



大阪府立大手前高等学校 定時制の課程 久好圭治*
 (業績分担者) 大阪府立芥川高等学校 谷口真基**
 (業績分担者) 大阪府立春日丘高等学校 定時制の課程 江菅純一***

目的

近年、火星に向けてアメリカが打ち上げた探査車により発見された鉱物は、水が存在する環境で作られたと考えられ、また、探査機などが撮影した火星表面の写真から、クレーターの斜面を液体が流れたような地形が見つかった(図1)^{1,2)}。火星の半径は地球の約半分(3396.2 km)ほどで、質量は地球の約1/10である。火星表面での重力は地球の0.38倍でしかない³⁾。この低重力の条件下で水はどのように流れているのだろうか。火星の重力下での水の振る舞いを実験的に調べることを目的として、重力可変装置を試作した。この装置を用いて、地球上の水の振る舞いとを比較を行った。地球外の惑星や衛星の重力を実験室内で実現し、その環境下での物理現象を観察することにより、より身近に宇宙を体験できる環境をつくることが可能となった。

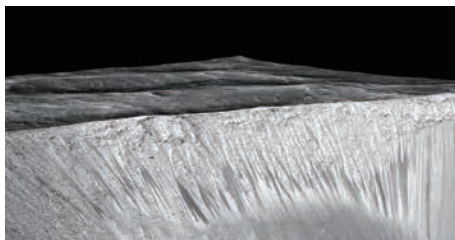


図1 火星のクレーター内壁を流れる水¹⁾

ことが可能となる。この装置を用いて、火星表面を模倣した砂に染み込む水の振る舞い、また斜面を流れる水の振る舞いを、ハイスピードカメラを用いて観察した。火星上の水は、地球上での水の挙動とかなり異なることがわかった。火星の水は、見かけ上の粘性が大きくなったような動きを示した。この装置は、今後の太陽系探査において、さまざまな天体環境での予備実験に重要な役割を果たす可能性を秘めている。

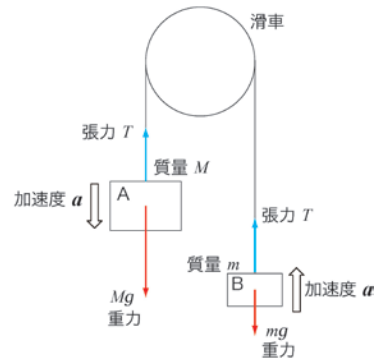


図2 アトウッドの滑車

概要

アトウッドの滑車(図2)を利用すれば、落下カプセルとおもりの重量を調整することで落下カプセルの加速度をコントロールできる。すなわち、落下カプセル内に月や火星の重力を発生させることができると考え、重力可変装置を製作した。この簡単な原理を用いて目的とする火星や月の重力を実験室内で実現することができた。すでに製作済みの微小重力発生装置^{4,5)}と連携すれば、0 G から1 G の任意の重力を生み出す

教材・教具の製作方法

I. 落下塔

2 m を越えて滑車を固定できる場所を理科倉庫の天井を改造することで確保した。滑車は、自転車のホイールを使った。リムの底をシリコンゴムで覆って滑らかな底面をつくった。天井板を支えている支柱を利用して、この自転車の車輪を固定した(写真1(a))。支柱は、2×4材を用いた。上部に天板を設置した(写真1(b))。ここに、落下カプセルを支える電気錠(ロックマンジャパン社製 LC-4700DLSS)を取り付けた。落下カプセルとおもりを繋ぐワイヤーは、直径1 mm、長さ5 m のステンレス撚り線を使用した。落下塔の全体図を写真1(c)に示す。

* ひさよし けいじ 大阪府立大手前高等学校 定時制の課程 教諭 〒540-0008 大阪府大阪市中央区大手前2-1-11
 〆(06)6941-0051 E-mail kjlh73@nifty.com

** たにぐち まき 大阪府立芥川高等学校 教諭

*** えすが じゅんいち 大阪府立春日丘高等学校 定時制の課程 教諭



写真1 重力可変装置

- (a) 滑車
- (b) 2 × 4材で支柱を組み天板を取り付ける
- (c) 装置全体

落下カプセルの制動装置には、落下カプセルの運動エネルギーを吸収し内部の測定装置などにダメージを与えずに着地させるための性能が要求される。落下カプセルが跳ね返らずに静止できる衝撃吸収材として、微小重力落下装置で使用したビーズクッション（65 × 65 × 43 cm：ニトリ製）を用いた。

上昇するおもりの制動装置は、2本のゴムを平行に張ったものを用いた。2本のゴムの間におもりをつるしたワイヤーを通した。おもりはこのゴムで衝撃を和らげられて上昇を止める。2本のゴムは、高さ2mの脚立を利用して張ることにした（写真1（c））。

