

重力可変装置で火星表層の水の流れを解析する 第 4 報

氷川 海人¹ 大河内 雛希¹ 吉村 知怜¹ 丸山 嘉祥¹ 次田 凜¹ 藏田 蓮叶¹ 桑坂 拓磨² 吉谷 思唯² 小濱 晴輝² 小川 怜央² 日高 豹牙³ 五十嵐 斗和³ 下浜 颯真³ 吉田 真英³

¹大阪府立春日丘高等学校 定時制の課程 科学部

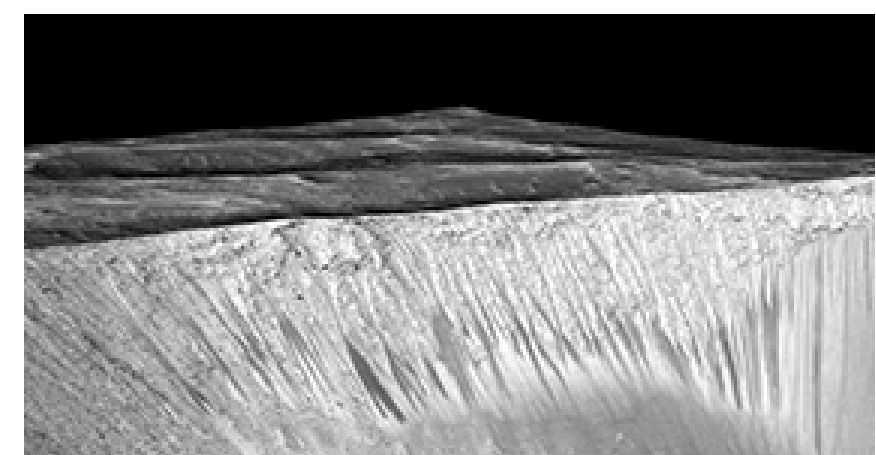
²徳島県立富岡西高等学校 自然科学部

³大阪府立今宮工科高等学校 定時制の課程 科学部

2026.5.24

火星に流れる水

米航空宇宙局 (NASA) などの研究チームは、火星の地表に塩を含む水が流れている可能性を強く示唆する証拠を見つけた (2015)。



