

第21回数理科学コンクール課題解説

平成30年11月3日 千葉大学先進科学センター

目 次

はじめに	3
優秀者氏名	5
1 課題 1	8
課題	8
解説	10
講評	15
2 課題 2	16
課題	16
解説	17
3 課題 3	22
課題	22
解説	23
講評	23
4 課題 4	25
課題	25
解説	26
講評	26
5 ロボットの部	28
課題	28
講評	28

はじめに

明治の文明開化以来、我が国は欧米先進国の科学技術を効率よく吸収して発展してきました。戦後もこの傾向は基本的には変わっていません。現在、我が国は大量の自動車や電子機器を輸出して経済大国となっていますが、これらの工業製品の基本原理はほとんど外国で考えられたものです。欧米諸国との間に経済摩擦や文化摩擦が生じている現状を考えると、これからの我が国で大切なことは独創性のある個性的人材を育成して、新しい科学技術のフロンティアを切り開き、世界に貢献することであると考えられます。

千葉大学では、日本のみならず、世界の科学技術の先端を担う若者を発掘し、育成するための一助として、本年度も、第21回数理科学コンクールを開催しました。このコンクールの特色は次の通りです。

1. 自由にゆったり考える

試験時間は6時間、途中の休憩や参考書・ノート等の持ち込みは自由とする。

2. たのしい物理・数学の発見

物理や数学のカリキュラムにとらわれず、物理や数学の本質に根ざした、考えて楽しい問題を提供する。

3. 多彩な才能の評価

様々な参加者の優秀な能力やユニークな発想を多面的に評価するため、問題をたくさん解いたものだけでなく、1題に集中してすばらしい発想を出したものも表彰の対象にする。また、グループとしての総合能力を評価するため、個人参加だけでなく、グループ参加も認める。

4. 人材の育成

コンクール参加者の物理や数学の能力をさらに高めるため、コンクールの表彰式と講評会を行う。

過去20回のコンクールに引き続き、多くの中高生の参加者があり、楽しい雰囲気の中で、いろいろユニークなアイデアが生まれました。中学生も、高校生に負けず優秀でありました。そして、答案を見ると、それぞれの問題に興味を持ちながら解答していることが読んでとれました。

第21回数理科学コンクールの課題の解説と提出された答案の評価を以下にまとめます。解説に述べてあるように、各課題は課題出題者の周りにある基本的な問題や最先端の問題、さらには歴史的に意味のある問題を元にして作成しました。課題提出者一同、みなさんの素晴らしい洞察力と表現力を前にして、大変感心いたしました。

参加者の皆さんが今後、科学する心を磨き続け、我国の科学の発展に貢献することを課題作成者一同希望します。今後も諸君と共に科学することを楽しみたいと考えています。千葉大学では今後も引き続きこのコンクールを実施する予定です。物理・数学に興味がある中高生の積極的な参加を期待しています。課題作成者もさらに研鑽をかさね、おもしろく、しかも科学の本質に迫る課題を考えていきます。

課題作成者

千葉大学教授 井宮 淳
東京慈恵会医科大学教授 植田 毅
(五十音順)

平成 30 年 11 月 3 日

優秀者氏名

平成 30 年 7 月 21 日と 22 日に開催しました第 20 回数理科学コンクールの参加者の皆さんのすばらしい答案の中から以下の参加者諸君を表彰することを決定しました。

第 21 回数理科学コンクール優秀者

金樺賞	野中音歩 吉成勇人 久保元由樹 大端俊輝 萩野友惟 望月咲百合 廣川陽哉 初川隼人 二宮聡太
銀樺賞	森高 楓 橋爪智紀 佐藤更紗 吉武廉 中村綸 安藤瑠那 宇田川聖佳 小川優香里 福村翔 森木優弥 松野裕智 坂井実 星川直輝
学長賞	石原京嗣 佐原怜一郎 辻雄太 渡邊将太郎 藤井悠貴
機巧賞	木下愛子 北田雅也 大木勇飛 宮澤正斗

課題	参加者名
1	森高 楓 安藤瑠那 宇田川聖佳 小川優香里
2	野中音歩
3	渡邊将太郎 藤井悠貴 石原京嗣 佐原怜一郎 辻雄太 廣川陽哉 初川隼人 二宮聡太 佐藤更紗 吉武廉 中村綸 福村翔 森木優弥 松野裕智
4	橋爪智紀 野中音歩 吉成勇人 久保元由樹 大端俊輝 廣川陽哉 初川隼人 二宮聡太 萩野友惟 望月咲百合 坂井実 星川直輝

千葉大学先進科学センター長
教授 高橋 徹

課題の部

1 課題 1

課題

日常生活において布は欠かせないものである。布は繊維を用いて作った薄く広い板状のものであるが、作り方によって織物、編み物(ニット)、レース、フェルト、不織布に分けられる。

織物(おりもの)とは、図1のように多数の経糸(たていと)と(しばしば1本の)横糸(緯糸)を組み合わせ、糸が交差する構造で作った布地である。一方、編み物は、図2のように、糸、特に毛糸や綿糸を結び目を作る要領で「一目ずつ」形を編んで作った布地である。編み物でできた布は結び目構造を持ち、弾性のある糸を用いて、糸と糸の摩擦と滑りがあるため、布に力を加えて伸ばした時に、大きく変形し、弾性を示す。

さて、図2のようなメリアス編みの布を引っ張った時に網目はどのように変化するか、引っ張る力と変形の仕方などに注目して、様々な角度から法則性を見出さない。

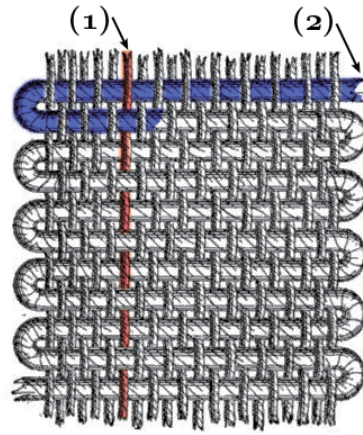


図 1: 平織の経糸 (1) と緯糸 (2)

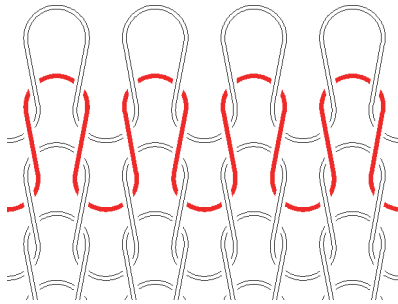


図 2: メリアス編みの構造

解説

この課題は、ニットを引っ張れば変形することは分かるけれど、変形をどう表現するか、何をどう図るか、途方に暮れたかもしれません。捉えどころのない難しい問題です。中にはこれが数理科学の問題か？と思った人がいるかもしれません。

実は、今年度はこの課題とは別の課題を考えていました。そちらの方が対処し易かったかもしれませんが、しかし、課題の準備をしているときに、たまたま次の2つの論文を見つけました。

[1] Samuel Poincloux, Mokhtar Adda-Bedia, Frederic Lechenault: Geometry and Elasticity of a Knitted Fabric, Phys. Rev. X 8, 021075, Published 22 June 2018.

