

2021 年度
(令和 3 年度)

東京理科大学 教育支援機構
理数教育研究センター

活動報告書

東京理科大学 教育支援機構
理数教育研究センター

目次

1. 巻頭言	
理数教育研究センター長挨拶	2
2. 理数教育研究センターの沿革	3
3. 理数教育研究センターの概要と構成	5
4. 理数教育研究センター活動報告	
4-1. 理数教育研究センター運営委員会開催日程・議案	7
4-2. 各部門の活動報告	
4-2-1. 数学教育研究部門	9
4-2-2. 事業推進部門	13
4-2-3. 理科教育研究部門	18
4-3. 数学体験館	30
5. 関連規程	
5-1. 東京理科大学教育支援機構規程	35
5-2. 東京理科大学理数教育研究センター規程	38
6. 理数教育研究センター構成員	
6-1. 理数教育研究センター本務教員	40
6-2. 理数教育研究センター併任教員	40
6-3. 理数教育研究センター客員教員	41
6-4. 理数教育研究センター運営委員会委員	41
7. 理数教育研究センター構成員の自己評価（研究業績）	42
8. 理数教育研究センター客員教員による研究紹介	73
8-1. 体験的な数学活動やツールの開発と実践，および海外交流	中島 さち子
8-2. コンウェイタイルの多面体への折り方	松永 清子
8-3. ラグランジュ点とその求め方	吉見 奈緒子

1. 巻頭言

東京理科大学教育支援機構 理数教育研究センター 2021 年度の活動報告

— はじめに —

「豊かな実りのためには頭や感性を耕すことが先決」

理数教育研究センター長
秋山 仁

知識をどんどんインプットする教育（知識注入型教育）でなく、頭も感性も耕すような教育を子どもたちに実践することが特に必要であると私は考える。というのは、学生たちに「もっと考えなさい」と促しても、幼い頃から考えた経験があまりないと、そこから先に何も進まないことが多い。そもそも、自分の体験を振り返っても、学校であれ、習い事の場合であれ、日本の子供たちが学びの場で習っていることは総じて、“やり方を教えられること”であって、“どう考えるのか”、“どう判断するのか”という考える力が育まれてはいないように感じる。学習機関よりむしろ、職人さんの現場で、“師匠や親方のやっていること（実践）を見て盗みなさい”という方が、一見、突き放した教育のようではいて却って自分で思考できるように育てているように思える。

生徒や学生が独り立ちして自分で考えられるようになるところまでは、面倒でも生徒や学生たちと一緒に先生が考え、出くわした疑問や問題に対してどのように思考を進めていったらよいのかを体得させることが不可欠であろう。すなわち、指導者は思考の方法を具体的に手引きすることができなくてはならない。

最近、邦訳した米国の大学でベストセラーになっている本「微積分学」は微積のハウトゥーを紹介するだけでなく、なぜそうするのが発見的方法に従って解説されている。

日本では通常、微積の本は 300 ページぐらいだが、この本は優に 1000 ページを越えている。この本を訳して、米国の大学の教育に対する底力をひしひしと感じた。

2. 理数教育研究センターの沿革

理数教育研究センターは、「中等教育における理数教育に関する調査及び研究を総合的に
行い、中等教育と高等教育との間にある各種課題に取り組み、その成果を学内外に広く発
信すること」を目的とした組織として 2011 年 10 月 1 日付で設置された。それまで本学に
は、教育支援に係る組織として、教育開発センター及び教職支援センターが設置されてい
たが、それぞれ個別・独立して発足した経緯があり、相互に有機的な連携が必ずしも図ら
れてこなかった。教育開発センターは「高等教育」の範疇における教育の支援（教育活動
の改善・改革：FD 活動）に、教職支援センターは「中等教育」までの範疇における教育
の支援（数学又は理科の中高教員免許取得・教員志望学生への支援）に、それぞれ関係す
る組織であるが、この 2 つの教育の範疇を円滑に接続する必要があった。また、理数系分
野の教育方法について研究し、実践の場に還元する機能を充実させることで、近年の「理
科離れ」に伴う学力の多様化や、新学習指導要領の実施等といった今日的課題に対して、
本学がその特色を活かして取り組んでいくことが求められていた背景もあり、理数教育研
究センターが設置されることとなったのである。

同時に、本学における組織的な教育活動の支援、活性化及び質的向上を図るとともに、
理数系分野の教育方法及び教育指導方法に関する研究とその実践及び成果の発信を通じて、
我が国の科学技術知識普及の進展に寄与することを目的に、「総合教育機構」が設置された。
その組織下に、理数教育研究センターのほか、教育開発センター、教職支援センター及び
情報教育センター（2012 年年 4 月情報科学教育・研究機構より改組）が配置され、本学
における教育の支援を横断的、総括的に集約することで、他の教育支援関係の組織とも、
同一の機構内で有機的に連携できる体制を整備したのである。

なお、理数教育研究センターの設置にあたって、その前身となった組織が、総合研究機
構内の「数学教育研究部門」（2004 年 10 月設置）であった。これは、2004 年 6 月に「数
学理科教育研究所に係る検討委員会」が組織され、数学教育の研究を行い、その成果を中
学・高等学校あるいは本学の教育現場に還元することを活動目的とした「東京理科大学数
学理科教育研究所」の設置について検討した結果として、設置されたものである。しかし、
その活動内容は、教育の研究が主たるものであり、本学における研究組織の活性化を図
ることを目的とする総合研究機構に所属していることは馴染まなかったため、独立したセン
ター組織となる必要性があった。そのこともあり、数学教育研究部門を発展的に改組す
るとともに、上記のようにその活動内容を広げる形で理数教育研究センターの設置に至っ
たのである。

2013 年 10 月には、理数教育研究センターに中核的な教育施設として数学体験館が設置
された。数学体験館の目的は、高校までの理解不足を補う補習教育の強化、大学での数学
の初年次教育の充実、そこから能動的な学習意欲を引き出すための独自の教育活動を実践
することにある。これらを通して、本学学生の大学入学後の数学への学習意欲を一層高め、
特に数学教員を志望する学生たちに豊かな教育力を身につけてもらうことを期待している。
また、中学生及び高校生や、現職の中学校及び高等学校教員などを対象とし、体験的学習
を通して、算数や数学の抽象的概念を分かりやすく伝えるための教具・教材等を開発し、
その成果を学内外に広く発信する機能を持っている。

また、理数教育研究センターにおいて、文部科学省の2012年度私立大学教育研究活性化設備整備費補助金事業に採択され、数学体験館にNCルーターを始めとする、約1,500万円の機器・備品が整備された。このことにより、専門の技術員が数学体験館の作品物を制作する以外にも、中学校や高等学校の授業で使用する教具をつくりたいと希望する全国各地の現職数学教員等に、専門の技術員の指導のもとで作品づくりが可能となった。本学で実施する教員免許更新講習や各種数学教育研究会においても、数学教具の作り方を解説しており、現職数学教員はその教具を学校現場の教育に役立てている。

2014年度には、独立行政法人科学技術振興機構（JST）が実施する事業「グローバルサイエンスキャンパス（GSC）」に本学が採択され、2017年度までの4年間に亘って実施した。本学では、自然科学の主要な分野である「数学」「情報」「物理」「化学」「生物」の5分野について、各分野の繋がりや関わりを理解させる分野融合を基礎とした、受講生の個性や志向を重視する対話型の学習を重視した教育プログラムを実施して、国際レベルの理数力を育成することを目的とした。本センターにおいては、構成員の半数以上がGSCで開講された5教科の講義及び実験等において中心的な役割を担い、高大連携のための企画、立案及び運営に携わった。また、理科教育研究部門が主催するシンポジウムでは、GSC受講生が国際科学オリンピックメダリストの生の声を聴くことができ、本学GSCが目標とする「受講生が創出する成果」における目標達成の契機とすることができた。

2019年4月には、本学が各キャンパスに有する教育施設を連携させることを目的として組織改編が行われ、これまで理数教育センターの付置施設であった数学体験館は、大学直下の組織である近代科学資料館の下に位置付けられることとなった。数学体験館は、近代科学資料館、サイエンス道場、並びに、2019年6月に野田キャンパスに新設されたなほ科学体験館と連携し、社会貢献のためにより一層の活用が進められた。理数教育研究センターにおいては、引き続きこれらの施設との連携をとり、理数教育の推進に寄与していく。

2020年1月より世界的に流行している新型コロナウイルス感染症の影響により、理数教育研究センターの活動についても中止や延期を余儀なくされた。そのような中、2020年7月以降は、Zoomウェビナー等のオンラインシステムを活用し、公開講座「坊っちゃん講座」や現職教員向け研究会を開催することで活動を継続している。オンライン開催により、今まで参加できなかった地域からの参加もあり、全国から参加者を集めている。

3. 理数教育研究センターの概要と構成

3-1. 目的と活動内容

理数教育研究センターは、「中等教育における理数教育に関する調査及び研究を総合的に
行い、中等教育と高等教育との間にある各種課題に取り組み、その成果を学内外に広く発
信すること」を目的としており、以下4点を主な活動内容としている。

- (1) 理科、数学等の教科（以下「理数教科」という。）の教育方法の研究
- (2) 理数教科の教科書、教材等の研究及び開発
- (3) 理数教科の学力測定に関する調査及び研究
- (4) 理数教科の教育方法に関する研修会、講習会その他の実施

3-2. 部門の設置

前1の内容を推進するため、センターのもとに「数学教育研究部門」、「事業推進部門」
及び「理科教育研究部門」の3部門を設置している。

「数学教育研究部門」では、中学・高等学校の現職数学教員と本学教員の数学教育に関
する情報交換の場として、共同研究を通して教育方法の調査研究及び教材開発や数学の学
力調査等を行い、その成果を中学・高等学校に提供している。中でも高校生の理数系進学
希望者に対して行う数学の基礎学力調査については、センター発足前（総合研究機構所属
時）の2005年度から毎年実施している。

「事業推進部門」では、センターにおける活動成果を学内外に広く発信、普及させ、社
会に還元することを主たる活動としており、そのための機関紙の発行等を行っている。ま
た、才能ある若者を鍛えるために、文部科学省の高等学校の新カリキュラムにおいても、
“数学活用”として大いに取り入れられている離散数学の国際会議（JCDCG³）を一年に
一度開催している。

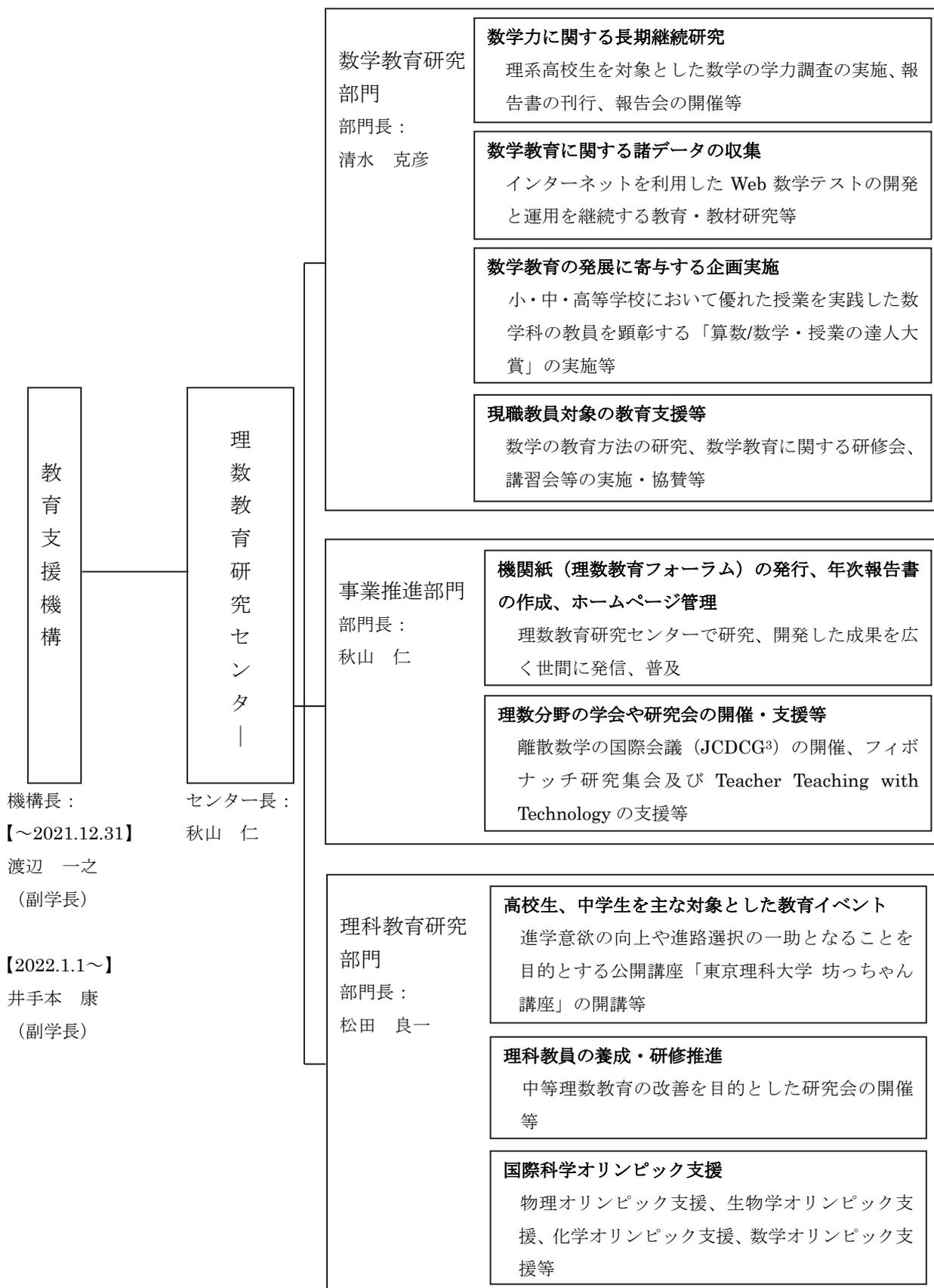
「理科教育研究部門」は、2013年度に部門化され、将来の理数教育の更なる発展に資す
ること、また、学内外の中等高等学校教員等を始めとする多くの理数教育関係者へ広く情
報発信することを主たる活動としている。我が国の科学的才能の育成及び開発の一助とし
て、高校生、中学生を主な対象とした教育プログラムの開講や、理科教員の養成・研修推
進（教員養成研究会等）を行っている。

3-3. 運営委員会の設置

理数教育研究センターに、以下のメンバーをもって組織される「理数教育研究センター
運営委員会」を置き、センターの運営方針の企画及び立案に関する事項、センターの活動
に関する事項、各部門において検討した事項についての連絡調整に関する事項、その他セ
ンターの運営に関する重要事項等について審議することとしている。

- (1) 理数教育研究センター長
- (2) 部門長
- (3) センター所属（本務教員又は併任教員）の専任の教授、准教授又は嘱託（非常勤扱い
の者を除く）の教授及び専門職員のうちからセンター長が学長との協議の上指名した
者 若干人

3-4. 理数教育研究センター構成図



4. 理数教育研究センター活動報告

4-1. 理数教育研究センター運営委員会開催日程・議案

2021年度の理数教育研究センター運営委員会の開催日程及び議案は下表のとおりである。

開催年月日			議題
2021年5月18日	審議	1	理数教育研究センター2020年度決算及び2021年度予算について
	審議	2	2022年度理数教育研究センター予算申請について
	審議	3	理数教育研究センターにおける併任教員の採用候補者について
	審議	4	坊っちゃん講座実施要項の改定について
	審議	5	日本科学技術ジャーナリスト会議（JASTJ）の加入継続について
	報告	1	2021年度会議開催日程について
	報告	2	各部門の2021年度活動計画について
	報告	3	理数教育フォーラム第34号について
	報告	4	2021年度坊っちゃん講座の開講について
	報告	5	JCDCG ³ 2020+1の開催予定について
2021年7月19日	審議	1	理数教育研究センター2022年度予算申請について
	審議	2	理数教育研究センターにおける併任教員の選出について
	審議	3	理数教育研究センター運営委員会委員の選出について
	審議	4	数学教育研究部門長の選出について
	審議	5	現職理科教員を対象とした研究会の開催について
	審議	6	科学コミュニケータープログラムの開催について
	報告	1	理数教育フォーラム第35号について
	報告	2	各部門の活動内容の中間報告について
2021年11月22日	審議	1	理数教育研究センター併任教員の新規委嘱について
	審議	2	2021年度活動報告書の作成について
	報告	1	理数教育フォーラム第36号について
	報告	2	2021年度予算の執行状況について
	報告	3	科学技術コミュニケーションセミナー開催報告について
	報告	4	研究会「若者よ、世界に飛び出せ！」の開催について
	報告	5	高校の「科学と人間生活」・「理数探究」に導入可能な実習教材開発のための実験会の開催について
報告	6	第14回 算数/数学・授業の達人大賞の開催について	
2022年1月17日	審議	1	2022年度会議日程 候補日について
	審議	2	理数教育研究センターにおける併任教員の選出について
	審議	3	理数教育研究センター運営委員会委員の選出について
	審議	4	理科教育研究部門長の選出について
	審議	5	教育支援機構客員研究員の委嘱について
	審議	6	理科教育研究部門での達人大賞の実施について