火星表面で水はどのように流れているのだろう。火星の水の振る舞いを調べるために、われわれの先輩が 2017 年 JpGU 地球惑星科学連合大会の高校生ポスター発表で火星重力をつくり、その中で簡易的な砂への注水実験を行った。



今回、われわれは水の浸透実験装置を改良し、条件の違いによる水の浸透の変化を見ようと試みた。昨年は砂の粒径は 2 種、重力値は 2 つの 4 通りの組み合わせが行えなかったが、今回は粒径を 4 種、重力値を 4 条件準備し、16 通りの条件を設定した。

重力可変装置

原理：アトウッドの滑車

物体 A, B の運動方程式

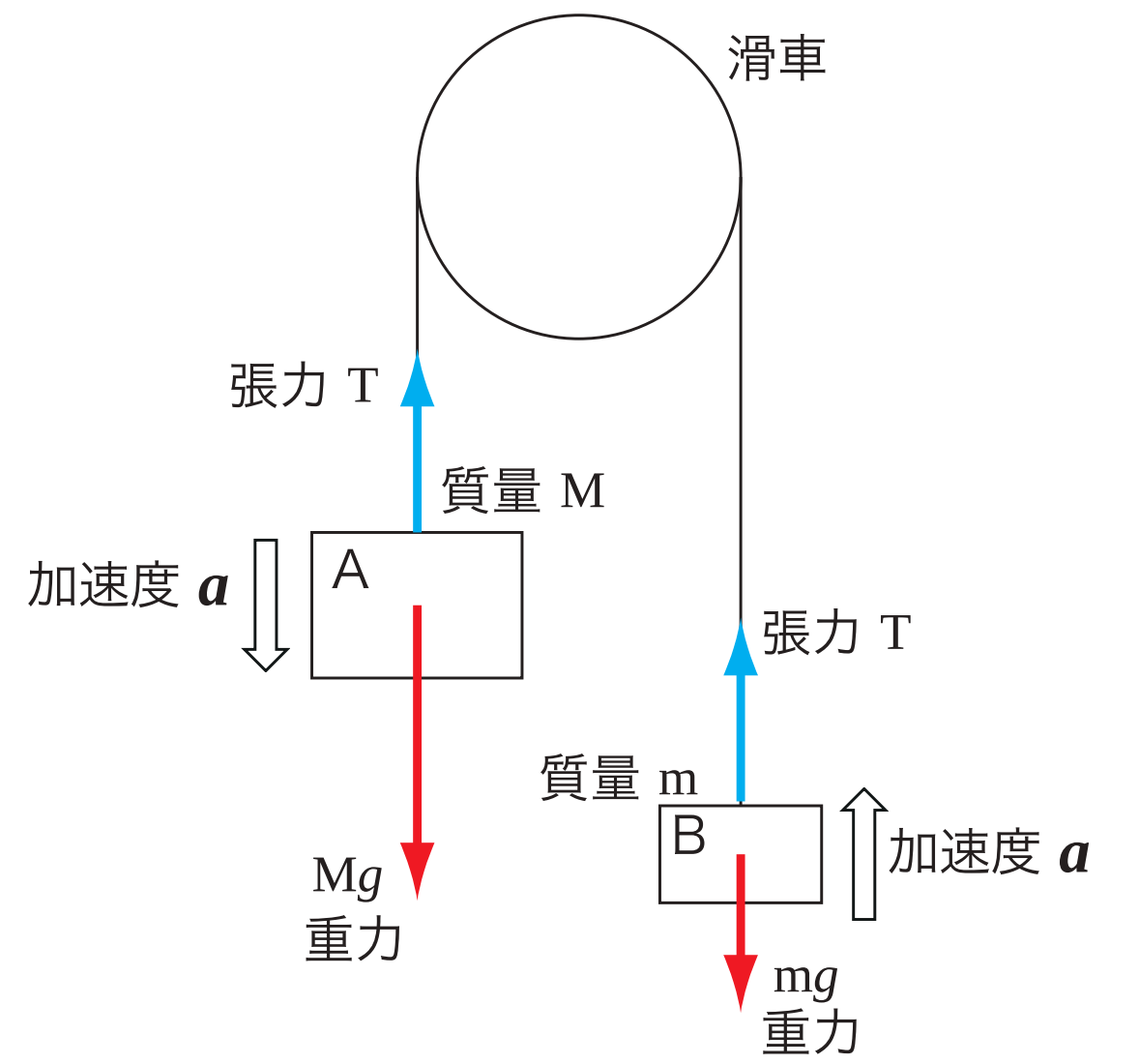
$$\begin{cases} Mg - T = Ma \\ T - mg = ma \end{cases}$$