[2] Samuel Poincloux, Mokhtar Adda-Bedia, Frederic Lechenault: Crackling Dynamics in the Mechanical Response of Knitted Fabrics, Phys. Rev. Lett. 121, 058002, Published 30 July 2018.

この論文はニットの構造、伸縮の仕方について研究しています。これを見つけたときに、こういうことも物理で扱うのか... と少し驚きました。身近な現象なので論文と同じアプローチでなくてもなにがしかの現象を考えてもらえるだろうということでこの問題を出題することにしました。

さて、ニットが伸びる現象が難しいのは、糸がのびる、糸が滑って変形する、糸が滑るときに糸と糸の間に摩擦があることです。特に、摩擦があるため、糸はスムーズに滑りません。そのため、論文ではこの現象は雪崩や地震と同じ現象として扱われています。

この論文で得られている結果を紹介します。研究者たちがどのような現象に注目し、どのような物理量をどのように測定し、その測定からどのような結論を得ているか参考にしてください。

実験では 51×51 目のメリアス布 (ニット) の上下端を巾の方向 (緯, コース) に伸縮しないようにクランプで固定し、上下方向 (長さ方向 (経, ウェール)) に伸ばした時 (図 3 (a)) のひずみ (元々の長さに対する伸びた長さの比) と加えた力の関係は図 3 (b) のようになる。実験では巾を 227mm に固定し、長さを 125mm から変化させている。伸ばされているとき、左右端の辺は懸垂線となる。

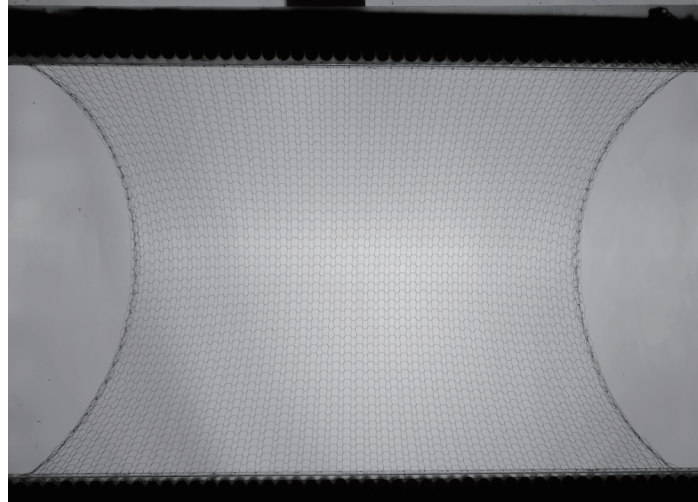
この実験ではニットの伸縮を 5 回繰り返して、それを異なる色で表している。ひずみがマイナス (縮んでいる状態) からひずみが 0 (元の状態) になるまで、伸ばそうとする過程ではひずみと力の関係は伸縮させるたびに異なる値を示すが、ひずみが正の領域では伸縮の回数に依らずほぼ同じ曲線となっている。しかし、ニットを伸ばす場合と縮める場合では同じひずみでも必要な力は前者の方が大きな力が必要であることが分かる。

ひずみに対して網目の中心位置がどのように移動するか (図 4 (a)) を調べている。ひずみが $0 \sim 18\text{mm}$ の比較的小さい場合、ひずみに対する巾 (x) 方向、長さ (y) 方向の位置の変化率は図 4 (b) のようになる。

また、網目の変形の様子を表すために、図 5 (a) のように隣り合う網目の中心までのベクトル $\vec{c}$, $\vec{w}$ を定義すると、網目が変形すると、ベクトル $\vec{c}$, $\vec{w}$ は図 5 (b) のように変形する。

ベクトル $\vec{c}$, $\vec{w}$ それぞれの長さ c , w , および糸の長さに比例する量である $(c + \delta w)/2$ (δ は形に依存する定数) の平均値はひずみに対して図 6 のように変化します。 w の平均値はひずみに比例して大きくなるが、 c の平均値はひずみに比例して減少する。糸の長さは一定に保たれていることが分かる。

(a)



(b)

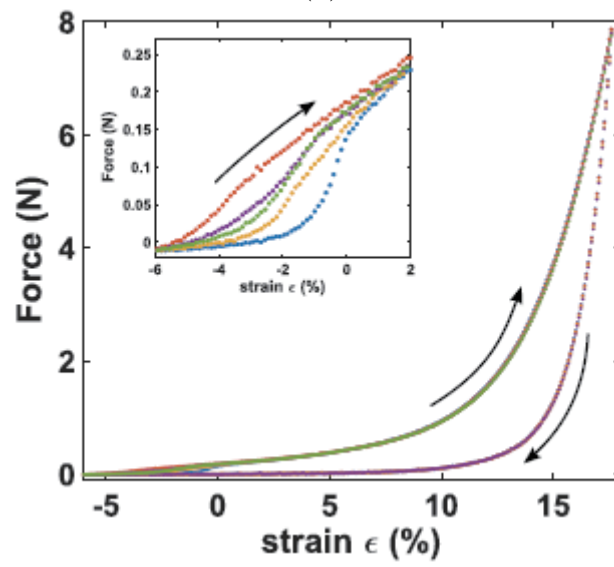
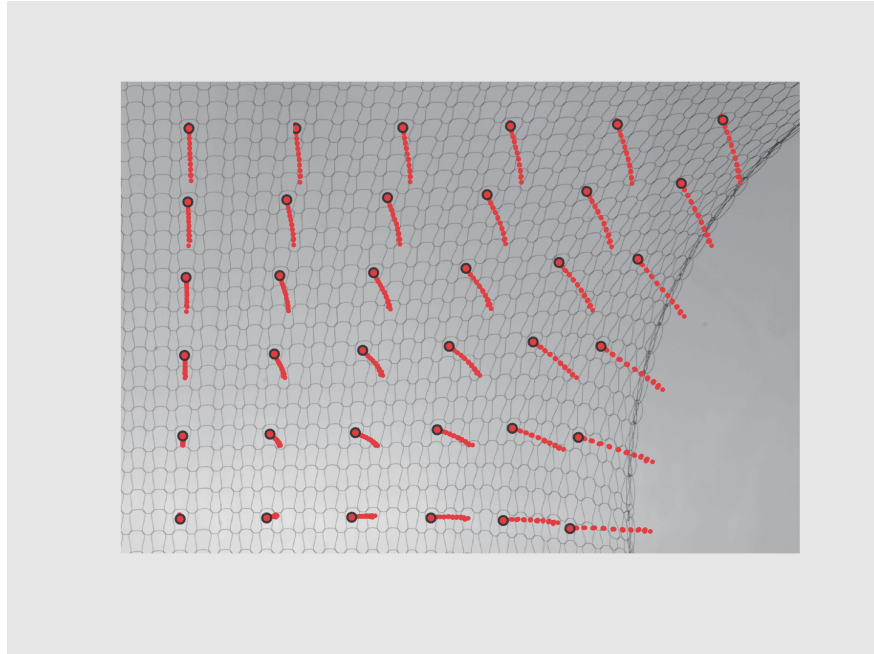