	報告	1	理数教育フォーラム第 37 号について
	報告	2	各部門の 2021 年度活動報告について
	報告	3	各部門の 2022 年度活動計画について

4-2. 各部門の活動報告

4-2-1. 数学教育研究部門

数学教育研究部門長 清水克彦

部門メンバー

清水克彦、加藤圭一、眞田克典、岡田紀夫、瀬尾隆、川崎玉恵、伊藤弘道、佐古彰史、佐藤隆夫、宮岡悦良、齊藤功、下川朝有、赤倉貴子、馬場蔵人、渡辺雄貴、伊藤稔、大浦弘樹、矢部博

数学教育研究部門は、中学・高等学校の現場教員と本学教員の数学教育に関する情報交換の場として、共同研究を通して教育方法の調査研究及び教材の開発や数学の学力調査などを行い、その結果を中学・高等学校に提供するとともに大学初年次教育に役立て、我が国の学校教育に寄与することを目的としている。以下に2021年度の活動内容を掲載する。

1. 2021年度「理数系高校生のための数学基礎学力調査」

本調査は2005年度から毎年実施しており、今年度で第17回になる。問題作成・評価委員会には、本学教員とともに、本学名誉教授1名、現職の高等学校教員7名、他大学の教員1名が参加し、教育現場の実態に合わせた調査を行っている。毎回の調査結果は、おおよそ2月に「理数系高校生のための数学基礎学力調査」報告書(中間)として報告される。

調査は9月下旬から10月上旬にかけて実施し、昨年度に引き続き新型コロナウイルス感染症の影響はあったものの、参加校72校、参加者5,001名にご協力いただき、重要なデータを得ることができたと考えている。

今回も引き続き、教師に対する質問紙を設け、教師の数学教育に対する考え方や価値観を調査し、今後の指導に対する示唆を得ることとした。調査で設けている解答と解答に対する自信の程度(1. 自信がある 2. あまり自信がない 3. 全く自信がない)の関係は、学力の定着度を探る指標として重要な手がかりとなるものと思われる。これらの結果は「高校生の数学力NOW XVII」として刊行される予定である。

また、2020年度に実施した「理数系高校生のための数学基礎学力調査」の報告をまとめた「高校生の数学力NOW XVI」を、10月に刊行した。



また、本学力調査について、アビームコンサルティング株式会社より依頼を受け、IRTを導入して試験を実施している事例として、インタビューを受けた。

対応日時：2022年2月2日（水）

対応教員：理学部第一部数学科 教授 眞田 克典
理学部第一部数学科 教授 清水 克彦
理学部第二部数学科 講師 下川 朝有
教育支援機構教職教育センター 教授 渡辺 雄貴

2. 第14回 算数/数学・授業の達人大賞

開催日時：2021年12月5日（日）13:00～15:00

開催形式：オンライン

主催：理数教育研究センター数学教育研究部門

共催：東京理科大学数学教育研究会

今年度で第14回となる「算数/数学・授業の達人大賞」は、小・中・高等学校において、意欲的な実践・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ある。

今年度は、多くの応募の中から厳正なる審査の下、最優秀賞2名、優秀賞1名、優良賞1名、特別賞1名の受賞者を決定した。

<最優秀賞>

- ・山形大学附属中学校 鈴木 克希 先生
授業タイトル「日本一の大鍋「鍋太郎」は、何人分の芋煮をつくれるのだろうか」
単元「相似な図形」
- ・横浜市立上星川小学校 初田 宏樹 先生
授業タイトル「Aの車とBの車、速いのはどっち？」
単元「速さ」

<優秀賞>

- ・山形大学附属中学校 安孫子 正志 先生
授業タイトル「人間の反応速度を考察しよう！」
単元「データの活用」

<優良賞>

- ・岩手県葛巻町立葛巻中学校 清水 貴之 先生
授業タイトル「円周角と弧の長さの関係」
単元「円」

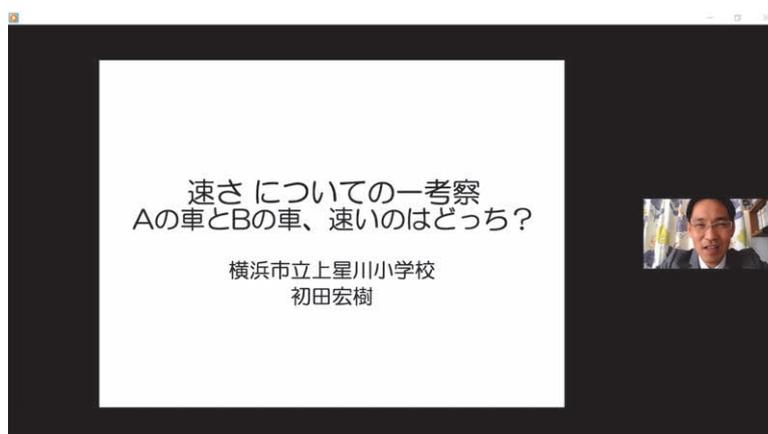
<特別賞>

- ・かえつ有明中学校・高等学校 佐藤 あやか 先生
授業タイトル「生徒による問題と授業作り」
単元「数学探究」

表彰式はオンライン開催とし、当日は最優秀賞を受賞した鈴木克希先生、初田宏樹先生による模擬授業が行われ、教員を目指す大学生・大学院生も多数参加した。



鈴木克希先生の授業「日本一の大鍋「鍋太郎」は、何人分の芋煮をつくれるのだろうか」



初田宏樹先生の授業「Aの車とBの車、速いのはどっち？」

3. 東京都教職員研修センター専門性向上研修（数学Ⅲ）

教員が数学の専門的知識・理解を深め、数学的に考える資質・能力の育成に向けた指導力の向上を図ることを目的として、東京都教職員研修センターと連携のもと、専門性向上研修を実施した。

2019年度までは東京理科大学を会場として実施していたが、2021年度は新型コロナウイルス感染拡大防止のため、研修対象者に講義動画を配信する形式となった。

配信期間：2021年10月1日（金）～11月30日（火）

対象：東京都の現職教員 50人（中学校・高等学校・特別支援学校教員）

主催：東京都教職員研修センター

東京理科大学教育支援機構教職教育センター、理数教育研究センター

研修名：専門性向上研修 数学Ⅲ（中・高・特）

「数学体験館ってどんなところ？」

－数学的に考える資質・能力を育成する指導の充実－

講師：特任副学長・理数教育研究センター長 秋山 仁

理学部第一部数学科 教授 清水 克彦

内容：・数学教育が担うべき役割

・数学と実社会の関わりについて

・数学科におけるICTの活用：実験数学・RLA

4-2-2. 事業推進部門

事業推進部門長 秋山仁

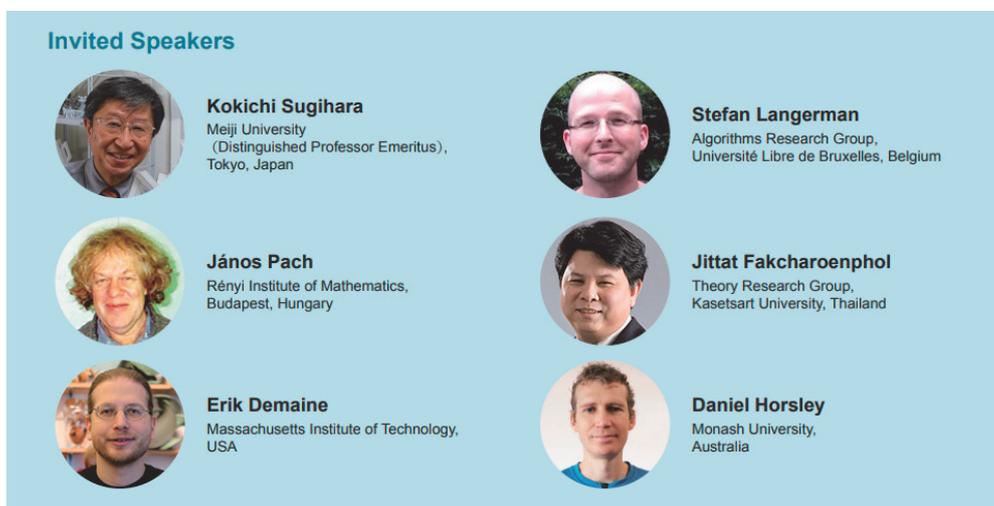
部門メンバー

秋山仁、眞田克典、清水克彦、岡田紀夫、瀬尾隆、伊藤弘道、佐古彰史、佐藤隆夫、宮岡悦良、松田良一、渡辺雄貴、伊藤稔、興治文子、矢部博

1. 第 23 回 JCDG³ 2020+1 の開催

第 23 回 日本計算・離散幾何学国際会議 (TJCDG³ 2020+1) がタイ国のチェンマイ大学において、チェンマイ大学、東京理科大学理数教育研究センター、タイ数学会の共催で 2021 年 9 月 3 日～5 日に行われました。この会議は 1997 年から、ほぼ毎年開催されてきましたが、昨年はコロナ禍のため延期されました。

しかし、今年はタイ側の強い要望もあり、オンラインで行われました。この分野において活発に研究をしている 6 人の研究者が招待講演を行い、世界の 30 を超える国から約 80 件の一般講演がありました。時差の関係で、プログラムを作成する係の人たちは随分苦労をしたようです。チェンマイ大学の実行委員の方々は無味乾燥になりがちなオンライン会議をなんとか臨場感溢れるものにしようと工夫され、多くの参加者が現地にいるような錯覚に陥るぐらいでした。チェンマイお寺巡り、オンライン飲み会、参加者の器楽演奏やのど自慢などが繰り広げられ、とても楽しい時間を過ごせました。秋山理数教育研究センター長は、中島さち子氏、大山口菜都美氏、松永清子氏と共同で、数学体験館にて、「Möbius Flowers and Buds」というタイトルで発表しました。発表では、Möbius Flower を 2 等分して、ハートの五輪マークを披露しました。



The graphic titled "Invited Speakers" features a light blue background with six circular portraits of speakers arranged in two columns. Each portrait is accompanied by the speaker's name and affiliation.

Portrait	Name	Affiliation
	Kokichi Sugihara	Meiji University (Distinguished Professor Emeritus), Tokyo, Japan
	Stefan Langerman	Algorithms Research Group, Université Libre de Bruxelles, Belgium
	János Pach	Rényi Institute of Mathematics, Budapest, Hungary
	Jittat Fakcharoenphol	Theory Research Group, Kasetsart University, Thailand
	Erik Demaine	Massachusetts Institute of Technology, USA
	Daniel Horsley	Monash University, Australia



2. 広報活動

本センターの機関誌である「理数教育フォーラム」が2021年6月(第34号)、10月(第35号)、2022年1月(第36号)、3月(第37号)に刊行され、関係者に配布された。

また、本学理数教育研究センターホームページに各種イベントの案内、成果を紹介し、その普及に努め、各年度末に年間の活動を報告書に纏めて発行している。

■第34号 2021年6月発行



- 「近代科学資料館リニューアルオープンと物理学校のDNA」
理数教育研究センター長 秋山 仁
- 2021年度 坊っちゃん講座 第1回(4/24)開催報告「坊っちゃん講座とは」
理学部第一部 化学科 教授 宮村一夫
- 研究・教育活動紹介
⑭工学部 情報工学科 教授 赤倉貴子
⑮理学部第一部 応用数学科 特別講師 川崎玉恵
- 連載企画「なるほど納得ゼミナール」その34 『変化するタイル張り』数学体験館 山口康之

■第35号 2021年10月発行



- 「秋山 仁 理数教育研究センター長が、クリストバル・コロン勲章 (クリストファー・コロンブス騎士勲章) を受賞」 文責：学務課
- 東京理科大学坊っちゃん講座 第5回
「石けんからはじまるナノテクノロジー～私の研究の脱線と発展～」
大阪産業技術研究所 研究員 中川 充
- 「Win-winの高大接続～物理学校出の「坊っちゃん」の育成に向けて」
埼玉県立所沢北高等学校 教諭 永井雅樹
- 連載企画「なるほど納得ゼミナール」その35
『ハートの五輪を作ろう』数学体験館 山口康之

■第36号 2022年1月発行



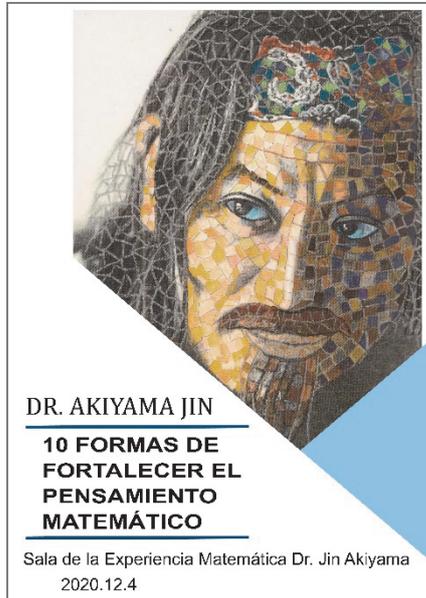
- 数学文化を通じた国際交流
理学研究科応用数学専攻 奨励研究員 西田修斗
- 科学技術コミュニケーションセミナー 第2回 開催報告
教育支援機構 教職教育センター 准教授 興治文子
- 第23回 TJCDG³ 2020+1 開催報告
理数教育研究センター長 秋山 仁
- 連載企画「なるほど納得ゼミナール」その36
『コンウェイ・タイル』数学体験館 山口康之



- 「第 14 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
- 研究会「若者よ、世界に飛び出せ！」開催報告
理学研究科 科学教育専攻 教授 松田良一
- 「科学と人間生活」・「理数探究」に導入可能な実
習教材開発のための研修会の開催報告
理学研究科 科学教育専攻修士 2 年 坂下丈太
- 連載企画「なるほど納得ゼミナール」その 37
『メビウスの輪の不思議と応用』
数学体験館 山口康之

3. 数学教育支援活動

ドミニカ共和国に対する教育支援のひとつとして、数学の考え方に関するスペイン語のテキストを 200 部作成し、サント・ドミンゴ数学体験館に寄贈した。



Embajador del Japón visita la Biblioteca Infantil y Juvenil de RD

- Las autoridades conocieron la sala de la Experiencia Matemática Dr. Jin Akiyama



Diario Libre
Santo Domingo - feb. 16, 2022 | 05:08 p. m. | 2 min de lectura



Pascual Alcántara, Takagi Masahiro, Gloria Reyes, Alicia Baroni y José Miguel Bret. (FUENTE EXTERNA)

4-2-3. 理科教育研究部門

理科教育研究部門長 松田良一

部門メンバー

松田良一、川村康文、井上正之、太田尚孝、武村政春、関陽児、興治文字

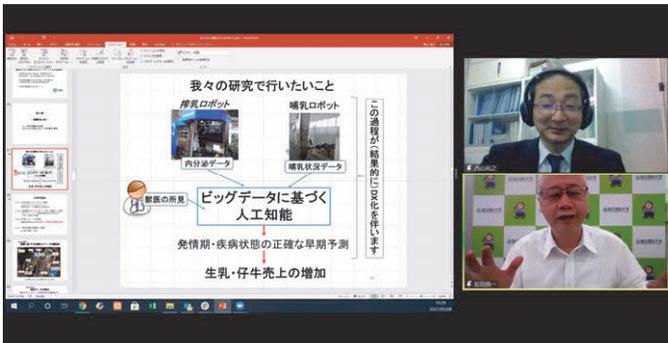
理科教育研究部門は、科学オリンピックを含む才能開発の推進、中高生、大学生及び一般社会人向けの公開講座の開講、さらに学校教育を支援する理科才能開発、持続可能な開発のための教育の推進、科学リテラシーの推進などを目標に活動を行っている。以下に2021年度の活動内容を述べる。

1. 公開講座「坊っちゃん講座」のオンラインによる開講

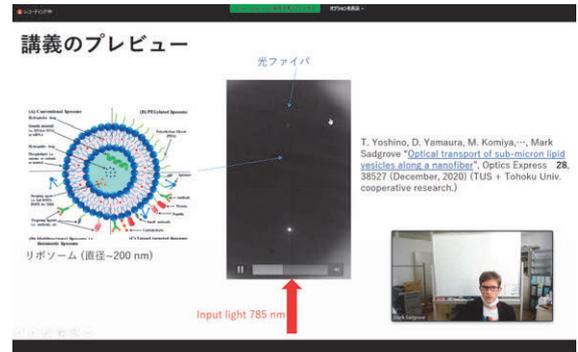
新型コロナウイルス感染症の影響により、2021年度もオンライン（Zoom ウェビナー）で開講した。対面の場合は、講座終了後に中高生から進学相談等のプライベートな質問を受ける機会を設けることもでき、保護者にも好評であったが、オンラインではそのような質問は難しい。一方で、海外の中高生など、受講者の居住範囲に広がりができた側面もある。今後、オンラインの良さを生かしつつ、欠点を如何にカバーしていくかが課題となる。