II. 落下カプセル

内部で実験ができるように木製の箱（30 × 25 × 20 cm）を製作し、落下カプセルとした。落下カプセル（2490 g）は振動を抑えるためにアルミアングルで補強した。落下カプセル内の重力の測定は、Crossbow社製の加速度計 CXL17LF3 を使用した。この信号をパソコンに取り込むデータロガーは LabJack社製 U3HV-LJ を用いた（写真2）。落下カプセル内の水の動きを高速度カメラ CASIO EX-FC100（210 fps）で撮影した。

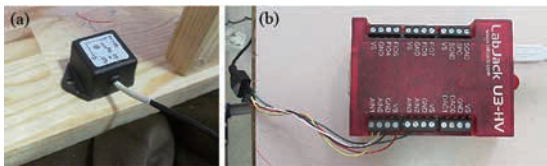


写真2 加速度計 (a) とデータロガー (b)

III. 自動給水装置

装置を考案した（図3）。火星表面に見立てた砂を入れたピーカーの上に、水を入れたピーカーの縁を接してビニールテープで繋ぐ。水を入れたピーカーの底にバネをつける。バネの端は落下カプセルの天井に固定する。地上重力では、上のピーカーは水の重さでバネが伸びて傾いた状態となり水はこぼれない。落下後、上のピーカーに働いていた力が小さくなりバネが

縮むためピーカーの底が持ち上がり、内部の水は砂の入ったピーカーに注がれる。

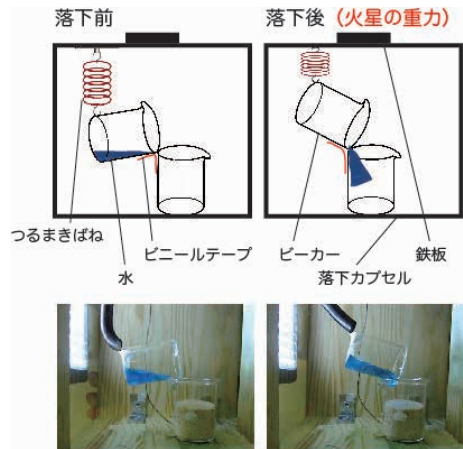


図3 自動給水装置

IV. 重力可変装置で作った火星の重力

火星表面の重力は地球の0.4倍である。落下カプセルの重量2600g、おもりの重量は242gとして落下カプセル内に火星表面の重力を作った。落下カプセル内の重力を図4に示す。火星の重力継続時間は約0.6秒である。この間の重力の平均をとると、 $0.376 \pm 0.019 G$ であった。火星の表面重力を再現していることが確認できた。

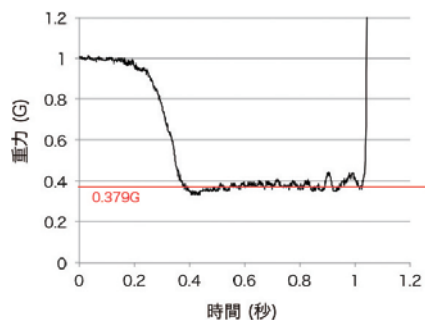


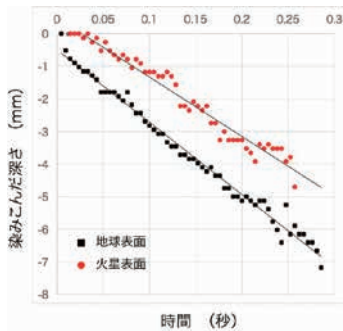
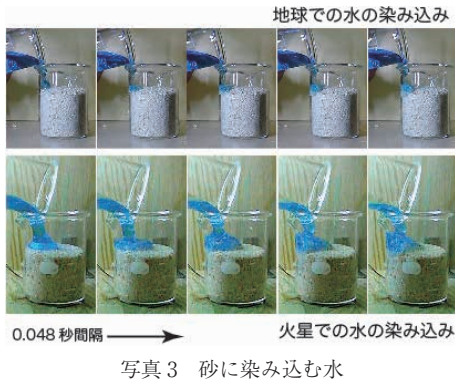
図4 重力可変装置による火星重力

学習指導方法

I. 火星表面で砂に染み込む水

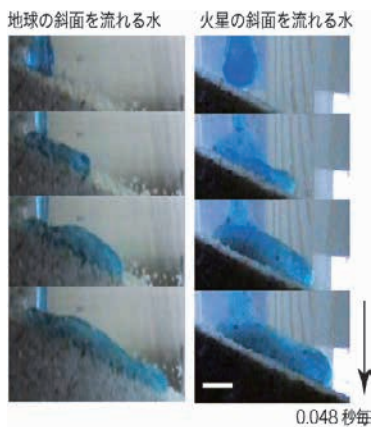
写真3に示すように、ピーカーに入れた砂に水を注ぎ、地球と火星での染み込み具合を比較した。砂は観賞魚用の砂で粒径は0.60 mm、水は食青で青く染めてある。水が砂に染み込む様子を高速度カメラで撮影した。この映像を1/210秒毎の静止画にして、染み込む位置を測定した。その結果を図5に示す。縦軸は染み込む深さ（mm）、横軸は水が砂の表面に接した時を原点とした経過時間（秒）である。■は地球、●は火星を示す。明らかに、地球の水のほうが火星に比べて早く染み込んでいる。染み込む速度はグラフの傾き

