



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25

双曲線と双曲面

現在の自分がいる位置を正確に知るために、カーナビや様々な電子機器などに、人工衛星を使った測定機器GPS (Global Positioning System) が用いられています。大昔から地上や海上の位置を正確に知る必要性は不可欠で、数千年にわたって天体観測による位置の測定が行われながら航海術などが発展してきました。そして近代になると、「双曲線航法」という測定方法が船舶や航空機で使われていました。

双曲線航法とは、どのような測定方法なのでしょう？

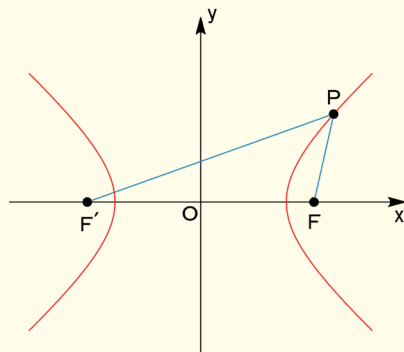


図1

双曲線とは、図1のように、2つの定点F、F'からの距離の差 $|PF - PF'|$ が一定になるような点Pの軌跡で表される曲線です。双曲線航法は、この双曲線の原理を応用しています。

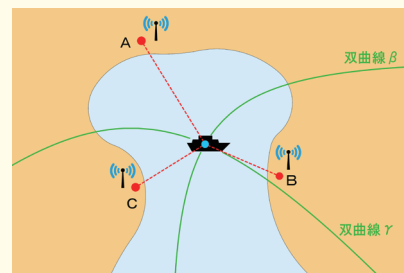


図2

図2のように、陸から離れた海上に船があるとします。A地点とB地点には送信局があって、それぞれの送信局から電波（パルス波）を同時に発信します。それぞれの電波が船に到達する時間差から、A地点から船までの距離と、B地点から船までの距離の差を求めます。A地点とB地点は定点なので、距離の差を求めれば、船は特定の双曲線β上のどこかにいることになります。

同様に、A地点とC地点の送信局から同時に発信された電波の時間差を測定し、距離の差が求めることで双曲線γを割り出します。そして2つの双曲線β、γの交点上に船がいることが分かります。

双曲線航法は、1993年にGPSが民生利用されるようになるまで広く使われていましたが、我が国では2015年2月にサービスが完全に終了しています。

他にも双曲線の応用を見てみましょう。



図3



図4

図3のように、円柱の側面に線分をならべ、上底面と下底面をそれぞれ逆にひねると、図4のように鼓（つづみ）のような形をした回転双曲面になります。



神戸ポートタワー



籐のスツール

造形的に美しく、棒状の材料で丈夫な構造物を作ることができるので、構造物やスツールなどにも応用されています。

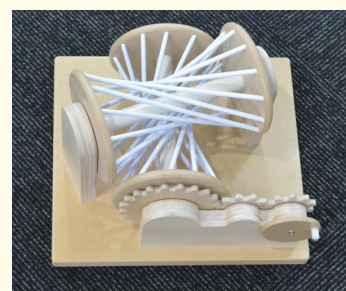
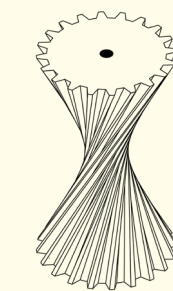


図5

また歯車にも応用されています。図5は、2本の回転軸をねじれの位置に配置した歯車です。回転双曲面は、たくさんの線分の集まりなので、一方の回転双曲面上の線分と、もう一方の回転双曲面上の線分を一致させることができます。このようにして、一方の回転軸の動力をねじれの方向の軸に伝達することができます。

(文責・制作 数学体験館 山口康之)

●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://oae.tus.ac.jp/mse/>

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

理数教育フォーラム

Renovate Math & Science Education

第25号

2018.7

発行：理数教育研究センター

二つの文化？

Contents

1 二つの文化？

2 ラテン・アメリカ初の 楽しく学ぶ数学体験館の オープン

3 グローバルサイエンス キャンパスにおける 物理教育

4 なるほど納得ゼミナール 双曲線と双曲面

理数教育研究センター 理科教育研究部門長

松田 良一



2018年5月に本学理学研究科科学教育専攻教授、7月より理数教育研究センター理科教育研究部門長を拝命致しました松田良一と申します。専門は生物学です。どうぞよろしくお願いいたします。

私事で恐縮ですが、実家は曹洞宗の寺、長男の私は出生時から住職になることが決められていました。私は子供の頃からそれに抵抗し、大学に入ったら独立すべく、東京都立大学の夜間部に入学、昼は東京大学と帝京大学の医学部で働いていました。専攻も仏教からかけ離れた(と思えた)生物学を選びました。千葉大学大学院の修士課程で骨格筋の発生に関する研究を始め、現在も筋ジストロフィーの発症機構と化学療法について研究をしています。26年前、父が他界してからは大学教員と住職の兼業をしています。当初、無関係に思えた仏教と科学が、今では意外と近い分野であると思っています。