図 3: ニットの上下端を動かないように固定し、上下(ウェール方向)に伸ばした時のひずみと加えた力の関係

(a)



(b)

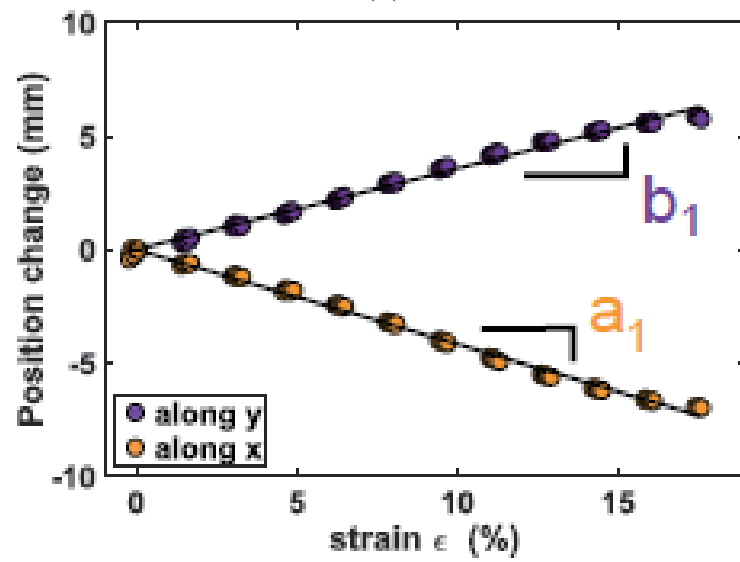


図 4: 網目の位置変化

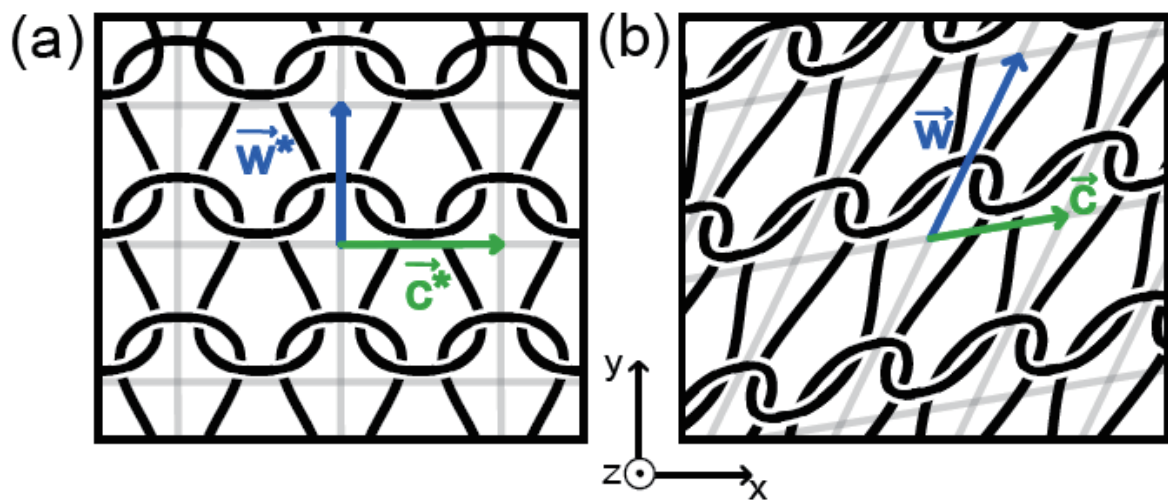


図 5: 隣の網目までの変位ベクトル. (a) 変形前 (b) 変形後

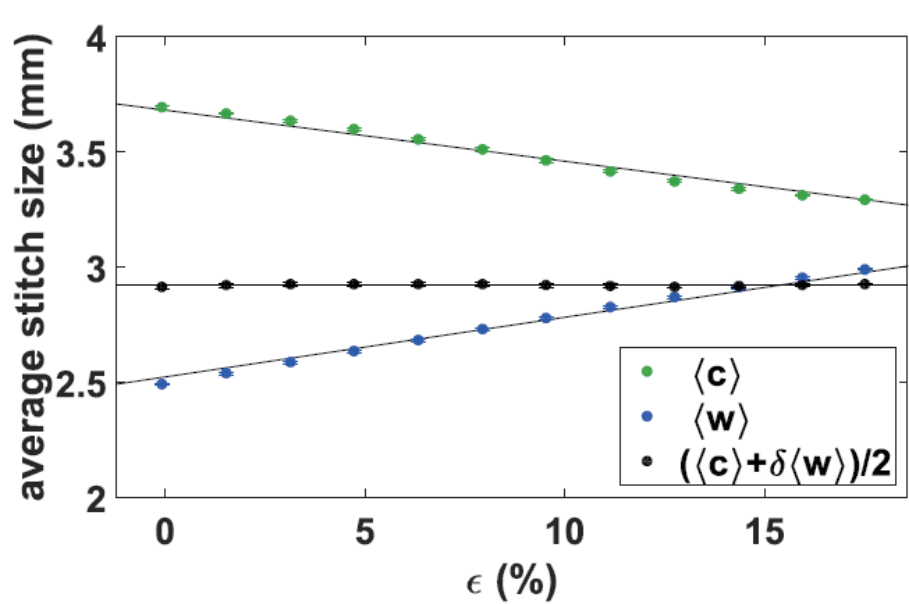


図 6: ひずみに対する隣の網目までの変位ベクトルの大きさの変化

2つ目の論文では、ニット布を一定の速度で引っ張った場合にどのような特性があるのかを調べています。この実験では83×83目のメリアス布(ニット)の上下端を巾の方向に伸縮しないようにクランプで固定し、上下方向の長さを230mmから234mmまで一定の速度 $5\mu\text{m}$ で伸ばした時(図7(a))の上下方向の長さに加えた力の関係は図7(b)のようになる。