から、地球では 22.2 mm/s、火星では 18.3 mm/s であった。重力の違いによって、水が砂に染み込むスピードに差が生じている。

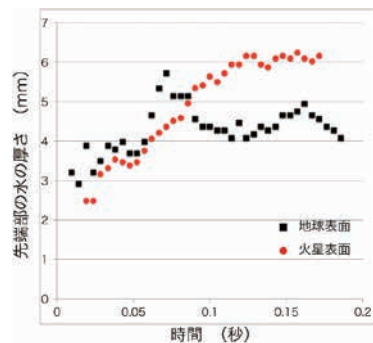
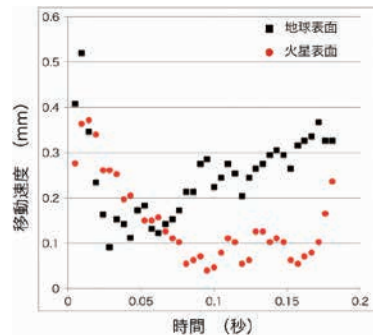
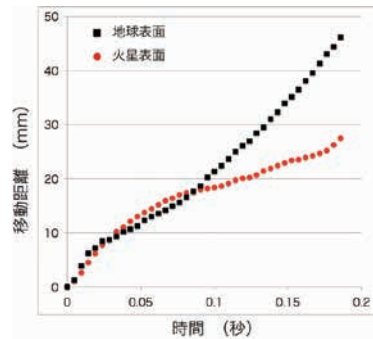


II. 火星表面で砂の斜面を下る水

アクリルケース (80×57×15 mm) 内部に砂で斜面 (斜度: 約 24°) をつくり、自動注水装置のピーカーから水を注いだ。その様子を同じく高速度カメラで撮影した (写真 4)。水が斜面に接触した瞬間から 0.048 秒毎の状態を示している。スケールバーは 10 mm である。



この画像から水が移動する様子を解析した。下に向かって移動する水の先端位置を斜面に沿って測定した。水が砂に接した位置と時刻をそれぞれ原点とした。縦軸: 移動距離、横軸: 時間として関係を求めた。その結果を図 6 に示す。また、速度との関係を図 7 に示す。■が地球、●が火星重力での運動をあらわす。地球の水は、流れ始めて 0.009 秒後から移動速度が減少し始め、0.029 秒まで続いた。その後、速度は上昇していった。また、火星重力では、同様に 0.014 秒から 0.081 秒まで速度の減少が続き、その後、緩やかに上昇していった。速度の変化との相関関係は特に見られないが、地球では 0.052 秒から 0.071 秒に厚さが急激に増加した。また火星重力では、0.124 秒まで徐々に厚さが増していき、その後、厚さを保って斜面を下っていった (図 8)。



地球の水は表面から約2 mm 砂の層に染み込みながら流れていく様子が観測された。一方、火星では水はほとんど染み込まず、砂の表層の粒子が水の中で内部に巻き上げられる様子が見られた。地球の水は厚さが異なる2つの部分（浅い進行方向の前方領域と深い後方領域）が生じた。火星の水は、全領域ではほぼ一定の厚さ（約6 mm）であった（図9）。

斜面を下る火星の水は、地球の水の振る舞いと大きく異なっていた。重力と表面張力のバランスが変わるために水のまとまり具合に変化が生じ、水の粘性が増したような「どろり」とした動きに見える。

