米子北高等学校　令和９年度入試　第Ⅰ期

理系型自己推薦入試（特別進学コース）

【事前学習課題】

◎ この入試の受験を考えている人は、この課題に取り組んでおいてください。

◎ 入試当日は、この課題をもとにした筆記試験を行います。

◎ この課題の内容に修正するべき箇所が生じた場合は、令和８年１２月１日に修正版を本校ホームページにアップロードしますので、必ずご確認をお願いします。

入試当日の筆記試験について

以下の要領で筆記試験を行いますので、あらかじめ確認しておいてください。

① 筆記用具は、本校が用意する黒色の油性ボールペンを使用します。

ボールペンで書くと消しゴムで消すことができないので、間違って書いたことは枠で囲み、×印を付けておいてください。（当日、やり方をわかりやすく説明します。）

② いくらでも書き直せるように、解答用紙は何枚でも用意します。

③ 事前学習課題に取り組んだ自筆のノートは、筆記試験に持ち込むことを認めます。

筆記試験の解答中に見てもよいものとします。

測定・単位と物理法則の発見

意欲ある学生のための探究問題集

まえがき：なぜ「測定」から始めるのか？

学校の数学や理科では、多くの場合、最初に「公式」と出会います。速度は距離を時間で割ったもの、落体の移動距離は時間の経過とともにどんどん大きくなる、高校では力は質量と加速度に関係している、といったことです。しかし、歴史的にも論理的にも、公式が最初にあったわけではありません。すべての始まりは、次のような問いでした。

「私たちは物事をどのように比較できるだろうか？」

机の長さが 2 m であると言ったり、石の質量が 3 kg であると言ったり、出来事が 5 s 続いたと言ったりする前に、私たちは長さ・質量・時間を「比較する手段」を持っていなければなりません。測定は単なる技術的な作業ではなく、世界に対する深い前提に基づいています。

このプリントは、具象的な体験や注意深い観察、日常の言葉から出発し、焦らずに数学的な構造を取り出していく精神（*Logophantasia*）で作成されています。目標は公式を暗記することではなく、人類がどのようにしてそれらを発見したのかを追体験することです。

1　3 つの基本量

まずは、次の 3 つの基本量から始めましょう。

長さ,　　質量,　　時間.

現代で広く使われている単位は以下の通りです。

m,　　kg,　　s.

これらの記号はメートル、キログラム、秒を表します。しかし、この記号は長い物語の結論にすぎません。本当の問いはここにあります。

考察問題. もし定規も、天秤（はかり）も、時計も存在しなかったとしたら、人間はどのようにして長さ、質量、時間を測り始めることができるでしょうか？

この問いは一見すると子供っぽく思えるかもしれません。しかし実のところ、これこそが科学の最も深い出発点の一つなのです。

2　長さ：移動と等分割

2.1　2 つの長さを比較する

2 本の棒があるとします。それらの長さが同じかどうかをどのように判断すればよいでしょうか？ 最も簡単な方法は、2 本を並べて端点を比べることです。それができない場合は、糸やコンパス、別の棒などの「第 3 の物体」を使って、長さを別の場所へ移送（移動）することになります。

原理 2.1 (長さを移送する原理)**.** 変形しない棒、コンパス、伸び縮みしない糸などを、長さを変えずに移動させることができるなら、それを使って離れた 2 つの長さを比較することができる。

この原理はユークリッド幾何学 (私たちが普段暮らしている『平らな世界』での図形のルールをまとめた数学のこと) の考え方にきわめて近いものです。ユークリッド幾何学では、図形を移動させたり、複製したり、比較したりできると仮定します。これは身近な例で言えば、頑丈な金属の定規を別の場所に移動させても、長さがかってに伸びたり縮んだりしないという、私たちが普段目の当たりにしている当たり前の事実と同じ考えです。

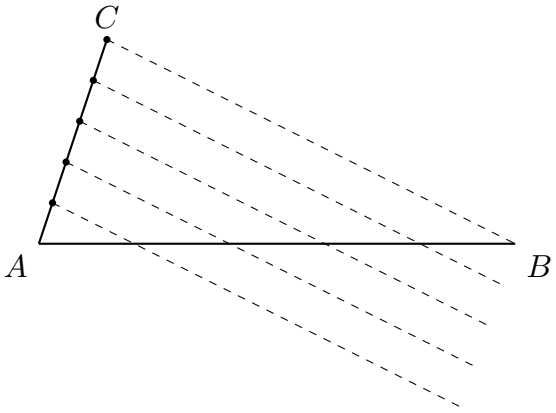
考察問題. 長さを運ぶのに適している物体はどのようなものですか？ 逆に向いていないものは何ですか？ それはなぜですか？