	日程	タイトル、担当講師	場所	参加者数
1	4月24日(土)	理学部第一部化学科 宮村 一夫 教授 「結晶化～冷やしても固まらず、温めると結晶化する化合物」	神楽坂キャンパスから配信	213
2	5月8日(土)	理工学部経営工学科 西山 裕之 教授 「デジタルトランスフォーメーションによる酪農の新たな可能性」	野田キャンパスから配信	130
3	6月5日(土)	工学部建築学科 伊藤 拓海 教授 「魅せる建物って、どんなもの？—カタチの感性和新しい方程式—」	葛飾キャンパスから配信	280
4	6月19日(土)	理工学部機械工学科 野口 昭治 教授 「摩擦・摩耗・潤滑はトライアングル？」	野田キャンパスから配信	162
5	7月17日(土)	大阪産業技術研究所 研究員 中川 充 氏 ※工学部工業化学科卒業生、理窓博士会第14回学術奨励賞受賞者 「石けんからはじまるナノテクノロジー～私の研究の脱線と発展～」	大阪から配信	183
6	9月18日(土)	理学部第一部物理学科 Mark Sadgrove 准教授 「ナノ粒子とナノ光の世界」	神楽坂キャンパスから配信	164
7	10月23日(土)	理工学部応用生物科学科 定家 真人 准教授 「がん細胞に抗がん剤さがしを手伝ってもらおう」	野田キャンパスから配信	142

8	11月6日(土)	薬学部薬学科 安元 加奈未 講師 「自然は薬の宝箱～くすりの種を探したい」	野田キャンパス から配信	133
9	11月27日(土)	大学院理学研究科科学教育専攻 松田 良一 教授 「たまごの不思議」 ※都合により予定していた講師から交代して講演を実施	神楽坂キャンパス から配信	83
10	12月18日(土)	山口東京理科大学薬学部薬学科 助教 小野田 淳人 氏 ※薬学部生命創薬科学科卒業生、理窓博士会第13回学術奨励賞受賞者 「薬が創られ届くまで一脳発達障害の幹細胞研究を例に」	神楽坂キャンパス から配信	145
11	1月22日(土)	工学部電気工学科 長谷川 幹雄 教授 「5G, IoT X AI-無線通信技術」	葛飾キャンパス から配信	148
12	3月12日(土)	理学部第二部数学科 竹内 司 助教 「大学生になったつもりで連立1次方程式を解いてみよう」	神楽坂キャンパス から配信	184



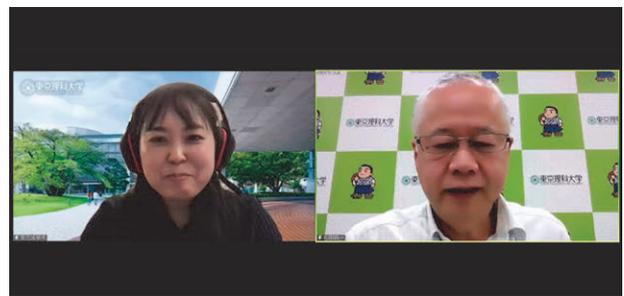
第2回講演の様子



第6回講演の様子



第7回講演の様子



第8回講演の様子

2. 科学技術コミュニケーションセミナー「科学を社会に伝える」の開催

理工系の学問を学ぶ学生は、専門分野の知識を身につけることはもとより「科学技術を社会に伝えるスキルを学び、伝えることで社会の安全・安心と発展につなげる」ことが重要だと考え、10月9日（土）、11月13日（土）に全2回のセミナーをオンラインで開催した。各回とも150名を超える参加があった。

◆第1回：10月9日（土）14:00～16:00

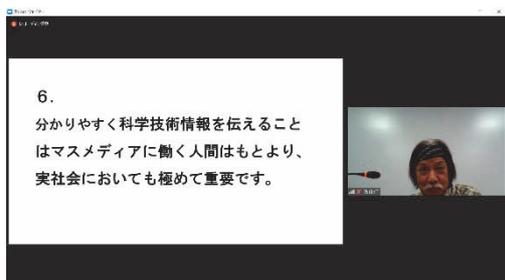
- ・趣旨説明：秋山仁 東京理科大学特任副学長・理数教育研究センター長
- ・講演1：高橋真理子氏 科学ジャーナリスト
「伝える技術のABC」
- ・講演2：武村政春 東京理科大学 教養教育研究院 神楽坂キャンパス教養部 教授
「ウイルスの真実を知ろう ～ウイルスリテラシーの重要性～」

趣旨説明：秋山仁センター長より、これからの時代、「分かりやすく科学技術情報を伝えること」は社会においてますます重要となるため、今後、本学で科学技術コミュニケーションを学ぶ機会を設けるきっかけになるよう本セミナーを開催したことの説明があった。

講演1：朝日新聞社で論説委員や科学コーディネーターとして長年勤められ、現在は科学ジャーナリストとしてご活躍の高橋真理子氏より、文章で相手に伝えるために「読者を想定する」、「文章の基本原則・心得」を意識し、「トピックセンテンスを入れる」等が重要であることや、何がトピックセンテンスなのかを意識することで文章が引き締まることについて講演いただいた。

講演2：本学教養教育研究院 武村政春教授より、巨大ウイルスの研究者である自身の視点から見た現在の新型コロナウイルス感染症の状況について、「感染」の状態は専門家の視点と一般の視点に違いがあることを例に挙げ、ウイルスをよく知ることが正しく怖れることにつながり、正しく予防を行えることにつながると講演いただいた。また、ウイルス教育という視点では、高校生物の教科書でウイルスは参考でしか扱われておらず、この状況で特に生徒に「ウイルス」に触れさせることは、ウイルスを正しく怖れる態度を養うために極めて重要ではないかと強く話された。

参加者からは、「科学技術コミュニケーションの伝える技術と、科学研究をどのように受け止め解釈するとよいか、両方の内容を伺うことができ良かった。」、「一般教養と専門科目を結びつけて考えたいときに、専門知識をより簡単に説明できる技術が役立つと思う。また、専門分野の情報発信をやっていきたいと思っていたので、その良い足がかりになった。」等の感想があった。



秋山仁センター長



科学ジャーナリスト 高橋真理子氏



武村政春 教養教育研究院 教授



質疑応答

◆第2回：11月13日（土）14:00～16:00

- ・趣旨説明：秋山仁 東京理科大学特任副学長・理数教育研究センター長
- ・講演1：中村桂子氏 JT 生命誌研究館名誉館長
「今 重要なのは世界観—科学と日常を重ねて—」
- ・講演2：横山広美氏 東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 教授
「私と科学と社会：研究の立ち位置と具体例」
- ・講演3：興治文子 東京理科大学 教育支援機構 教職教育センター 准教授
「科学の魅力を伝える楽しさと難しさ」

講演1：JT 生命誌研究館名誉館長の中村桂子氏より、科学者は科学の世界観と日常的な世界観を重ねた視点で物事を見ることで、科学を生かしていくことができると講演いただいた。また、論文とは音楽という楽譜であり、楽譜の素晴らしさをコンサートホールの演奏で伝えることができるように、論文の内容を楽しめる形で感じることができる場所として、大阪に「生命誌研究館」が作られた旨を紹介いただいた。

講演2：本学卒業生で、東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 横山広美教授より、中学2年生の頃に物理学に興味を持ち、科学を伝える人になりたいと思ったことがきっかけで、今起きている課題を取り上げ、社会と科学をよい関係にしていく活動をしていることについて講演いただいた。また、研究事例として、専門家グループボイスの提案、AI 倫理の指標作成や、数物系女子がなぜ少ないのかについて等の紹介があった。

講演3：本学教職教育センター 興治文子准教授より、中学・高校の理科教員を養成する授業において、『なぜ理科を勉強しなければいけないのですか？』と中学生に聞かれたら、何と答えますか？』と学生に問いかけていることを踏まえて、子どもの素朴な疑問にどう

答えるか、学校教育の中の事例をあげて講演いただいた。相手に伝える際には、口で説明する、図で説明する、式で説明する等の方法があるが、自分にとってわかりやすい方法が相手にわかりやすいとは限らない。どういうところで相手が難しいと感じているのか、相手がどういうことを知りたいと思っているのか、会話を通して「伝えたい相手のことを知る」ことが大切だとお話いただいた。

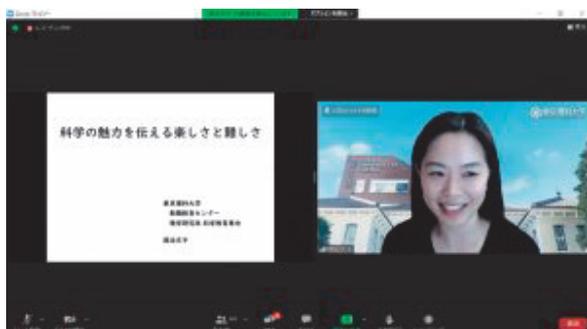
参加者からは、「自然科学の理解と、自然の神秘への感動と、どちらも両立するのは難しいと感じていたところ、中村先生の講演中の『科学は自然を死物化する』という言葉に、なるほどと感じた。」「科学者のあるべき心構えを改めて自覚することができるいい機会となった。また、科学を社会の多くの人々に伝えることの難しさを再認識するとともに、相手の求める情報をいかにして伝えればいいのか考えを深めることができた。」等の感想があった。



JT 生命誌研究館 中村桂子名誉館長



東京大学 横山広美 教授



東京理科大学 興治文子 准教授



質疑応答

3. 研究会「若者よ、世界に飛び出せ！」の開催

本研究会は、日本の理数力強化に資するべく、中学・高等学校の現職理数教員、教員を目指す学生、教員養成を担当される方や大学教員を主な対象として開催する合同研修である。

世界には貧困や飢餓、病魔に苦しみ、日本の若者の力を必要とする人々や地域が沢山ある。若者の皆さんが自分の可能性を信じて、世界に飛び出すきっかけになることを目指し、世界を舞台に活躍している方々をお招きし、現地における活動や自身の生き様、さらにその活動をサポートする日本側の仕組み等について語っていただいた。オンラインで開催し、全国から 80 名近くの参加があった。

◆12月19日（日）13:00～16:00

- ・秋山仁 東京理科大学特任副学長・理数教育研究センター長
「ドミニカ共和国における数学普及活動」
- ・公文和子氏 ナイロビ「シロアムの園」園長・医師
「ケニアにおける障害児への支援活動」
- ・竹之内芳文氏 米国グアム大学理学部数学科 Assistant Professor
「フィリピンとグアムにおける教育活動」
- ・矢野卓郎氏 元 JICA 海外青年協力隊、埼玉県立杉戸農業高等学校生物教諭
「ラオスにおける教育活動」
- ・森下拓道氏 （独）国際協力機構（JICA）人間開発部基礎教育グループ次長
「海外への人材派遣事業」

第一部では、初めに秋山仁センター長より、「数学を通して人々を幸せにできないだろうか」という志を持ち、大学院生時代にユネスコの試験を受け、ガーナのクマシ工科大学に赴任することになったが、直前にガーナで政変が起き取り消しになったエピソードを披露した後、「人との出逢いによって人生は変わる」と、牧内博幸氏（後のドミニカ共和国大使）との出逢いから始まったドミニカ共和国における数学教育支援について講演いただいた。

続いて、ケニア・ナイロビで「シロアムの園」を運営している医師 公文和子氏より、ケニアでは障がい児に必要な医療や教育が届かないことや、伝統的な考えや迷信によって障がい者に対する差別や偏見があること、子どもが楽しい未来につながるようにと「シロアムの園」を開設し、理学療法士、保育士、ソーシャルワーカーらとともに活動していることについて講演いただいた。

第二部では、本学卒業生で、グアム大学理学部数学科 Assistant Professor 竹之内芳文氏より、フィリピンとグアムでの教員経験について、特にフィリピンでの教育支援を中心にお話があり、貧しくて制服や用具が揃えられず小学校に通えないフィリピンの少女に就学支援をしたことで、学校に通うことができるようになった事例の紹介があった。

その後、青年海外協力隊でラオスに赴任し、現在は埼玉県立杉戸農業高等学校の教諭をしている矢野卓郎氏より、協力隊になるまでの経緯やラオスでの活動内容について講演いただいた。ラオスの教員養成大学で生物科実験授業の改善等に取り組んだことや、現地の言葉で活動した苦勞、人との出逢いについて話され、国際ボランティアは単なる自己犠牲ではなく、世界・自分も変えるきっかけになると締めくくった。

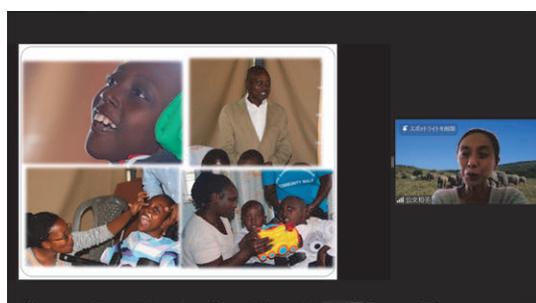
最後に、独立行政法人国際協力機構（JICA）の森下拓道氏より、人々のニーズに応じた質の高い「途切れない学び」を実現する協力について、動画を用いて紹介いただいた。また、JICA 海外協力隊の活動分野や職種、JICA のサポートについて解説があった。

第三部のパネルディスカッションでは、参加者から寄せられた数々の質問を取り入れ、若者が世界に飛び出すために必要なことについて議論しました。

参加者からは、「海外で活躍すると言っても、本当にいろんなパターンがあり、一人一人さまざまな経験を経て、異なる活躍をされている方がいることが分かった。しかし、その中で共通しているのは、人との出会いを大切にすることということであった。そのようなお話をたくさん伺うことができてよかった。留学したいと思っているので、もっともっと意識的に自分からいろいろな人と会うことが大切だと認識できたし、それをぜひ実行しようと思えた。」、「海外でご活躍されている方々の話を伺い、何か新しいことを始める際には不安を感じて躊躇う前にまず行動をしてみようとする気持ちが大事であると学び、自分の意識を変えたいと思えた。」、「海外で理数教育をされている方の話を実際に聞いたことはなかったので、教職課程を取っている自分にとって大変ためになる会だった。また、進路について考える上でも、選択肢の一つとして考えることができるような具体的なお話が聞けて良かった。」などの感想が寄せられた。



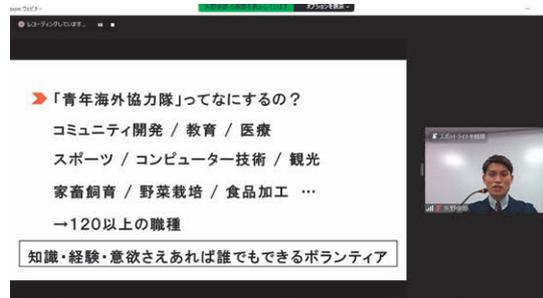
秋山仁センター長



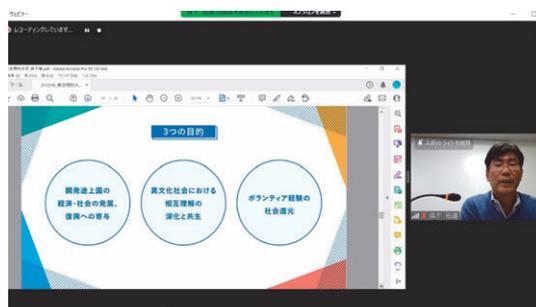
ナイロビ・シロアムの園園長 公文和子氏



ガム大学 竹之内芳文氏



埼玉県立杉戸農業高等学校 矢野卓郎氏



JICA 森下拓道氏



パネルディスカッション

4. 高校「科学と人間生活」・「理数探究」に導入可能な実習教材開発のための実験会

本実験会は、日本の理数力強化及び学校教育支援に寄与するための活動の一環として開催した。

日程：12月25日（土）、26日（日）

場所：神楽坂キャンパス 6号館 理科実験室

講師：理学研究科科学教育専攻 嘱託教授 松田良一（理科教育研究部門）
理学研究科科学教育専攻 修士2年 坂下丈太

T A：理学部一部化学科1年 山本花香

協力：埼玉県立所沢北高等学校 教諭 永井雅樹氏
立命館慶祥中学校・高等学校 教諭 岩城里奈氏
立命館慶祥中学校・高等学校 教諭 高橋梨緒氏
立命館慶祥中学校・高等学校 教諭 関根幸介氏

目的：大腸菌の増殖を指標に食品や「うがい薬」に含まれる成分の抗菌効果を調べるため、教室内で高校生が主体的に取り組むことが出来る、容易で安全な実験を構築する。

内容・総括：

今回は実験Ⅰ（身近な微生物を確認してみよう！）と実験Ⅱ（大腸菌株のコロニー形成をパラメータとした「簡易センサー」を利用した殺菌効果を調べる実験例）を、生徒14名に実践した。

実験Ⅰ（身近な微生物を確認してみよう！）では、「シート・レプリカ」を用いて、私たちの生活に身近な環境に存在している目に見えない微生物を可視化した。可視化することで生徒たちは身の回りの様々な場所に多様な微生物が存在することを理解した。実際に自分で調べたい場所を自分で操作して調べることで、教科書等の写真などとは比較にならない驚きが得られた。この驚きがさらなる探求心へと発展することが、「科学と人間生活」には不可欠な内容だと考える。

