



なるほど納得ゼミナール

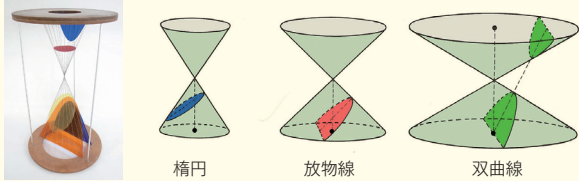
本センターで制作された新作品をひとつずつ本コラムにて紹介します。

その32

惑星の軌道

今回は、惑星の軌道に関する円錐曲線の話です。

数学体験館に展示してある作品のひとつに円錐曲線があります。円錐を切ったときに現れる曲線を**円錐曲線**と呼びますが、このことに関して初めて言及したのが、紀元前350年頃のメナイクモスで、この円錐曲線に関して詳しく分析を行ったのが紀元前200年頃の**アポロニウス**です。紀元前における円錐曲線は、机上で作られた世界であり、人間の実生活には無関係で役に立たないと思われていました。



その後、円錐曲線は、天体観測によって得られたデータから、たまたま出現した曲線でした。

ニコラウス・コペルニクス (1473~1543) は、1543年に出版した『天球の回転について』という著書の中で、天体運動について、次のように述べています。

「太陽は宇宙の中心に位置し、静止している。地球をはじめとする惑星は太陽を中心とする円周上を、それぞれの周期に従って一様に円運動（公転運動）している。そして地球は東から西へ自転している」
それまで「天動説」が信じられていましたが、ついにコペルニクスによって「地動説」が発表されました。しかし、このときの惑星の軌道は円運動であると考えられていました。

デンマーク王の後援によって、コペンハーゲンの郊外にあるフヴェン島に大規模な天文観測所が建てられ、そこで**チコ・ブラーエ** (1546~1601) は、1576年から21年間も天文観測を行い、綿密な観測データを記録しました。

その後、後援者であった国王が亡くなると同時に国を去り、彼はプラハに移りました。その地で彼は、それまでの膨大な観測データをもとに天体の軌道を求める計算に取りかかりましたが、その仕事が完成する前に亡くなってしまいました。

そして、チコ・ブラーエの仕事を引き継ぐことになったのが、チコの助手をしていた**ヨハネス・ケプラー** (1571~1630) でした。

チコの残した膨大な観測データをもとに、ケプラーは地球と火星の位置関係を求め、それに基づいて地球の公転軌道と火星の公転軌道を求めようとしたのですが、どうしても計算で求めた値（理論値）と観測で得られた値がわずかにズレていることに気づきました。

そのズレを解消するには、それまでのコペルニクスの説に従って「惑星の軌道は円運動である」として計算していたのを改め、「楕円運動」として計算すれば良いことが分かりました。そして長い苦闘の末、以下の三つの法則に辿り着きました。

- ケプラーの第一法則**：惑星の軌道は太陽を1つの焦点とする**楕円**である(図1)。
- ケプラーの第二法則**：惑星が楕円周上のABを通過する時間とCDを通過する時間が等しければ、
(扇形FABの面積) = (扇形FCDの面積) (図2)
- ケプラーの第三法則**：惑星の公転周期の2乗は、太陽までの平均距離の3乗に比例する。

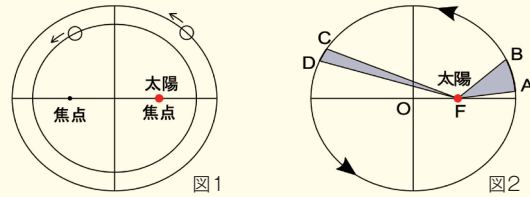


図1

自然運動には直線運動と円運動の2種類しかなく、しかもそれらは皆、等速であると考えられていた時代に、数学者の頭の中で考え出された人工的なものと思われていた円錐曲線が、まさに自然界に存在するととても重要な曲線であることが分かったのです。

ちなみに、ケプラーがこれらの法則を発表するのとはほぼ同じ頃、**ガリレオ・ガリレイ** (1564~1642) は物体を投げるとその軌道は放物線を描くことを証明しました。