この式を解いて、

$$a = \frac{M - m}{M + m} g$$

物体 A の内部で重力は、

$$G = g - a$$



実験装置全体図



2 個の滑車を用いたシステム

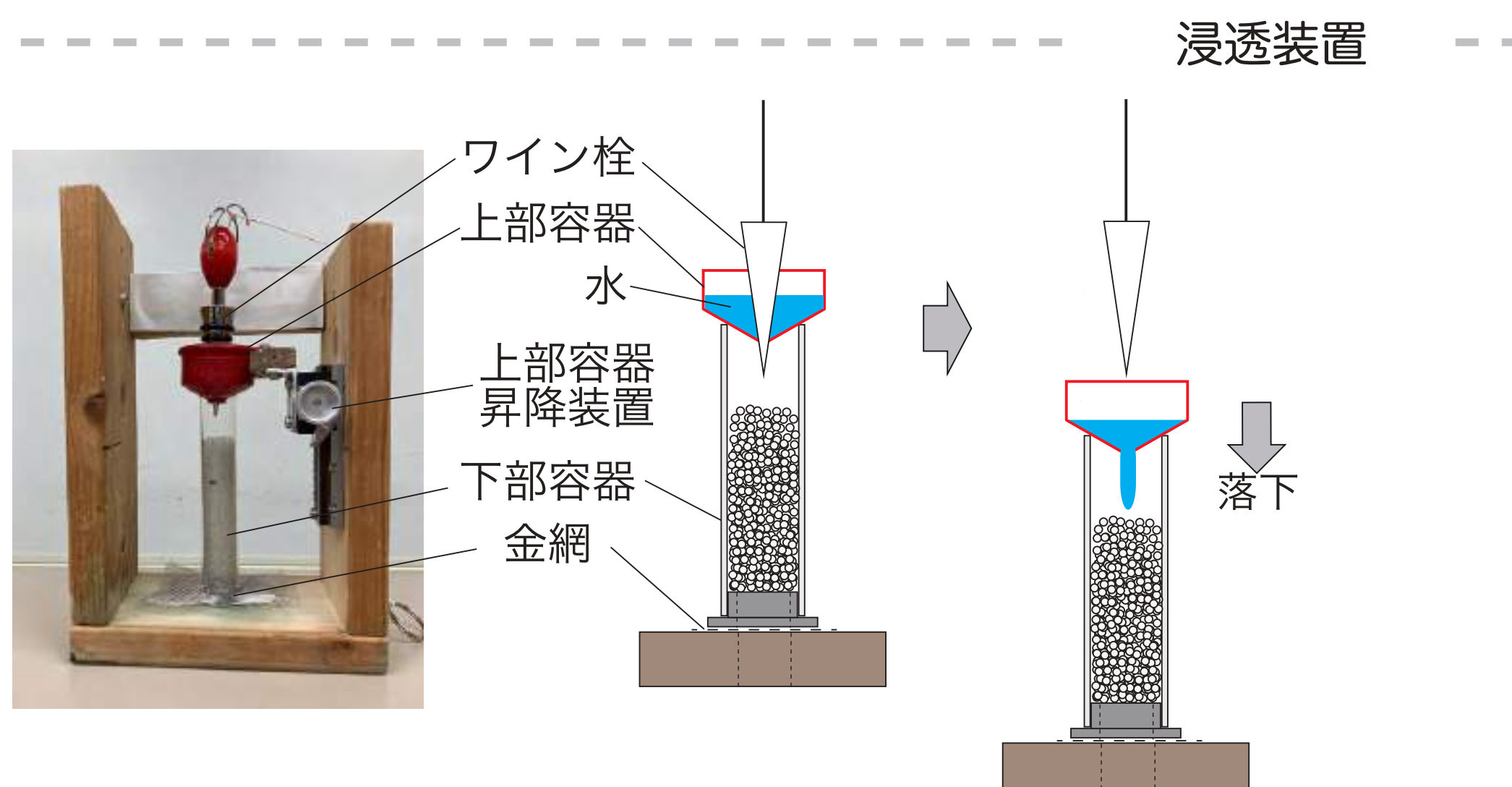
落下距離を少しでも長くするために、小さい 2 個の滑車を用いたシステムにした。



自転車のホイールを用いたシステム

2 個の滑車を用いたシステムは、落下棟の上部に約 100cm の間隔をあけて 2 個の金属製滑車を設置した。小さな径の滑車を使用することで落下時間を伸ばせないうと考えた。この滑車を左右に間隔を開けて 2 個設置することで落下距離を確保することができた。落下時間を伸ばし、ふたつのカプセル間の距離も離すことができた。上昇カプセルを電磁石で固定し、その電源を切る事で落下カプセルを落下させる。上昇カプセルの制動には、ナイロンのネットを使用した。自転車のホイールを用いたシステムは、天井高が確保されている部屋に設置した。自転車の車軸が振動しないように、車軸周りを補強した。ともに、落下カプセルには落下中の重力加速度を測定するため、Crossbow 社製の加速度計 CX17LF3 とデータロガー U3HV-LJ を取り付けた。

水の浸透実験



上部容器には水 10cc を注入した。この容器は直径 40mm で底には円形の直径 5mm の穴が空いており、この穴をワイン栓で塞いでいる。下部容器は大きさが直径 21mm、長さは 100mm で、底部には網をかけた金属の台に差し込んでいる。砂 (ガラスビーズ) はこの下部容器に底面から高さ 70mm まで均一に詰めておく。ワイン栓にはたこ糸がつけられており、このたこ糸の先は落下棟の天板に接続されている。

