ホワイトボードに投影します。そして、①と同じようにマーカーでトレースしていきます。

③デジタルビデオカメラで撮影した場合

プロジェクターにデジタルビデオカメラを接続して、1コマずつ（もしくは、1コマおきか2コマおきに）ホワイトボードに投影します。そして、①と同じようにマーカーでトレースしていきます。

* 投影活動は長時間になることが多いので、デジタルカメラでは予備電池の用意を、デジタルビデオカメラではACアダプターを使用するとよいでしょう。

参考

画像編集ソフトで合成

画像編集ソフト（「Photoshop CS3」以降）を使うと、デジタルカメラで連写した画像を“自動的に”8-2～8-3ページのように合成することができます。この画像は、印刷用に見やすくするため、自動機能で合成した画像をさらに加工していますが、飛行軌跡を観察するためなら、自動処理だけで十分です。



画像編集ソフトで自動処理合成した連写画像の一部（加工していない）

4 トレースした飛行軌跡から考える

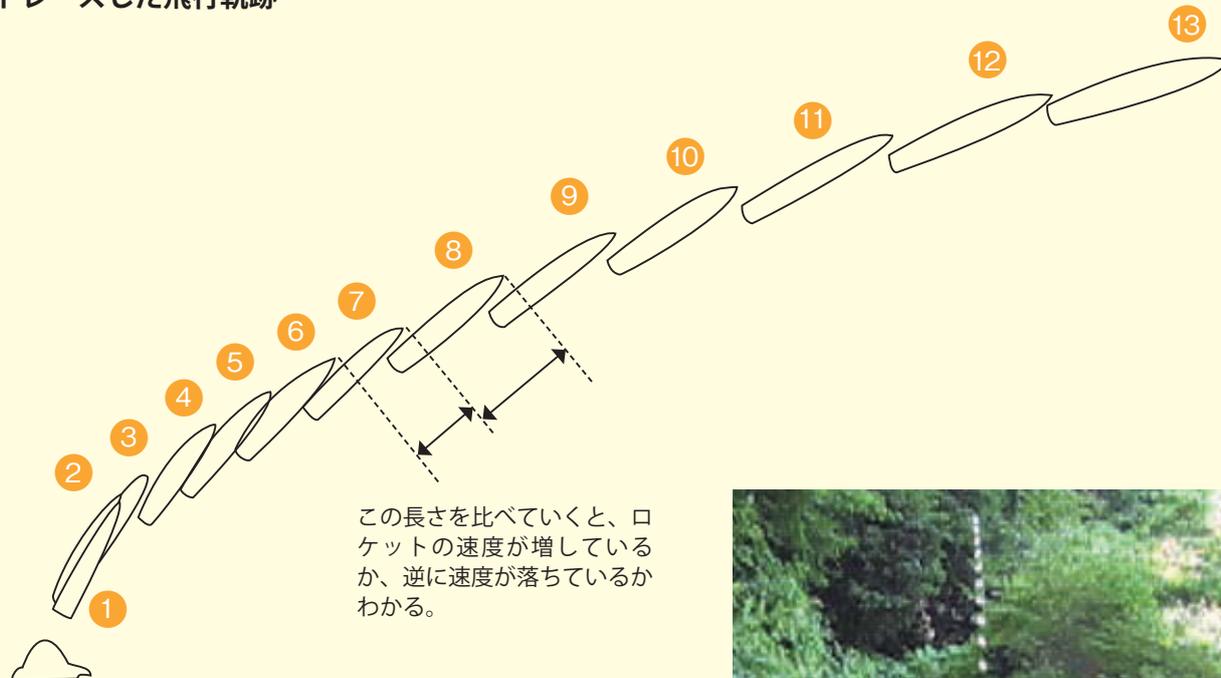
①打ち上げから速度の変化を調べよう

ア. 水ロケットの飛行軌跡をトレースしたら、下の図のように打ち上げから順に番号を付けます。そして、②～③、③～④のように各ロケットの間隔を、子どもたちに定規で測らせます。ロケットの先端部どうしの距離を測るのがよいでしょう。（この図は、8-2～8-3 ページのもとになる写真からトレースしたものです。この図では、ひとめ見ただけで加速するようすがわかります。測る前に、そこに気付く子どももいるかもしれません。）

イ. 子どもたちに、どんなことがわかったか聞きましょう。ロケットの先端部どうしの距離を書き出していくと、打ち上げから次第に速度が増していることが、はっきりとわかります。また、水の噴出が終わると、加速が終わり、一定の速さになることもわかります。

