科学オリンピックへの道

岡山物理コンテスト 2024

問題Ｂ

2024 年 9 月 28 日（土）

14:45～15:45（60 分）

問題にチャレンジする前に次の**＜注意事項＞**と**＜指数を用いた数の表記＞**をよく読んでください。
問題は大問２題からなります。問題は一見難しく見えても、よく読むとわかるようになっています。
どの問題から取り組んでも結構です。最後まであきらめずにチャレンジしてください。

＜注意事項＞

１．開始の合図があるまで、問題冊子（全 20 ページ）を開けてはいけません。
２．電卓を使用してもよろしい。
３．携帯電話やスマートフォンなどは電源を切り、カバンの中にしまっておきなさい。
４．解答はすべて解答用紙に記入しなさい。解答用紙は２枚です。必ずチャレンジ番号と氏名を記入しなさい。
５．気分が悪くなったりトイレに行きたくなったりした際は手を挙げて監督者に知らせなさい。
６．質問があるときは質問シートに記入し、手を挙げて監督者に渡しなさい。
７．終了の合図があったら、ただちに解答を止め、チャレンジ番号と氏名を確認の上、監督者の指示を待ちなさい。
８．問題冊子は持ち帰りなさい。

＜指数を用いた数の表記＞

大きい数や小さい数を扱うときは、指数表記を利用し、$a\times 10^n$（$1\leqq a<10$）の形で表す。

【例】　$1200 = 1.2\times 10\times 10\times 10 = 1.2\times 10^3$　　$0.0012 = \frac{1.2}{1000} = \frac{1.2}{10^3} = 1.2\times 10^{-3}$

このように表すことで、大きな数や小さな数を簡潔に表現できる。

【例】　地球から太陽までの距離 ＝150000000 km ＝ 1.5×10^8 km

電子の質量 ＝0.00000000000000000000000000000000091 kg ＝ 9.1×10^{-31} kg

また、指数表記をしたときの、先頭から３つ目の数字を四捨五入して表した数を「有効数字２桁」という。

【有効数字２桁の例】　3.14 ⇒ 3.1　　3776 ⇒ 3.8×10^3　　0.0125 ⇒ 1.3×10^{-2}

＜参考＞

【三角比】

直角三角形の直角でない角の大きさが１つ決まれば、３辺の比が決まる。**図１**のように３辺の長さと角の大きさをそれぞれ a、b、c、θ とすると、正弦（sin : サイン）、余弦（cos : コサイン）、正接（tan : タンジェント）は以下のように定義される。

正弦　$\sin\theta = \dfrac{a}{c}$　　　余弦　$\cos\theta = \dfrac{b}{c}$　　　正接　$\tan\theta = \dfrac{a}{b}$

これらを三角比という。

また、直角三角形の１つの辺の長さと１つの角の大きさが決まれば、残りの辺の長さを三角比を用いて表すことができる。

例　$a = c\sin\theta$ 、$b = c\cos\theta$

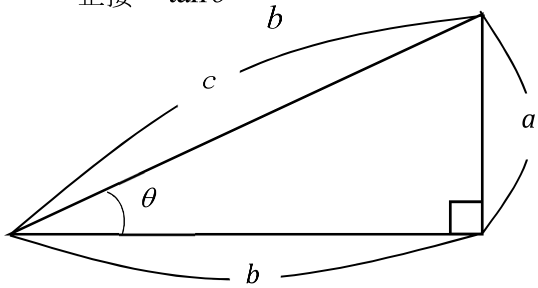


図１

【弧度法】

角度を表すのに、180°や 360°のように、〔°〕という単位を使って表す度数法は日常生活で広く使われている。一方、数学や物理では、弧度法と呼ばれる表し方を用いる場合が多い。この表し方は次のように定義される。

半径と等しい長さの弧を持つおうぎ形の中心角の大きさを１ラジアン（記号 : rad）という。この rad を単位とした角の表し方を弧度法という。１つのおうぎ形において、弧の長さは中心角に比例するので、**図２**のような半径 r のおうぎ形において、中心角 θ〔rad〕に対する弧の長さを x とすると、

$x = r\theta$　　　（　または　$\theta = \dfrac{x}{r}$　）

したがって、半径 r の円では、円周は $2\pi r$ であるから、

$$\theta = \frac{x}{r} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{〔rad〕}$$

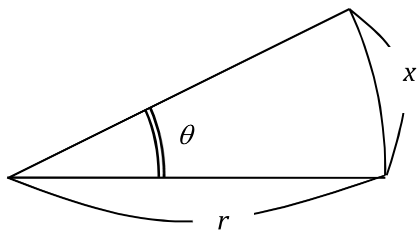


図２

よって、度数法との間に次の関係が成り立つ。

360°＝2π〔rad〕

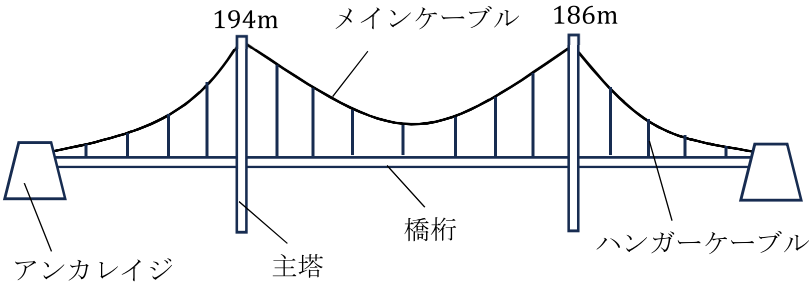
【単位の主な接頭語】

記号（読み）	大きさ	記号（読み）	大きさ
G（ギガ）	10^{9}	c（センチ）	10^{-2}
M（メガ）	10^{6}	m（ミリ）	10^{-3}
k（キロ）	10^{3}	μ（マイクロ）	10^{-6}
h（ヘクト）	10^{2}	n（ナノ）	10^{-9}

第１問

今年４月、JR 瀬戸大橋線の利用者が３億人を突破した。瀬戸大橋は岡山県と香川県を結ぶ、世界でも稀な海を渡る道路鉄道併用橋である。瀬戸大橋は３つの吊り橋と、２つの斜張橋、１つのトラス橋から成る。橋の構造と特徴について学ぼう。