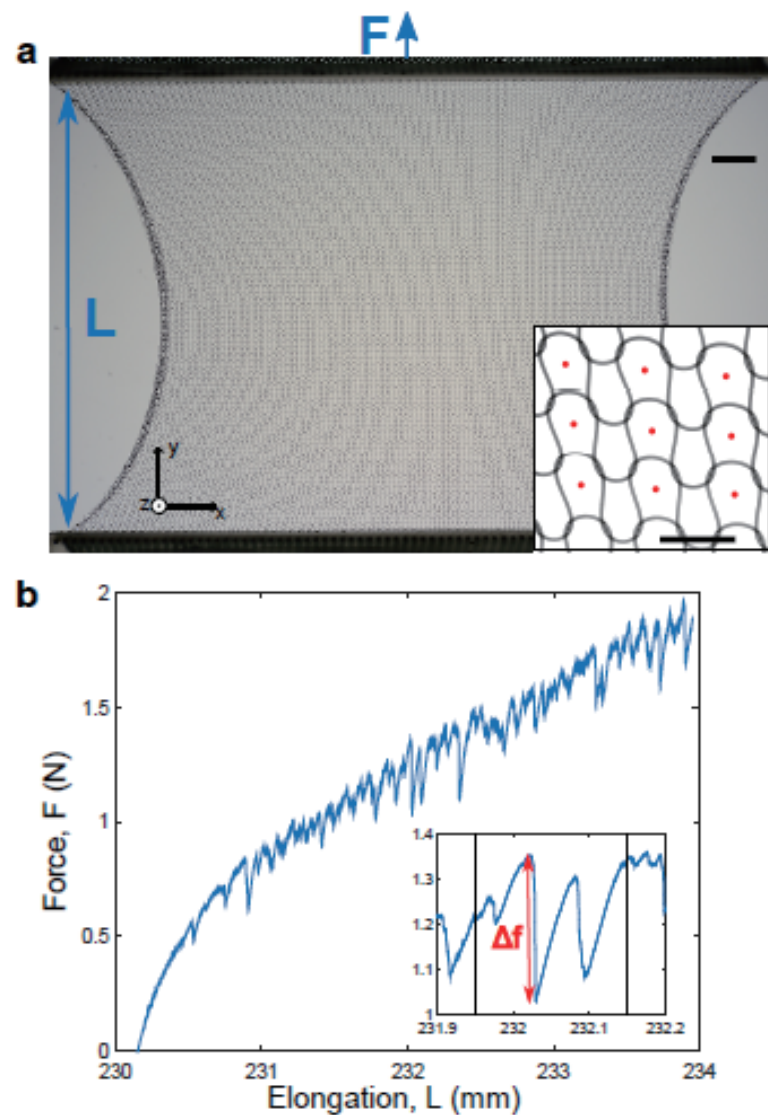


図 7: メリアス布を一定速度で引き伸ばした時の布の長さに対する布にかかる力の変化

この場合、横軸は時間とも解釈できます。このとき、ニットにかかっている力は不規則に振動している。これは糸の摩擦によるピン止め(固着)とスリップによるものです。そういう意味で、この現象は地震や雪崩と同じ現象であると言えます。

実際、地震の大きさのようにピン止め状態から滑った時の状態の変化がどれほど大きいかを図7(b)の ΔF で測るとして、同じ大きさのすべりがどのくらいの確率で発生するかの度数分布は図8のようになります。横軸、縦軸ともに対数目盛ですが、グラフの傾きは普遍的な値 $-3/2$ となります。これは雪崩の減

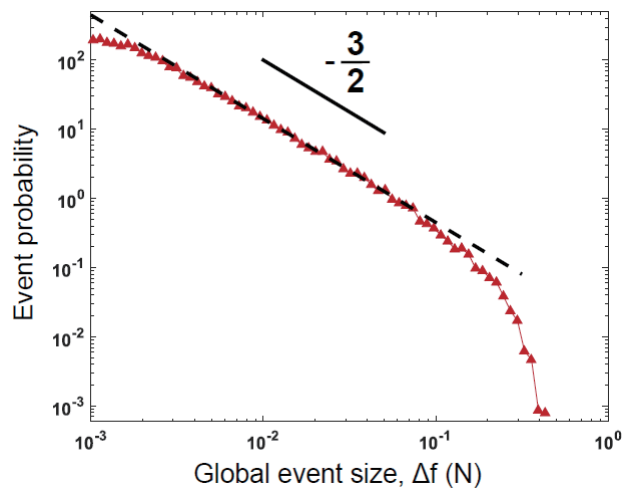


図 8: 力の変化 ΔF のすべりが発生する確率分布

少と同じ値なのです。

物理学はこのような似ても似つかないように見える現象の間に共通する普遍的法則を発見する学問なのです。

講評

さて、当日を思い返せば、なかなか苦戦していたようです。本格的な測定装置がないので精細な測定はできないのは分かっていましたが、何に注目し、どのような量をどのような方法で測定する計画を立て、実行するかを評価しました。まず、素材を選び、網の目がどのように変化するかじっくり観察することから始める必要がありました。

そんな中でも、伸ばす方向についての考察をしっかりとできたものがありました。縦より横に引っ張る方が伸びるという解答もあれば、逆に、メリアス編みは縦横同じ伸びと言う結論に達したものもありました。いずれの結論になっても、測定方法、計画、結果に対する考察が正しければ高く評価しました。面積一定になるという結論に達したもの、網目の形の変化に注目せず伸びのみを考えている解答もありました。何に注目すべきか、観察眼を養い、センスを磨いてください。

2 課題 2

課題

容器に入った液体を速く出してみたいことはよくある。ここでは、底の平らな容器に液体を満たした後、穴を開けたときにできるだけ速く中の液体を出すにはどのようにすれば良いかを考える。ただし、容器を振ったり運動させず、変形(穴の大きさ、数)もさせないで、どのようにすれば速く中の液体を流出させられるかを物理的に考えなさい。