実験Ⅱ（大腸菌株のコロニー形成をパラメータとした「簡易センサー」を利用した殺菌効果を調べる実験例）では、本研究のコアである「簡易センサー」により様々な化学物質、身近な食材、殺菌剤、除菌剤、抗菌剤、そして電磁波などの殺菌作用・抗菌作用を、ハイテク分析機器を使わずに、大腸菌のコロニー形成状態をパラメータとすることで教育現場でも容易に可視化が実現できる。その実践として太陽光、ニンニク、明治製薬製うがい薬（イソジンガーグル液 7%）を使って生徒実験を行った。アンケート結果から、生徒たちは大腸菌のコロニー数の違いが明確に可視化できたことで身近な太陽光・ニンニク・明治製薬製うがい薬（イソジンガーグル液 7%）の大腸菌の対する影響度を理解できたと考えられた。また今回の研修に参加した教職員からも概ね肯定的な意見を得られた。

今後は「簡易センサー」の普及システムの構築等と、40人規模での実験の円滑化などを課題として研究をさらに進める考えである。



実験会の様子

5. 坊っちゃん講座、科学技術コミュニケーションセミナーの動画活用

高等学校から「坊っちゃん講座」、「科学技術コミュニケーションセミナー」の視聴希望があり、動画提供を行った。

① 坊っちゃん講座動画提供

依頼高等学校：埼玉県立所沢北高等学校

開催年度	タイトル・担当講師	動画 視聴方法
2021 年度第 1 回	「冷結晶化～冷やしても固まらず、温めると結晶化する化合物」 講師：宮村一夫 理学部第一部化学学科教授	当日視聴できなかった視聴希望生徒を集めて教室で視聴（高校 2 年生：2 名、教員 2 名視聴）
2021 年度第 7 回	「がん細胞に抗がん剤さがしを手伝ってもらおう」 講師：定家真人 理工学部応用生物科学科准教授	当日視聴できなかった視聴希望生徒を集めて教室で視聴（高校 3 年生：2 名視聴）

②科学技術コミュニケーションセミナーの動画提供

依頼高等学校：愛知県立旭野高等学校

タイトル・担当講師	動画 視聴方法	視聴日、人数
「伝える技術のABC」 講師：高橋真理子氏 (科学ジャーナリスト)	総合的な探究の時間（理科分野）内で視聴。講義内容のメモを取り、講義内容の今後の活用法について個々に考え、感想を交えて記述し、レポートを提出	11月2日（火）、 11月24日（水） 高校3年生 理系4学級 (166名視聴)

6. 科学オリンピック関係活動

①2021年度 国際生物学オリンピック 事務局活動報告

2020年度リモートで行われた国際大会の処理業務を行った。国際大会開催については、「科学五輪はコロナに負けず 浅島誠×玉尾皓平 NIKKEI STYLE U22 2021年3月31日、4月1日」で報告した。その他の活動内容は以下のとおりである。

- ・国内外への発送作業

3月から4月にかけて、リモート大会の第2部国際グループプロジェクトの参加賞、優秀賞に対する賞品及び記念誌を発送した。海外へはコロナが落ち着いた春先に日本からの郵便が解禁になった国などが多く、順次発送する形をとった。配達先がコロナ感染症によりロックアウトのために連絡がつかない場合もあり、返送されたものを再送することも多かった。

- ・組織委員会への収支報告及び余剰金に関する使用目的承認手続き

7月中旬に国際オリンピック事業に関するJSTの支援事業に関する決算が終わったので、それを受けて、収支報告を作成し、余剰金利用に関する承認手続きを行った。

- ・寄付者への収支報告及び余剰金に関する使用目的のお知らせ

寄付者、サプライヤー等に収支報告をするとともに、余剰金の使用の目的について周知した。また、日本語で簡単な大会報告書を作成し同封。

- ・共催・後援報告書の提出

報告書提出を義務付けられている団体に、書類等を提出。

- ・IBO2020 データ整理・書類整理・IBO2020 物品整理を行い、2022年3月18日に退去を完了した。

②国際物理オリンピック支援

物理オリンピック事業は、神楽坂キャンパス1号館13階に事務局を置く公益社団法人物理オリンピック日本委員会によって推進されている。また、2022年の国際物理オリンピックの日本開催に向けて、2018年4月に発足した「一般社団法人国際物理オリンピック2023協会（略称 IPhO2022 協会）」（代表理事 会長 小林誠）の事務局は同1号館6階にある。

国際物理オリンピックが 2023 年に延期されたことに伴い、組織が一般社団法人国際物理オリンピック 2022 協会から名前が変わった。さらに、2018 年 3 月に発足した、科学オリンピックを推進する 7 つの団体の横断的な広報活動を推進目的の「日本科学オリンピック委員会」の運営委員長には、北原和夫（元本学教授）が就任している。

2021 年度は、2020 年度に引き続き世界的に流行した新型コロナウイルス感染症の影響を受けたが、オンラインで多くの事業を実施した。

・国内選抜「物理チャレンジ」について

物理オリンピック事業の国内選抜「物理チャレンジ」は、2005 年に始まって以来毎年開催されている。

2021 年の第 17 回物理チャレンジは、応募数は 1,153 名（昨年は 909 名）であり、男子 934 名、女子 219 名であった。緊急事態宣言下での募集だった昨年より約 250 名増加し、2005 年の第 1 回からの応募総数は 2 万人を突破した。

実験レポートの題目は「加える力と物体の運動の関係を調べてみよう」であり、1,006 名の提出があった。

理論試験は 2020 年度に引き続き、自宅でのオンライン試験へと変更した。マークシート方式であり、理論試験の参加者は 947 名、理論・実験ともに参加した者は 906 名（昨年の理論・実験ともに参加した者は 734 名）であった。総合成績をもとに 116 名を「第 2 チャレンジ参加者」として選出した。実験レポートは例年通り、内容について詳細な評価を付して成績の通知を行った。

例年 3 泊 4 日で行っている「第 2 チャレンジ」は、今年度も対面での実施は断念し、8 月 17 日から 19 日の日程でオンラインに切り替えた。8 月 17 日には従来通り 5 時間の理論問題コンテスト、8 月 18 日には 5 時間の実験問題コンテストを行った。どちらも不正防止のため、参加者と zoom でつなぎ、少人数になるようにブレイクアウトルームに分け、ウェブカメラを用いた監督付きのオンライン試験を行った。オンライン試験は 2 年目だったため、昨年の経験を踏まえ、事前に参加者には zoom 接続の練習をしたり、pdf ファイルをアップロードする練習の機会を設け、事前練習に参加したもののみ第 2 チャレンジの参加資格を与えた。8 月 19 日には物理チャレンジ OB と研究者の講演会、問題解説会が行われ、9 月 19 日にオンラインで表彰式が行われた。

参加者 116 名の構成は、中学生 7 名（昨年 6 名）、高校 1 年生 20 名（昨年 7 名）、2 年生 32 名（昨年 42 名）、3 年生 56 名（昨年 61 名）、既卒生 1 名（昨年 3 名）だった。高校 2 年生以下の成績優秀者 12 名を 2022 年のアジア物理オリンピックおよび物理オリンピック日本代表候補に選出した。内訳は中学生 1 名（昨年 0 名）、高校 1 年生 3 名（昨年 1 名）、2 年生 8 名（昨年 11 名）。12 名のうち、7 名が私立高校、5 名が国公立高校の在校生だった。今年度は、女子生徒は選抜されなかった。

・国際物理オリンピック派遣事業について

2020 年 8 月の「第 2 チャレンジ」で選出された代表候補 12 名に対し、2021 年 3 月 23 から 26 日に本学において開催されたチャレンジファイナル（春合宿）で最終試験を実施し、8 名のアジア物理オリンピックの日本代表選手、5 名の国際物理オリンピック日本代表選手を選抜した。なお、アジア物理オリンピックへの参加は、今年度が初めてである。

・第 21 回アジア物理オリンピックについて

2021 年 5 月 17 日から 24 日の日程で、アジア物理オリンピック（主催国台湾、オンライン大会）が開催された。日本は初めての参加である。参加国数は 23 か国・地域であり、参加選手は 181 名であった。日本代表選手 8 名と問題翻訳等を行う役員約 10 名が東京に集まり、台湾とオンラインで結んで参加した。台湾から留学している大学院生が試験監督として常時付き添い、試験の公平性を保証した。結果は、金メダル 1 個、銀メダル 1 個、銅メダル 3 個、入賞 2 名、参加賞 1 名であった。

・第 51 回国際物理オリンピックについて

2021 年 7 月 17 日から 24 日に開催された国際物理オリンピック（主催リトアニア、オンライン大会）には、76 か国・地域から 368 名の代表選手が参加し、金メダル 1 個、銀メダル 3 個、銅メダル 1 個と全員がメダルを受賞する好成績を取めた。この成果に対し、文部科学大臣から表彰も受けた。

・第 52 回国際物理オリンピックについて

2021 年 8 月に開催された「第 2 チャレンジ」で選出された 2022 年アジア物理オリンピックおよび国際物理オリンピック代表候補者 12 名に対して、9 月 18 日から 19 日にオンラインにてキックオフミーティングを実施した。以後、候補者に対し通信教育のほか 12 月 22 日から 25 日まで 2 年ぶりに対面での冬合宿を行い、実験研修と講義を実施した。秋から冬にかけて、コロナの感染状況は落ち着いていたが、感染対策は徹底して行った。

・普及活動について

ジュニアチャレンジの実施：小学生と父母を対象に物理の楽しさを伝える活動「ジュニアチャレンジ」を、7 月 25 日に人と科学の未来館サイピア（岡山市）において実施した。

プレチャレンジの実施：高校生と教員に対する研修「プレチャレンジ」を、5 月 2,3 日に千葉大学先端科学センター主催で開催した。

ファーストステップ研修：「第 1 チャレンジ」に参加したが、「第 2 チャレンジ」に選抜されなかった参加者を対象に、通信教育による研修の機会を与えている。95 名（昨年 83 名）が参加している。

ステップアップ研修：「第 2 チャレンジ」に参加したが、物理オリンピック代表選手候補者なれなかった生徒に対し、通信教育による研修の機会を与えている。30 名（昨年 39 名）が参加している。

チャレンジ研修：来年の第 2 チャレンジ参加を目指すという趣旨で第 1 チャレンジの成績等から、高校 1 年生以下 21 名を選抜しそのうち 13 名（昨年は 20 名を選抜し 13 名）から申込があった。ファーストステップ研修は選択式だが、チャレンジ研修は記述式である。

出版活動：News Letter 29 から 32 号、年次報告書を刊行。

7. 理数教育研究センター理科教育研究部門の 10 年間の活動報告書の作成

2021 年末に理数教育研究センター理科教育研究部門の 10 年間の活動報告書(全 111 頁)を作成した。

4-3. 数学体験館

数学体験館館長 秋山 仁
数学体験館技術員 山口 康之

はじめに

2013年10月に、数学の理論を五感を通じて体感できる「数学体験館」が、近代科学資料館地下1階に建設されて8年が経過した。開設以来の6年間、来館者数は毎年1万人以上で推移し、2019年10月26日には入館者数が8万人を超えた。しかし2020年2月より国内において新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が蔓延し、感染拡大防止のため、2020年3月から2021年9月末まで数学体験館を開館することができない状態が続いていた。その後、新型コロナウイルス感染症蔓延が落ち着いたため、同年10月より、予約制や入館人数の上限を設けるなど、感染防止対策を講じた上で、開館することにした。

以下の項目順に、数学体験館の2021年度の活動報告を掲載する。

1. 総論

1. 1 来館者数（2021年11月10日～2022年3月31日迄）
1. 2 来館した団体、オンライン見学
1. 3 出張講演
1. 4 教員免許状更新講習
1. 5 岐阜県本巣市における「数学のまちづくり」の協力
1. 6 メディア

2. 数学工房

1. 総論

1. 1 来館者数（2021年11月10日～2022年3月31日迄）

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の感染拡大防止のため、2020年3月から2021年9月末まで数学体験館を開館することができない状態が続いていたが、ウイルス感染症の蔓延が落ち着いたため、同年11月10日より感染防止対策を講じた上で開館することとなった。なお、感染防止対策として、予約制の導入、入館人数の上限を12名とする、入館時に体温測定、手のアルコール消毒、ビニール手袋の配付などがあげられる。

11月	139人
12月	170人
1月	66人
2月	0人 (入試期間中のため)
3月	126人

1. 2 来館した団体、オンライン見学

4/23 ドミニカ共和国ロベルド・タナカ駐日大使来館



4/24 玉川学園中学高等学校 40 名見学



6/25 三田国際学園中学校オンライン見学

7/27 清瀬市立学校教員 10 名見学

10/15 ドルトン学園中学校 27 名見学

玉川学園中学校 30 名オンライン見学

岐阜県本巣市糸貫中学校 1 年生 4 クラス オンライン見学

11/16 福島成蹊中学・高校見学 53 名見学



11/16 岐阜県本巣市教育委員会 7名来館



1. 3 出張講演

- 9/11 朝日新聞主催 「朝日教育会議」
- 11/27 岐阜県本巣市講演
- 1/14 国立教育政策研究所主催算数教育大会、北区王子第五小学校講演

1. 4 教員免許状更新講習

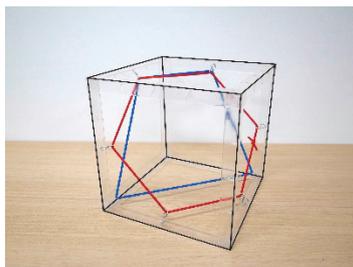
本学教職教育センター企画の教員免許状更新講習の一講座を担当した。なお、今回の講習は新型コロナウイルス感染防止のためにオンラインで行われたため、教具は体験館スタッフが制作し、参加者全員に郵送された。また、オンラインのため、解説動画を制作した。

日時：7月

題目：「数学教育リフレッシュ講座・体験的数学の教具を作ろう」

対象：中学校・高等学校数学科現職教員 80名、大学院生（科学教育研究科）20名

内容：教具（立方体の切断面、サインカーブ描出器）の作成。



1. 5 岐阜県本巣市における「数学のまちづくり」事業への協力

岐阜県本巣市数学ワンダーランドに展示用教具（円錐曲線説明器、一対パラボラ鏡面）を制作し納品した。



1. 6 メディア

少年写真新聞 理科教育ニュース No.1161
2022年(令和4年)2月8日号

中央に多く集まる木の玉

たどり着く道の数が多く中央ほど、たくさんの玉が集まります

上部の中央にある入り口からたくさんの玉を転がすと、Eに入る玉が最も多くなりました。横にいくほど入る玉が少なくなっていき、全体で山型を築きます。

打たれたくきの間を通り抜けながら進む中央のEに最も多く集まり、AやIには少ししか集まりません。

玉がそれぞれくぎに当たったときに右斜め下を斜め下の道に進む可能性は半分ずつなので、入り口から進む道の数が最も多い中央のEには、いっぺん玉がたどり着く回数も多くなります。

どう？ 板で玉を運ぶ

入り口の下に、迷路の道に板を立てて玉を転がすとどうなるのでしょうか。

それぞれの場所にたどり着く道の本数

くぎが2段の場合には、横に1、中心に2本の道があり、道を横断して1にたどり着く道は右図のように集まります。

2022年2月8日号・理科教育新聞 No.1161

社会 4版 2022年(令和4年)2月22日(火)

マダニヤイ 散歩旅 836

早稲田通り④
数学体験館の豚ハム

東京理科大学の付近は、なんとなく「理系」感がある。「液体窒素」と書かれる。鉄棒の豚が1回転すると違う形になる。

数学体験館提供

手作り道具で謎を身近に

な看板があり、学生は「分がどびどび」な話をしていく。

さまよえる文系脳の私のオアシスが、同大の「数学体験館」。わかりやすい数学の説明で有名な秋山仁さんが館長を務める。

どんなことが学べるのだろうか。例えばマンホールのふたは、なぜ丸いのだろう。担当の山口康之さんは、「落下防止のために、どんな向きにしても穴に落ちない」と説明する。田以外にも適した形がある。これは、体験館でぜひ。体験館の道具はほぼ手作り。職員や学生が日々、わ

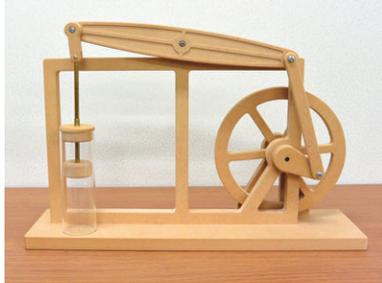
かりやすい数学を伝えるために、研究を重ねている。その一つ、「豚ハム」は、鉄棒の豚が1回転すると、ハムになる。その仕組みは？ 説明を受けたが、うーん……。1900年代にイギリスで書かれた本「カンタベリーパズル」を元にした道具もあり、体験館を訪れる小学生や中学生は目を輝かせて、解明に挑んでいるという。

昔の謎が徐々に解明され、現代の生活を潤す。寺の瓦屋根の角度も、野球選手のスイングも数学が関係する。とわかつてはいるんだけど……。(江戸川夏樹)