問１　香川県側の「南備讃瀬戸大橋」は完成時、日本最長の吊り橋で、世界最長の道路鉄道併用吊り橋であった。吊り橋は、**図１**のように「主塔」から「メインケーブル」を渡し、「ハンガーケーブル」で橋桁を吊り下げている。各部にはたらく力を調べるため、４人で実験を行った。実験は、**図２**のように重さ 200N の荷物にひもをつけ、B と C が等しい力を加えて支えて行った。このとき B がひもを引く力の大きさはいくらか。また、A はなぜ B を引っ張る必要があるのか簡潔に説明せよ。



北備讃・南備讃瀬戸大橋

図１

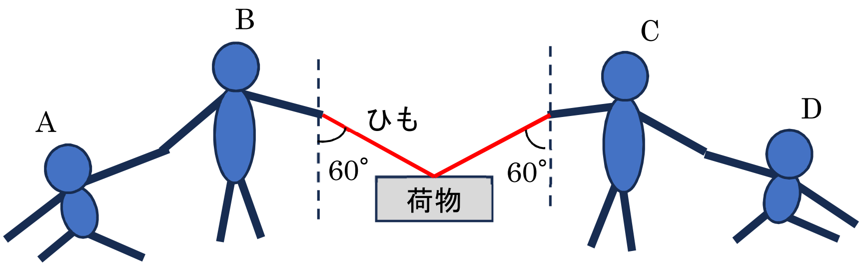


図２

問２　問１のように、メインケーブルを水平に近づけるほど、大きな力がはたらく。したがって、主塔が高い方がメインケーブルやアンカレイジにかかる力は小さくて済む。このため、南備讃瀬戸大橋の主塔は海面上 194m と 186m に達する。しかし、橋が長大なため、地球の丸みによって、鉛直に建てられた２つの主塔の間隔は、上部ほど広がっている。海面上０m での主塔の間隔を 1100m、地球の半径を 6400km とすると、海面上 186m の最上部での間隔は、何 mm 広がっていると考えられるか求めよ。（単位に注意し、小数第一位を四捨五入した整数で答えよ。）

橋は、自重や載っているもの、風などの荷重によってたわみ、「曲げの力」が生じる（**図３**）。このとき、内側には圧縮する力、外側には引っ張る力が生じる。材質によって圧縮に強いものと、引っ張りに強いものがある。例えば、バナナを曲げるとき、皮があると圧縮に弱く、引っ張りに強いが、バナナの皮を剥くとこの関係性は逆になる。（**図４**）

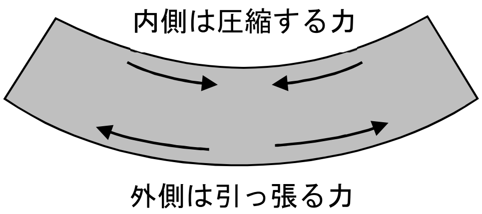


図３

図４

一般に、部材の断面を厚くすると、たわみを抑えることができる。断面の曲げに対する強さを断面係数 W といい、部材の幅を b 、厚みを h とすると（**図５**）、

$$W = \frac{bh^2}{6}$$

で求められることが知られている。

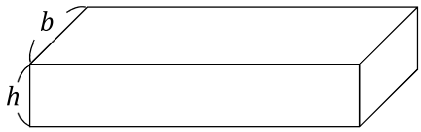
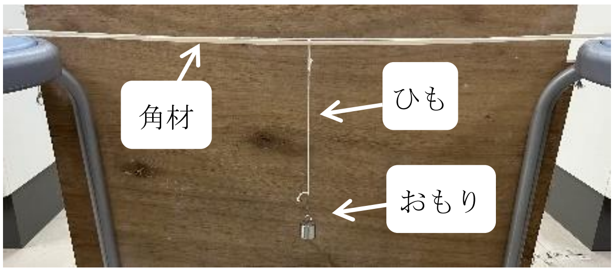
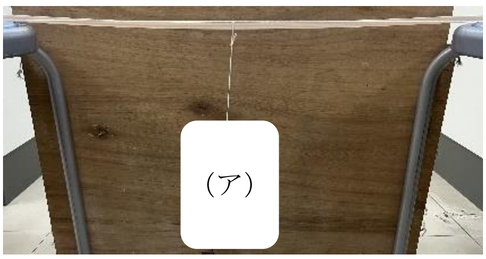


図５

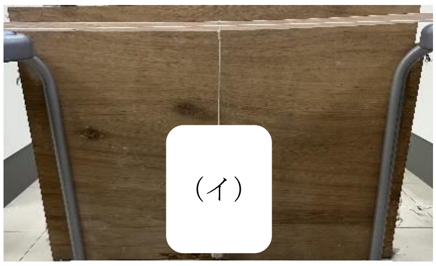
問３　角材の両端をイスにのせ、中央におもりをつるして曲げを調べた。長さ 900mm、幅４mm、厚み４mm の角材におもりを１個つるすとたわんだ。同じ長さと素材の幅８mm、厚み８mm の角材では（　ア　）個つるすと同じだけたわんだ。さらに、同じ長さと素材の幅 12mm、厚み 12mm の角材では（　イ　）個つるすと同じだけたわんだ。（ア）、（イ）に入るおもりの数はいくらか。



幅４mm、厚み４mm、おもり１個



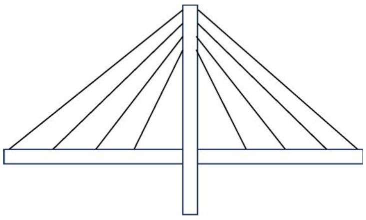
幅８mm、厚み８mm



幅 12mm、厚み 12mm

吊り橋では、橋桁の荷重でメインケーブルは下向きに力を受ける。このため、メインケーブルが垂れ下がらないよう、「アンカレイジ」で両端を引っ張る。

これに対し、斜張橋（**図６**）では、主塔を直接、複数のケーブルで左右に等しく引っ張ることでアンカレイジを不要にし、主塔下部には鉛直下向きの圧縮する力のみかかるよう工夫している。瀬戸大橋の櫃石島橋と岩黒島橋は斜張橋を採用している。