振り返り. 金属の定規、木の棒、1 本の糸はいずれも長さを比較するのに使えますが、それぞれ異なる弱点を持っています。糸は伸びてしまうかもしれず、木の棒はしなるかもしれず、金属の定規は熱でわずかに膨張するかもしれません。つまり、この世には『絶対に形や長さが変わらない完璧なもの』は存在しないのです。だからこそ、何かを正確に測ったり数学のルールをつくったりするときは『伸び縮みもしないし、形が変わらない理想の道具がある』と仮定して考える (頭の中で理想的なルールを決める) 必要があります。

2.2　線分を等しい部分に分割する

長さを比較できるようになったら、次の問題は「ある線分を等しい長さに分割する方法」です。例えば、目盛りのない定規だけを使って、線分を 5 等分したいとします。

古典的な幾何学的手法では、平行線を利用します。



考え方としては、端点から別の半直線を伸ばし、その線上に同じ長さの目盛りを 5 つ取り、平行線を引くというものです。これにより、元の線分は正確に 5 等分されます。

原理 2.2 (平行線と分割の原理)**.** 平行線には、線と線の間の幅の比率を保つ性質があります。この性質を使うと、ある直線につけた同じ長さの目盛りを、別の直線に移すことができます。

考察問題. 2 つの直線 ℓ と m が点 P で交わっており、Q を m 上の別の点とします。

定規（目盛りなし）とコンパスのみを使って、Q を通り ℓ に平行な直線を作図できますか？

ここで、考えるヒント（パズル）を出しましょう。

P を頂点とし、1 つの辺が ℓ 上、もう 1 つの辺が m 上にあるような三角形を描いてみます。

いま、その三角形の大きさや形を変えずに、P にあった頂点が Q に重なるように移動させることができたと想像してみてください。

三角形の各辺はどうなるでしょうか？ 何が保たれなければならないでしょうか？

コンパスを使って、そのような「移動」を再現することはできるでしょうか？

考察問題. 図を用いて、線分を 3 等分する方法を説明してください。次に、7 等分する方法を説明してください。

考察問題. なぜ平行線を使う方法は、目測で何度も中点を推測して取る方法よりも優れている（強力である）のでしょうか？

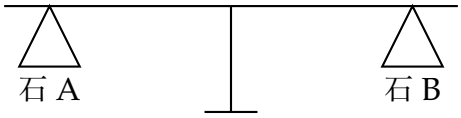
3　質量：天秤とテコの原理

3.1　重さを比較する

次に「質量」について考えます。日常会話では「質量」と「重さ」という言葉をほぼ同じ意味で使いがちですが、科学においては明確に区別されます。その違いをすぐに定めるのではなく、まずは 1 つの実験から考えてみましょう。

考察問題. もし体重計や秤（はかり）がなかったら、2 つの石のどちらが重いかをどのように決めればよいでしょうか？

簡単な方法の一つは「天秤」を使うことです。中心から等しい距離に 2 つの物体を置きます。もし天秤が水平を保つなら、それらは釣り合っていると言えます。

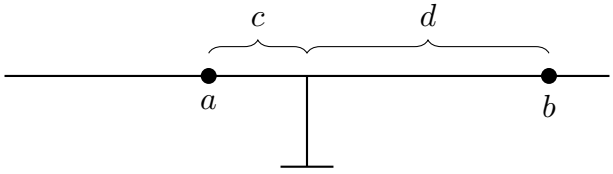


日常の言葉では、下がった方を「重い」と言います。しかし、天秤は一体「何」を比較しているのでしょうか？

原理 3.1 (天秤の原理)**.** 同じ場所において、等しい質量を持つ 2 つの物体は、支点から等しい距離に置かれたときに釣り合う。

3.2　テコ

天秤は、2 つの物体を中心から異なる距離に置いたとき、より面白くなります。遠くに置かれた軽い物体は、近くに置かれた重い物体と釣り合うことができます。



重力 (地球が物体を引き寄せる力) は、同じ場所であれば、物体が重い (質量が大きい) ほど強くなります。また、物体が天秤を回そうとする力は、物体の質量だけではなく、支点からの距離によっても決まります。