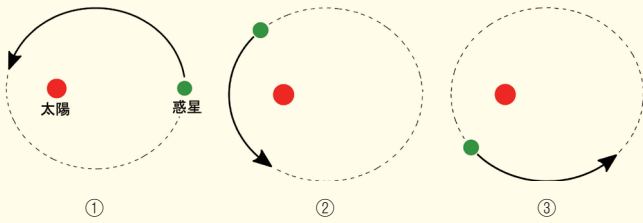
なお、惑星の軌道は楕円軌道ですが、彗星の軌道は、現在までの観測で、楕円型、放物線型、双曲線型の3種類の円錐曲線の型があることが分かっています。

ところで、ケプラーの仕事は、データを解析し、惑星の軌道は楕円である、面積速度は一定である、などの事実を述べただけで、なぜそのようなのか、その理由については説明をしていません。

この問題を解決したのが**アイザック・ニュートン** (1642~1727) でした。1665年、彼は「全ての物体はお互いに引力を及ぼしあっている」という万有引力の法則を発見し、楕円軌道を描く惑星にはどのような力が作用しているかを解決しました。さらに、この力の存在を仮定すれば、ケプラーの法則が逆に導かれることも分かりました。それらは、1687年に彼の著書「自然哲学の数学的原理(プリンキピア)」で示しました。なぜ惑星の軌道が楕円になるのかを、簡単に説明すると以下ようになります。

惑星には、万有引力によって太陽に引っ張られる力と、さらに太陽の周りを回ることにより、遠心力で外に飛び出そうとする力が働いています(図3)。

万有引力と遠心力が等しければ、惑星は太陽の周りを円軌道で回りますが、実際には、宇宙空間は完全な真空でなかったり、塵とぶつかるなどして、公転速度が落ちるので、万有引力 > 遠心力 となります。すると①のように、惑星は太陽に落下することになるのですが、②のように太陽の近くではケプラーの第二法則により公転速度が上がるので、万有引力 < 遠心力 となり、逆に太陽から遠ざかろうとする力が働きます。③のように、太陽から遠ざかると、公転速度が落ちて、また万有引力 > 遠心力となります。そして①②③を繰り返します。このように楕円軌道になるのです。



(文責・制作 数学体験館 山口康之)

理数教育フォーラム

Renovate Math & Science Education

第32号

2020.3

発行：理数教育研究センター

Contents

- 1 高校生のためのサイエンスプログラム「高校数学からの数理データサイエンス入門」実施報告
- 2 研究会「大学入学共通テスト(新テスト)はどうなるか?」開催報告
- 3 「第12回 算数／数学・授業の達人大賞」開催報告
- 4 「IYPT2019 マリー・キュリーの科学への情熱」開催報告
- 5 なるほど納得ゼミナール 惑星の軌道



関川 浩 教授



橋口 博樹 教授



小笠原 英穂 准教授



プログラムの様子

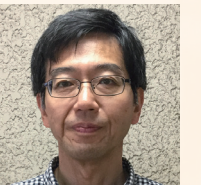
高校生のためのサイエンスプログラム「高校数学からの数理データサイエンス入門」実施報告

本プログラムでは、データサイエンスの数理「数学の知恵を活かし、実社会の問題解決に利用する」を実感してもらうために、次の3つのテーマで、数学的な定式化の理解と実際のデータや計算プログラムを使った実習をしてもらいました。

参加者の緊張をほぐす目的と、少しでも仲良く実習できるように、最初にアイスブレーキングの時間を設けて、高校生、教員、TAとの交流もはかりました。高校生の皆さんが習っている数学もとても大事であるし、その延長には具体的な問題解決の方法があることを実感してもらえたのではないかと考えています。

勝率0.567は何勝何敗？ — 近似値から正確な情報を効率よく得る方法 —

勝率から勝ち負けの数を求める問題を題材として、まず、日常生活に現れる問題を数学の問題としてどのように定式化するのかを説明しました。次に、定式化した問題に対する素朴な解法と、分数の性質を利用した効率的な解法を示し、実際に数式処理システムのプログラムを動かして速さの違いを体験してもらいました。ほとんどの生徒にとって初めて使う数式処理システムでしたが、TAの助けもあってすぐに慣れ、隠しておいたかった解法の弱点に気づく生徒も現れるなど、みなさん積極的に参加してくれました。