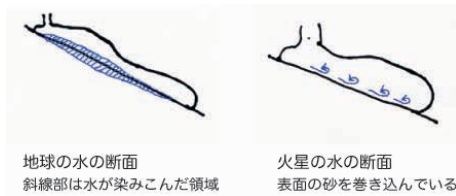


図9 砂と水の境界面の状態

Ⅲ. 火星表面での水の粘性

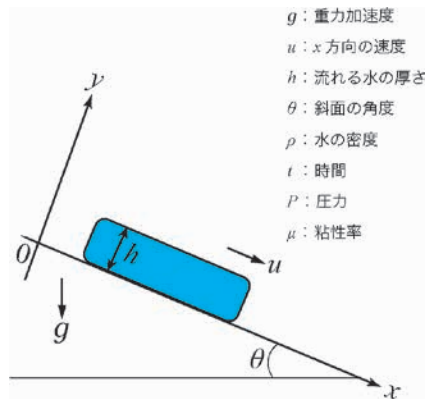


図10 斜面を流れる水の模式図

火星表面の「どろり」とした動きに見える水の流れを考察する。図10のように、斜面方向をx軸、斜面に直交する方向をy軸、斜面の傾きを θ 、水流の速度を u 、水流の厚さを h とする。x軸方向のナビエ・ストークス方程式をたてる。簡単のため、水と斜面の接触面では流速は0とする。y軸方向の速度 $v=0$ 、 $\partial P/\partial t=0$ とする。また、境界条件は $y=0$ で $u=0$ 、 $y=h$ で $du/dy=0$ として上の式を解くと、粘性率 μ は次の式で与えられる。

$$\mu = \frac{\rho g h^2}{2u} \sin \theta$$

実験によって得られた地球と火星の水の流れの測定値を表1に示す。地球と火星での水の粘性率の比を求めた。火星での水の粘性率 μ_M を地球上での水の粘性率 μ で表すと、 $\mu_M = 2.4\mu$ すなわち、火星上の水は地球の水の2.4倍のみかけの粘性率を有することに

なる。観測で得られた「どろり」と流れる火星の水は、上記の考察で求めた火星重力下でのみかけの水の粘性率の増加と調和的である。火星のガリー地形を形成したと思われる高粘性の液体⁶⁷⁾の候補として、低重力によるみかけの粘性が増加した水も考えられる。

水の斜面との接触面では流速は0と仮定をしたが、実際は図9のように、地球上では水は砂に染み込む。また火星上では、接触面境界付近で砂が舞い上がっている様子が観測された。このことは、低重力下で粘性率が見かけ上大きくなる原因についての解決の糸口となるかもしれない。

表1 斜面を流れる水の測定値

		地球表面	火星表面
重力 g	[m/s ²]	9.8	3.7
水の密度 ρ	[kg/m ³]	1000	1000
水流の厚さ h	[mm]	4.4	6.1
水の流れの速度 u	[m/s]	0.29	0.08
斜面の角度 θ	[度]	24	23

実践効果

定時制高校には挫折経験を持つ生徒が多くいる。科学は未知の現象を研究するから、実験が思い通りにならないことは日常茶飯事で、我々の科学部では教師も生徒も同じテーブルで議論する。そこで「わからないことは恥ではない」と腑に落ちる。「わからないから面白い。わからないからわかりたい」が研究のエネルギーとなっていく。生徒は既存の常識に囚われない豊かな発想を駆使し、装置製作や研究活動を展開していった。この装置はそんな生徒の知恵と会話の相互作用から生まれた。彼らの特殊な経験や突飛な意見を引き出し形にしていくことで、研究の成果以上に手に入れたものは、諦めない姿勢だと感じる。

科学の成果は肩書きで判断されない。誠実に実験を繰り返し、正確なデータを揃え、わかりやすく丁寧に発表する。それが科学の分野ではきちんと評価されるのだと生徒たちは知った（日本物理学会 Jr.セッション2017、日本地球惑星科学連合大会高校生ポスター発表2017）。定時制高校には自己肯定感の低い生徒が少なくない。そのなかで自らの研究成果が認められたことは、個々の生徒の中で大きな転機となった。様々な研究で多くの評価を頂いているが、自分たちのしていることに誇りを持ち、科学に対して誠実であろうとする態度は、すべての部員の中に根付いている。

参考文献

- 1) <http://www.nasa.gov/press-release/nasa-confirms-evidence-that-liquid-water-flows-on-today-s-mars> (2015年9月28日閲覧)。
- 2) 宮本英昭, 橋省吾, 平田成, 杉田精司編集: 惑星地質学, 東京大学出版会 (2008)。

- 3) 国立天文台編：理科年表 第88冊（平成27年），丸善出版（2014）。
- 4) K. Hisayoshi and C. Uyeda: Dynamical Motions of Diamagnetic Solid Particles Induced by Static Magnetic Field in Cosmic Condition, J. Jpn. Soc. Microgravity Appl., 29, 176-183 (2012).
- 5) 野村悠祐，太田靖次郎，藤丸祐樹：微小重力をつくる～室内で利用できる小型微小重力発生装置の製作と改良～，高校生科学技術チャレンジ（2012）。
- 6) N. Mangold and F. Costard: Debris flows over sand dunes on Mars: Evidence for liquid water, J. Geophys. Res., 108, 5027 (2003).
- 7) V. F. Chevrier, R. Ulrich and T. S. Altheide: Viscosity of liquid ferric sulfate solutions and application to the formation of gullies on Mars, J. Geophys. Res., 114, E 06001 (2009).