「輪廻転生」：仏教では前世と来世のつながりを指しますが、これは自然界の物質循環そのものです。私たちの呼吸に含まれる炭酸ガスは植物に吸収され炭酸同化作用で植物体となります。それを動物が食べれば、動物体になり、死ねば微生物や虫、あるいは土壌になり、そこからまた、新たな生命を作ります。

「禽獸草木皆同じ」：1961年、細菌も動植物も同じ遺伝子暗号(コドン表)を使っていることが分かりました。これは現生物が同一の原始生物由来であることを意味します。分子生物学ができるはるか以前から、仏教ではその共通性を論じていました。「一切衆生悉有仏性」、すべての生き物に仏性(仏教的論理)が宿る、という意味にも通じます。

「峰の色 溪の響きも 皆ながら 吾が釈迦牟尼の声と姿と」(道元)、「音も無く、香も無く常に天地は 書かざる経を繰り返しつつ」(二宮尊徳)：自然界は「書かざる経」に書いてあることを繰り返している。「自然界の法則」そのものです。その「書かざる経」の存在を認識し、それを読み解く行為が自然科学だとすると仏教的自然観と通じるものがあります。

「春は花 夏ホトギス 秋は月 冬雪さえて 涼しかりけり」(道元)：四季の移り変わり、人の生死を含め、森羅万象の変化をすべて受け入れるという「諦念」の和歌。四季をもたらすのは公転面からの「地軸の傾き」。その地軸の傾きは遠い昔、地球に小惑星帯から飛んできた天体が衝突した衝撃に由来するといわれますが、その天体の由縁は不明のまま。自然科学者もどこかで納得するしかありません。

1959年、英国の物理学者であり小説家であったC.P.スノーは人文科学系と自然科学系という「二つの文化」の意思疎通の欠如を嘆きました。しかし、両者も「自然の中の人間の位置」を探る営みと考えると区別する必然性はありません。中高生の段階で文科系が理科系かを選択させることは「二つの文化」を助長するだけです。理数教育もその流れの中でとらえ直してみたいと思います。

ラテン・アメリカ初の楽しく学ぶ数学体験館のオープン

在ドミニカ共和国大使
牧内 博幸

「ザザ～ザザ～」 椰子の木陰でのんびりと昼寝をしながら波音を聞いていると、遠くからサルサやメレンゲのリズムと笑い声が聞こえてくる。これがカリブ海に浮かぶドミニカ共和国だ。ここで数学プロジェクトを振興しようと秋山仁先生と取り掛かった。

このメレンゲとパチャータは私がいるドミニカ共和国が発祥の地で、世界のラテン・ファンを魅了している。スペイン語圏には有名な小説家、画家、音楽家等が沢山いる。しかし、科学者等の理系分野で有名な人は非常に少ない。スペイン語を話す21ヶ国でノーベル賞を貰った理系関係者は合計で5名しかいない。理系の大統領も非常に少ない。私はスペイン語諸国で約30年勤務をしてきたが、ラテン的に毎日楽しく暮らせるのは有難いが、何故ラテン・アメリカ諸国には国家財政の柱となる工業（製造業）が少ないのか、何故貧富の格差やら汚職事件等が後を絶たないのか等々、多くの課題が解決されず時間が過ぎていくことに大きな疑問を感じてきた。

2015年9月、スペインのバルセロナで総領事をしている時、カタルニア工科大学で秋山仁先生の講演を初めて生で聞いて、そのユニークな数学の学び方に改めて驚かされた。また、先生の勧めでバルセロナにある数学博物館を見に行くと、沢山の子供と大人が、教具を動かしながらピタゴラスの定理等の数学の公理を楽しそうに体験学習している姿を見て、また驚いた。何回かこの博物館に足を運ぶうちに、スペイン語諸国の多くの問題は理系教育の欠如、即ち、単に解を求める知識優先の数学のみではなく、特に論理的思考を司る左脳の訓練のための数学の必要性を確信するようになった。

その翌年、2016年9月にドミニカ共和国に赴任して来た。10月20日にメディーナ大統領に信任状を奉呈した時、STEM教育、就中、数学と科学の重要性について意見交換を



サントドミンゴの数学体験館の様子1

した他、セデーニョ副大統領とは先方の依頼をうけて数学博物館の開設についても話をした。2017年2月からは高等教育省次官と一緒に、数学博物館創設に向けて各大学の教授、JICA青年協力隊、ドミニカ人JICA元研修生による実行委員会を立ち上げた。

2016年12月には秋山先生から感動的なメールが届いた。PISAの国際試験結果を見た秋山先生は、「牧内さん。ドミニカ共和国は70の参加国のうち残念ながら最下位だった。どうだろう。この順位を数年後に60位、50位と上げるために一緒に頑張らないか。」との提案だった。それから秋山先生ご自身が70個の教具を製作して船便で送ってくれた。2017年11月29日、サント・ドミンゴ旧市街の通信博物館に秋山先生の講演を皮切りに東京理科大学と同じ数学体験館をオープンできた。今、市内の各大学の大学院生約30名のグループを組織し、数学体験館の説明員としての育成を行っている。意外と反響が良く、連日課外授業の児童・生徒約300名が来場し、本年3月には全国の若手教員グループの研修先ともなった。