理学部第一部
応用数学科 教授
関川 浩

男女の生まれる割合は5分5分か？

日本における出生数のデータを題材として、男女の生まれる割合は5分5分かという統計的検定の問題や、曜日で生まれる人数が違っているかなどを棒グラフ、折れ線グラフ、箱ひげ図や数値で確認してもらいました。高校数学がどのように実社会のデータサイエンスに生きていくかを多少なりとも実感できてもらったのではないかと考えています。説明を省いた数理的な点などを指摘してくれる高校生もいて、活発な議論の中、実習が進みました。



理学部第一部
応用数学科 教授
橋口 博樹

最適化問題を解いてみよう

まだベクトルや微分を学んでいない高校1年生と2年生が半々ずついたので、最適化とは何か、最適化問題とはどんな問題か、という基本的な問いから始めて立式までを説明しました。例えば目的地までの運賃や時間、乗換え回数を最小にしたいなど、日常生活の中にもいろいろな最適化問題が普通にあることを見てもらいました。面積最小化問題は数Ⅲの微分、生産計画問題は数Ⅱの図形と方程式を習うことで解けると今後の勉強の動機づけにしました。また最小2乗問題は2次関数の最小化なので、1年生でも解けると説明しました。最後にMathematicaを使って問題が正確に解けることを体験することで、最適化問題が役に立ちそうだと実感してもらえたようです。



理学部第一部
応用数学科 准教授
小笠原 英穂

●お問合せ先

東京理科大学 理数教育研究センター(事務局：学務部 学務課)

〒162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3

TEL. 03-5228-7329 FAX. 03-5228-7330

理数教育研究センターホームページ <https://www.tus.ac.jp/mse/>

数学体験館ホームページ <https://www.tus.ac.jp/mse/taikenkan/>

研究会「大学入学共通テスト(新テスト)はどうか?」開催報告

理学部第一部 物理学科 教授
川村 康文

東京理科大学教育支援機構理数教育研究センターでは、実力ある理数教員の養成をめざした研究教育活動を行っています。

2020年度から施行される大学入学共通テスト(新テスト)について、教育現場では準備が進んでいるようです。理数教育研究センターでは、この新テストでは受験生の学力や意欲をどのように測るのかを、大学入試センター、大学研究者、高等学校教員の方々と招いて会場の皆さんと相互に考える場が必要と考え、2019年12月15日(日)に研究会「大学入学共通テスト(新テスト)はどうか?」を神楽坂キャンパスで行いました。本研究会は、日本の理数力強化に資するべく、中学・高等学校の現職教員や教員養成を担当される方々を主な対象として開催する合同研修で、当日は130名を超える参加がありました。

第一部では、1番目に秋山仁 特任副学長・理数教育研究センター長による基調講演が行われ、今回の研究会で議論してほしいことや参加者から事前にいただいた質問を例に挙げて、有意義な研究会となるよう提起しました。また、本学の前身である東京物理学校の入学制度やミシガン大学の入学制度を例として紹介し、これからの大学入学共通テスト(新テスト)を考える研究会としたい旨のお話がありました。

2番目の講演として、大学入試センター 試験・研



白井俊氏

究統括補佐官 兼 審議役 白井俊氏が「新学習指導要領と大学入試改革」と題して講演を行い、新学習指導要領を踏まえ、大学入試センターが取り組んでいる大学入試改革について詳しく話されました。

3番目に、早稲田大学 教育・総合科学学術院 教授 園池公毅氏が「大学入学共通テストで理科・生物はどう変わるか?」と題して講演し、大学入学希望者学力評価テスト(仮称)の導入、大学入学共通テストで生物の問題がどのように変わるかについて、具体的に事例を挙げて話されました。