解答には、まず、何故その方法で速く流出させられると考えたのか物理的根拠を示しなさい。次にその考えを検証するにはどのような実験をすればよいのか、実験の計画を記述しなさい。最後にその検証結果について書きなさい。

容器として紙コップ(1名2個まで)を用意してある。穴あけポンチを用いて底に1つだけ穴を開けて実験してください。穴あけポンチの使用方法が分からない場合はスタッフに相談してください。

有機溶媒を用いたスプレーなどを用意してある。換気の問題もありますので、スプレーは屋外で使用してください。また、数の限られた道具などはその場で使用するか、使用后、速やかに元の場所に返してください。

解説

この問題は簡単と思った人もいたかもしれません。それは、水深が h の水タンクの底に排水口を設けたときの水の流出速度 v は、凡そ 400 年前にトリチェリ (Torricelli) により、 $v = \sqrt{2gh}$ と求められているからかもしれません。ここで、 g は重力加速度の大きさです。この結果は、排水口の大きさやタンクの形状などに依らず、水深のみで決まってしまう。

しかし、この問題では穴あけポンチで開けられる穴の大きさが 1mm~2mm であることがポイントになります。同じ流体でも管の中を流れる場合、その太さによって従う法則が変わってきます。例えば、同じ血液でも直径が 1.5cm くらいの大動脈を流れるときは、その粘性はほとんど無視でき、エネルギー保存則 (ベルヌーイの定理) が成り立つ完全流体として扱うことができますが、血管が数ミリの細動脈になると、血管壁との摩擦 (粘着性) の影響が大きくなり、流量は圧力差、管の直径の 4 乗、長さの逆数に比例するというハーゲン・ポアズイユの法則に従うようになります。

この問題も紙コップが太い管、穴が細い管と思えば、穴の直径が小さいので粘性、表面張力が流量に影響を与えそうなことは想像できます。通常、そのような場合、できるだけ粘性の影響を受けずに流れるように流体に触れる部分をテフロン加工することを考えます。そう考えるだろうと、当日は撥水スプレー、ラッカー、食用油を用意しておきました。しかし、こちらが意図した利用方法とは異なる目的に大量に使用した人が多かったようです。

ところが、そういうことは効果がなく、別の現象が流量を決定しているという論文

[3] J. Ferrand, L. Favreau, S. Joubaud, E. Freyssingeas: Wetting Effect on Torricelli's Law, Physical Review Letters, 117, 248002 (2016)

が発表されています。この論文の解説記事

Synopsis: Wetting Matters When Emptying a Tank

<https://physics.aps.org/synopsis-for/10.1103/PhysRevLett.117.248002>

を見つけたので出題する気になりました。

この論文では、容器の内部を撥水加工しても効果はない、水がタンクから流出する速度は、穴の外部の表面の水との親和力に依存すると言っています。つまり、紙コップの底の“外側”の撥水性が重要だと！

水がコップの底から流れ出るようすをよく観察すると、止めた蛇口の先に水のしずくが貯まるような形でとどまった後、穴よりも広い範囲を水滴が覆い、高さのない円錐台状になり水が流れ落ち始めます。初めにこの現象をしっかり観察していれば気が付いたかもしれません。この円錐台状の水の塊 (メニスカス) が流出速度に影響を与えています。そこで、紙コップの底に撥水スプレーを吹きかけて、実験してみると流出速度に変化が現れるということです。

撥水性、水の親和力は表面張力によるものですが、固体の表面を液体が覆い尽くすか、塊になって張り付いた状態になるかを「ぬれ性」と呼びます。「ぬれ性」を表面張力を用いて表現できなくはないけれども、より簡単に定量的に表現するために、図 9 のように、固体平面と液面の表面との成す角 (接触角という) θ を導入します。

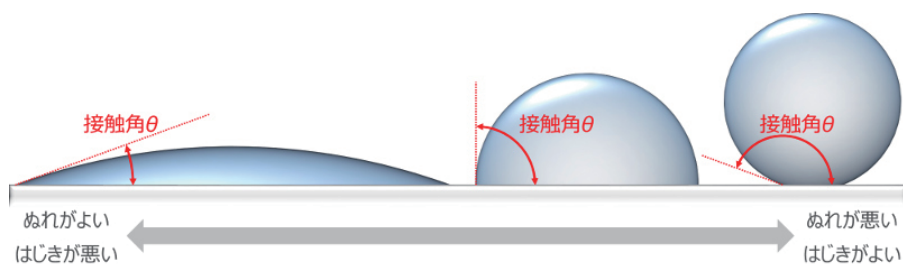


図 9: 接触角の定義とぬれ性の異なる 3 つの水滴

<https://www.fia-sims.com/p40-interface-science.html#contactangle>

液体と固体の接触面の端 (接触角を測る起点) では固体, 液体, 空気の 3 つの相が接しています. この接点移動することは, 固体表面が濡れたり, 乾いたりすることを意味するので, その状態が保たれている状態では固体-空気間の表面張力 γ_{sa} , 液体-空気間の表面張力 γ_{la} , 固体-液体間の表面張力 γ_{sl} が釣り合っていないとすればならず,

$$\gamma_{sa} - \gamma_{sl} = \gamma_{la} \cos \theta$$

なる関係式 (ヤングの関係式) が成り立ちます. この式から, $\gamma_{sa} > \gamma_{sl}$ のとき, $\gamma_{la} > 0$ であるから, $\cos \theta > 0$, すなわち $\theta < 90^\circ$ となる. つまり, 固体が液体と接するよりも空気と接する方がエネルギーが上がる場合, 固体表面が液体で覆われていた方がエネルギー的に得なので固体表面は濡れる. したがって, 接触角は小さくなる. 逆に, 液体をはじく傾向を持つ場合は $90^\circ < \theta < 180^\circ$ となる.

さて, 論文での実験結果はそれほど単純ではありませんでした. 論文ではタンクの底を接触角が (a) 13° , (b) 64° , (c) 88° の 3 種のガラスで場合の流出の様子 (図 10) を観察している.