したがって、2 つの物体が同じ場所にある場合、釣合いの条件は次のように書くことができます。

$$ac = bd$$

これは、石 A の質量 $a\,\mathrm{kg}$ と支点からの距離 $c\,\mathrm{m}$ の積が石 B の質量 $b\,\mathrm{kg}$ と支点からの距離 $d\,\mathrm{m}$ の積に等しいことを言っています。つまり質量と距離が互いを補い合っています。

考察問題. $2\,\mathrm{kg}$ の石が天秤の中心から $3\,\mathrm{m}$ の位置に置かれています。天秤を水平に保つには、$3\,\mathrm{kg}$ の石をどこに置くべきでしょうか？

考察問題. 代数（数式）を使わずに、「同じ重さを同じ距離に繰り返し並べる図」を描くだけで、テコの原理を説明できますか？

3.3　月面でも同じ天秤は使えるか？

考察問題. 天秤と 2 つの石を月へ持っていったとします。月は重力が弱いです。それでも同じ 2 つの石は釣り合うでしょうか？

では、バネの伸びで重さを測る「バネ秤」はどうでしょうか？ 地球上と月上で同じ目盛りを指すでしょうか？

これら 2 つの測定方法（天秤とバネ秤）の違いは何でしょうか？

これについて考えるための有効な視点があります。地球上では、回転させようとする効果は次のように表されます。

$$(ag)c \qquad \text{および} \qquad (bg)d,$$

ここで g は重力の強さ（重力加速度）を表します。中学校の理科では地球上の重力加速度を $10\,\mathrm{m/s^2}$ としていますが、実際の値は、$9.806\,65\,\mathrm{m/s^2}$ を基準として、場所によって若干異なります。

釣り合うためには、

$$(ag)c = (bg)d.$$

両辺に共通の g が存在するため、約分して消去できます。

$$ac = bd.$$

月面では g の値は小さくなりますが、両方の石に対してやはり「共通の g」です。では、月面で何が起こると予想されるでしょうか？

3.4　無重力状態ではどうなるか？

考察問題. すべてが「無重力」に見える宇宙船の中で天秤を使うとどうなるでしょうか？

その状態で石を使ってキャッチボールをしたらどうなるでしょう？ 大きい石と小さな石をキャッチするとき、手に応える手応え（感触）は同じでしょうか？

無重力になったからといって、石は「質量」を失ってしまったのでしょうか？
無重力空間でそれらの質量を比較するには、どうすればよいでしょうか？

振り返り. 測定とは、しばしば「間接的」なものです。私たちは「質量」そのものを直接見ることはできません。注意深く選ばれた条件のもとで、物体がどのような挙動を示すかを比較しているのです。

天秤は重力の影響を通して物体を比較します。バネ秤は重力の引き寄せる力に異なる方法で反応します。無重力の宇宙船内では、普通の天秤は地球上と同じようには機能しませんが、物体は質量を失ったわけではありません。「動き始めにくさ」「止まりにくさ」「曲がりにくさ」（慣性）は依然として存在します。

条件を変えることによって、測定機器が「本当は何を測っているのか」が浮き彫りになるのです。

4　時間：反復と規則性

4.1　何が「時計」を作るのか？

時間は、長さや質量よりも測定が困難です。時間を手で持つことはできませんし、2 つの時間を隣り合わせに並べることもできません。その代わり、私たちは「規則的に繰り返すプロセス」を探します。

例としては以下のようなものが挙げられます。

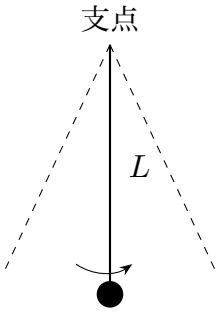
- 日の出・日の入り、
- 月の満ち欠け、
- 振り子の往復運動、
- 容器から滴り落ちる水、
- 砂時計を落ちる砂、
- 弦や水晶（クォーツ）の振動。