第二部のパネルディスカッションでは、白井俊氏、園池公毅氏に加え、本学大学院理学研究科科学教育専攻在学生と修了生の3名(駒場東邦中学校・高等学校の化学担当の松岡雅忠教諭、東京学芸大学附属高等学校の非常勤講師で物理を担当する櫻井一充教諭、芝浦工業大学附属中学高等学校の数学担当の金森千春教諭)がパネリストとして登壇し、川村が司会を仰せつかり「大学入学共通テスト(新テスト)」をテーマに議論を行いました。

パネルディスカッションでは、参加者からの質問票をもとに意見交換を行うとともに、「大学入学共通テスト(新テスト)」を考えていく上で、パネリストが大学や高校で実際に取り組んでいる事例を紹介しました。会場から多くの意見が寄せられ、活発な議論が行われました。

参加者からは、「大学入試センターの方の考えを聞いたことは、意義深かった。」「大学入学共通テスト実施のスケジュールがわかり良かった。」「パネルディスカッションで、具体的な例や先生方の指導体験談を聞いてよかった。」などの感想が寄せられました。



パネルディスカッション



園池公毅氏

「IYPT2019 マリー・キュリーの科学への情熱」開催報告

理数教育研究センター 客員研究員
サイエンススタジオ・マリー 主宰
吉祥 瑞枝

2019年はメンデレーエフの周期律発見から150年目にあたること、また、原子番号113番のニホニウムを含む118番までの新元素名が2016年に確定し、周期表の第7周期までが完成したことを記念して、ユネスコと国連が「IYPT2019国際周期表年」を制定し、世界中で科学イベントが開催されました。

理数教育研究センターではサイエンススタジオ・マリー(SSM)共催のもと、現代科学の母(Mother of Modern Science)と呼ばれ、放射能研究と2元素(ラジウムとポロニウム)発見の功績によりノーベル賞を2回受賞し、さらに父母と娘の二世代で受賞した「マリー・キュリー」を題材として講演会・展示会・ワークショップを開催しました。偉大な科学者・教育者であった彼女から学ぶものは多く、科学技術の魅力を広く伝えるとともに、理科教育について考える場を作りました。

講演会「IYPT2019 マリー・キュリーの科学への情熱」

12月6日(金)に神楽坂キャンパスで講演会を開催し、90名が参加しました。

冒頭に秋山仁 理数教育研究センター長より開会挨拶があり、「化学以外の研究者も、キュリー夫人から学ぶことがたくさんある。研究は、彼女のように広い見識をもって、人類のために行わなければならない」と話されました。続いて、西原寛 教授(東京大学大学院理学系研究科化学専攻)より、玉尾皓平 IYPT2019実行委員長からのメッセージとして、「周期表にはキュリー夫妻と関連のある元素が4つもあり、彼らが如何に偉大かということがわかる。これからも周期表の重要性、科学者たちの偉大さを伝えていくとともに、イベントを通して、科学好きの人が増えることを期待したい」と話されました。



秋山仁 理数教育研究センター長



西原寛 教授(東京大学大学院理学系研究科化学専攻)



Renaud Huynh バリ・キュリー博物館 館長



藤嶋昭 東京理科大学光触媒国際研究センター長

講演では、まずRenaud Huynh バリ・キュリー博物館 館長が「The Curie family and the science of radioactivity」と題して、キュリー一家の歴史と、彼らの功績による放射能の科学の発展などについて講演されました。なお、日本語通訳は、本講演会の司会を務める松田

良一 理数教育研究センター理科教育研究部門長が担当しました。次に、藤嶋昭 東京理科大学光触媒国際研究センター長(本学前学長)が「一人三役と三人一組の科学者たち」と題して、一人で三人分もの活躍をした大科学者や、一つ分野で研究を受け継いでいき大きな成果をあげた三人の科学者の例など、目標のために努力を重ねた科学者たちについて講演されました。

講演会終了後は、希望者を数学体験館へ案内し、展示会の見学を行いました。

展示会「IYPT2019 マリー・キュリーの科学への情熱～元素の発見と理科教室～展」

11月30日(土)～12月7日(土)に数学体験館で展示会を行い、計235名が訪れました。会場にはキュリー一家の家系図や、日本にあるキュリー夫人のサインが入った2品(明星大学所蔵の実験ノートのレプリカ、東北大学所蔵のラジウム副原器の写真)、パリ・キュリー博物館提供の肖像写真、書籍「キュリー夫人の理科教室」原本等を展示しました。また、科学絵本作家がこさとし氏の作品展示や、「一家に1枚 元素周期表」の配布も行いました。