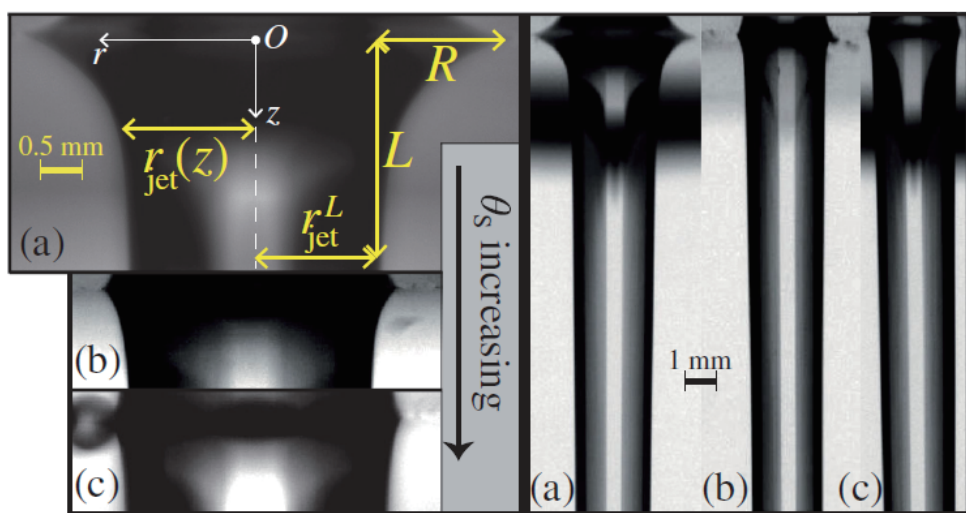


図 10: 異なる素材のタンクの底から流れ出る水の様子 (90 秒後のスナップショット). 接触角はそれぞれ (a) 13° , (b) 64° , (c) 88° . 穴の半径 $r = 1.75\text{mm}$, 初期の水深 $h_0 = 10\text{cm}$

接触角が小さいほど, したがって, 濡れやすいほど, タンクの底に付着しているメニスカスの半径が大

きくなっていることが分かる。

穴の半径を $r_0 = 1.75\text{mm}$, 初期の水深 $h_0 = 5\text{cm}$, 10cm のときの, 3 種類の素材の底のタンクから流出した水量 $V(t)$ の時間変化は図 11 のようになる。図中の破線はトリチェリーの式から求めた

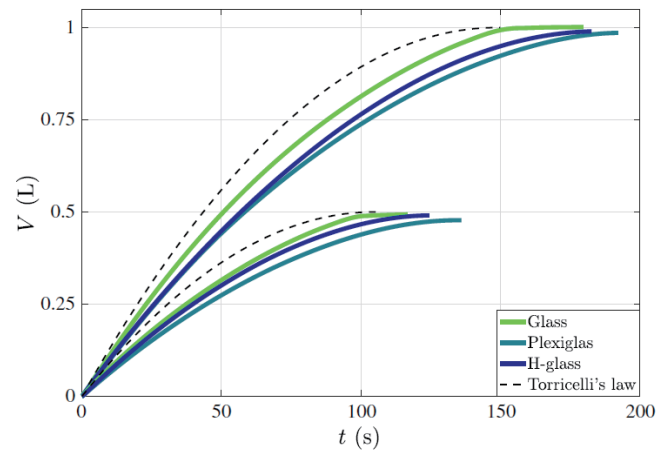


図 11: 流出した水量の時間変化. 接触角 13° (Glass), 64° (Pexiglas), 88° (H-glass).

$$V(t) = \pi r_0^2 \sqrt{2gh_0} t - \frac{\pi^2 r_0^4}{2a^2} g t^2$$

である。この図から、流出する速さは、接触角が 64° の場合が最も流出が遅く、接触角に対し単調に変化しないことが分かる。

この論文では、水の運動エネルギーの変化を計算し、メニスカス内で水の流れが加速されることを示している。運動エネルギーの増加はタンクの底の接触角に対して、 60° のときに最低値を取ることが示され、これが流出時間の単調ではない変化の原因であると結論付けています。

講評

この課題は紙コップに穴を開け、水を流せば実験はできるので取り組みやすかったと思います。しかしながら、始めのガイダンスで、よく考えて、しっかりと計画を立ててから実験するように伝えたにもかかわらず、当日の様子を見る限り、計画的に実験を行っているようには見えませんでした。このコンクールではこちらの想定とは関係なく、自由な発想を尊重していますが、特に、食用油の使用方法については何も考えずに使っていたように見受けられました。

さて、解答を見るといろいろな発想が提案されていました。

「穴が大きい方がいい」というがありました。それは当然ですが、上で解説したように、穴の大きさにより粘性 (表面張力) の効き方が変わってくるので、系統的に調べれば面白い結果があったかもしれません。

「穴に糸を通す」、「ティッシュをつめる」、「漏斗を使う」、「紙コップを吸引」などというものがありました。これはカップの表面状態違うときにどうなるかを考えて欲しい出題意図とは異なりますが、しっかりと計画、実験、考察してくれれば評価もしたのですが、残念ながらアイデアのみでした。

「かき混ぜ回転させる」というアイデアがありました。カップは動かさないという制約がありますが、中の水を動かさないということは書いてないので、許容するしかありませんが、回転させると遠心力で水は側壁に押し付けられ、中心付近は水深が浅くなります。遊園地に回転する籠に遠心力で張り付いて床がなくなっても人間が落ちずに回り続けるというアトラクションがあります。これを考えると回転速度によっては不利になるかもしれません。回転している場合、運動エネルギーは大きくなるかもしれませんが、回転の速度は流れに対して垂直な成分なので、流れ出る方向の速度に変換されるのか考察する必要があります。

その文章からは少し意味が分からないものに、「落とす高さを変える」と言うのがありました。紙コップの高さを変えるという意味でしょうか？富士山の山頂位まで行けば、気圧の変化があるので少し速さが変わるかもしれませんが、気圧はコップ内の水面、放水された水どちらにも同じようにかかるのであまり効果はありません。地球の重力加速度のむらで重力加速度に変化があれば(それでも微々たるもの)、効果が00ではありませんが、意味のある変化は期待できません。

「気温(室内、屋外)を変化させる」というものがありました。これは気温により密度の変化による効果を考えたものと考えられますが、もっとも単純な理論からすると、速度はトリチェリの理論のように重力加速度と水深にしか依りません。しかし、液体の粘性は温度により大きく変化するので、そちらの効果は大きい可能性があります。温度計があれば検証できたかもしれませんね。

「穴の位置を変える」(中央が速い説、端が速い説)というアイデアもありました。紙コップの場合、底を浮かせるために壁がそこより下に延びているので、端の方に穴を開ければ壁を伝って流れ出る可能性があります。その場合、吸引効果で速く流れ出る可能性もありますが、物理的過程が複雑になるので検証が難しくなります。しっかりと検証したものはありませんでした。