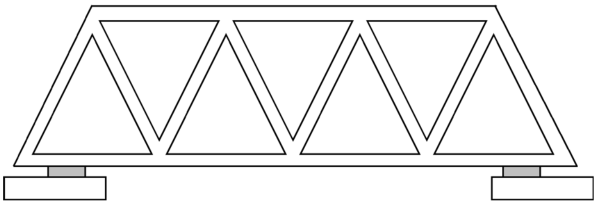
斜張橋

岩黒島橋・櫃石島橋

図６

斜張橋は大変美しいが、構造上ケーブルの本数や角度に限界があり、吊り橋ほど長くはできない。また、吊り橋や斜張橋は、道路が直線である必要がある。

瀬戸大橋の与島橋はカーブがあるため「トラス橋」を採用している（**図７**）。トラス構造は、三角形が連続したものである。鉄骨を三角形に組み合わせ、引っ張る力と圧縮する力を適切に配分し強度を高め、橋桁を支えている。



トラス橋

与島橋

図７

問４　三角形１つのトラス構造に上側から押し込む力や引き上げる力がはたらくとき、各部材には**図８**のような圧縮する力（ ➡⬅ ）と引っ張る力（ ⬅➡ ）がはたらく（「トラスの原理」）。**図７左**のトラス橋では、橋の自重によって、圧縮する力と引っ張る力はどうはたらくか。正しいものを①～④の中から選べ。

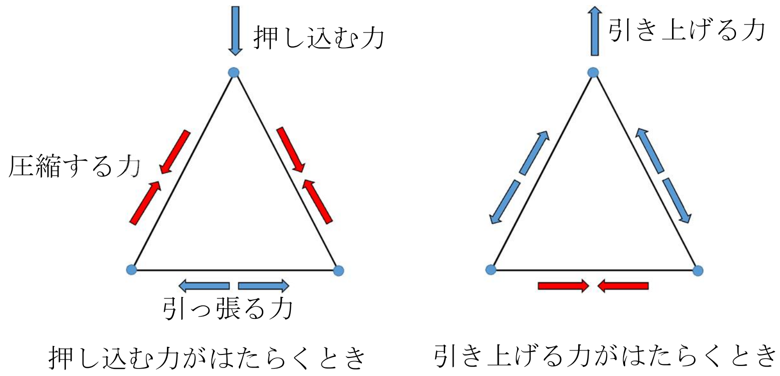
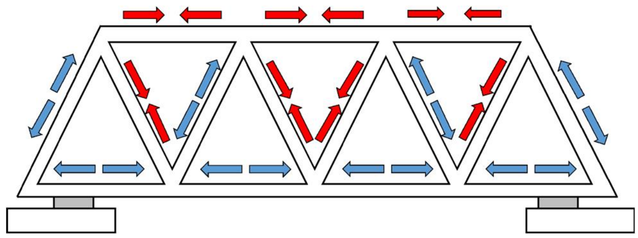
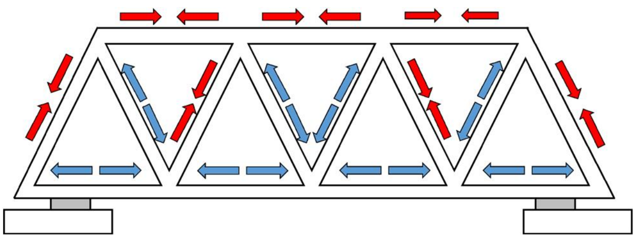


図８　トラスの原理

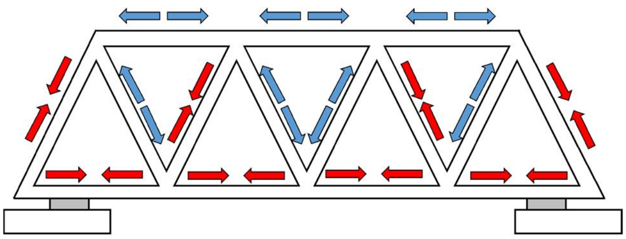
①



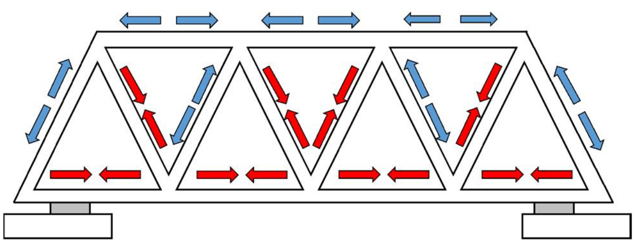
②



③



④



（次ページに続く）

問３のたわみを上下逆にし「アーチ形」にすると、上からの荷重を支えるのに適した構造となる。**図７**のように、与島橋の下側は「アーチ形」になっている。我々の「土ふまず」もアーチ型で体重を支えている。長崎県の眼鏡橋など多くのアーチ橋が現存し、古くは古代ローマの水道橋（ポン・デュ・ガール）などもアーチ橋である（**図９**は倉敷美観地区のアーチ橋。ただし、実際には石橋ではなく、鉄筋コンクリートに石を貼ったもの）。

図９

まず、台形の物体（以下「台形」）を組み合わせ、アーチ橋にかかる力を考察する。

図 10 のように、あらい床の上に、なめらかでおもさ$\frac{W}{3}$の左右対称な同一の台形 3 つを用いてアーチ橋を作る。なお、以降の図中には、一部の力のみ示しており、大きさも正確とは限らない。

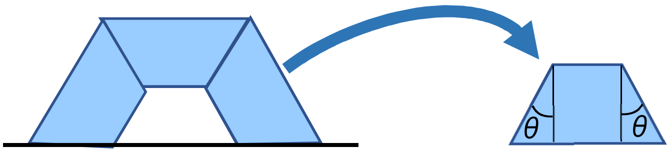


図 10　　**図 11**

問５　**図 11** は**図 10** の台形を１つ取り出したものである。このとき、角度 θ はいくらになるか答えよ。なお、**図 12** のように、緑で示した部分を取り除いて考えるとよい。