「一家に1枚 元素周期表」は、文部科学省が「国民の皆様が科学技術に触れる機会を増やし、科学技術に関する知識を適切に捉えて柔軟に活用いただくこと」を目的に発行しているポスターのひとつです。最新の第11版では、筆者の以前からの提言のもと、原子番号88番のラジウム元素のイラストが、50年以上も前に製造禁止になった「ラジウム時計」から「マリー・キュリー肖像写真」に変更となりました。制作協力に吉祥瑞枝(サイエンススタジオ・マリー)を追記いただき、嬉しく思います。

一家に1枚 元素周期表
出展:「科学技術週間」<http://stw.mext.go.jp>キュリー家の女性科学者三世代
写真提供:パリ・キュリー博物館
パリ南東部の小さな町ブリュノワで、自然とガーデニングを好んだキュリー夫人は娘イレースと孫イレース(3才)と休日を憩う(1930年)

ワークショップ「キュリー夫人の理科教室」

11月30日(土)、12月1日(日)に数学体験館の展示会場で小・中学生対象のワークショップを行い、計8組の家族が参加しました。実験教室というとは子どもたちのみの実験参加ですが、あえて保護者も同席していただき、キュリー夫人の意図した理科教室を学ぶワークショップとしました。これは好評で、日曜日の参加は母親と父親が半々であり、積極的に理科教育にかかわるご両親に感激しました。実験内容は、科学の原理の体験を目的として、書籍「Leçons de Marie Curie キュリー夫人の理科教室」(監修 吉祥瑞枝、共訳 渡辺正・岡田 勲、2004)に基づき、「ものの密度を測る。正確に測ってみよう」を実施しました。



展示会場でのワークショップの様子

「第12回 算数／数学・授業の達人大賞」開催報告

理学部第一部 数学科 助教
岡田 紀夫

東京理科大学理数教育研究センター・数学教育研究所が主催／企画し、東京理科大学数学教育研究会が共催する、第12回を迎えた算数／数学・授業の達人大賞の授賞式・模擬授業が、2019年12月15日(日)に神楽坂キャンパス8号館5階852教室(アクティブ・ラーニング教室)で開催されました。これは小・中・高等学校において、意欲的な研究や、創意あふれる指導により、優れた授業を実践した数学科の教員を顕彰するものです。今回受賞されたのは、最優秀賞2名、優秀賞3名、優良賞2名の先生方です。

■最優秀賞

- 品川区立京陽小学校 山田 将司 先生
授業タイトル「**どちらの先生が速く走ったといえる?**」
- 田園調布学園中等部・高等部 細野 智之 先生
授業タイトル「**数学×美術 デザイン定規の模様の"見立て"**」

■優秀賞

- 立命館小学校 高橋 正英 先生
授業タイトル「**お得なのはどちらのお店?**」
- 山口県下松市立下松小学校 鎌田 潤一 先生
授業タイトル「**これ、どうやってくらべる?**」

- 浦安市立堀江中学校 成田 陽平 先生
授業タイトル「**表・式・グラフの3つで解決しよう**」

■優良賞

- 山形市立第一中学校 岩田 栄彦 先生
授業タイトル「**定幅図形の違いを調べよう**」
- 長岡工業高等専門学校 鯉江 秀行 先生
授業タイトル「**スマホゲームで当たりの出る確率**」

授賞式は、司会の渡辺雄貴先生による進行のもと、まず清水克彦数学教育研究部門長の開会の挨拶から始まり、続いて共催者として池田文男数学教育研究会会長の挨拶、その後、清水部門長から受賞者への賞状・記念品の授与、選考委員長の秋山仁理数教育センター長の講評等がありました。そして、最優秀賞受賞者2名による模擬授業が行われ、開会となりました。

ご参考までに、以下のURLもご覧ください。
<https://www.rs.tus.ac.jp/rime/>

(上) 受賞者、選考委員及びスタッフ
(左) 模擬授業を受ける参加者