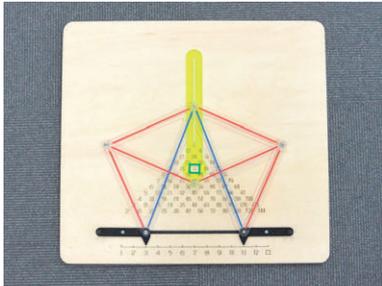
2022年2月22日付・朝日新聞(夕刊)

2. 数学工房

ワットの蒸気機関の動きが分かる簡易モデルを制作



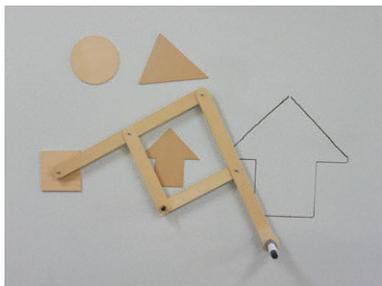
九九猿のリンク構造の動きが分かるモデルを制作



天秤を何回使えば偽コインが見つけられるかを実験する模型の制作



拡大（2倍）作図器の作成



多重メビウスの輪の考察モデルの作成



パリティチェック（データ誤り符号理論）を使った嘘当てマジック（料理版）の作成



近代科学資料館に展示されている屋井乾電池のレプリカを制作（貸出用）



5. 関連規程

5-1. 東京理科大学教育支援機構規程

平成 23 年 11 月 10 日

規程第 82 号

(趣旨)

第 1 条 この規程は、東京理科大学学則（昭和 24 年学則第 1 号）第 62 条第 4 項の規定に基づき、東京理科大学教育支援機構（以下「機構」という。）に関し必要な事項を定めるものとする。

(目的)

第 2 条 機構は、全学的な教育方針の策定並びに教育施策及び教育課程の企画を行うことで、東京理科大学（以下「本学」という。）の学長（以下「学長」という。）の教育に係る政策の決定及び推進を支援するとともに、各学部及び研究科における教育の充実に寄与すること、また、本学における組織的な教育活動の支援、活性化及び質的向上を図るとともに、理数系分野の教育方法及び教育指導方法に関する研究とその実践及び成果の発信を通じて、我が国の科学技術知識普及の進展に寄与することを目的とする。

(センター)

第 3 条 機構に、次に掲げるセンター（以下「センター」という。）を置く。

- (1) 教育開発センター
- (2) 教養教育センター
- (3) 教職教育センター
- (4) 理数教育研究センター

2 センターに関する事項は、この規程に定めるもののほか、別に定める。

(機構長)

第 4 条 機構に、東京理科大学教育支援機構長（以下「機構長」という。）を置き、機構長は、本学の学長の命を受けて、機構の運営に関する事項を掌理する。

2 機構長は、本学の副学長のうちから学長が決定し、理事長に申し出て、理事長が委嘱する。

(センター長)

第 5 条 センターに、それぞれセンターの長（以下「センター長」という。）を置き、センター長は、機構長の命を受けて、センターに関する事項を掌理する。

2 センター長の資格、任期等については、別に定める。

(会議)

第 6 条 機構に、機構の運営に関する事項を審議するため、教育支援機構会議（以下「会議」という。）を置く。

2 会議は、次に掲げる事項を審議する。

- (1) 教育方針の策定に関する事項
 - (2) 教育施策及び教育課程の企画に関する事項
 - (3) 教育に関する全学的な調整に関する事項
 - (4) 図書館の教育的活用に係る方針に関する事項
-

-
- (5) センターの設置及び改廃に関する事項
 - (6) センターの事業計画に関する事項
 - (7) 機構及びセンターの人事に関する事項
 - (8) 機構及びセンターの予算及び決算に関する事項
 - (9) 機構及びセンターに関する諸規程等の制定及び改廃の発議に関する事項
 - (10) その他機構及びセンターの管理・運営に関する事項

3 会議は、次に掲げる委員をもって組織し、学長がこれを委嘱する。

- (1) 機構長
- (2) 副学部長又は学科主任のうちから各学部の学部長が指名する者 各1人
- (3) 副院長又はキャンパス教養部長のうちから教養教育研究院の院長が指名する者 1人
- (4) 各センター長のうちから機構長が指名する者
- (5) 大学図書館長
- (6) 本学の専任教授のうちから学長が指名する者 若干人

4 前項第6号に規定する委員の任期は、2年以内とし、再任を妨げない。ただし、補欠による後任者の任期は、前任者の残任期間とする。

5 会議は、機構長が招集し、その議長となる。ただし、議長に事故のあるときは、議長があらかじめ指名した委員がその職務を代理する。

6 議長が必要と認めたときは、会議に委員以外の者の出席を求め、意見を聴くことができる。

7 会議の議事は、出席した委員の過半数をもって決し、可否同数のときは、議長の決するところによる。

(小委員会の設置)

第6条の2 会議の下に、前条第2項に規定する審議事項を専門的に検討するため、必要に応じて、小委員会を設けることができる。

2 小委員会の運営に関して必要な事項は、別に定める。

(本務教員)

第7条 機構に、センターを本務とする専任又は嘱託の教育職員（以下「本務教員」という。）を置くことができる。

2 本務教員は、機構長が会議に諮って学長に推薦し、学長の申出により理事長が委嘱する。

(併任教員)

第8条 センターに、併任の教育職員（以下「併任教員」という。）を置くことができる。

2 併任教員は、本学の専任又は嘱託の教授、准教授、講師及び助教のうちから充てる。

3 併任教員は、センター長が前項の教育職員が所属する学部等の学部長等の同意を得て機構長に申し出、機構長は会議に諮って学長に推薦し、学長の申出により、理事長が委嘱する。

4 併任教員の任期は、2年とし、再任を妨げない。ただし、嘱託である者については、嘱託としての委嘱期間内とする。

(専門職員)

第9条 機構に、センターを本務とする専任又は嘱託の専門職員（以下「専門職員」という。）を置くことができる。

2 専門職員は、センター長が機構長に申し出、機構長は会議に諮って学長に推薦し、学長の申出により理事長が委嘱する。

(客員教授等)

第10条 センターに、学外の教育研究機関等から招へいする客員教授、客員准教授及び客員研究員(次項において「客員教授等」という。)を置くことができる。

2 客員教授等の資格、選考手続等は、東京理科大学客員教授等規則(昭和53年規則第5号)の定めるところによる。

(受託研究員及び共同研究員)

第11条 センターに、受託研究員及び共同研究員を受け入れることができる。

2 受託研究員及び共同研究員は、学外の教育機関等を本務とする者につき選考するものとし、その手続等は、東京理科大学受託研究員規程(昭和43年規程第7号)及び学校法人東京理科大学共同研究契約取扱規程(平成21年規程第7号)の定めるところによる。

(報告義務)

第12条 センター長は、当該年度における活動経過及び次年度における事業計画を機構長に報告しなければならない。

(事務)

第13条 機構の運営に関する事務は、学務部学務課において処理する。

2 センターの運営に関する事務は、それぞれのセンターに関する規程において定める。

附 則

この規程は、平成23年11月10日から施行し、平成23年10月1日から適用する。

附 則

この規程は、平成24年4月1日から施行する。

附 則

この規程は、平成25年4月1日から施行する。

附 則

(施行期日)

1 この規程は、平成26年1月1日から施行する。

(経過措置)

2 第4条第3項の規定にかかわらず、この規程の施行日以降に初めて就任する教育機構長の任期については、平成26年9月30日までとする。

附 則

この規程は、平成27年4月1日から施行する。

附 則

この規程は、平成28年4月1日から施行する。

附 則

この規程は、平成30年4月1日から施行する。

附 則

この規程は、令和3年4月1日から施行する。

5-2. 東京理科大学理数教育研究センター規程

平成 23 年 11 月 10 日

規程第 83 号

(趣旨)

第 1 条 この規程は、東京理科大学教育支援機構規程（平成 23 年規程第 82 号）第 3 条第 2 項の規定に基づき設置する東京理科大学理数教育研究センター（以下「センター」という。）に関し必要な事項を定める。

(目的)

第 2 条 センターは、中等教育における理数教育に関する調査及び研究を総合的に行い、中等教育と高等教育との間にある各種課題に取り組み、その成果を学内外に広く発信することを目的とする。

(活動)

第 3 条 センターは、前条の目的を達成するために、次の活動を行う。

- (1) 理科、数学等の教科（以下「理数教科」という。）の教育方法の研究に関すること。
- (2) 理数教科の教科書、教材等の研究及び開発に関すること。
- (3) 理数教科の学力測定に関する調査及び研究に関すること。
- (4) 理数教科の教育方法に関する研修会、講習会その他の実施に関すること。

(部門)

第 4 条 センターに、前条の活動を実施するため、必要に応じて部門を置くことができる。

(センター長)

第 5 条 センターに、センター長を置く。

- 2 センター長は、東京理科大学教育支援機構長（以下「機構長」という。）の命を受けて、センターに関する事項を掌理する。
- 3 センター長は、東京理科大学（以下「本学」という。）の学長（以下「学長」という。）が本学の専任又は嘱託（非常勤扱の者を除く。）の教授のうちから機構長と協議の上選出し、東京理科大学教育研究会議の議を経て決定し、理事長に申し出て、理事長が委嘱する。
- 4 センター長の任期は、2 年とし、再任を妨げない。ただし、補欠による任期は、前任者の残任期間とする。

(部門長)

第 6 条 第 4 条に規定する部門（以下「部門」という。）それぞれに、部門長を置く。

- 2 部門長は、部門の活動を統括する。
- 3 部門長は、センター長がセンター所属（本務教員又は併任教員）の専任の教授、准教授又は嘱託（非常勤扱いの者を除く）の教授のうちから選出した候補者について、第 9 条に規定する東京理科大学理数教育研究センター運営委員会（以下「運営委員会」という。）に諮って決定し、学長がこれを委嘱する。
- 4 部門長の任期は、2 年とし、再任を妨げない。ただし、補欠による任期は、前任者の残任期間とする。

(運営委員会)

第 7 条 センターに運営委員会を置き、次の事項について審議する。

-
- (1) センターの運営方針の企画及び立案に関する事項
 - (2) 第3条に規定するセンターの活動に関する事項
 - (3) 各部門において検討した事項についての連絡調整に関する事項
 - (4) その他センターの運営に関する重要事項

2 運営委員会は、次に掲げる委員をもって組織する。

- (1) センター長
- (2) 部門長
- (3) センター所属（本務教員又は併任教員）の専任の教授、准教授又は嘱託（非常勤扱いの者を除く）の教授及び専門職員のうちからセンター長が学長と協議の上指名した者若干人

3 運営委員会の議長は、センター長をもってこれに充てる。

4 運営委員会が必要と認めるときは、委員以外の者の出席を求め、その意見を聴くことができる。

（事務処理）

第8条 センターに関する事務は、学務部学務課において処理する。

附 則

この規程は、平成23年11月10日から施行し、平成23年10月1日から適用する。

附 則

この規程は、平成25年4月1日から施行する。

附 則

この規程は、平成25年11月25日から施行し、平成25年10月1日から適用する。

附 則

この規程は、平成27年4月1日から施行する。

附 則

この規程は、平成28年4月1日から施行する。

附 則

この規程は、平成30年4月1日から施行する。

附 則

この規程は、平成31年4月1日から施行する。

6. 理数教育研究センター構成員

6-1. 理数教育研究センター本務教員

所 属	職名	氏 名	選出区分	任期	備考
教育支援機構 理数教育研究センター	教 授	秋山 仁	第 7 条	2021年4月1日～2022年3月31日	特任副学長 理数教育研究センター長 事業推進部門長

「選出区分」は東京理科大学教育支援機構規程による。

6-2. 理数教育研究センター併任教員

所 属	職名	氏 名	選出区分	任期	備考 (担当部門)
理学部第一部 数学科	教 授	加藤 圭一	第 8 条	2019年10月1日～2021年9月30日 2021年10月1日～2023年9月30日	数学
理学部第一部 数学科	教 授	眞田 克典	第 8 条	2019年10月1日～2021年9月30日 2021年10月1日～2023年3月31日	数学 事業推進
理学部第一部 数学科	教 授	清水 克彦	第 8 条	2019年10月1日～2021年9月30日 2021年10月1日～2023年3月31日	数学教育研究部門長 事業推進
理学部第一部 数学科	助 教	岡田 紀夫	第 8 条	2021年4月1日～2022年3月31日	数学 事業推進
理学部第一部 物理学科	教 授	川村 康文	第 8 条	2020年4月1日～2022年3月31日	理科
理学部第一部 化学科	教 授	井上 正之	第 8 条	2020年4月1日～2022年3月31日	理科
理学部第一部 応用数学科	教 授	瀬尾 隆	第 8 条	2019年10月1日～2021年9月30日 2021年10月1日～2023年9月30日	数学 事業推進
理学部第一部 応用数学科	特別講師	川崎 玉恵	第 8 条	2021年4月1日～2022年3月31日	数学
理学部第二部 数学科	教 授	伊藤 弘道	第 8 条	2019年10月1日～2021年9月30日 2021年10月1日～2023年9月30日	数学 事業推進
理学部第二部 数学科	教 授	佐古 彰史	第 8 条	2019年10月1日～2021年9月30日 2021年10月1日～2023年9月30日	数学 事業推進
理学部第二部 数学科	教 授	佐藤 隆夫	第 8 条	2021年4月1日～2023年3月31日	数学 事業推進
理学部第二部 数学科	嘱託教授	宮岡 悦良	第 8 条	2021年4月1日～2022年3月31日	数学 事業推進
理学部第二部 数学科	准 教 授	齊藤 功	第 8 条	2019年10月1日～2021年9月30日	数学
理学部第二部 数学科	講 師	下川 朝有	第 8 条	2021年4月1日～2023年3月31日	数学
工学部 情報工学科	教 授	赤倉 貴子	第 8 条	2021年4月1日～2023年3月31日	数学
理工学部 数学科	講 師	馬場 蔵人	第 8 条	2021年4月1日～2023年3月31日	数学
理学研究科 科学教育専攻	教 授	松田 良一	第 8 条	2021年4月1日～2022年3月31日	理科教育研究部門長 事業推進
教養教育研究院 神楽坂キャンパス教養部	教 授	太田 尚孝	第 8 条	2020年4月1日～2022年3月31日	理科
教養教育研究院 神楽坂キャンパス教養部	教 授	武村 政春	第 8 条	2020年4月1日～2022年3月31日	理科
教養教育研究院 野田キャンパス教養部	教 授	関 陽児	第 8 条	2021年7月1日～2023年3月31日	理科
教育支援機構 教職教育センター	教 授	渡辺 雄貴	第 8 条	2020年4月1日～2022年3月31日	数学 事業推進
教育支援機構 教職教育センター	嘱託教授	伊藤 稔	第 8 条	2021年4月1日～2022年3月31日	数学 事業推進
教育支援機構 教職教育センター	准 教 授	大浦 弘樹	第 8 条	2021年7月1日～2023年3月31日	数学
教育支援機構 教職教育センター	准 教 授	興治 文子	第 8 条	2020年4月1日～2022年3月31日	理科 事業推進
データサイエンスセンター	教 授	矢部 博	第 8 条	2021年4月1日～2022年3月31日	数学 事業推進

「選出区分」は東京理科大学教育支援機構規程による。

6-3. 理数教育研究センター客員教員

所 属	職名	氏 名	選出区分	任期	備考
教育支援機構 理数教育研究センター	客員研究員	中島さち子	第10条	2021年4月1日～2022年3月31日	
教育支援機構 理数教育研究センター	客員研究員	松永 清子	第10条	2021年4月1日～2022年3月31日	
教育支援機構 理数教育研究センター	客員研究員	吉見奈緒子	第10条	2021年4月1日～2022年3月31日	

「選出区分」は東京理科大学教育支援機構規程による。

6-4. 理数教育研究センター運営委員会委員

所 属	職名	氏 名	選出区分	任期	備考 (担当部門)
教育支援機構 理数教育研究センター	教 授	秋山 仁	第7条第2項第1号 第7条第2項第2号	2021年4月1日～2022年3月31日	特任副学長 理数教育研究センター長 事業推進部門長
理学部第一部 数学科	教 授	眞田 克典	第7条第2項第3号	2019年10月1日～2021年9月30日 2021年10月1日～2023年3月31日	数学 事業推進
理学部第一部 数学科	教 授	清水 克彦	第7条第2項第2号	2019年10月1日～2021年9月30日 2021年10月1日～2023年3月31日	数学教育研究部門長 事業推進
理学部第一部 応用数学科	教 授	瀬尾 隆	第7条第2項第3号	2019年10月1日～2021年9月30日 2021年10月1日～2023年9月30日	数学 事業推進
理学部第二部 数学科	教 授	伊藤 弘道	第7条第2項第3号	2019年10月1日～2021年9月30日 2021年10月1日～2023年9月30日	数学 事業推進
理学研究科 科学教育専攻	教 授	松田 良一	第7条第2項第2号	2021年4月1日～2022年3月31日	理科教育研究部門長 事業推進
教育支援機構 教職教育センター	教 授	渡辺 雄貴	第7条第2項第3号	2021年4月1日～2022年3月31日	数学 事業推進
教育支援機構 教職教育センター	准教授	興治 文子	第7条第2項第3号	2021年4月1日～2022年3月31日	理科 事業推進