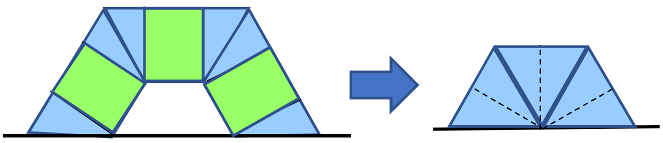


図 12

問６　図 13 の、隣の台形からの垂直抗力 N_1 の大きさはいくらか。また、床から台形への垂直抗力 N の大きさはいくらか。それぞれ W を用いて答えよ。

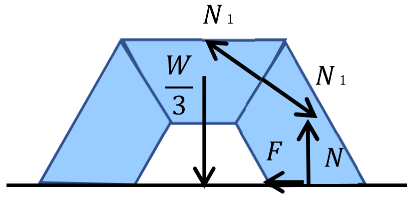


図 13

さらにアーチ橋の台形を増やしていく（図 14、図 15）。

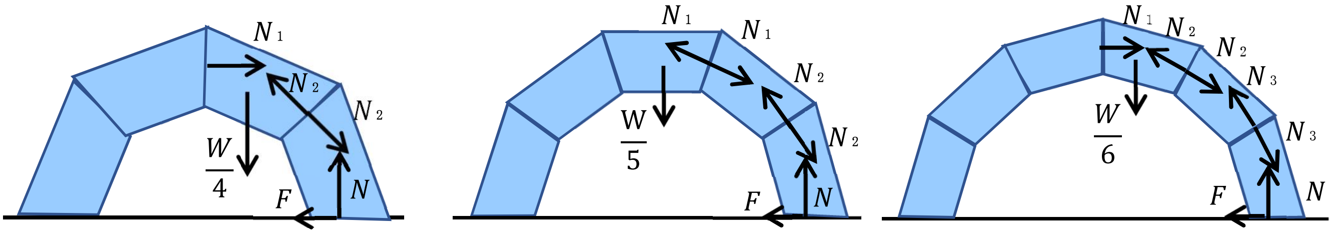
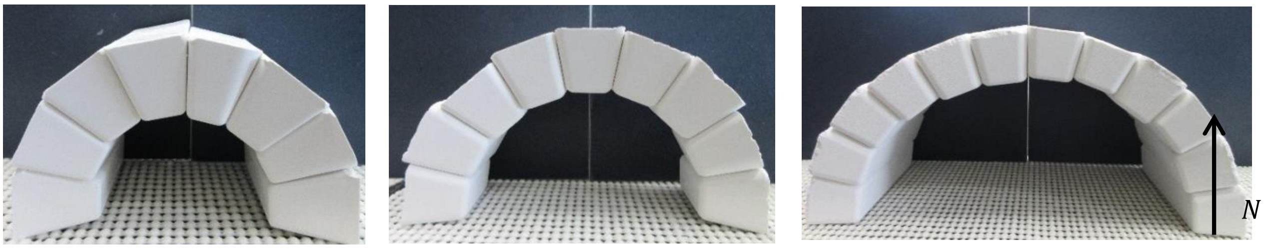


図 14

問７　図 15 の台形が 12 個の場合において台形１つのおもさを $\frac{W}{12}$ としたとき、垂直抗力 N の大きさはいくらか。W を用いて答えよ。



台形が 8 個の場合　　台形が 9 個の場合　　台形が 12 個の場合

図 15

図 16 のような、おもさ $\frac{W}{n}$ の台形が n 個ある場合も、垂直抗力 N の大きさは同様に求められる。

また、アーチ型には、自重などさまざまな荷重によってアーチの内側だけでなく、外側にも圧縮する力がはたらく（図 17）。このため、アーチ橋では、石のような圧縮する力に強い素材を選ぶと強い橋となる。

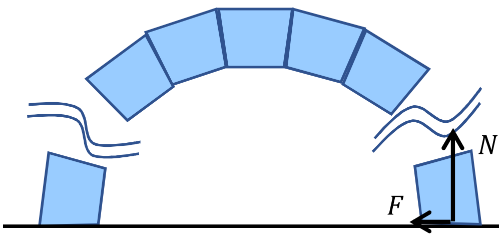


図 16　n 個の場合

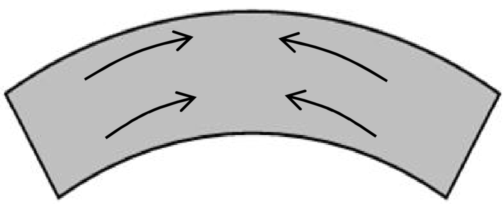


図 17　圧縮する力

また、アーチ橋は、摩擦力も含めた横おさえの力（「水平反力」）、つまり踏ん張りがあることで安定する。**図 15** のような石造アーチでは、素材の特性にあわせた水平反力が小さくて済む半円形のものが多い。しかし、通路の位置が高くなるなどの欠点もあるため、半円よりも扁平（へんぺい）な形のアーチ橋も多い。

そこで、連続体の半円よりも扁平なアーチ橋について考える。**図 18** のように橋の単位長さあたりの荷重 w が全体に均一にかかり、アーチに曲げ（たわみ）が生じない場合を考察しよう。