「水位を一定に保つ」、「カップを傾ける」と解答した例もありました。これはベルヌーイの定理にもとづいて、トリチェリの解を導いて、水深が一定であれば、水深が減少することにより速度が小さくなることを防ごうと言うアイデアですが、水を入れて水深を一定に保つならいつまでたってもカップは空にならないし、中に物入れたり、カップを凹ませたりして水深を保つとそれは変形させないという条件を満たさなくなります。(そもそも、教科書、参考書持ち込み可のこのコンクールでそれだけの課題を出すはずがありません!)カップを傾けるというアイデアも水深をできるだけ大きくしようという発想です。傾けないよりもある程度の効果は期待できます。

「水の温度変化によりレイノルズ数の変化させる」という解答もありました。レイノルズ数 Re は、慣性力と粘性力の比で定義されます。具体的には、 U を考える流体の代表的な速度、 D をその流れの場を特徴付ける代表的長さ、 ν を動粘性係数(動粘度)とすると

$$Re = \frac{UD}{\nu}$$

で定義され、この値により流れが乱流であるか層流であるかを判断します。レイノルズ数の小さな流れ(層流)とは、粘性力が支配的で慣性力の影響の小さなネバネバした流れであり、流体の運動は圧力と粘性力のバランスで決まります。他方、レイノルズ数の大きな流れ(乱流)は、粘性力の影響の小さなサラサラした流れであり、粘性力の影響は無視でき、流体の運動は慣性力と圧力のバランスで決まります。

動粘性係数 ν は粘性係数 η と密度 ρ を用いて, $\nu = \eta/\rho$ と表わされるので, レイノルズ数は

$$Re = \frac{\rho U D}{\eta}$$

とも表せます. 円型パイプ内の流れについては実験的に

$Re < 2000$	層流
$2000 < Re < 3000$	不安定な流れ
$Re > 3000$	乱流

となることが知られています. 層流と乱流では力学的エネルギーの損失の程度が大きく異なり, 後者では損失が非常に大きくなります. したがって, 流れ出る速さにも大きく影響するでしょう. 確かに, 温度により粘性係数 η と密度 ρ は 0°C の $0.999\text{g}/\text{cm}^3$ から 90°C で $0.965\text{g}/\text{cm}^3$ くらいまでしか変化しませんが, 粘性係数は 0°C の $1.792 \times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ から 90°C で $0.315 \times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ まで変化します.

直径 1mm の穴を開け, 水位が 5cm のとき, トリチェリの式で流出速度を計算すると $0.989\text{m}/\text{s}$ となり, 夏だったので室温を 30°C とすると, 水の密度は $0.9957\text{g}/\text{cm}^3$, 粘性係数は $0.797 \times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ であるので, このときのレイノルズ数は 1235 と計算され, 粘性係数が数倍変化すれば流れ状態が大きく変化する可能性は大いにあり得ます.

最後に, 「スプレーは効果がない」という記述も見られましたが, カップの中に吹き付けても効果はありません. 底に吹き付けないといけません. それがこの現象の面白いところです.

3 課題 3

課題

古今東西、図書館が重要な役割をする逸品小説が多々ある。文字を記録したものを書物と呼ぶなら、図書館は書物の保管庫である。しかも、図書館は書物の利用者である読者があって初めて存在する保管庫である。そのため、図書館の中では書物が、利用の便を考えて配置されている。書物の配置方はその入れ物である建物の構造にまで影響を及ぼすことになる。

図書館を情報科学的に考えると、巨大な実態データの保管庫である。そのため、データを検索するために、索引や分類規則が整備されている。巨大な実態データ保管装置として、図書館のほかに、植物園や博物館(宝物殿)も存在する。西洋では、図書館、植物園、博物館は共に僧院や大学の付属施設として発展してきた。図書館が最初に存在し、本の内容を学ぶ場として開設された大学も存在する。また、一国の知識や歴代の国家の正当性を示す資料の宝庫としての図書館も存在する。

知識を得るためには、検索画面を利用して電子的に蓄えられたデータを検索することと異なり、最後には、図書館に保管された書籍や雑誌の宇宙に分け入って情報を探索することになる。そこで、人間が中で実際に行動し、情報の探索に適した、書籍の配置、書籍の分類を考慮して、図書館を設計してください。設計図を解答とする場合には、設計の意図、設計の留意点などを文章で付加してください。

解説

図書館は、現代では、書籍を読む場所であると共に、書籍の保管庫である。一方、書籍自体が貴重品であった時代には、図書館は書籍の保管庫で在り、貴重品である書籍を図書館に出向いて読んでいた。印刷技術の発明以前、本は手書きによって写本されていた。そのため貴重品であった。時代が下がり、現在、書籍の配布は機械印刷を通り越して電子化されたデータをビューアで読んでいる。その先には、電子データを直接、脳に送り込む時代が来るかもしれない。一方、写本、印刷物、電子データ、と情報の保存・伝達形式が進化しても、沢山のデータの中から、自分に必要な情報を手に入れるには技術が必要である。また、情報検索を補助するためには、データの保管法の統一化と規格化が必要であることは言うまでもない。情報の保管・検索手法が進化しても、手書き写本、印刷出版物である1次資料を保管することは、思想・文化の伝承、歴史の検証には欠かせない行為である。従って、実体書物の保管施設としての図書館は情報処理技法に基づく技術要件だけではなく、様々な文化的要求を満たす施設である必要がある。それらの要求を総合的に加味して、図書館が設計されることになる。図書の利用・保管法式として、大きく分けて、保管に主眼を置いた閉架式、自由な閲覧に主眼を置いた開架式の2種類がある。通常、1つの図書館が、図書の種類に対応して2つの機能を併せ持っている。さらに、現在では、図書館に学習空間としての機能が加わっている。

この課題では、図書館において、実体を持つ情報である図書・書籍の保管、検索、閲覧、利用の観点から図書館の構造、図書・書籍の保管法について、情報科学的に考察してもらうことを考えました。

情報の保管・検索だけを考えれば、情報工学の最も規範的な問題である。一方、閲覧時の利用者の移動、利用時の快適さなどは、人間工学、建築学の基本的な問題である。さらに、図書・書籍には重量があるため、構造体としての図書館には、大規模な床荷重に耐える設計が要求される。それらを、総合的に感じ取ってもらうために、世界の図書館に関する建築写真集を用意した。さらに、図書館は、設置者である、国家、自治体、大学の学問や文化に対する考え方を体現する建造物にもなっている。