正直言って、私はつい最近までそんなに楽観的ではなかったが、真面目そうな大学院生が「秋山方式は創造性を掻き立てる!」と絶賛したり、若手教員グループの高い評価を聞いて、もしかしたら上手く育てればこの博物館は成功するのではないか、と思えるようになった。

ご承知のように、コロンブスは第一回目の航海でサント・ドミンゴに到着した。この数学博物館もここサント・ドミンゴから始まったが、広く中南米大陸にスペイン語のように広がって行くことを切に願っている。

(2018年5月27日)



サントドミンゴの数学体験館の様子2



サントドミンゴの数学体験館の様子3

グローバルサイエンスキャンパスにおける物理教育

理学部第一部 物理学科 教授
本間 芳和

グローバルサイエンスキャンパスでは、高い理数力を持つ高校生を対象に、自然科学の諸分野の研究に必要となる基本的な論理性、思考力、分析力、発想力、表現力、課題発見・解決力の涵養を目指した教育を行うことを目標としています。しかし、高い理数力を持つ高校生であっても、大学における最先端の研究にいきなり放り込めば、これらの能力が涵養されるというものではありません。高校生に合った導入口から最先端の研究に導くことが大切だと思います。幸い、物理学は自然現象を広く対象とする学問ですので、高校生にも取り組める最先端のテーマもあります。

カーボンナノチューブ(CNT)やグラフェンなどのナノカーボン物質が織りなす物理現象やそれを利用した極限計測技術の研究を行っている当研究室では、2017年度、発展コース2名の高校生を受け入れました。私たちの研究をベースにしながら、高校生にも無理なく取り組めるテーマを考えることからスタートしました。石川諒君(青山学院高等部)は宇宙エレベータからCNTに興味を持った生徒です。残念ながら、CNTはまだ長さが数mmと、宇宙まで伸ばせるような長さには到底及びませんが、宇宙エレベータに関係づけられる研究テーマはいろいろあります。もし、CNTを地上から宇宙空間まで伸ばしたら、地球を取り巻くオゾン層を通過することになります。そこで、石川君には、基板上に高密度に垂直配向成長させたCNTを用い、CNTの集団がオゾンに曝された場合の影響を調べてもらいました。垂直配向CNTの形態により、オゾンによる損傷の度合いが異なることがわかってきています。また、2016年度の基礎コースの受講生である中野亮雄君(横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校)は高校の研究授業でアーク放電法を用いたCNTの合成を研究していますので、石川君の研究に参加してもらい、CNTの結晶性によるオゾン損傷の違いを調べるなど、高校生同士のコラボレーションに発展しました。福田美実さん(洗足学園高等学校)は、垂直配向CNTを用いた

摩擦の研究に取り組みました。摩擦の基本法則はレオナルド・ダ・ヴィンチによって見いだされ、高校生にも馴染み深いものですが、現在はナノスケールの視点から最先端の学術(トライボロジー)として活発に研究されています。福田さんは、ヤモリの手が垂直な壁も登ることのできる大きな吸着力を発揮することが、摩擦の法則と異なるのでは、という疑問を持ちました。ヤモリの手先には微細な毛が高密度に生えており、それが大きな吸着力の原因になっていることが知られています。そこで、福田さんは「ヤモリテープ」として分子間力で壁に吸着させることもできる垂直配向CNTの摩擦特性を研究することになりました。形態の異なる垂直配向CNTの摩擦特性を調べることで、先端が細かく柔軟な構造を持っている場合、接触面の変形により、摩擦力の大きさが接触面の面積によらず荷重のみで決まるというアモントンクーロンの法則に従わない領域があることを明らかにしています。

最初は、実験の遂行のかかなりの部分をTAの学生に依存せざるをえなかった高校生たちも、実験データが蓄積されてくると、その解析法や解釈で学生たちと議論したり文献を調べたりと、自主的に結果の分析を行い、研究を更に展開することができるようになりました。発表用のポスター作成や発表の仕方も大学院生たちから厳しく指導されました。この結果、二人とも日本物理学会のジュニアセッションで奨励賞を受賞し、さらに福田さんは日本表面真空学会関東支部講演会で大学院生に混じって優秀研究発表賞を受賞しました。二人の研究成果は、現在日本語の学術論文としてまとめてもらっている最中です。

私たちにとっても、高校生を受け入れて研究をさせるのは初めての経験で、試行錯誤の1年間でしたが、TAの学生たちが親身なって高校生の指導に取り組んでくれたことにより、高校と大学のギャップを早期に埋められ、最後は高校生が主体となって研究を深化させるまでになりました。このような素晴らしい機会を与えてくれた本プログラムに感謝します。



左より福田美実さん、本間芳和教授、石川諒君、中野亮雄君