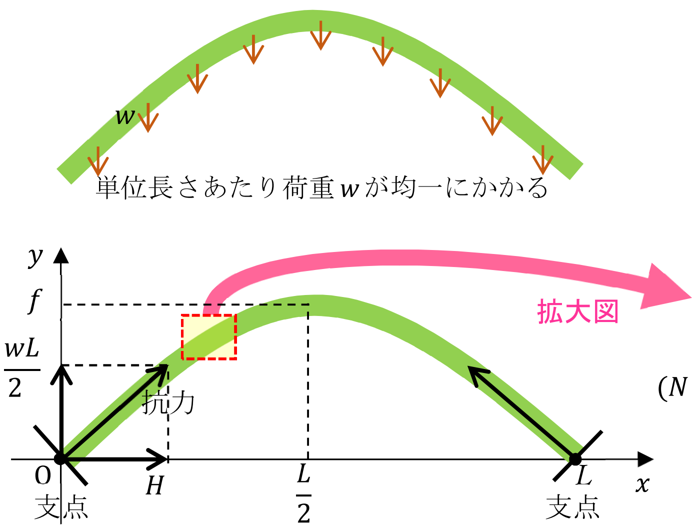


図 18　長さ L のアーチ橋

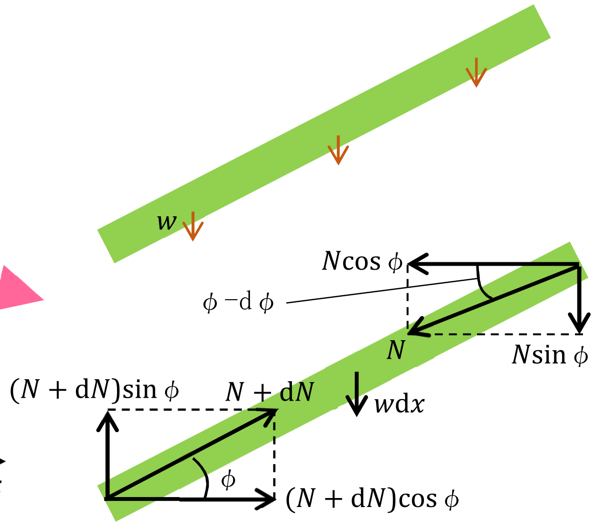


図 19　長さ $\mathrm{d}x$ の微小区間

図 18 の橋の支点間の長さを L、最高点の高さ（「アーチライズ」という）を f とし、左側の支点を原点として水平方向に x 軸、鉛直方向に y 軸をとる。また、支点からは水平方向に水平反力 H と、垂直抗力 $\frac{wL}{2}$ がはたらくものとする。**図 19** は、**図 18** のうち、長さ $\mathrm{d}x$ の微小区間を拡大したものである。この微小区間のアーチ橋と水平方向との傾きを ϕ とする。ただし、この区間は微小であるため直線として扱い、傾きは $\phi-\mathrm{d}\phi \fallingdotseq \phi$ とする。

問８　**図 19** において、水平方向・鉛直方向の力のつりあいの式を完成させよ。

水平方向について、力のつり合いより　$\boxed{\qquad\qquad}=\boxed{\qquad\qquad}$　―①

鉛直方向について、力のつり合いより　$\boxed{\qquad\qquad}=\boxed{\qquad\qquad}$　―②

①より　$\mathrm{d}N\cos\phi = 0$　―①′

∴　$N\cos\phi$ が一定となり、これは水平反力であることが明らかであるので、

$N\cos\phi = H$（水平反力）　―③

②より　$\mathrm{d}N\sin\phi = wdx$　―④

増減を考慮して④式に③式を代入すると　$\mathrm{d}\left(\frac{\sin\phi}{-\cos\phi}H\right) = wdx$

また、$\frac{\sin\phi}{\cos\phi} = \tan\phi = \frac{dy}{dx}$ と置くことができるので、

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{w}{H} \quad -⑤$$ となる。

この式を解くと（※コラム参照。コラムは読まなくても解答できます。以下同じ。）

$$y = -\frac{wx}{2H}(x-L)$$ となる。

ここで、アーチに曲げ（たわみ）が生じない場合を考える。曲げるはたらき（「曲げモーメント」）があるとたわみが生じてしまうので、曲げモーメントを 0 とする。このとき、荷重 w が橋全体に均等にかかるアーチ橋において、一般に次の式が成り立つことが知られている。

$$Hf = \frac{wL^2}{8}$$

問９　これまでの話から、単位長さあたりの荷重 w が橋全体に均等にかかり、アーチに曲げ（たわみ）が生じない場合の式を x、y、f、L を用いて表し、次の$\boxed{}$にあてはめよ。

$$y = \boxed{}$$

この式は放物線であり、**図 20** のようになる。橋のおもさや垂直抗力の大きさに関わらず、任意の長さ L、橋の中央の高さ f に対して常に**放物線**の形となることが分かる。

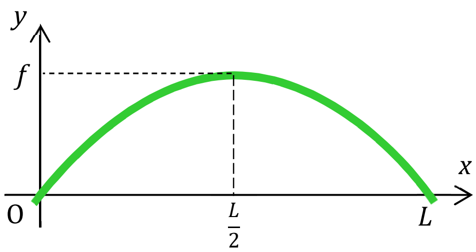


図 20

〔コラム〕　「微分方程式」とその解き方

①′、④、⑤のような式を「微分方程式」といい、多くの物理法則は、微分方程式で表すことができる。$ma=F$ なども実は微分方程式である。

微分方程式は「積分」を用いて解くことができる。たとえば、⑤は、両辺を積分して、

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{w}{H}x + C_1$$

さらにもう一度両辺を積分して　$y = -\frac{w}{2H}x^2 + C_1x + C_2$

ここで、境界条件として $x=0$ のとき $y=0$ なので、代入すると　$0 = C_2$

また、$x=L$ のとき $y=0$ なので、代入すると　$0 = -\frac{w}{2H}L^2 + C_1L$　　$C_1 = \frac{w}{2H}L$

これらを代入すると　$y = -(\frac{w}{2H}x^2 - \frac{w}{2H}Lx) = -\frac{w}{2H}x(x-L)$

このように、強度を高めるためにアーチ形状をしているものは多くある。瀬戸大橋などの吊り橋の橋桁、高梁市の新成羽川ダムなどのアーチダム、城の石垣の武者返しなどもアーチ形状である（**図 21**）。

新成羽川ダム（重力式アーチダム）

津山城の石垣の武者返し

図 21　さまざまなアーチ構造

〔**コラム**〕曲げモーメントM[N･m]

橋を「曲げるはたらき」は、人や車が橋の中央に近づくほど大きくなる。これを「曲げモーメント」として、（力）×（長さ）で表す（ただし、「長さ」は支点からその荷重までの距離）。

例えば、**図 22** のように橋の中央点 b に 100N の荷重がはたらくとき、支点 a、c の反力が 50N となる。中央点 b での曲げモーメントM_b[N･m]は次のようになる。

力（支点にかかる荷重）＝50N

長さ（支点までの距離）＝3m

$$M_b = 50\text{N}\cdot 3\text{m} = 150\text{N}\cdot\text{m}$$

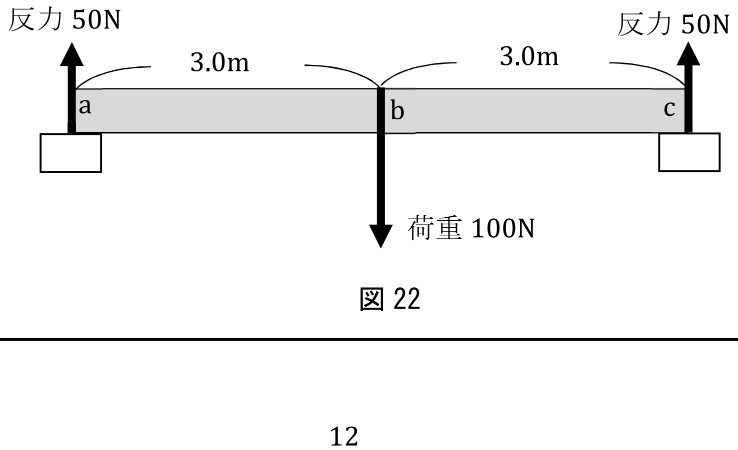


図 22

（次ページに続く）

第２問

宇宙はどのように始まり、どこまで広いか。天体の距離を科学的に正しい方法で調べた最古の記録は、紀元前３世紀のアリスタルコス（ギリシャ）のものである。彼は太陽がどれだけ遠いか計算し、それらの科学的根拠をもとに、「太陽を中心に、その周りを地球が動く」とする地動説を唱えた。