情報・文化を蓄積・保管・展示する場所として、植物園、博物館がある。博物館と図書館は双子のような関係にあり、共に文化を蓄積し、蓄積物によって社会を啓蒙する役目を持っている。植物園は、薬草園として、中世より医学と密接なかかわりがある。欧州の古い大学には、由緒ある図書館と広大な、植物園・薬草園が付属している。これらは全て、情報の電子化以前から、実体としての情報である、書籍、絵画、植物を蓄積・保管し、学問文化の発展に寄与してきた。美術館や博物館の場合に回廊を通過するに従って、展示物の間の、編年による発展や相関の変化の様子、作成者(個人・集団)移動、他分野との関係が分かるように展示される。この傾向は特別展に於いて顕著であり、展示方法は、美術館・博物館の思想、キュレーターの学問的力量を試す場となる。

講評

図書・書籍の保管には、常に検索・探索が効果的に実現される必要がある。そこで、回廊の位置、書架の配置が重要な考慮要件になる。限られた空間に図書館を設置することを考えると、空間的に書架を配置することも一案である。また、電子ブラウザーと組み合わせることも可能である。情報の関係性を利用して、情報を空間的に表示する情報視覚化(information visualization)は、情報活用の観点からと図書館

学 (Biblio-informatics) から派生し、人工知能が処理した情報を利用者に表示する手法として利用されている。

ある本を、どの書架の、どの位置に、配架するかは図書・書籍の分類方法によるところが大である。通常、図書・書籍の分類法は、木構造の各枝と節とが、列構造によるデータ構造と考えることができる。簡単な、1 階建、1 室の図書館を考えると、図書館での配架は、図書分類のデータ構造を、2 次元配列に過不足なく埋め込む問題となる。多室、多層 (階数が多い)、多棟の図書館の場合には、データ構造を上手く分割し、それぞれの、部屋、層、棟に埋め込むと共に、全体として、部屋間、層間、棟間の円滑な移動が確保される必要がある。こえは、入り口から、各配架への平均到達時間に加えて、大分類間の平均移動時間が最短となる配置を実現する問題と考えることができる。

検索ブラウザの設計に目を移すと、単に、見出語 (キーワード)、著者名、などによる索引検索であれば、書誌データを文字列検索することで実現できるが、関連する複数の図書・書籍を検索結果として解答するためには、書誌情報を利用して、書籍内の情報 (内容) の近さを測る必要がある。書誌情報に加えて、目次の見出語などを検索情報に加えると、検索の精度が上がると共に、思いもかけなかった関連情報に行きあたる可能性も高くなります。以上のように、図書館の情報科学的な性質に目を向けた解答を高く評価しました。

4 課題 4

課題

夜空に炸裂する花火の広がりや形も、当然のことながら古典物理の法則に支配されている。すなわち、炸裂した後は、小さな火の玉が、地球自体の回転や、上空の風の影響を受けて夜空で運動することになる。

実際の宇宙には、自転速度、上空の循環気流、下降気流、上昇気流が、地球に比べて速い惑星も存在する。このような惑星で、地球で見ると同様に、球状に広がる花火を実現するためには、どのような仕掛けを花火に持たせれば良いか考えなさい。恒星の周りを公転する惑星は、その星系の中心(重心)にある恒星からのエネルギーを利用して生命を育んでいる。また、生命体が知的になった段階で、恒星からのエネルギーを十分に利用することを始める。一方、惑星の形や、宇宙の規模を考えると、惑星上の生命体は、恒星から惑星に降り注ぐエネルギーを点でしか補足していない。そこで、生命体の発展過程の次の段階として、面によって、恒星からのエネルギーを補足する段階に移っていくと予測されている。この段階の至った1つの例として、リングワールド(円環天体)が考えられている。生命体は、自分たちの住む球形の惑星を作り替え、中心恒星の周りに、自転車のリム状の新しい天体を構築に進むことが予想されている。生命体は、円環天体を回転させ、天体上に、遠心力による重力を人工的に発生させることになる。このとき、リムの内側に生命体は生存することになる。さて、円環天体で花火を打ち上げると、どのような花火を見ることができるか考えなさい。この天体での気象モデルを考えて解答しなさい。

解説

SF 小説は、社会問題の実験場であるばかりでなく、科学技術の思考実験の場でもある。現在のタブレットの原型がスタートレックの中で小道具として利用されている。

この課題では、物理の中の、重力、遠心力、それによって生じるコリオリの力について、理想球体以外の天体での現象について考察することを目的とした。コリオリの力によって、地球上の飛翔体が描くカーブを、ネール曲線という。長距離の弾道弾を飛ばしても、地球上ではコリオリ力による着弾点のずれは、実用上問題にならない程度である。

課題で、考えた花火は、対称性をもって広がると綺麗である。ただし、花火を観ると位置から見て最適な広がりを見積もる必要がある。花火の炸裂した火花は飛翔体であるから、当然重力を受けて中心から広がる。見た目が球形に広がる花火を想定すると、大玉の中の位置によって、飛ぶ方向を調整して埋め込む必要がある。大玉球体の天頂に近づくにしたがって、重量の影響を受けるため、逆天頂と飛翔距離を合わせるためには、より強力な飛翔力が必要となる。花火の炸裂した火花は飛翔体であるから、当然コリオリ力を受けて中心から広がり、ネール曲線に沿って落下する。

リングワールドは、その発表以来、その実現性、安定性に関して、米国を中心に、理工系大学生の関心を引いて来た。球体以外の形状の惑星でも重力が発生し、生物が生存できることを思考実験を通して示したからである。球面はいたるところ正の曲率を持つ曲面であるが、リングワールドはそうではなく、円環に沿った方向では負の曲率を持った曲面である。宇宙で、閉じた空間の中で人工重力を作り出すには、大きな円環を回転させることが考えられる。この方式は、映画「2001 年宇宙の旅」をはじめ、数々の映画で採用されている。

講評

重力、遠心力、コリオリ力を考え、考察した回答を評価しました。

ロボットの部

5 ロボットの部

課題

1 階の自習室に, RAPIRO が用意してある. 各自でロボットの動作課題を考え, その動作を実現しなさい. どのような動作課題を考えたかレポートを作成してください. 動作の独創性, 面白さを評価します. 動作実演は 7 月 22 日の午後 3 時に始める. それまでに, 動作プログラムを完成させてください.

講評

命令の数, 動作の連続性, 動作の正確性を基準とし, 主催者, 補助者の祭典, 参加者の相互採点の合計点の、上位参加者を機巧賞としました.