実験方法

LED 照明

ワイン栓

上部容器

ガラスビーズ

下部容器

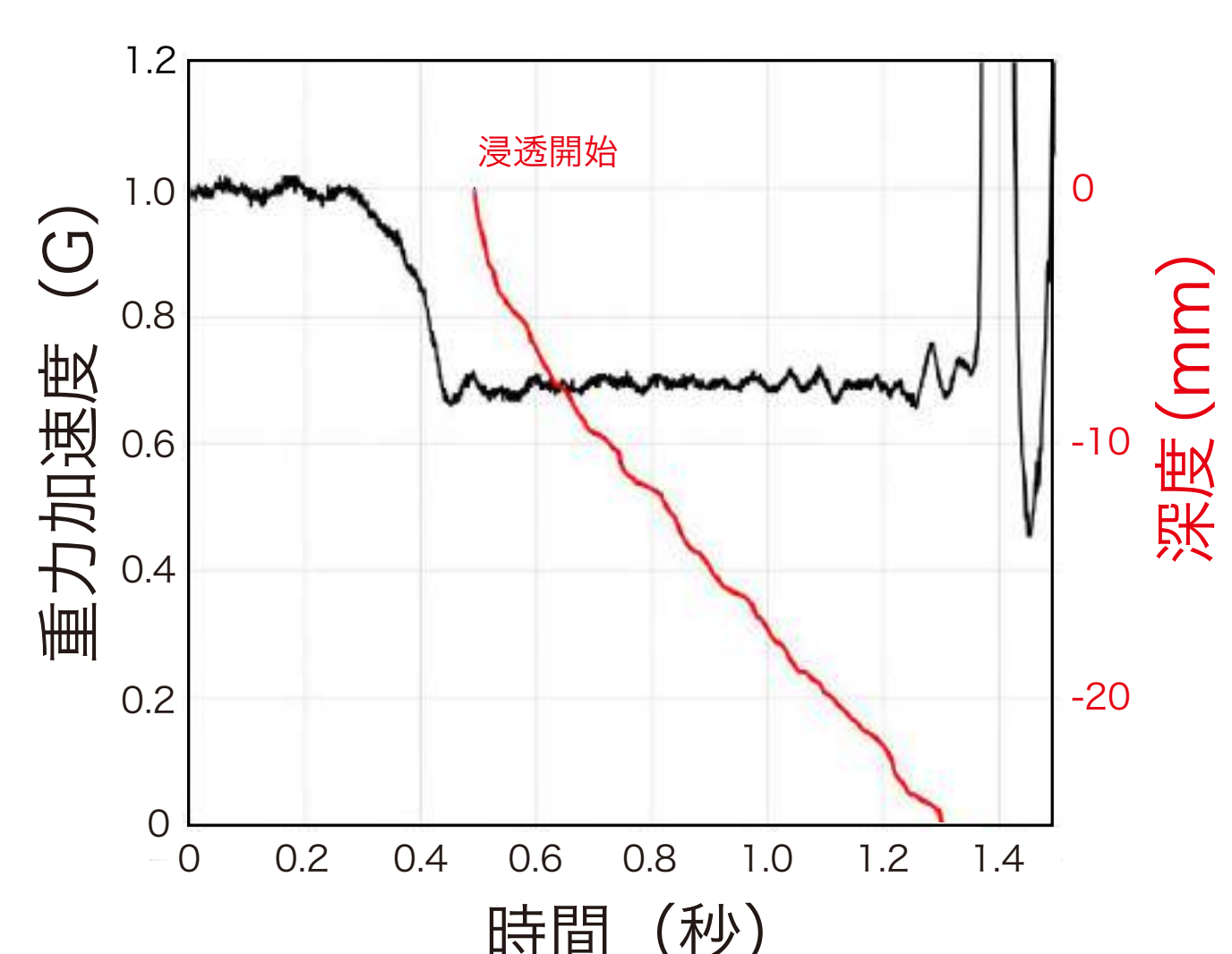


ハイスピードカメラ

バランス用おもり

上部容器に水、下部容器に砂 (ガラスビーズ) をセットする。浸透装置を落下カプセルに取り付ける。火星重力実験において、落下カプセルを落下させたときに、火星重力に達した位置でこのワイン栓が抜け、上部容器に蓄えられていた水が下部容器の砂の上に流れ落ちる。上部容器には 10cc の水を注射器で注ぎ入れた。水が染みこむ様子をカメラ (オリンパス Tough TG-5) で高速撮影 (240fps) する。粒径 0.85mm、1.19mm、1.75mm、2.25mm の 4 種のガラスビーズを用いた。

重力加速度：0.7G
粒径：0.85mm



砂の中を浸透していく水の動きをグラフに表した。カプセルが落下後、一定の重力になった時点で水が浸透し始めた事が確認できた。浸透中はほぼ重力値は一定である。

実験結果

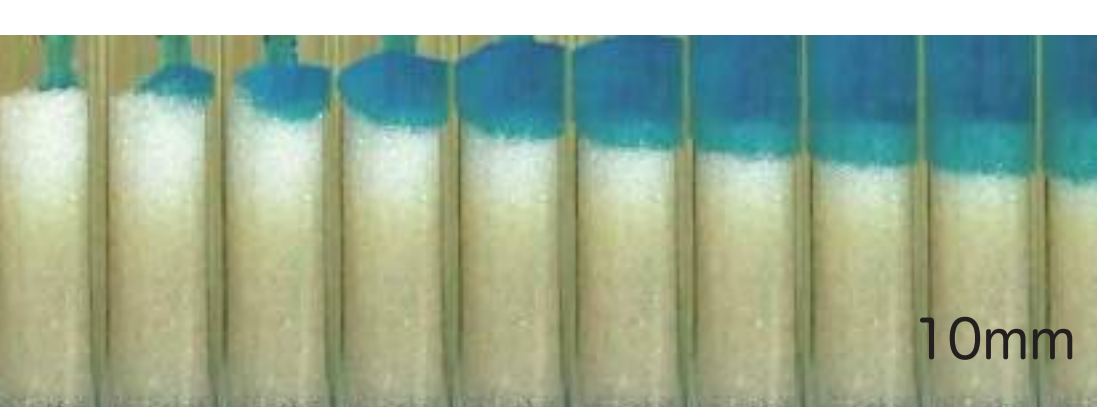
4 種の粒径の砂 (ガラスビーズ) と 4 つの重力値を組み合わせ、各設定で浸透実験を行った。砂の表面から水が浸透していく様子を連続写真で示す。染み込んでいく水の先端部を測定し、浸透深度 (mm) の時間経過をそれぞれグラフにした。時間軸の原点は水が砂の表面に接した時とした。

粒径 1.20mm 重力 0.36G (火星重力)