問１　アリスタルコスは、観測結果をもとに、太陽は非常に遠いと考え、月の何倍遠いかを計算した。観測では、月がちょうど半月のとき（地球と月を結ぶ線分が、月と太陽を結ぶ線分と 90°を成す)、地球から見て月と太陽は 87°離れていると見積もられた（**図１**)。

この結果を用いると、太陽は月よりも地球から約何倍遠いか、１の位まで答えよ。必要に応じて、sin87°≒0.999、cos87°≒0.052、tan87°=19.081 を用いよ。

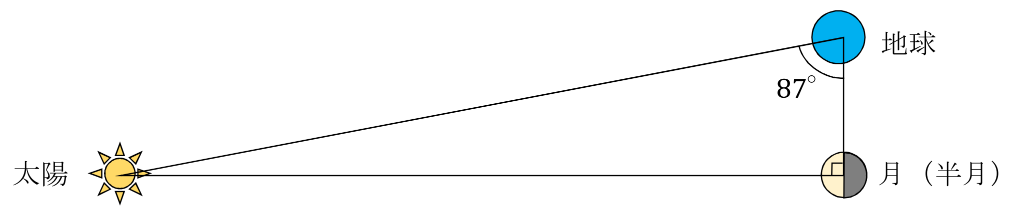


図１

現在の観測では、半月のとき地球から見て、月と太陽は約 89.85°離れている
（※コラム参照。コラムは読まなくても解答できます。以下同じ。)。
この値を用いると、太陽は月よりも地球から約 400 倍遠い（約 1 億 5000 万 km）という正しい距離になる。アリスタルコスの地動説は、その後、コペルニクス、ケプラー、ガリレイ、ニュートンらにより観測的にも理論的（万有引力の法則と円運動）にも正しいことが証明された。

〔コラム〕アリスタルコスの宇宙

アリスタルコス（紀元前 310〜230 年頃）の「半月のとき地球から見た月と太陽の角度」の誤差の原因は、「正確に半月になった時刻」の誤差と考えられている。望遠鏡の無い時代、半月になった「瞬間」の特定は難しく、数時間のずれが生じたとすると、誤差が説明できる。

彼の探究は続く。地球から見た「太陽と月の見かけの大きさ」がほぼ等しいことから、自身が求めた太陽と月の距離の比をもとに、太陽の直径を「月の約 20 倍」と見積もった。これも現在の正確な距離の比（400 倍）を用いると正しい直径（140 万 km）となる。

さらに、太陽は１年かけて天球の星座上を移動することから、天球の大きさは、地球から太陽までの距離よりはるかに大きく、恒星は太陽よりはるか遠くにあり、太陽と同様の天体であると考えた。そして、天球が非常に大きいために、地球が太陽のまわりを公転しても、恒星のみかけの位置の変化（「視差」）が肉眼で観測できないのだ、と考えた。

また、月食のとき、月が地球の影を通過する時間の観測から、地球の直径は月の約３倍と見積もった（実際の値は 3.7 倍)。二千年以上前、科学的思考を武器に、現在の宇宙像に迫っていた。

現代において宇宙観を大きく変えたのは、1929年のハッブル（アメリカ）による宇宙膨張の発見である。彼は様々な銀河からやってくる光を調べ、「ドップラー効果」による波長の変化から銀河の運動速度を求めた。その結果、**図２**のように遠くの銀河ほど速い速度で遠ざかっていることに気づいた。これは、遠い過去、すべての銀河が近い場所から出発し、互いに一定の速度で遠ざかり続けていると考えると、説明がつく。このことから、宇宙は膨張していると考えた。

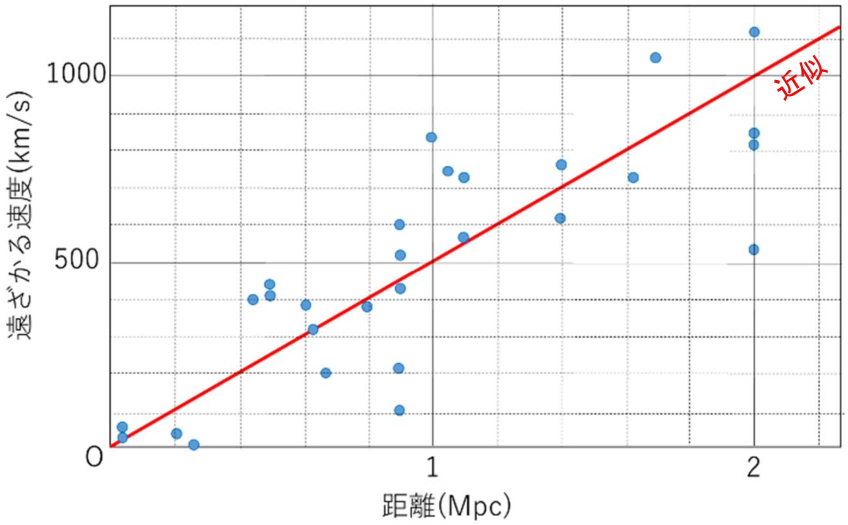


図２　ハッブルの観測データ（青い点）

問２　ハッブルの測定結果を**図２**の赤の直線で近似した場合、宇宙の誕生は約何億年前と考えられるか。各銀河は一定の速度で遠ざかっているものとして、「１億」の位まで求めよ。ただし、距離の単位「Mpc」は「メガ・パーセク」と読み（100万パーセクのこと）、１Mpc≒3.26光年≒3×10^{19}km、１年≒3×10^{7}秒とする。