原理 4.1 (時計の原理)**.** 時計とは、十分に規則正しい方法で「繰り返す」または「進行する」プロセスに基づいている。

考察問題. 水時計（滴る水)、振り子時計、燃えるローソクのうち、どれが最も優れた時計になるでしょうか？ それぞれの場合で、どのような不都合（誤差）が起こり得るでしょうか？

4.2　振動（周期運動）

特に重要な概念は「振動」です。これは何度も何度も繰り返される運動のことです。振り子の揺れはその身近な一例です。



1 往復にかかる時間を「周期」と呼びます。周期が安定していれば、その振り子を使って時間を測定することができます。

考察問題. 振り子の周期に影響を与える量はどれか、予想してみてください。おもりの質量に依存するでしょうか？ 紐の長さに依存するでしょうか？ 揺らす振れ幅の大きさに依存するでしょうか？

5　ガリレオ：観察から法則へ

5.1　目にも止まらない現象をどのように測るか？

手からボールを離して落としてみましょう。一瞬で床に達してしまいます。もしこの運動を精密に調べたいとしたらどうすればよいでしょうか？ 最初の瞬間、次の瞬間、さらに次の瞬間、ボールはどこにあるのでしょうか？ 時間が経つにつれて運動はどのように変化するのでしょうか？

ここには決定的な難点があります。

「ボールが落ちる速度が速すぎる。」

今から約 400 年前、ガリレオ・ガリレイも全く同じ問題に直面しました。彼の素晴らしいアイディアの一つは、「緩やかな傾斜を転がり落ちるボール」を研究することでした。斜面を使うことで運動が十分に減速され、観察や測定が可能になりつつも、自由落下運動の本質的なパターンを明らかにすることができたのです。

実験してみよう. ガリレオの実験を再現した以下の動画を観てみましょう。

https://www.youtube.com/watch?v=ZBr8Q2ROX9s

動画は英語ですが、すべての言葉を理解する必要はありません。彼らが「何をしているか」に注目してください。必要なら何度か見返してみましょう。

動画を見ながら、以下の問いについて考えてみてください。

- ガリレオは何を突き止めようとしていますか？
- なぜ単にボールを落とすのではなく、斜面を使っているのですか？
- 彼は何を測定する必要がありますか？
- 彼はどのように時間を測定していますか？
- 実験の信頼性を損なう（誤差を生む）要因は何ですか？
- もしあなたがこの実験を行うとしたら、ノートに何を書き留めますか？

振り返り. 最初の思いつきが間違っていても気にする必要はありません。気づいたこと、試したこと、そして考えを変えるきっかけになったことをメモしてください。「失敗したアイデア」であっても、それがより良いアイデアに繋がるのであれば有益なのです。

5.2 実験から数値表へ

ガリレオのような実験によって、以下のような単純化された結果が得られたと仮定します。パターンが見やすくなるように適切な単位を選んでいます。

時間 t	0	1	2	3	4	5
距離 d	0	1	4	9	16	25

考察問題. 何に気づきますか？ もしこのパターンが続くとしたら、時間 6 での距離はいくらになると予測しますか？ その予想をどうやって確かめますか？

いきなり公式を探そうとしてはいけません。データの「見方」を変えることで初めてパターンが浮かび上がることがあります。一つの有効なテクニックは、隣り合う数値の「差」を調べることです。

$$\begin{array}{cccccccc} 0 & & 1 & & 4 & & 9 & & 16 & & 25 \\ & 1 & & 3 & & 5 & & 7 & & 9 & \end{array}$$

差の並び自体に簡単なルールがあります。さらにもう一度、差を取ってみましょう。

$$\begin{array}{ccccccccc} 1 & & 3 & & 5 & & 7 & & 9 \\ & 2 & & 2 & & 2 & & 2 & \end{array}$$

原理 5.1 (データを変換してもう一度見る原理)**.** パターンが見えにくいときは、隣り合う値の「差」に注目せよ。それでも隠れている場合は、「差の差」を見よ。

考察問題. この方法を使って 30 の次に来る数を予測してください。

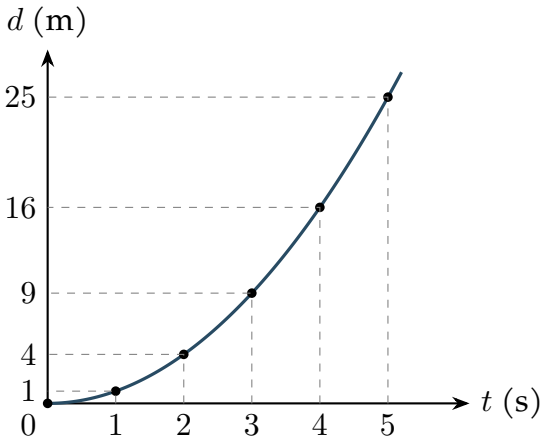
$$2, \quad 6, \quad 12, \quad 20, \quad 30, \ldots$$