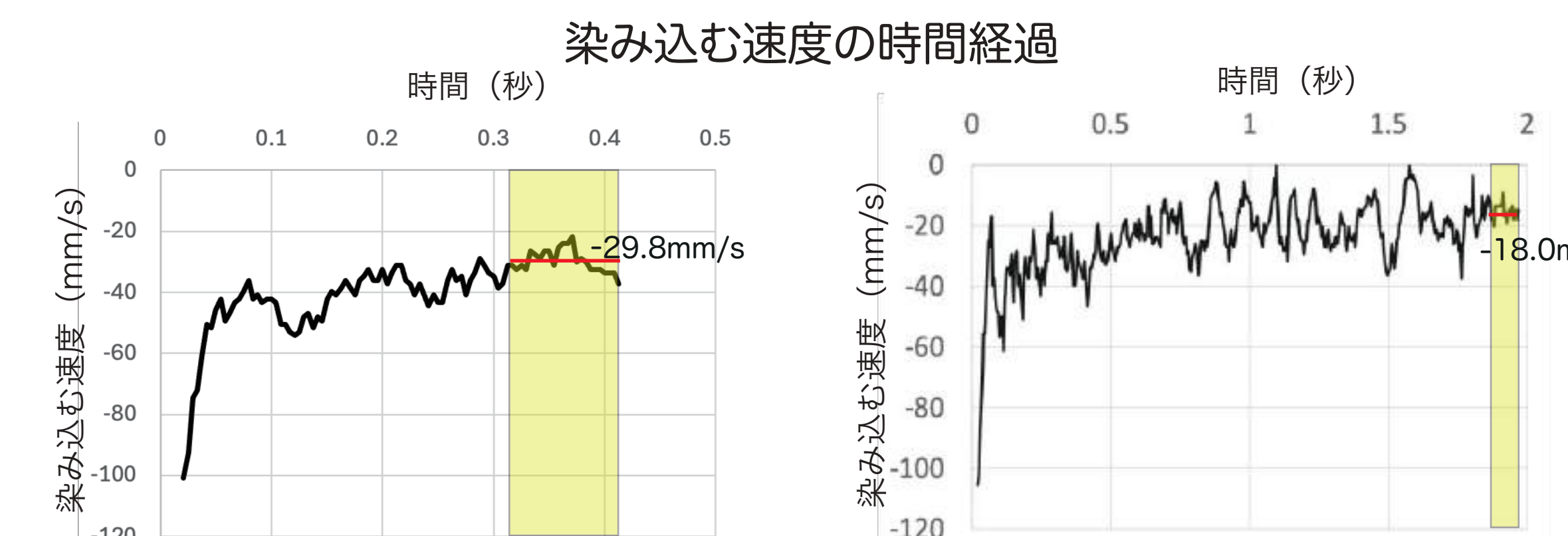


→ 0.042秒間隔

粒径 0.85mm 重力 1.0G (地上重力)

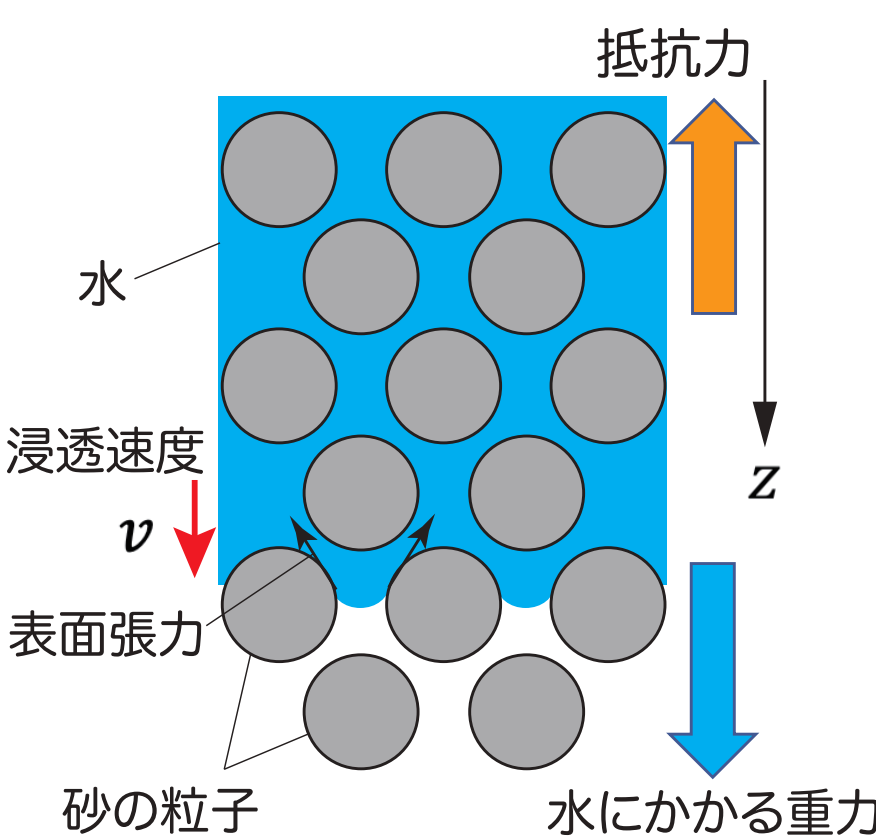


→ 0.042秒間隔



水が染みこむ先端の位置を計測し、水の染み込む速度の時間経過を求めた。時間がたつにつれて染み込む速度の絶対値は小さくなっていき、一定の値になる。測定の終わりの 0.1 秒間の速度を平均して、終端速度とした。