なお、ここで求められる値は当時の観測によるもので、現在知られる値とは大きく異なる。

〔**コラム**〕ドップラー効果と宇宙観測

「ドップラー効果」とは、運動する物体から出た波の波長が変化したり、運動する観測者に届く波の振動数が変化したりする現象である。

例えば走行している自動車の音の場合、近づいてくるときは波長が短くなって届くため音が高く聞こえ、遠ざかるときは波長が長くなって届くため音が低く聞こえる（**図３**）。これを利用すると、波長や振動数の変化から物体の速度を求めることができる。

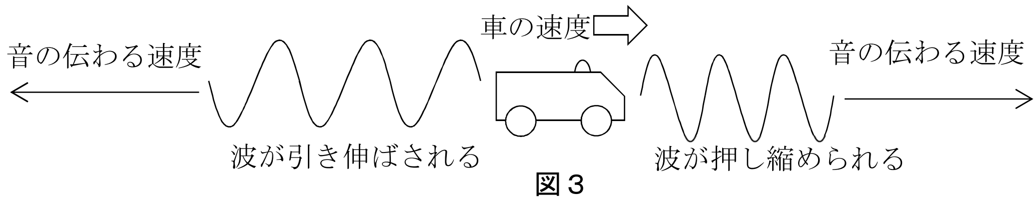


図３

天体の場合、水素原子が決まった波長の光（「輝線」）を出す。そこで、銀河のスペクトルを撮影し、輝線の波長の変化を求めれば、運動速度が分かる。ハッブルは様々な銀河の水素原子の輝線の波長を調べ、遠方の銀河ほど波長が伸びていることを発見したのである。

一方、フリードマン（ロシア）やルメートル（ベルギー）が、アインシュタインの発見した「一般相対性理論」から宇宙の膨張を導いた。ガモフ（ロシア）は、宇宙の膨張を過去にさかのぼると、超高温超高密度であったはずと考えた。そして、原子核物理学をもとに、宇宙が膨張すると冷えて、陽子や中性子から元素が合成されることを導いた（「ビッグバン宇宙論」）。その後、ペンジアスとウィルソン（ともに米）が、ビッグバンの「余熱」である宇宙の彼方からやって来るマイクロ波（「宇宙背景放射」）を発見し、ビッグバンが証明された。

現在も日本の「すばる」や「アルマ」電波望遠鏡などにより、多くの観測が行われている。その中で、宇宙から観測することで目覚ましい成果を挙げているのが、アメリカ航空宇宙局（NASA）を中心とする国際チームによる「ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡」（**図４**、以下「JWST」）である。JWST は口径 6.5m の反射望遠鏡を搭載した全長 22m の巨大なものである。

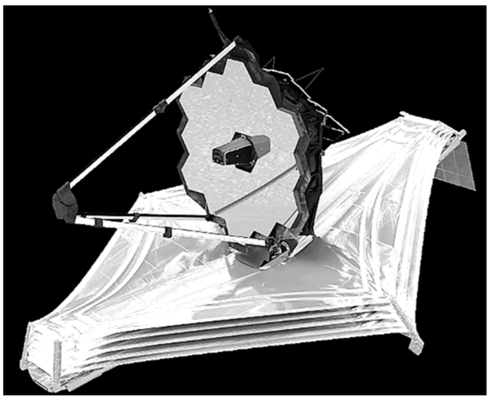


図４　ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡
（出典：NASA ウェブページ、モノクロ印刷）

問３　地上ではなく、わざわざ宇宙に望遠鏡を打ち上げて観測するのはなぜか。理由の１つとして、次の①～④の中から最も適切なものを１つ選べ。なお、他にも様々な理由がある。

① 宇宙から観測すると大気の揺らぎの影響を受けないので､高い解像度で観測できるため。
② 宇宙から観測すると、観測目標の１つである「宇宙の果て」により近いため。
③ 宇宙空間では自然災害や衝突事故等の心配がないので、故障する可能性が低いため。
④ 宇宙空間では、紫外線や放射線等の影響による劣化やノイズの心配が少ないため。

問４　JWST は NASA ゴダード宇宙飛行センター（北緯 40 度）で製作された後、欧州宇宙機関（ESA）ギアナ宇宙センター（北緯５度）から 2021 年 12 月 25 日に打ち上げられた。わざわざ赤道近くまで運んで打ち上げる理由を簡潔に説明せよ。

JWST の目標の１つは「宇宙の果て」の銀河の観測である。遠くの銀河ほど、宇宙の膨張のため大きい速度で遠ざかり、ドップラー効果によって光の波長が伸びて観測される。2022 年、JWST は地球から 135 億光年離れた銀河を観測した。

問５　135 億光年離れた銀河の場合、ドップラー効果のため、可視光は波長が 10 倍以上伸びて数μm の赤外線となる。JWST の反射望遠鏡の光を集める反射鏡は、そのような光を反射するため、赤外線の反射率が高く、可視光や紫外線の反射率が低い物質でコーティングするとよい。**図５**に挙げた４つの物質の中で最も適している物質を答えよ。

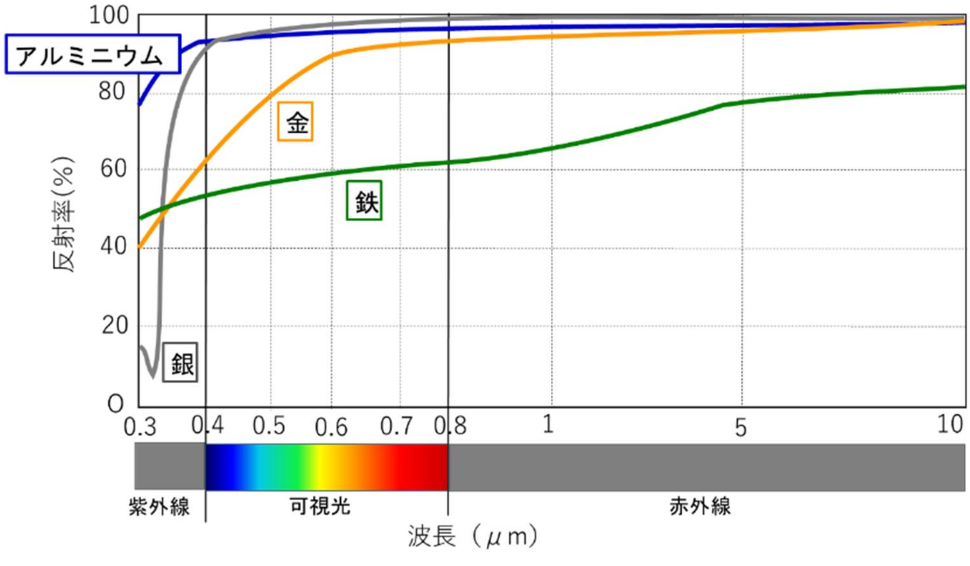


図５　主な金属の反射率

〔コラム〕赤外線での観測

望遠鏡に太陽光があたると望遠鏡自体が温まり赤外線を発するので、観測の妨げになる。そこでJWSTは、５重の遮光シールドをつけて（**図４**の下側の船体のような部分）太陽光を遮り、望遠鏡本体を－220℃以下に保っている。