「選出区分」は東京理科大学理数教育研究センター規程による。

7. 理数教育研究センター構成員の自己評価（研究業績）

秋山 仁【総合教育機構理数教育研究センター 教授】

① 学術論文

1. J.Akiyama, Kiyoko Matsunaga, A prettier shell on the seashore, The Math. Intelligencer, Vol.43(2), 2021, 99–107（査読あり）
2. J.Akiyama, Ikuro Sato, and Sin Hitotumatu, The antipodal distance of semi-regular polytopes, submitted
3. J.Akiyama, Kiyoko Matsunaga, Sachiko Nakajima and Natsumi Oyamaguchi, Möbius Flowers, submitted
4. J.Akiyama, Kiyoko Matsunaga, Sachiko Nakajima and Natsumi Oyamaguchi, Another way to make $(2k+1, 2)$ -torus knots, submitted

② 受賞

1. クリストファー・コロンブス騎士勲章 6月24日
2. 日本文藝家協会 ベスト・エッセイ集入選 2021 『一休和尚の教え』

③ 著書

1. 共著 ベスト・エッセイ 2020, 秋山仁 他, 日本文藝家協会編集, 8月27日
『一休和尚の教え』, 信濃毎日新聞 2020年7月1日掲載
2. 共著 秋山仁・ヒヤダイン・池谷裕二・伊勢崎賢治・根本美緒, 2022年2月
『なんで勉強しなきゃいけないの?』WILL こども知育研究所編集 金の星社出版
3. 監修 秋山仁・今泉忠明・大石学・西本鶏介, ポプラ社
『総合百科事典ポプラディア 第三版 全18巻』, 2021年12月

④ テキスト

スペイン語&英語『10 FORMAS DE FORTALECER EL PENSAMIENTO MATEMATICO』

⑤ 記録誌

- ・『ドミニカ共和国 数学教育支援プロジェクト 第Ⅲ期 活動報告書』11月
- ・『秋山仁教授 クリストバル・コロン 騎士勲章受賞記念抄録』10月23日
- ・『航海の軌跡Ⅳ 2014.9～2022.3』2022年3月

⑥ 執筆：新聞・雑誌

- ・信濃毎日新聞, コラム“コンパス”秋山仁
 1. 卒業後も心に残るもの「先生の信念 熱意持ち伝えて」 4/21
 2. 時にハラハラする若者の行動「大人は温かく見守る度量を」 6/2
 3. 恩師・ハラリー先生の教え 深い学びは深い愛情から 7/7
 4. 夏を感じた時 思い出す夏休み「愛された幼少体験 心の故郷に」 8/11

-
- 5. 生徒が主演 先生は監督担う授業「間違いは一緒に考える好機」 9/22
 - 6. 複雑な事象 どう説明するか「やさしく、深く…」を目指す 10/27
 - 7. 才能花開いたアインシュタイン「大切なのは応援される人間性」 12/1
 - 8. 若者の覇気の無さ 教育の影響「嘆く前に大人が手本示して」 1/19
 - 9. 電車通学 駅員さんとの思い出「全国の切符集め 作った地図」 2/23
 - 10. 流浪の数学者の人生に触れて「平和と魂の自由一日も早く」 3/30
 - ・「作業療法ジャーナル」, Vol.55 NO.10, 三輪書店, p1107, 9月15日
わたしの大切な作業 第41回『毎日、締め切り』
 - ・理科教育ニュース 第1161号冊子, (株)少年写真新聞社, p1, 12月8日
「だれでもできるためしてみよう たのしい実験“確率”を目で見よう」
 - ・若竹 82号 公益社団法人 全国幼児教育研究協会, p2-3, 2月
「AIの時代の幼児教育に求めるもの—理科教育の立場から—」

⑦ 講評

- ・読売新聞 10月29日
第70回 読売教育賞 算数・数学教育の講評
- ・令和3年度新宿区 夏目漱石コンクール作品集, 新宿区文化観光産業部文化観光課
令和3年12月, p10-11, 審査講評
- ・第12回 坊っちゃん科学賞研究論文コンテスト作品集 理窓会, 2月22日
講評と表紙「ハートの五輪」執筆

⑧ 学会, 研究集会, 招待講演 (学術・教育講演)

1. JIN AKIYAMA, Kiyoko Matsunaga, Sachiko Nakajima and Natsumi Oyamaguchi,
『Möbius Flowers and Buds』, TJCDCG³ 2020+1 オンライン開催, 9/3-5 (学術国際
会議)
2. JIN AKIYAMA, Ikuro Sato, 『Distance to antipode of semi-regular polytope,
measured by edges of equal length』, TJCDCG³ 2020+1, 9/4

⑨ 講演・対談 秋山仁

1. 二部数学概論, 『世界でも類を見ない奇跡の大学』, オンライン講義 (資料館), 4/17
 2. 玉川学園中・高校生授業, 『数学の考え方』, 数学体験館, 4/24
 3. 科学文化概論, 『世界でも類を見ない奇跡の大学』, オンライン講義 (資料館), 4/26
 4. KIOI STEAM LAB 『国際数学オリンピックとは?~2023年日本大会に向けて~』,
『IMO 日本初参加までの道程』, 『IMOの問題が難しい根拠』, 紀尾井カンファレン
ス, 6/26
 5. 朝日教育会議, 『不可能から可能へ~数学的思考で世界は変わる~』, 葛飾キャンパ
ス図書館大ホール, 9/11
 6. 教員免許更新講習, 『The grate teacher inspires』, オンライン (数学体験館), 9/13
 7. 東京都教職員研修 『数学体験館ってどんなところ?—数学的に考える資質・能力を育
成する指導の充実』, 水道橋研修センター, 9/24
-

-
8. オープンカレッジ, 『今日からあなたは算数マジシャン』, オンライン (セントラルプラザ・ラムラ), 9/25
 9. ハチラボワークショップ, 『身の回りには算数や数学がいっぱい』, 渋谷区文化総合センター, 10/3
 10. 秋山仁, 『科学技術コミュニケーションセミナー』, 理数教育研究センター, オンライン開催, 10/9
 11. 玉川学園陶板お披露目, 玉川学園 Consilience Hall 2020, 10/12
 12. ドルトン学園・玉川学園授業, 『数学体験館バーチャルツアー』, 数学体験館, 10/15
 13. 秋山仁, 『科学技術コミュニケーションセミナー』, 理数教育研究センター, オンライン開催, 11/13 (趣旨説明)
 14. 乳幼児 STEM 保育研究会・幼児教育講演, 『愛は自己肯定感を育み、ワクワクは探求心を培う～これからの STEM について～』, 昭和女子大学, 11/15
 15. 岡潔 WAVE 講演会, 『文明は数学によって切り拓かれてきた』, 数学体験館, 11/17
 16. 本巣市講演, 『算数・数学不思議探検隊』, 本巣市文化ホール, 11/27
 17. ホームカミングデー (こうよう会 HP) 講演, 『世界でも類を見ない奇跡の大学』, WEB 配信, 11/28
 18. 秋山仁, 『若者よ、世界に飛び出せ』, 理数教育研究センター, 12/19
 19. 特別対談&高校生のための代ゼミキャリア ch, 『数学と人生』, 数学体験館, 1/9
 20. 国立教育政策研究所 教育課程実践検証協力校 北区教育委員会 研究協力校 研究発表会, 『思考力を育む算数教育の意義と課題』, 北区立王子第 5 小学校, 1/14
 21. 津田塾同窓会主催数学情報勉強会, 『数学を通して、人類の平和と繁栄に貢献しよう—数学体験館とドミニカ共和国における数学教育支援』, Zoom (数学体験館), 1/22
 22. 日本橋西ロータリークラブ講演, 『数学の授業・発想の転換』, 数学体験館, 3/2
 23. 王子ロータリークラブ講演, 『四角い頭を丸くする。数学者の視点から思うこと』, 上野精養軒, 3/9
 24. オープンカレッジ, 『今日からあなたは算数マジシャン』, オンライン講義 (セントラルプラザ), 3/26

⑩ 社会的活動 秋山仁

1. ヨーロッパ科学アカデミー, フェロー
 2. 国際学術専門誌編集委員
 - Graphs and Combinatorics, Springer, Founding Editor
 - Journal of Indonesian Math Society, Editor
 - Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, Taru Publications, India, Editor
 3. IMO2023 日本大会 組織副委員長
 4. 客員教授 南開大学客員教授 (中国・天津), 山東海洋大学客員教授 (中国・青島)
 5. 第 23 回 JCDCG³ (計算・離散幾何学日本会議) 組織委員長
 6. 読売教育賞選考委員 (読売新聞社)
 7. 毎日自然科学観察コンクール (毎日新聞社) 審査委員
 8. (公益社団法人) 全国幼児教育研究協会 理事
-

-
9. (一般社団法人) 国際幼児教育振興協会 理事
 10. 駿台予備学校 顧問
 11. 所属学会 American Math Society, 日本数学会, 日本化学会
 12. 岐阜県本巣市まちづくり学術アドバイザー
 13. ドミニカ共和国数学教育支援
 14. 北海道数学コンテスト 顧問
 15. 新宿区・新宿区教育委員会主催 夏目漱石コンクール 選考委員

⑪ 取材

1. TV, 『ドミニカが秋山仁に“コロンブス勲章” — 数学の楽しさ普及 日本人が初受賞』, 7/2
2. 海外ニュース翻訳情報局, 『国際数学オリンピック、子どもの数学教育他』, 8/2
3. NHK 出版, NHK 俳句『漱石の早稲田・神楽坂』, 10/27
4. 編集プロダクション・ウィル, 金の星社『なんで勉強しなきゃいけないの?』, 9/15
5. 橋本市岡潔数学 WAVE・和歌山県内の高等学校向け無償配布教材映像コンテンツ「数学を語る」, 『①数学者岡潔について②現代の数学について』, 11/17

⑫ 動画

- ・科学文化概論『世界でも類を見ない奇跡の大学』 4/26
- ・朝日教育会議 2021『不可能から可能へ～数学的思考で世界は変わる』 9/11
- ・教員免許更新講習『The grate teacher inspires』 9/13
- ・ドミニカ共和国体験館『Experiencia Matematica Visita』 12/6

⑬ 広報関係

〔理大誌・WEB〕 秋山仁

1. 浩洋 No.68 4月号 p20-13
『二村記念館近代科学資料館リニューアル』館長 秋山仁
 2. 理窓 5月号 No.506 p4-5
『創立140周年 二村記念館近代科学資料館リニューアル』館長あいさつ
 3. 理教教育フォーラム 第34号 2021.6
『近代科学資料館リニューアルオープンと物理学校のDNA』
 4. TUS WEB 受賞, 東京理科大学 FACE Book, 6月24日
『本学特任副学長が、クリストバル・コロン勲章(クリストファーコロンブス騎士勲章)を受章』
 5. 東京理科大学報 Vol.222 2021.7
p8-11 『SPECISL TALK～秋山仁特任副学長と現役学生が語る東京理科大学に
流れ続けているもの』
P17 『本学特任副学長が、クリストバル・コロン勲章を受章』
 6. TUS イベント教育 7.28
[告知] 朝日教育会議 2021 に参加
 7. TUS Jornal SPECIAL TALK 140 Anniversary 7/29
-

-
- 『理科大の DNA とは。世代を超えた、理科大生たちの意見。』
8. TUS イベント&教育 8/10
第 14 回《算数／数学・授業の達人》大賞表彰式
 9. 理窓 2021.9 No.507 p24-25
大学トピックス『本学の学是、カリブの島に花開く』
 10. TUS イベント&教育 10/29
朝日教育会議 2021「不可能から可能へ～数学的思考で世界は変わる～」
9/11 開催報告
 11. 理数教育フォーラム 第 35 号 2021.10
『秋山仁 理数教育研究センター長が、クリストバル・コロン勲章を受章』
 12. 浩洋 No.70 2021.10 月号 p36
こうよう会 HP より配信 講演『世界でも類を見ない奇跡の大学』
 13. TUS イベント 10/11
第 1 回科学技術コミュニケーションセミナー「科学を社会に伝える」開催報告
 14. TUS ホームカミングデー冊子（オンライン開催ご案内）
p15 近代科学資料館 「受け継がれる理科大 DNA」
---近代科学資料館長秋山仁と学生の対談---
p21 奇跡の大学、東京理科大学
 15. TUS WEB ニュース（イベント・教育） 10/29
朝日教育会議 2021「不可能から可能へ～数学的思考で世界は変わる～」
9.11 開催報告
 16. TUS メディア 12/2
本学教員が選考委員を務める「読売教育賞」について読売新聞が紹介
 17. TUS イベント 12/7
2021 年度 第 14 回《算数/数学・授業の達人》大賞受賞者決定・授賞式を開催
 18. TUS 理数教育研究センター イベント WEB 12/22
研究会「若者よ、世界に飛び出せ！」（12/19）を開催しました！
 19. 理窓 2022.1 No.508 p6
『受け継がれる理科大 DNA』鼎談 近代科学資料館長 秋山仁×学生
 20. TUS ニュース&イベント 2/1
『本学 秋山 仁 栄誉教授の論説が「日刊工業新聞」に掲載』
 21. 理数教育フォーラム 第 37 号 2022.3
研究会「若者よ、世界に飛び出せ！」開催報告 秋山教授：「ドミニカ共和国における
数学普及活動」

[一般誌/その他]

- ・「全人」玉川学園教育情報誌 第 859 号 p14, 4/10
Consilience Hall 2020 竣工記念講和抄録「数学と芸術 未来を拓く」
- ・デジタルカメラ・マガジン 6 月（通巻 249 号）5/20, インプレス
『瞬間の顔』
- ・山岸伸『瞬間の顔』, Vol.13, PHOTO No.818, 山岸伸写真事務所

-
- ・朝日新聞 DIGITAL, ライブドアニュース, 6月24日
『秋山仁さんにドミニカ共和国が勲章 数学世界ビリ脱出へ』
 - ・信濃毎日新聞, 6月25日
『数学者・秋山さんに勲章』
 - ・毎日新聞, 6月28日
『ドミニカ共和国 秋山さんに勲章』
 - ・日刊工業新聞 7月1日, ライブドアニュース 7月3日
『楽しく学ぶ数学教育に勲章 東京理科大学・秋山氏 ドミニカから』
 - ・アンドレナバロ氏 ブログ 7月18日
『LAS MATEMÁTICAS DE AKIYAMA EN REPÚBLICA DOMINICANA Por Andrés Navarro』
 - ・論座 (朝日新聞 WEB), ライブドアニュース, 7月2日
『図らずもドミニカ共和国からコロンブス勲章』
 - ・ABEMA ニュース, ヤフーニュース, ライブドアニュース, 7月4日
『日本人数学者が“カリブの楽園”でマジックショー? “コロンブス勲章”を初受賞』
 - ・ニュースイッチ, 7月3日
『数学教育の貢献でドミニカから勲章! 東京理科大・秋山氏が揺さぶった人たち』
 - ・朝日新聞, 朝日デジタル, 7月6日
『数学教育に貢献、秋山仁さんに勲章 ドミニカ共和国』
 - ・朝日新聞 7月31日/8月4日/8月26日, 朝日新聞 EduA 8月8日
告知『朝日教育会議 2021—飛躍する未来へ—』
9.11「不可能から可能へ」～数学的思考で世界は変わる～
 - ・マネジメントスクエア No.380 ちばぎん総合研究所発行
『カリブの島国ドミニカ共和国と日本にできた新たな縁』
 - ・朝日新聞, 朝日新聞デジタル, 10月6日
朝日教育会議 『数学 森羅万象の謎解くカギ』
 - ・本巣市 HP 教育委員会 社会教育課「数学のまちづくり講演会」
秋山仁先生の「算数・数学不思議探検隊」, 11月27日
 - ・「全人」玉川学園教育情報誌 第866号 p10-11
特集 ESTEAM 教育の展望「四面体タイル定理デザインへの挑戦」 12/10
 - ・ヤフーニュース, 岐阜新聞 WEB, 12月22日
秋山仁さん「世界に不思議を感じる心が大切」数学の魅力伝える 世界的数学者・高木貞治の出身地本巣市
 - ・日刊工業新聞 1月31日
『STEAM 教育 “面白い” から入っていこう』
 - ・NHK テキスト NHK 俳句 2022.2月号 p13-19
特集・町を詠む「漱石の早稲田・神楽坂」
 - ・日刊工業新聞 21面 2月17日
レーザー『白髪で爆発』
 - ・日本経済新聞 地方経済面 静岡 2月17日
研究の面白さ伝える玩具 パズル愛好家や学校 評価
-

-
- ・SSH 研究開発実施報告書（第 4 年次 令和 4 年 3 月号）玉川学園高等部・中等部発行
p50「数学分野のクラブ活動の後押しも期待される」

加藤 圭一【理学部第一部数学科 教授】

① 学術論文

1. Representation of higher-order dispersive operators via short-time Fourier transform and its applications, 加藤圭一, 小林政晴, 伊藤真吾, 高橋直, Tohoku Journal of Math., 73 巻 pp 105-118, 2021 (査読有)
2. Hs wave front set for Schrödinger equations with sub-quadratic potential, 安部文人, 加藤圭一, SUT Journal of Math., 57 巻 pp 17-34, 2021(査読有)
3. Wave front set of solutions to Schrödinger equations with perturbed harmonic oscillators, 伊藤真吾, 加藤圭一, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 507 巻 125821, 17 pp., 2022(査読有)