ウ. ロケットの姿勢と飛行する方向の関係についても話し合ってみましょう。（重力の影響で、ロケットは先端が向いている方向よりもやや下向きに飛んでいくのがわかります。またスピードが増すにしたがって、フィンが受ける力によって、ロケットの向きが飛んでいく方向に修正されていくことがわかります。）

トレースした飛行軌跡



発展●その2

アルコールロケットの飛行軌跡もトレースしてみよう

アルコールロケットの飛行軌跡を撮影した場合は、その軌跡を同様にトレースして、どのように加速しているか、子どもたちに調べさせましょう。

右の写真は、飛行軌跡を合成して示したものです。アルコールロケットは、水ロケットとはちがって、打ち上げ直後が最も速く、その後、速度は落ちていきます。



②この日の活動のまとめ

次のような発見などを子どもたちから導き出して、この日の活動のまとめとします。

水ロケットは飛行軌跡からわかるように、最初から最高速度で飛び出すのではなく、徐々にスピードを上げていきます。

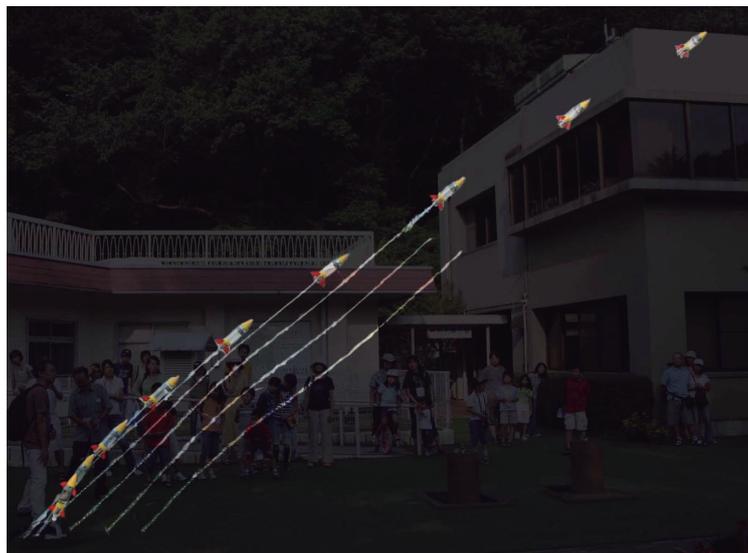
前(8-8)ページの発展その2のアルコールロケットは、打ち上げ直後に最高速度になっています。水ロケットとはこの点が大きくちがいます。

下の発展その4でも触れていますが、ロケットは水ロケットと同じように、最初はゆっくりした速度で上昇し徐々に加速していきます。逆に、例えば大砲の玉や投げたボールなどは、アルコールロケットと同じように、最初最も速く、次第に遅くなります。

発展 ● その3

水の軌跡も観察しよう

撮影した連続写真に水の軌跡がはっきり写っているときは、その水の線もトレースしましょう。右の写真のように、水の線が下に移動していくことができます。これは、水が重力によって時間とともに落下しているからです。



発展 ● その4

H-IIA ロケットの発射のようすを見よう！

インターネットを利用して、実際に宇宙に衛星を打ち上げている日本の H-IIA ロケットの打ち上げのようすを見ましょう。次のサイトで動画を視聴することができます。

http://jda.jaxa.jp/jda/v3_j.php?mode=level&time=N&genre=1&category=1001

●水ロケットと H-IIA ロケットの似ているところは？

水ロケットと H-IIA ロケットの打ち上げを比較して、似ている点はどんなことか、違う点はどんなことかなど、子どもたちに聞いてみましょう。例えば、「どちらも最初はゆっくりだが、次第に速度を増していく」ということに気付くのもよいでしょう。

考えさせよう
体験させよう

- ①カメラの位置を後方に下げて、たくさんの軌跡が写るように連写してみるのもよいでしょう。その結果を見て、水ロケットの加速はどのくらい続いているか、確かめてみましょう。（「水の噴出中は加速している」「水の噴出が終わると加速も終わる」などに気付くことができるでしょう。）
- ②水平飛行中の水ロケット、落下し始めた水ロケットの飛行軌跡も連写して、速度の変化を調べてみましょう。
- ③中学生以上の生徒には、連写して写った水ロケットの航跡から、水ロケットの飛行速度を計算させてみましょう。水ロケットの全長を測れば、写真に写った水ロケットとの比率から、速度を求めることができます。

安全対策

- ①水ロケットの打ち上げには危険が伴っていることをよく認識しておきましょう。
 - ア. 圧力容器を扱っている（参考：圧力容器、高圧ガス保安法他）
 - イ. ペットボトルの本来の目的以外の使用をしている（PL 法外）
 - ウ. 当事者以外は誰も安全を保証してくれない。
 - エ. 事故が発生しても誰も損害を補償してくれない。
 - オ. 自主自律、自己責任の活動であることをしっかり認識することが必要である。
- ②打ち上げ時には必ず管制官を配置しましょう。