何がわかりましたか？ すぐに数式が見つからなくても心配いりません。試したプロセスを記述してください。

5.3 同じ運動をグラフで表す

表（テーブル）は実験を表現する一つの方法です。グラフはもう一つの表現方法です。

距離と時間の関係をグラフ上に点を打って表すと、直線上には並ばず、曲線を描きます。この曲線をみると、ボールは同じ時間が経過するごとに、より遠くまで進むようになります。



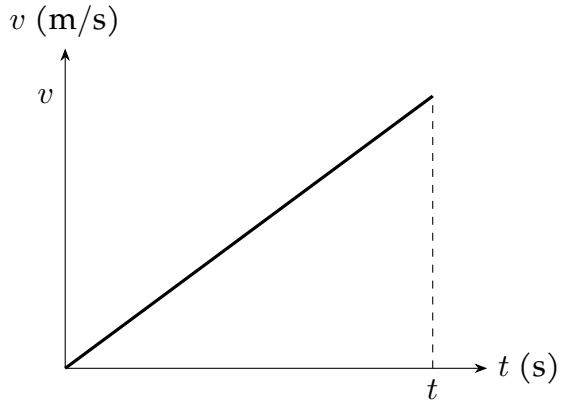
そこで、問いを変えてみましょう。

「ボールはどれくらいの速さで動いているだろうか？」

速さは距離と時間を比較するものなので、速さの一般的な単位は次のようになります。

$$\mathrm{m/s}.$$

速さが 0 から始まり、1 秒ごとに同じ量だけ増えていくと仮定します。速さ v を時間 t に対して点を打っていくと、グラフは原点を通る直線になります。



ここで直線の「傾き」に着目してください。縦方向は m/s で測られ、横方向は s で測られています。したがって、傾きの単位は次のようになります。

$$\frac{\mathrm{m/s}}{\mathrm{s}} = \mathrm{m/s^2}.$$

傾きは何を表しているのでしょうか？ それは「1 秒間にどれだけ速さが変化するか」を示しています。例えば、傾きが

$$2\,\mathrm{m/s^2}$$

であるということは、速さが毎秒 $2\,\mathrm{m/s}$ ずつ増えることを意味します。

この「速さの変化率」のことを**加速度**（acceleration）と呼びます。

車の「アクセル」（英語の accelerator）という言葉を知っているかもしれません。これは「加速する（accelerate）」という動詞から名付けられたものです。

振り返り. アイデアが登場した順番に注目してください。私たちは「加速度」という単語を暗記することから始めたのではありません。運動を観察し、測定値を記録し、グラフを描くことから始めました。そしてグラフの「傾き」から、命名する価値のある量を発見したのです。