② 招待講演

1. Construction of solutions to Schrödinger equations via wave packet transform, 加藤圭一, 13th International ISAAC Congress, Ghent, Belgium, 2021

③ 広報

1. 加藤圭一, 解析学と他分野との連携, 科学フォーラム, 2021

眞田 克典【理学部第一部数学科 教授】

① 学術論文

1. A Batalin-Vilkovisky structure on the complete cohomology ring of a Frobenius algebra, Tomohiro Itagaki, Katsunori Sanada, Satoshi Usui, Journal of Algebra, Volume 581(2021), 226-277 (査読有)

② 著書

1. 高校生の数学力 NOW XVI、
岡田憲治, 荻野大吾, 金森千春, 小林徹也, 眞田克典, 澤田利夫, 清水克彦, 鈴木清夫, 須田学, 新井田和人, 半田真, 牧下英世, 渡邊博史、
科学新興新社／フォーラム・A、2021 年 10 月

③ 学会活動

- 日本数学教育学会代議員

④ その他

東京理科大学教員免許更新講習「数学教育リフレッシュ講座」講師
SUT Journal of Mathematics 編集委員

清水 克彦【理学部第一部数学科 教授】

① 学術論文

1. 中島さち子, 田中香津生, 清水克彦, 山田浩平, 山羽教文. タグラグビーの学習指導計画の STEAM 化によるパフォーマンス向上 –小学校「体育」授業における算数・プログラミング的思考導入の効果–. スポーツパフォーマンス研究. 14 pp.45-59, 2022.3 (査読有)

② プロシーディングス

1. 松本昌也, 清水克彦. 高等学校理数探究基礎における実験数学を用いた数学研究方法の基礎的検討. 日本科学教育学会 第45回(鹿児島)年会論文集. 45 pp.317-320, 2021.8
2. 松本昌也, 清水克彦. 高等学校理数探究基礎における実験数学を用いた授業モデルの提案と授業実践–RLA と SRP に基づいた探究のモデルによる創造性の育成を目指して–. 日本数学教育学会第54回秋期大会発表集録. 54 pp.177-180, 2021.10 (査読有)
3. 松本昌也, 清水克彦. Google Colaboratory を用いた実験数学の教材開発 –Python で完全数・メルセンヌ数を探究する–. 数理解析研究所講究録 2208 「数学ソフトウェアとその効果的利用に関する研究」. (2208) pp.20-30, 2021.12
4. 藤川和哉, 清水克彦. CSCL 環境のための zoom での Jamboard の活用の検討. 日本教育工学会 2022 年春季全国大会(第40回大会)要旨集. 40 pp.323-324, 2022.3

③ 学会発表

1. Katsuhiko Shimizu, Chiharu Kanamori. Proposal for a Lesson Plan to Create a Video of Students Explaining a Math Problem that They Made. 14th International Congress on Mathematical Education. 2021.7.12~19
 2. 松本昌也, 清水克彦. 高等学校理数探究基礎における実験数学を用いた数学研究方法の基礎的検討. 日本科学教育学会 第45回(鹿児島)年会. 2021年8月20日
 3. 西森文香, 清水克彦. 算数・数学における系統性・連続性を踏まえたアプローチ-中1ギャップに対する現場の声から-. 第103回全国算数数学教育研究(埼玉)大会. 2021年8月22日
 4. 松本昌也, 清水克彦. Google Colaboratory を用いた実験数学教材の開発 –Python で完全数・メルセンヌ素数を探究する–. RIMS 共同研究(公開型)「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」. 2021年8月26日
 5. 松本昌也, 清水克彦. 高等学校理数探究基礎における実験数学を用いた授業モデルの提案と授業実践–RLA と SRP に基づいた探究のモデルによる創造性の育成を目指して–. 日本数学教育学会第54回秋期研究大会. 2021年10月31日
 6. 藤川和哉, 清水克彦. CSCL 環境のための zoom での Jamboard の活用の検討. 日
-

川村 康文【理学部第一部物理学科 教授】

① 学術論文

1. コロナ禍における ICT を活用した日中交流プログラム, 李子翥, 川村康文, 応用物理教育学会, 第 45 巻 2 号 pp 53-57,2021 (査読有)

② 著書

1. はじめてみよう STEAM 教育, 川村康文, 前田譲治, 小林尚美, オーム社 216
2021.4.23
2. 世界史探偵コナン 12 月面着陸の真実, 監修 川村康文, 小学館, 160, 2021.5.24
3. 韓国版イラスト&図解 知識ゼロでも楽しく読める! 物理のしくみ 韓国版, 監修
川村康文, 226, 2021.5.6
4. 読売中高生新聞【冷たくも温かくもできる「冷温庫」】掲載 2021.7.9
5. 物理の教養 365, 監修 川村康文, ニュートンプレス, 399, 2021.8.10
6. 読売中高生新聞【ウイルス対策にも! 空気清浄機の仕組み】掲載 2021.10.16
7. まるで魔法のような本当の話, 監修 川村康文, 株式会社くもん出版, 144, 2021.10.20
8. 世界は物理でできている (ニュートン新書), 監修 川村康文, ニュートンプレス, 300,
2021.12.17
9. もしも地球がひっくり返ったら: 科学のふしぎがわかる!, 監修 川村康文, 学研プ
ラス, 320, 2021.12.23

③ 招待講演 (学会発表)

1. 日本エネルギー環境教育学会「温水タワーすだれ 2021 太陽光を用いた簡易温水器
の開発」ZOOM 学会発表 2021.8.29
2. エネルギー環境教育シンポジウム「GIGA スクール構想」講演 2021.10.16
3. 昭和女子大学「これからの STEM について」講演 2021.11.15
4. WCPE 3RD WORLD CONFERENCE ON PHYSICS EDUCATION 2021 Hanoi,
VIETNAM 「Development of The Bicycle Power Generator for Energy and
Environmental Education」 ZOOM 学会発表 2021.12.16
5. 応用物理学会「かわむらメソッド~理科離れ? そうはさせない! 理科教育のあれこ
れ~」講演 2021.12.18

④ 広報

1. テレビ東京の「おはスタ」 2021.4.1
2. 日本テレビ「クイズあなたは小学 5 年生より賢いの?」 2021.4.23
3. なるみ・岡村の過ぎる TV 2021.4.26
4. NHK「すいエイサー」 2021.4.27
5. NHK 総合「チョコちゃんに叱られる」 2021.4.30

-
6. NHK「すいエイサー」 2021.5.1
 7. NHK 総合「チョコちゃんに叱られる」 2021.5.4
 8. 一般社団法人共同通信 Presto 2021.5.18
 9. 日本テレビ「THE 突破ファイル」 2021.6.17
 10. テレビ朝日 Qさま 2021.7.12
 11. NHK E テレ高校講座 ベーシックサイエンス
2021.8.3/8.4/8.5/8.6/8.7/8.9/8.10/8.11/8.16/8.17/8.18/8.19/8.20/8.23/8.24/8.26
 12. テレビ朝日 Qさま 2021.8.16
 13. 日本テレビ「ぐるぐるナインティナイン」 2021.8.19
 14. 日本テレビ「第41回全国高等学校クイズ選手権高校生クイズ2021」 2021.9.10
 15. テレビ東京「おはスタ」 2021.9.14
 16. 日本テレビ「クイズあなたは小学5年生より賢いの？」 2021.9.17
 17. テレビ朝日 SDGs 特番「地球バカー代」 2021.10.1
 18. 日本テレビ「一撃解明バラエティ ひと目でわかる！！」 2021.10.19
 19. NHK テレビ E テレ「すいエイサー」 2021.10.30
 20. 日本テレビ「一撃解明バラエティ ひと目でわかる！！」 2021.11.2
 21. NHK テレビ「世界は教科書でできている」 2021.11.3
 22. NHK テレビ「世界は教科書でできている」 2021.11.23
 23. NHK テレビ再放送は E テレで「世界は教科書でできている」 2021.11.23
 24. 日本テレビ「一撃解明バラエティ ひと目でわかる」 2021.12.7
 25. 読売中高生新聞にて【LEDの光と色の関係】について解説した記事 2021.12.11

⑤ その他（出前授業・実験教室）

1. パナソニックセンター東京 AkeruE【アケルエ】、STEAM 教育の記念講演 2021.4.3
 2. 墨田区立水神保育園 理科実験教室「偏光板のふしぎ」 2021.4.26
 3. 東芝未来科学館 科学実験教室「分光つつで省エネハウス」 2021.5.22
 4. 東京理科大学第一回オープンカレッジ「光のふしぎ」 2021.5.29
 5. 世田谷学園中学校理科授業「分光つつで省エネハウス」 2021.6.5
 6. パナソニックセンター東京 AkeruE「色が変わる水の実験」 2021.6.26-27
 7. 東京都立多摩科学技術高等学校「地球環境問題解決」 2021.7.16
 8. 東芝未来科学館 科学実験教室「リニアモーターカー実験」 2021.7.24
 9. トリニティこども教室 幼児のための理科実験教室「氷・浮力」 2021.7.26
 10. 令和3年度スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会 神戸会場 2021.8.4
 11. 令和3年度スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会 ZOOM 開催
2021.8.20
 12. NPO 法人つなぐ長門市「エネルギーに関する講義及び実験」 2021.11.7
 13. 京都府立桃山高校 SSH 理科授業「色素増感太陽電池」 2021.11.19
 14. 水神保育園 理科実験教室「酸性とアルカリ性の色変わり実験」 2021.11.26
 15. 星川こども園 理科実験教室「酸性とアルカリ性の色変わり実験」 2021.12.3
 16. 東京理科大学第二回オープンカレッジ「光のふしぎ」 2021.12.4
 17. 江戸川幼稚園第一回理科実験教室「分光つつで省エネハウス」 2021.12.22
-

-
18. ほっぺるランド新高保育園「偏光板のふしぎ」 2021.12.27
 19. 東芝未来科学館 科学実験教室「シャカシャカライト」 2022.1.22
 20. 江戸川幼稚園第二回理科実験教室「分光つつで省エネハウス」 2022.1.28
 21. 立教新座高等学校理科授業「サボニウス型風車」 2022.2.4
 22. 東京理科大学第三回オープンカレッジ「光のふしぎ」 2022.2.26
 23. 世田谷学園中学校理科授業「シャカシャカライト」 2022.3.5

井上 正之【理学部第一部化学科 教授】

① 学術論文

1. ブラックライト光による植物油の酸化と遮光の実験, 小林純也, 井上正之, 化学と教育, 69 巻, pp.390 - 393, 2021 年. (査読有)
2. 過マンガン酸カリウムによるトルエンの酸化 ―安息香酸の合成―, 井上正之, 理大 科学フォーラム, 424 巻, pp.58-59, 2021 年. (依頼原稿, 査読無)

② 著書

- ・新課程版 スクエア最新図説化学, 分担執筆 (監修), 第一学習社, 2021 年 1 月.
- ・高等学校 新化学基礎, 分担執筆, 第一学習社, 2021 年 2 月.
- ・高等学校 化学基礎, 分担執筆, 第一学習社, 2021 年 2 月.
- ・高等学校 科学と人間生活, 第一学習社, 2021 年 2 月.

③ 招待講演 (依頼講演)

1. 主体的・対話的な活動を取り入れた化学実験講座, 令和 3 年度 青森県高教研理科部会化学分科会, 2021 年 8 月. (オンライン)
2. 硝酸を担持したシリカゲルと硫酸を担持したシリカゲルを用いる化学実験, 神奈川県化学実験実習委員会講習会, 2021 年 10 月. (オンライン)

④ 学会発表

1. ホルムアルデヒドとポリビニルアルコールとの反応における塩化アルミニウムの作用機構, 井上正之, 立川雄一, 日本化学会第 102 春季年会, 2021 年 3 月 (口頭, オンライン)
2. ポリビニルアルコールのアセタール化実験の開発 ―ビニロンの合成と分析―, 立川雄一, 井上正之, 日本化学会第 102 春季年会, 2021 年 3 月 (口頭, オンライン)
3. 油脂の空気酸化における鉄 (III) 塩の触媒作用と酸化の防止, 佐山周, 井上正之, 日本化学会第 102 春季年会, 2021 年 3 月 (口頭, オンライン)
4. シリカゲル系脱水剤を用いたテルペン系アルコールの脱水, 四元一輝, 井上正之, 日本化学会第 102 春季年会, 2021 年 3 月 (ポスター, オンライン)
5. フェーリング液の還元によって生成する酸化銅 (I) の定量, 松原朱里, 井上正之, 日本化学会第 102 春季年会, 2021 年 3 月 (ポスター, オンライン)
6. 硫酸シリカゲルと硝酸シリカゲルを用いるニトロ化, 高谷颯, 井上正之, 日本化学

-
- 会第 102 春季年会, 2021 年 3 月 (ポスター, オンライン)
7. シリカゲル担持スルホン化剤を用いるポリスチレンのスルホン化, 鈴木涼太, 井上正之, 日本化学会第 102 春季年会, 2021 年 3 月 (ポスター, オンライン)

⑤ その他

1. オープンキャンパスにおける模擬授業 (8 月)
2. 高等学校への出張授業 (4 回)

瀬尾 隆【理学部第一部応用数学科 教授】

① 学術論文

1. Maximum likelihood estimators in growth curve model with monotone missing data, Ayaka Yagi, Takashi Seo, Yasunori Fujikoshi, American Journal of Mathematical and Management Sciences, 40 (2021), 1-16. (査読有)
2. Multivariate normality test based on kurtosis with two-step monotone missing data, Eri Kurita, Takashi Seo, Journal of Multivariate Analysis, 188(2022), 104824. (査読有)
3. Testing equality of two mean vectors with monotone incomplete data, Ayaka Yagi, Takashi Seo, Zofia Hanusz, to appear in Communications in Statistics-Simulation and Computation. (査読有)
4. Test for equality of standardized generalized variance with different dimensions under high-dimensional settings, Hiroki Watanabe, Masashi Hyodo, Takatoahi Sugiyama, Takashi Seo, to appear in Hiroshima Mathematical Journal. (査読有)

② 学会発表

1. 2-step 単調欠測データの下での分散共分散行列におけるスフェリシティ検定, 菊池 武生, 八木 文香, 瀬尾 隆, 応用統計学会, オンライン開催, 2021 年 5 月 15 日
 2. 2-step 単調欠測データの下での多変量尖度を用いた多変量正規性検定, 栗田 絵梨, 瀬尾 隆, 統計関連学会連合大会, オンライン開催, 2021 年 9 月 6 日
 3. 2-step 単調型欠測をもつ多変量尖度による多変量正規性検定統計量について, 栗田 絵梨, 瀬尾 隆, 日本数学会, 千葉大学 (オンライン開催), 2021 年 9 月 15 日
 4. 単調型欠測をもつ 2 つの平均ベクトルに対する同等性検定問題, 八木 文香, 瀬尾 隆, 日本計算機統計学会第 35 回シンポジウム, 慶應義塾大学 (ハイブリッド開催), 2021 年 11 月 27 日
 5. 2-step 単調欠測データにおける Mardia 型多変量標本尖度, 栗田 絵梨, 瀬尾 隆, 日本計算機統計学会第 35 回シンポジウム, 慶應義塾大学 (ハイブリッド開催), 2021 年 11 月 27 日
 6. A test statistic based on normalized transformation for multivariate sample kurtosis, Eri Kurita, Takashi Seo, Zofia Hanusz, IASC-ARS2022 (The 11th Conference of the IASC-ARS), Doshisya University, 2022 年 2 月 23 日
-

-
7. A Sample Measure of Mardia's Multivariate Kurtosis with Three-step Monotone Missing Data, 栗田 絵梨, 瀬尾 隆, 日本数学会, 埼玉大学, 2022年3月31日

伊藤 弘道【理学部第二部数学科 教授】

① 学術論文

1. Unique solvability of crack problem with time-dependent friction condition in linearized elastodynamic body, Hikomichi Itou, Takahito Kashiwabara, Mathematical notes of NEFU, Volume 28 (2021), pp. 121-134 (査読有)
2. Three-field mixed formulation of elasticity model nonlinear in the mean normal stress for the problem of non-penetrating cracks in bodies, Hikomichi Itou, Victor A. Kovtunenکو, Evgeny M. Rudoy, Applications in Engineering Science, Volume 7 (2021), 100060 (査読有)
3. On an Implicit Model Linear in Both Stress and Strain to Describe the Response of Porous Solids, Hikomichi Itou, Victor A. Kovtunenکو, Kumbakonam R. Rajagopal, Journal of Elasticity, Volume 144 (2021), pp. 107-118 (査読有)
4. Asymptotic Justification of the Models of Thin Inclusions in an Elastic Body in the Antiplane Shear Problem, E. M. Rudoy, H. Itou, N. P. Lazarev, Journal of Applied and Industrial Mathematics, Volume 15 (2021), pp. 129-140 (査読有)

② 招待講演

1. ある非線形（粘）弾性体モデルの数学解析, 伊藤弘道, 幾何学・連続体力学・情報科学の交差領域の探索(II), 2021年12月3日

③ 広報

1. 伊藤弘道, 逆問題の数理－解けない問題を解く－, 東京理科大学科学教養誌「科学フォーラム」425号, pp.12-15, 2021年10月

④ その他

1. アメリカ数学会 Mathematical Reviews の reviewer
2. 日本応用数理学会の令和3年度代表会員
3. 日本応用数理学会 JSIAM Letters の編集委員（論文担当）（英文担当）
4. 国際雑誌 Mathematical notes of NEFU の編集委員
5. 国際雑誌 Mathematical Inverse Problems の編集委員
6. 国際雑誌 Inverse Problems in Science and Engineering (IPSE)の編集委員
7. 国際雑誌 Applications in Engineering Science の編集委員

佐古 彰史【理学部第二部数学科 教授】

① 著書

1. “ゲージ理論・一般相対性理論のための微分幾何入門”
佐古彰史, 森北出版, pp339, 2021

② 論文

1. “(Co)Homology Groups and Categorized Eigenvalues”
Jumpei Gohara, Yuji Hirota, Keisui Ino, Akifumi Sako, Geometry, Integrability and Quantization vol23(2022) 59-74

③ 講演

1. “ポアソン代数の量子化の全体像とその逆問題”
佐古彰史, 離散的手法による場と時空のダイナミクス 2021, 京都
2. “複素 2 次元局所対称 Kähler 多様体の変数分離変形量子化”
奥田太夏, 佐古彰史, 日本数学会 2022 年度年会

佐藤 隆夫【理学部第二部数学科 教授】

① 学術論文

1. On the low dimensional cohomology groups of the IA-automorphism group of a free group of rank three, Takao Satoh, PROCEEDINGS OF THE EDINBURGH MATHEMATICAL SOCIETY, 64 pp 338-363, 2021 (査読有)
2. On the graded quotients of the SL_m -representation rings of groups, Takao Satoh, PACIFIC JOURNAL OF MATHEMATICS, 312 pp 477-504, 2021 (査読無)

② 招待講演

1. On twisted unstable cohomologies of automorphism groups of free groups, Takao Satoh, RIMS 研究集会「変換群論の新展開」, 京都大学数理解析研究所(via Zoom), 2021 年 5 月 26 日.
2. クラインのつぼをつくる?, 佐藤 隆夫, こうよう会福井県支部講演会, AOSSA (福井市地域交流プラザ), 2021 年 11 月 27 日.