水の染みこむ様子を式で表す



砂の中の水にかかる力を考える

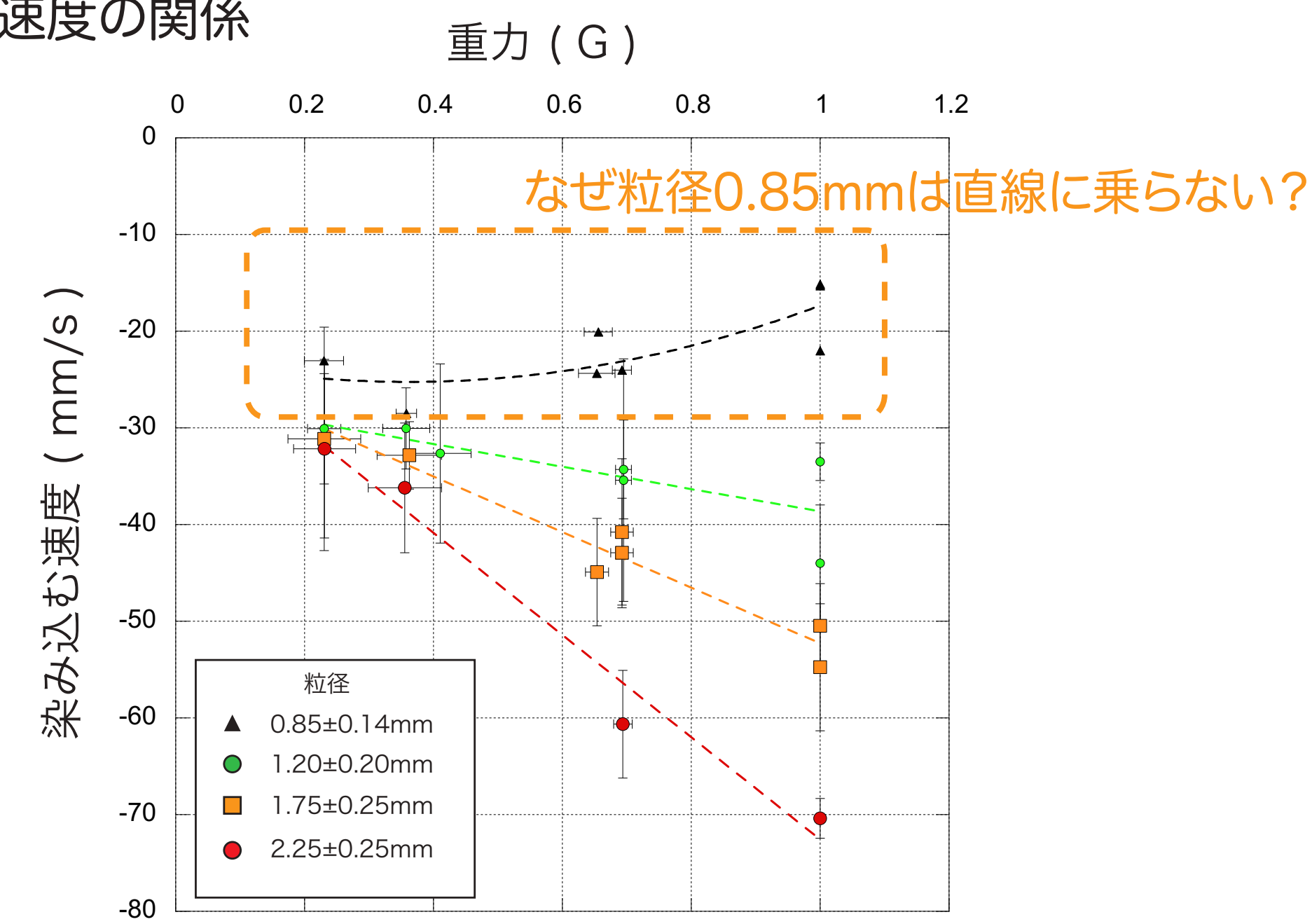
$$\rho g L = \frac{2\gamma \cos \theta}{r_p} + \frac{8\rho \nu L v}{(r_p)^2}$$

重力 毛細管の吸引力 粘性抵抗

v : 染み込む速度 g : 重力加速度
 ρ : 液体の密度 L : 染み込んだ深さ
 γ : 表面張力 r_p : 砂の間隙の有効半径
 ν : 動粘性係数 a : 砂の粒径
 θ : 接触角 A : 定数

$$r_p = Aa \text{ の関係があるので } v = \frac{A^2 a^2}{8\nu} \left(g - \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho A a L} \right) \quad \text{ここで } L \rightarrow \infty \text{ とすると}$$
$$v = \frac{A^2 a^2}{8\nu} g \quad \text{終端速度}$$

重力と浸透速度の関係



今後の課題と展望

- ・砂が染み込むための最小の粒径 (粒径の閾値) を見つけ出す。
- ・低重力で砂表面を動かさずに再実験を行う。
- ・結果を統一的に記述できる理論を模索する。

「宇宙土壌学」を構築し、「宇宙農業」をはじめよう!