子どもたちの安全確保のためには、安全管理責任者を決めてバラバラではなく一元化された状態で運営することが大切。そのため、安全確保のために訓練された管制官が必要です。
- ③空気入れ、ランチャーの安全を確認しましょう。
 - ア. 空気入れ・ランチャーは整備を行い、丈夫で安全なものを使いましょう。水ロケットの打ち上げに際しての空気ポンプによる事故が報道されたことがあります。国民生活センターによる市販の自転車用空気入れのテスト結果が下記の URL に掲載されているので参考にしましょう。
http://www.kokusen.go.jp/test/data/s_test/n-20061006_1.html#gyokai
 - イ. 空気入れは、レース用自転車に使用する圧力計付きの高圧用ポンプを使いましょう。
 - ウ. 電源が使用できるときには、圧力レギュレーター付きの小型の電動ポンプが安全です。
 - エ. 空気入れは、日本製あるいは日本製相当の信頼できるもの（できれば SG マークのあるもの）を使いましょう。
- ④ペットボトルは、必ず炭酸飲料のものを使用し、傷や割れがないか、よく確認しましょう。
- ⑤そのほか、ロケット 1 「基本型水ロケット」をよく理解し、活動を行いましょう。

キーワード

ロケット／水ロケット／飛行軌跡／速度／加速／連写（連続撮影）

教材提供 : 日本宇宙少年団川崎分団 大貫一朗氏
 発行 : 宇宙航空研究開発機構 宇宙教育センター

協力 : 財団法人日本宇宙少年団 YAC 株式会社学習研究社
 ©JAXA2009 無断転載を禁じます

1. 水ロケットの飛行軌跡をスケッチしよう

水ロケットの連続写真をトレースした結果を、8-8 ページの図のようにここにスケッチしておきましょう。トレースしたロケットの形には、8-8 ページの図のように①から順に番号をつけておきます。

2. トレースしたロケットとロケットのきよりを測ろう

ロケットがどれだけ進んだか、そのきより（①のロケットの先端と②のロケットの先端の間かく）を測って下の表に書きましょう。このきよりは、ホワイトボード上の定規で測った長さです。そして、このきよりがどのように増えているか、計算して下の（ ）に数字を書きましょう。

ア	①～②	cm	イーア = () cm
イ	②～③	cm	ウーイ = () cm
ウ	③～④	cm	エーウ = () cm
エ	④～⑤	cm	オーエ = () cm
オ	⑤～⑥	cm	カーオ = () cm
カ	⑥～⑦	cm	キーカ = () cm
キ	⑦～⑧	cm	クーキ = () cm
ク	⑧～⑨	cm	ケーク = () cm
ケ	⑨～⑩	cm	コーケ = () cm
コ	⑩～⑪	cm	サーコ = () cm
サ	⑪～⑫	cm	シーサ = () cm
シ	⑫～⑬	cm	スーシ = () cm
ス	⑬～⑭	cm	

★この数が0より大きければ、ロケットは速度を増しています。逆に0より小さければ、速度が落ちていきます。

3. アルコールロケットの飛行軌跡をスケッチしよう

アルコールロケットの飛行も調べたときは、水ロケットのときと同じように、ここにスケッチしておきましょう。トレースしたロケットの形には、8-8 ページの図のように①から順に番号をつけておきます。

ロケットが真上に上がる飛び方をしたときは、このらんを縦にしてかきましょう。

4. アルコールロケットの飛行も同じように計算してみよう

水ロケットのときと同じように、アルコールロケットの飛び方も、下の表に数を書き入れ計算してみましょう。そして、2の水ロケットで計算した結果と比べましょう。

ア	①～②	cm	イーア = () cm
イ	②～③	cm	ウーイ = () cm
ウ	③～④	cm	エーウ = () cm
エ	④～⑤	cm	オーエ = () cm
オ	⑤～⑥	cm	カーオ = () cm
カ	⑥～⑦	cm	キーカ = () cm
キ	⑦～⑧	cm	クーキ = () cm
ク	⑧～⑨	cm	ケーク = () cm
ケ	⑨～⑩	cm	コーケ = () cm
コ	⑩～⑪	cm	サーコ = () cm
サ	⑪～⑫	cm	シーサ = () cm
シ	⑫～⑬	cm	スーシ = () cm
ス	⑬～⑭	cm	

★この数が0より大きければ、ロケットは速度を増しています。逆に0より小さければ、速度が落ちていきます。