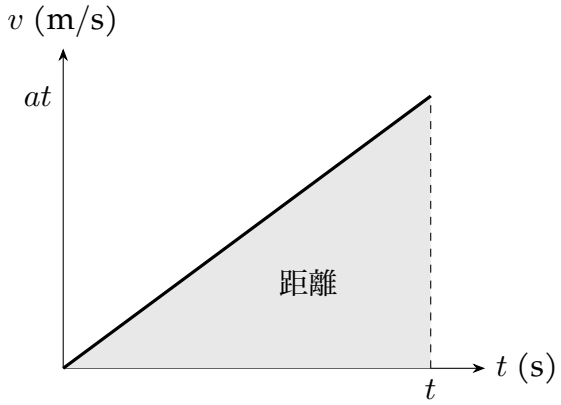
5.4 グラフの下に隠されているもの

同じ v-t グラフ（速さ–時間グラフ）には、もう一つ隠された情報があります。

加速度が一定であるとし、それを a と呼びましょう。静止状態から出発して、時間 t が経過したときの速さは

$$v = at$$

となります。したがってグラフは直線です。時刻 0 から時刻 t までの「直線の下の領域」は三角形になります。



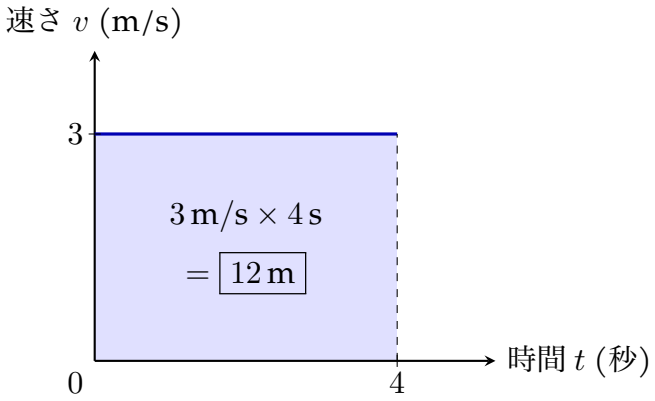
なぜ「面積」が距離を表すのでしょうか？ いきなり加速する運動で考えるのは難しいので、まずは一番簡単な場合、つまり速さが変化しない（一定の）場合を考えてみましょう。

秒速 3 メートルで 4 秒間進むと、進んだ距離は

$$3 \times 4 = 12 \text{ メートル}$$

になります。

これを「時間と速さのグラフ」に描いてみましょう。すると、進んだ距離は、グラフと横軸で囲まれた長方形の面積に対応していることがわかります。



では、速さが一定ではなく、時間とともに増えていく場合はどうでしょうか？ 時間を多数の非常に短い区間に分割することを想像してください。ごく短い時間内では、

$$\text{進んだ距離} \approx \text{速さ} \times \text{短い時間}$$

となります。グラフ上では、この積は細い長方形の面積に対応します。すべての細い長方形の面積を足し合わせると、移動した全距離が得られます。いま考えている領域は三

角形なので、

$$\begin{aligned} \text{距離} &= \frac{1}{2} \times \text{底辺} \times \text{高さ} \\ &= \frac{1}{2} \times t \times at \\ &= \frac{1}{2} at^2. \end{aligned}$$

私たちは、公式を最初から与えられることなく、落体の運動を表す有名な放物線の法則（$d = \frac{1}{2}at^2$）にたどり着くことができました。

考察問題. 単位を確認してみましょう。量 a の単位は $\mathrm{m/s^2}$ です。では at^2 の単位は何になりますか？ これは「距離」の単位と一致していますか？

5.5　1 つの運動、2 つのグラフ

私たちは今、同じ運動を 2 つの異なる方法で表現しました。

- 「速さ–時間グラフ」では、一定の加速度は**直線**として現れます。その傾きが加速度です。
- 「距離–時間グラフ」では、距離が t^2 に比例して大きくなるため、同じ運動が**放物線**（曲線）として現れます。

直線と放物線は見た目が全く異なりますが、ここでは全く同じ物理的出来事を記述しています。これら 2 つを結びつけているのが「速さ–時間グラフの下の面積」なのです。

実験 $\longrightarrow$ 測定 $\longrightarrow$ 表（データ）$\longrightarrow$ 階差

$\longrightarrow$ グラフ $\longrightarrow$ 傾きと面積 $\longrightarrow$ 公式

振り返り. ある表現では難しく見える問題も、別の見方（表現方法）を見つけることでシンプルになることがあります。これこそが、数学を活用する最も本質的な利点の一つです。

6　単位から物理法則を予想する

ガリレオの実験は、私たちに「単位」についても教えてくれました。単位は単に数値の後ろに貼り付けられたラベルではありません。アイデアが理にかなっているかどうかを確かめる助けになります。両辺の単位が一致しない公式は、物理量を正しく記述することができません。

6.1　単振り子

単振り子の周期 $T\,\mathrm{s}$ が、紐の長さ $L\,\mathrm{m}$ と重力加速度 $g\,\mathrm{m/s^2}$ のみに依存すると仮定します。私たちは L と g を組み合わせて「時間の次元（単位）」を持つ量を作りたいと考えます。

$$\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{m/s^2}} = \mathrm{s^2}$$

したがって周期は次のような形をしているはずだと推測できます。

$$T \text{ は } \sqrt{\frac{L}{g}} \text{ に比例する.}$$

なお、振れ幅が小さい場合の実際の公式は以下の通りです。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}.$$