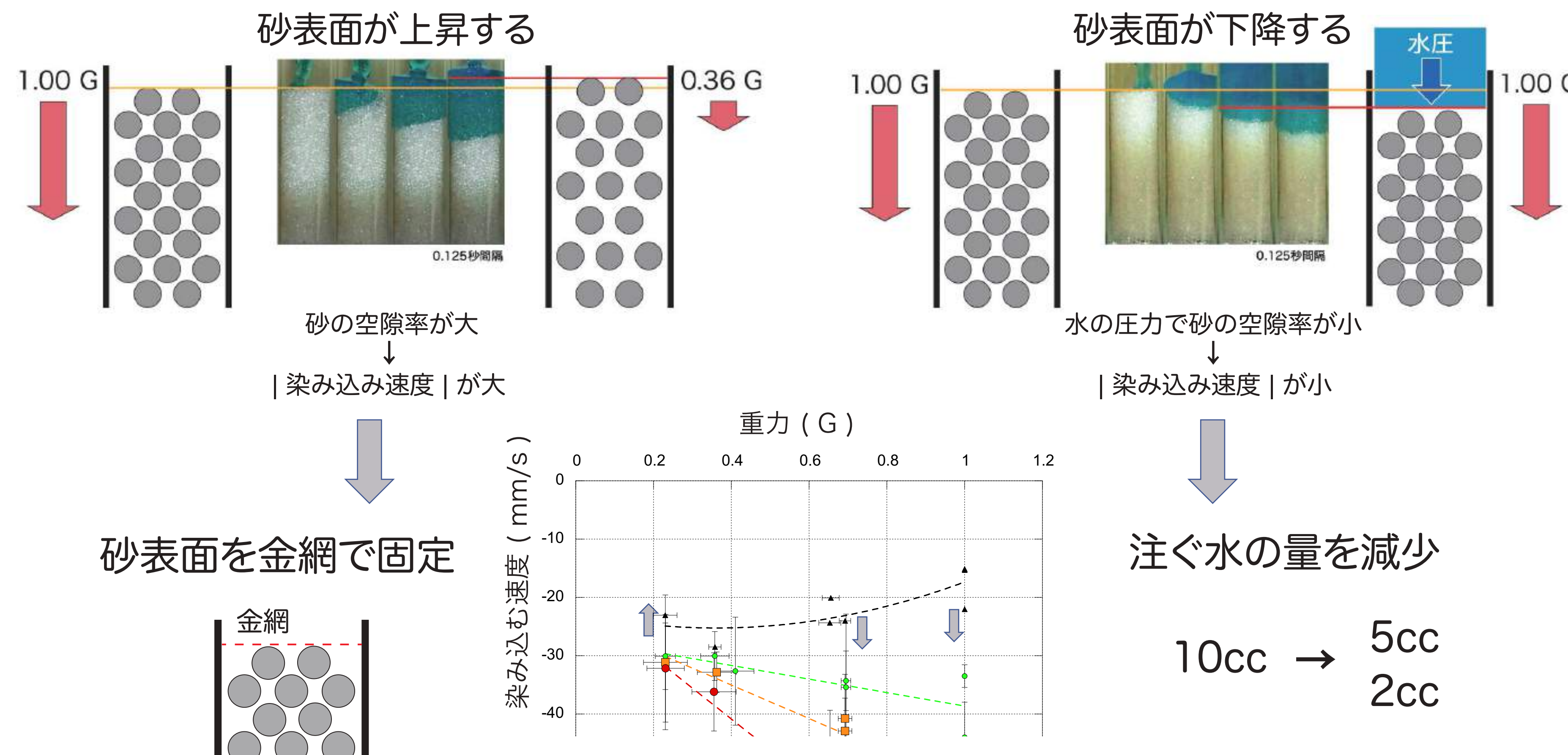


考察

粒径 0.85mm の砂の染み込む速度が理論式から外れる原因

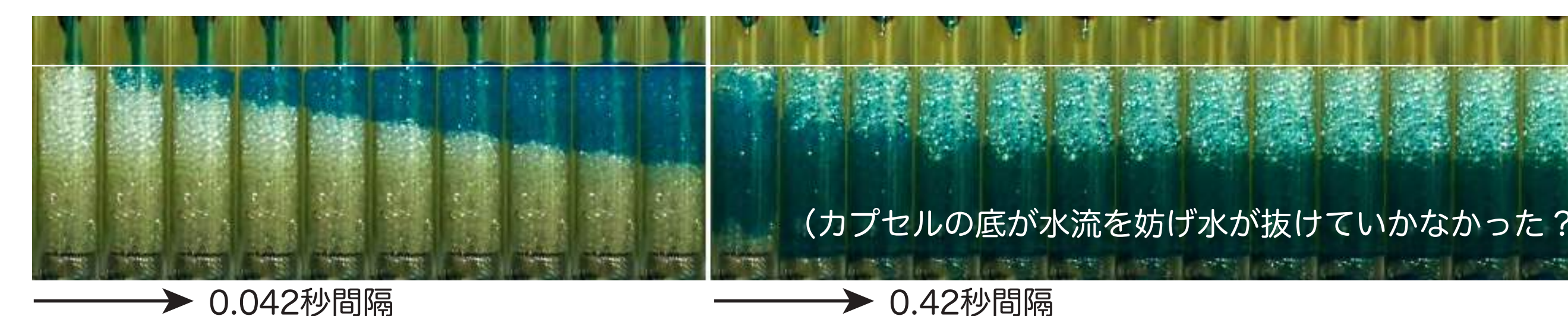
粒径 1.20mmv 重力 0.36G (火星重力)

粒径 0.85mmv 重力 1.0G (地球重力)