超低温に下げやすく維持しやすいこと、周囲に赤外線を出す物体がないこと（地上だと地面や建物など赤外線を出すものに囲まれている）、大気や大気中の水蒸気は赤外線を吸収するので、地上では赤外線が弱まることなども、宇宙から観測する理由である。

問６　JWSTは、地球から見て太陽と反対方向に約150万km離れた「太陽－地球ラグランジュ点L2」（**図６**）付近にある。ここではJWSTから見て、太陽から受ける万有引力、地球から受ける万有引力、太陽の周りを公転する際の遠心力の３力がつりあっている。この位置にあるメリットとして<u>間違っているもの</u>を記号で１つ選べ。

①　宇宙を観測する際、JWSTから見た「夜」の方向が、地球や太陽と反対側なので、太陽や地球からの赤外線の影響を受けにくい。
②　地球を周回していないので、太陽に対する機体の向きを一定に保ちやすく、遮光シールドを常に太陽に向けておくことができる。
③　地球を周回していないので、長時間「夜」の方向へ望遠鏡を向けておくことができ、天体を長時間観測できる。
④　力がつりあう地点なので、地球を周回する軌道にくらべて容易に到達することができる。

問７　「太陽-地球ラグランジュ点」（**図６**）は、太陽から受ける万有引力、地球から受ける万有引力、公転による遠心力の３力がつりあっている点で、L1～L5の５つがある（**図６**には４つを示してある）。残るL3の位置として最も適当なものを**図６**の①～④から１つ選べ。なお、わかりやすいように距離の大小は誇張して描かれている。また、質量mの物体が角速度（単位時間あたりに公転する角度）ω、半径rの円軌道を公転するとき、遠心力の大きさFは$F=mr\omega^2$で与えられる。

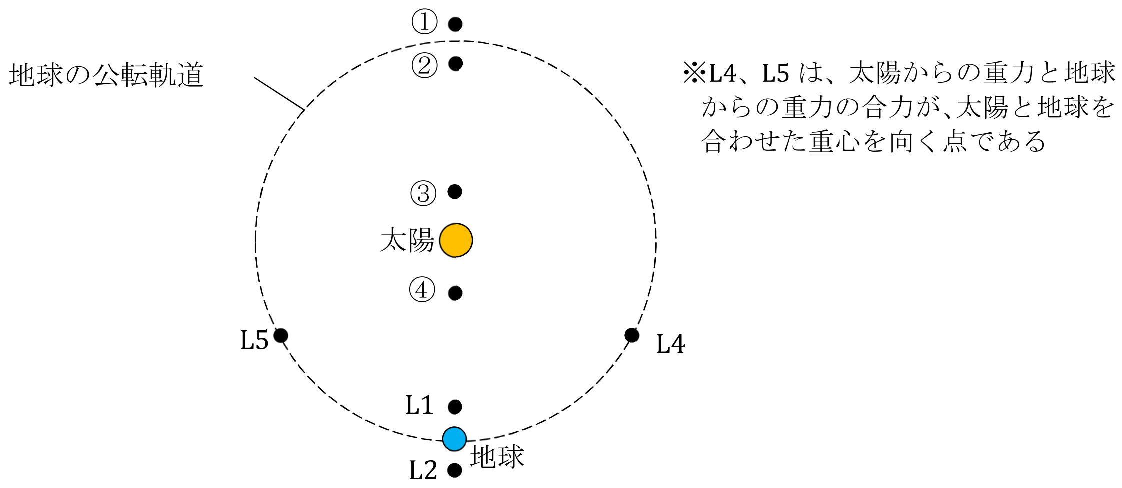


図６　太陽−地球ラグランジュ点（模式図）

〔**コラム**〕ラグランジュ点と宇宙観測

太陽-地球ラグランジュ点は、宇宙観測に多くのメリットがあるため、他にも重要な観測が行われている。「L2」には、恒星の位置を精密測定し宇宙の構造を調べる「GAIA」、ビッグバンの名残のマイクロ波「宇宙背景放射」を精密観測し宇宙の起源を調べる「Planck」（観測終了）、太陽側の「L1」には太陽を常時観測する「SOHO」などがある。
なお、人気アニメ作品で宇宙コロニーが置かれたのは、月と地球がなす「月-地球ラグランジュ点」の L1～L5 である。

現在、宇宙は約 138 億年前に誕生し、「インフレーション」という短時間の急膨張を経てビッグバンが起こり、膨張し続けていることが分かっている。近年、この膨張は途中から加速していることが分かった。宇宙の果てから届く光は、138 億年前に 138 億光年彼方を出発したが、その地点は加速しながら遠ざかっているため、現在では 138 億光年よりはるか彼方にある。以上から、現在の宇宙の大きさは少なくとも 460 億光年以上と考えられる。

膨張を加速させるエネルギーの正体は不明で「ダークエネルギー」と呼ばれる。また、銀河の運動などから、正体不明の未知の物質「ダークマター」が既知の物質よりもはるかに多く存在し、宇宙の構造をつかさどっていることが分かっている。JWST や Planck など様々な観測から、「宇宙の組成」は、ダークエネルギー約 70%、ダークマター約 25%超、そして天体やガス、ブラックホールなど既知の物質はわずか４％とされる。ダークエネルギー、ダークマターともに、未だ正体の兆候すらつかめていない。
宇宙では多くの謎が研究者の挑戦を待っている。

岡山県マスコット　ももっち