ここでも、比例定数 2π 自体は単位の計算（次元解析）だけで導くことはできません。

考察問題. 振り子の長さを 4 倍にした場合、その周期はどうなると考えられますか？

考察問題. もし振り子の周期が「おもりの質量」に強く依存するとしたら、なぜ不思議（意外）に思えるのでしょうか？

7　入試準備のための探究問題

以下の問題は、単なる定型的な計算演習ではなく、「思考への招待状」として作成されています。優れた解答には、図、実験のアイデア、予想、失敗した試み、あるいは言葉による明確な説明が含まれていて構いません。

演習問題 7.1 (器具を使わずに測る)**.** あなたが定規も、天秤も、時計もない無人島に漂着したとします。以下のものをどのように測定するか説明してください。

(a) 小屋の長さ
(b) 石の質量
(c) 島を一周歩くのにかかる時間

それぞれの方法について、どのような仮定（前提条件）を置いているかを説明してください。

演習問題 7.2 (線分の分割)**.** 線分 AB を描きます。目盛りのない直規（定規）と「平行線を引く能力」だけを使って、AB を 5 等分する方法を説明してください。

演習問題 7.3 (良い時計と悪い時計)**.** 以下の「時計の候補」を比較してください。

(a) 燃え尽きていくローソク
(b) 小さな穴から滴り落ちる水
(c) 振り子
(d) あなたの心臓の鼓動（心拍）

どれが最も優れていますか？ どれが最も不適当ですか？ 判断の基準を説明してください。

演習問題 7.4 (隠されたパターンを探す)**.** 次の数列を考えます。

$$3, \quad 8, \quad 15, \quad 24, \quad 35, \ldots$$

ここにはある法則（パターン）が存在するようです。あなたならどのように検証・探究しますか？ 階差（差分)、表、図、あるいはその他の方法を使って構いません。得られた結果だけでなく、「何を試したか」も説明してください。

演習問題 7.5 (単位を創作する)**.** 全く異なる「長さの単位」「質量の単位」「時間の単位」を使用している文明があると想像してください。どの物理法則が「数値的な見た目（数式)」を変えるでしょうか？ どの概念やアイデアが変わらずに維持されるでしょうか？

演習問題 7.6 (直接測定と間接測定)**.** 「直接測定できる量」と、「間接的にしか測定できない量」の例を挙げてください。温度は直接測定されていますか？ 速度は直接測定されていますか？ 知能（知能指数）は「きちっと定義されている量」でしょうか、そして直接測定されていますか？

演習問題 7.7 (質量とエネルギーの等価性と単位)**.** 質量とエネルギーの間には $E = mc^2$ (c は光速)」という関係があることはアインシュタインの非常に有名な発見です。

エネルギーの SI 単位はジュール（J）です。

$$\mathrm{J} = \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2/\mathrm{s}^2.$$

m の単位は kg であり、c は単位 m/s を持つ速さです。mc^2 の単位は何になりますか？ それをエネルギーの単位と比較してください。この計算から「結論できること」は何ですか？ また「結論できないこと」は何ですか？

むすびひらき（結びの言葉）

単位とは、単に数値の後ろにくっついたラベルではありません。それは「実験の記憶」です。メートルは長さを比較した行為を記憶しています。キログラムは質量を釣り合わ

せた行為を記憶しています。秒は規則的な反復を探求した記憶です。科学の法則は、これらの「比較する行為」が理解されて初めて意味を持つようになります。

　これこそが、測定が数学や理科への自然な入り口である理由です。手、目、棒、天秤、そして時計から始まります。しかし注意深くその歩みを進めるならば、それは幾何学、代数学、力学、そして自然の法則の発見へと私たちを導いてくれるのです。

入試の進め方

約 1 か月前
受験生に探究教材「測定・単位と物理法則の発見」をお渡しします。

準備期間
教材を読み、問いについて自分で考え、試行錯誤しながら、
自分なりのノートを作ってください。

入試当日
50 分間の筆記試験を行います。
教材の問題をそのまま繰り返すのではなく、
そこで出会った考え方を使って取り組める、
新しい問題を 1〜2 問出題します。
必要な数値や資料は、問題の中で示します。

持ち込み
準備期間中に自分で作ったノートを持ち込み、
試験中に自由に参照することができます。