地上重力 1.0G で注ぐ水を変えて再実験

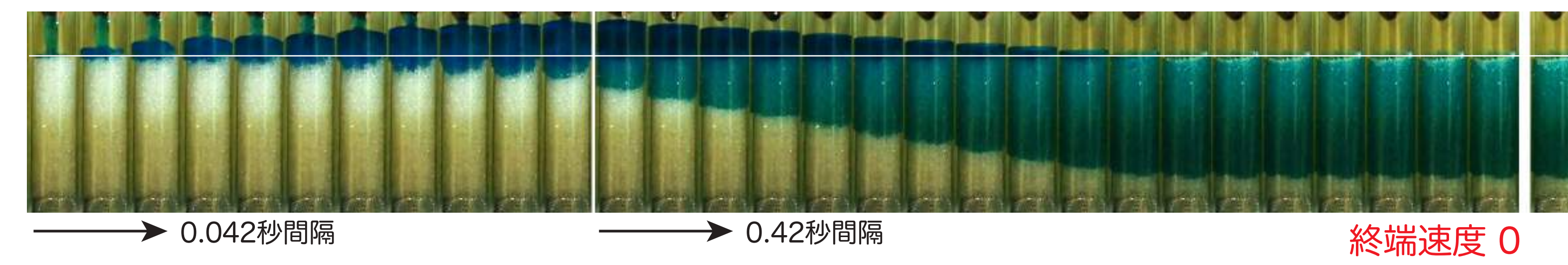
粒径 2.25mm
水量 5cc



→ 0.042秒間隔

→ 0.42秒間隔

粒径 0.85mm
水量 5cc

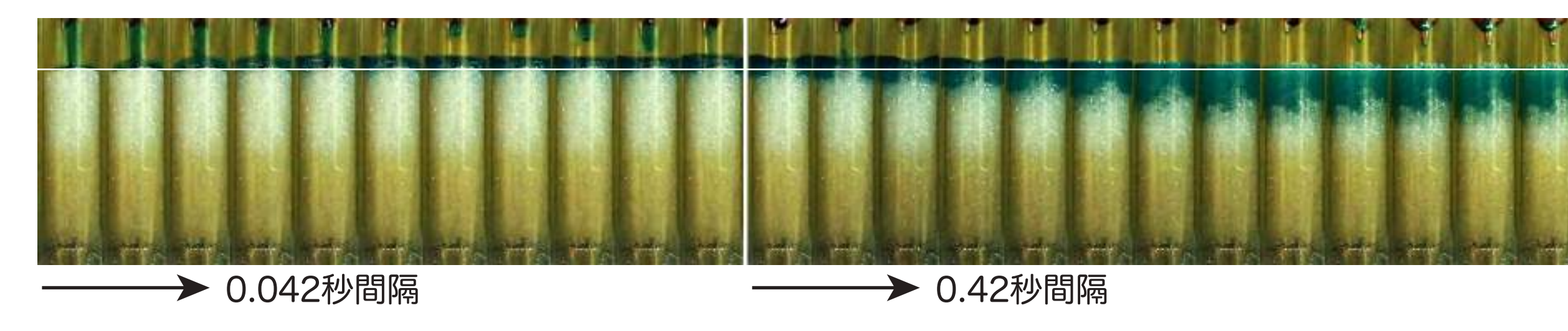


→ 0.042秒間隔

→ 0.42秒間隔

終端速度 0

粒径 0.85mm
水量 2cc

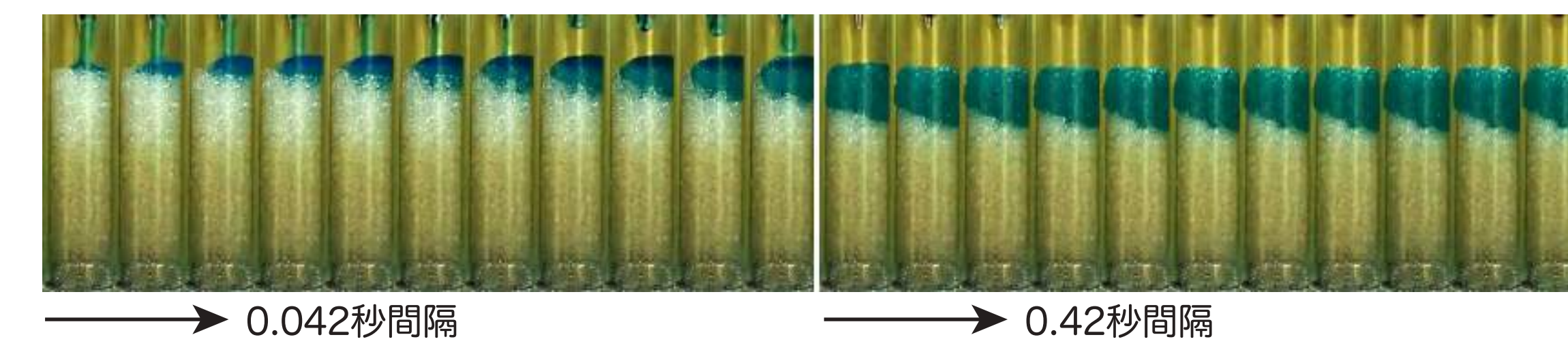


→ 0.042秒間隔

→ 0.42秒間隔

終端速度 0

粒径 1.20mm
水量 2cc



→ 0.042秒間隔

→ 0.42秒間隔

終端速度 0

水が染みこまない!

$$\rho g L = \frac{2\gamma \cos \theta}{r_p} + \frac{8\rho \nu L v}{(r_p)^2}$$

重力 毛細管の吸引力 粘性抵抗



$$\rho g L = \frac{2\gamma \cos \theta}{r_p} + \frac{8\rho \nu L v}{(r_p)^2} - \rho g h(t)$$

重力 毛細管の吸引力 粘性抵抗 砂面上の水圧
 h : 水柱の高さ

粒径 2.25mm の砂に水 5cc を注ぐと水は砂表面上に溜まることなく砂にしみこんで行った。ところが、粒径 0.85mm の砂に 5cc の水を注ぐと、水はなかなか染みこまず、砂の上に水の柱をつくった。時間経過とともに溜まった水は砂にしみこんで行ったが、溜まった水が砂の表面に達すると、すでに染み込んだ水は下方への運動を停止した。水の量をさらに少なくして 2cc で実験を行ったが同じように砂上の水が砂に染み込んでしまえば、すでに染み込んだ水は運動を停止した。粒径 1.20mm の砂についても同じ現象が見られた。粒径 2.25mm と 1.20mm の間に、水の染み込みが停止する閾値となる粒径があるのではないかと考えられる。