宮岡 悦良【理学部第二部数学科 嘱託教授】

① 論文

1. 錦織 護直, 下川 朝有, 宮岡 悦良 (2021) “アンサンブル法に基づく異常値検知について”, 計算機統計学 (Bulletin of the Computational Statistics of Japan), 33 巻, 2 号, 77-80.

-
2. Saito T, Murakawa T, Shintani Y, Okami J, Miyaoka E, Yoshino I, Date H.(2021)
“Preoperative renal dysfunction and long-term survival after surgery for non-small cell lung cancer.” ,J Thorac Cardiovasc Surg.S0022-5223(21) 01311-8.
doi: 10.1016/j.jtcvs.2021.09.00

下川 朝有【理学部第二部数学科 講師】

① 学術論文

1. アンサンブル法に基づく異常値検知について, 錦織 護直, 下川 朝有, 宮岡 悦良,
計算機統計学 (Bulletin of the Computational Statistics of Japan), 2021, 33 卷(2)
77-90 (査読有)

赤倉 貴子【工学部情報工学科 教授】

① 学術論文

1. Automatic Evaluation of Learning Behaviors for Online Lectures by OpenPose,
Taisuke Kawamata, Takako Akakura, Proceedings of 2022 IEEE 4th Global
Conference on Life Sciences and Technologies, pp.391-392, 2022 (査読有)
2. リアルタイムで学習状態を博指導できるオンラインプログラミング教育システムの
開発,加納徹, 赤倉貴子, 工学教育, 70 卷, 2 号, pp.67-74, 2022 (査読有)
3. Development of Collaborative Chemistry Experiment Environment using VR,
Hisashi Fujiwara, Toru Kano, Takako Akakura, Lecture Notes in Computer
Science, 12766, Springer (HCII2021 Proceedings Part II), pp.14-26,2021 (査読
有)
4. Development of a Learning Support System for Electromagnetics Using Haptic
Devices, Konoki Tei, Toru Kano, Takako Akakura, Lecture Notes in Computer
Science, 12766, Springer (HCII2021 Proceedings Part II), pp.115-127,2021 (査
読有)
5. Features Analysis of a Patent Act Based on Legal Condition-Effect Structure:
Conversion of Law Texts into Logical Formulas for a Learning Support System,
Akihisa Tomita, Masashi Komatsu, Toru Kano, Takako Akakura, Lecture Notes
in Computer Science, 12766, Springer (HCII2021 Proceedings Part II),
pp.128-140,2021 (査読有)
6. Development and Evaluation of a Gaze Information Collection System in e-Testing
for Examinee Authentication, Toru Tokunaga, Toru Kano, Takako Akakura,
Lecture Notes in Computer Science, 12766, Springer (HCII2021 Proceedings Part
II), pp.455-167,2021 (査読有)
7. 適応的なオンラインコンテンツ提供のための顔画像と発声情報を用いた精神疲労の
推定, 川又泰介, 赤倉貴子, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.121, no.232, pp.37-42,

2021 (査読無)

8. ニューラル言語モデルと要件効果構造に基づく特許法の論理式への変換, 富田晟央, 加納徹, 赤倉貴子, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.121, no.232, pp.53-56, 2021 (査読無)
9. 視線分析によるデバッグ時の思考過程のモデル構築手法の提案, 吉森航平, 加納徹, 赤倉貴子, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.121, no.232, pp.47-52, 2021 (査読無)
10. 授業での VR コンテンツ作成支援システムの利用とその改良点の検討, 小山陸, 卯木輝彦, 加納徹, 赤倉貴子, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.121, no.232, pp.17-22, 2021 (査読無)
11. VR 利用の協働型化学実験環境下における危険学習システムの開発とその情報共有・意思疎通方法への応用, 藤原尚志, 加納徹, 赤倉貴子, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.121, no.232, pp.13-16, 2021 (査読無)
12. 力覚装置を用いた電磁気学学習支援システムの評価, 程子軒, 加納徹, 赤倉貴子, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.121, no.232, pp.7-12, 2021 (査読無)

② 著書

1. 「最新 教育課題解説ハンドブック (追録)」, 赤倉貴子, 「ICT の活用と教師の資質・能力の向上」, 「ICT 環境整備の在り方」執筆, ぎょうせい, pp.723-737, 2021
2. 「VR/AR 技術における感覚の提示、拡張技術と最新応用事例」, 赤倉貴子, 第 10 章 第 2 節「e ラーニングにおける孤独感解消のための VR システムの開発と評価」執筆, 技術情報協会, pp.512-523, 2021

③ 学会発表 (国際)

1. Automatic Evaluation of Learning Behaviors for Online Lectures by OpenPose, Taisuke Kawamata, Takako Akakura, The 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech 2022), 2022
 2. Features Analysis of a Patent Act Based on Legal Condition?Effect Structure: Conversion of Law Texts into Logical Formulas for a Learning Support System, Akihisa Tomita, Toru Kano, Takako Akakura, 23rd International Conference, HIMI 2021 Held as Part of HCI International 2021
 3. Development and Evaluation of a Gaze Information Collection System in e-Testing for Examinee Authentication, Toru Tokunaga, Toru Kano, Takako Akakura, 23rd International Conference, HIMI 2021 Held as Part of HCI International 2021
 4. Development of Collaborative Chemistry Experiment Environment using VR, Hisashi Fujiwara, Toru Kano, Takako Akakura, 23rd International Conference, HIMI 2021 Held as Part of HCI International 2021
 5. Development of a Learning Support System for Electromagnetics Using Haptic Devices, Konoki Tei, Toru Kano, Takako Akakura, 23rd International Conference, HIMI 2021 Held as Part of HCI International 2021
-

④ 学会発表（国内）

1. 力覚フィードバックを用いた電磁気学学習が効果的となる個人特性の分析, 程子軒, 加納徹, 赤倉貴子, 日本教育工学会 2022 年春季全国大会（第 40 回大会）講演論文集, pp.267-268, 2022
2. 知的財産法学習支援システムの使われ方と学習スタイルの関係, 赤倉貴子, 加納徹, 電子情報通信学会 2022 年総合大会講演論文集情報システム 1, p.109, 2022
3. Web カメラからの顔動画を用いた学習状態における疲労の推定, 先川原翔太, 加納徹, 赤倉貴子, 電子情報通信学会 2022 年総合大会講演論文集情報システム 1, p.97, 2022
4. 受講者の顔画像を用いた講義映像における注目箇所の自動検出, 川又泰介, 赤倉貴子, 電子情報通信学会 2022 年総合大会講演論文集情報システム 1, p.96, 2022
5. 仮想生徒アバターを見ながら作成できる VR コンテンツ作成支援システムの開発, 小山陸, 卯木輝彦, 加納徹, 赤倉貴子, 電子情報通信学会 2022 年総合大会ジュニア&学生ポスターセッション予稿集, p.154, 2022
6. 人物相関図を用いたパワーハラスメント問題についての判例の可視化, 田中奏一郎, 加納徹, 赤倉貴子, 電子情報通信学会 2022 年総合大会ジュニア&学生ポスターセッション予稿集, p.155, 2022
7. VR 利用の化学実験環境下における意思疎通及び協働的議論を支援するシステムの開発と評価, 藤原尚志, 加納徹, 赤倉貴子, 電子情報通信学会 2022 年総合大会ジュニア&学生ポスターセッション予稿集, p.156, 2022
8. 視線フィードバックを活用したデバッグプロセス学修支援の提案, 吉森航平, 加納徹, 赤倉貴子, 電子情報通信学会 2022 年総合大会ジュニア&学生ポスターセッション予稿集, p.153, 2022
9. 力覚フィードバックを用いた電磁気学学習支援システムでの知識定着効果の分析, 程子軒, 加納徹, 赤倉貴子, 情報処理学会第 84 回全国大会講演論文集, no.4, pp.641-642, 2022
10. X 線 CT 画像におけるメタルアーチファクト低減のためのサイノグラム構造に基づいた補間法と評価, 宮岡慧, 加納徹, 小関道彦, 赤倉貴子, 情報処理学会第 84 回全国大会講演論文集, no.2, pp.263-264, 2022
11. 教師が容易に VR 授業コンテンツを作成できる支援システムの開発, 小山陸, 卯木輝彦, 加納徹, 赤倉貴子, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会（第 39 回大会）講演論文集, pp.331-332, 2021
12. 視線行動に基づくプログラミング熟達者の思考過程モデルの提案, 吉森航平, 加納徹, 赤倉貴子, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会（第 39 回大会）講演論文集, pp.203-204, 2021
13. インストラクショナルデザインにもとづく力覚装置を用いた電磁気学学習支援システムの開発, 程子軒, 加納徹, 赤倉貴子, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会（第 39 回大会）講演論文集, pp.85-86, 2021
14. VR 機器を用いた協働型化学実験環境における危険の学習システム, 藤原尚志, 加納徹, 赤倉貴子, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会（第 39 回大会）講演論文集, pp.215-216, 2021

-
15. 特許法学習支援のための条文の並列構造分析, 富田晟央, 加納徹, 赤倉貴子, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会 (第 39 回大会) 講演論文集, pp.89-90, 2021
 16. X 線 CT 画像におけるメタルアーチファクト低減のためのサイノグラム補間法, 宮岡慧, 加納徹, 小関道彦, 赤倉貴子, 第 38 回センシングフォーラム計測部門大会 一般セッション予稿集, pp.116-120, 2021
 17. 歯科インプラント治療における AR 式サージカルガイドの開発 –複数の AR マーカによる位置情報精度を向上させる手法の調査–, 安黒翔, 竹林晃, 加納徹, 赤倉貴子, 第 38 回センシングフォーラム 計測部門大会 ポスターセッション予稿集, 1P1-16, 2021
 18. 歯科インプラント治療における AR 式サージカルガイドの開発 –マーカの認識精度を向上させる環境の調査–, 安黒翔, 加納徹, 竹林晃, 赤倉貴子, 第 26 回日本バーチャルリアリティ学会論文集, 2D1-4, 2021

⑤ 受賞

1. 電子情報通信学会教育工学研究会研究奨励賞. 上記, 学術論文 (11) (力覚装置を用いた電磁気学学習支援システムの評価, 程子軒, 加納徹, 赤倉貴子) で発表者・程子軒が受賞)
2. 電子情報通信学会 2022 年総合大会ジュニア&学生ポスターセッション特別賞 (協創). 上記, 学会発表 (国内) (5) (仮想生徒アバタを見ながら作成できる VR コンテンツ作成支援システムの開発, 小山陸, 卯木輝彦, 加納徹, 赤倉貴子) で発表者・小山陸が受賞

馬場 蔵人【理工学部数学科 講師】

① 学術論文

1. Kurando Baba, Osamu Ikawa, Atsumu Sasaki. A duality between non-compact semisimple symmetric pairs and commutative compact semisimple symmetric triads and its general theory. DIFFERENTIAL GEOMETRY AND ITS APPLICATIONS. 76,2021.6 (査読有)
2. Kurando Baba, Kenro Furutani, Calabi-Yau structure and Bargmann type transformation on the Cayley projective plane, accepted to Journal of the Mathematical Society of Japan, 2021.11 (査読有)

② 著作

1. 馬場蔵人, 群作用の幾何学-標準形理論を求めて-. 科学フォーラム. 38(4) pp.30-35, 2021 年 8 月

③ 学会発表

1. 馬場蔵人, Calabi-Yau structure and Bargmann type transformation on the Cayley projective plane, 東大数理・複素解析幾何セミナー, 2021 年 6 月 7 日

2. Kurando Baba, Double Satake diagrams and canonical forms for compact symmetric triads, 研究集会「Geometry of symmetric spaces and group actions」, 2022年2月18日

④ その他

Tokyo Journal of Mathematics の編集委員

松田 良一【理学研究科科学教育専攻 教授】

① 学会発表

日本科学教育学会年会（オンライン）8月21日
高等学校の理科4分野統合の必修科目を考える～生物教育の立場から
都築 功*1, 佐野 寛子*2, 宇田川 麻由*3, 松田 良一*

日本生物教育学会全国大会（オンライン）2022年1月9日（土）～10日（日）
ポスター「次期学習指導要領改定に向けた高等学校の4分野統合の必修理科科目の設置の検討」都築 功、松田良一
口頭発表「カンボジアの高校でのモバイル顕微鏡の活用」都築 功、松田良一

科学教育学会国際委員会 2021年10月2日

The virus is described poorly in the Current High School Biology Textbooks in Japan
TSUZUKI Isao*1, MATSUDA Ryoichi *1

② その他

松田良一
筋ジストロフィー発祥の判定法—研究で難病克服に挑む
TOSHIN TIMES (2022) 232-233

松田良一
東大立花ゼミの誕生秘話「二十歳のころ」を生み出した伝説のゼミはいかにして生まれたか
Web 論座 (2021) 8月14日

松田良一
立花さんを東大にお呼びした理由
ユリイカ (2021) 9月号 特集＝立花 隆-1941-2021

太田 尚孝【教養教育研究院神楽坂キャンパス教養部 教授】

① 学会発表

1. 柏木さと, 松橋歩, 松島賢吾, 内山純爾, 太田尚孝. *Synechocystis* sp. PCC 6803 の MsbA ホモログ Sll1276 の酸耐性機能の解析. 日本植物学会第 85 回大会. 2021 年 9 月 16 日~20 日
2. 安田奈那子, 松宮志保, 中原凌波, 石川春奈, 内山純爾, 太田尚孝. *Synechocystis* sp. PCC 6803 における sll0914 の酸性および高温ストレス応答機構の解析. 日本植物学会第 85 回大会. 2021 年 9 月 16 日~20 日
3. 鶴田大羽, 高橋晃一, 石川晴菜, 内山純爾, 太田尚孝. ホログラフィック顕微鏡によるシアノバクテリア *Synechocystis* sp. PCC6803 のバイオフィーム観察. 日本植物学会第 85 回大会. 2021 年 9 月 16 日~20 日
4. 掛川優佳, 中原凌波, 長谷川佳澄, 内山純爾, 太田尚孝. *Synechocystis* sp. PCC6803 の ArsR の様々なストレスへの応答機構の解明. 日本植物学会第 85 回大会. 2021 年 9 月 16 日~20 日
5. 長谷川佳澄, 掛川優佳, 内山純爾, 太田尚孝. *Synechocystis* sp. PCC6803 におけるアミノ酸デカルボキシラーゼの酸耐性機構への関与. 生物環境イノベーション研究部・公開シンポジウム. 2021 年 11 月 18 日
6. 掛川優佳, 中原凌波, 長谷川佳澄, 内山純爾, 太田尚孝. 酸性ストレス下における *Synechocystis* sp. PCC6803 の ArsR を介した活性酸素種除去機構の解明. 生物環境イノベーション研究部・公開シンポジウム. 2021 年 11 月 18 日
7. 掛川優佳, 中原凌波, 長谷川佳澄, 内山純爾, 太田尚孝. *Synechocystis* sp. PCC6803 の ArsR 欠損株における酸性ストレス下でのフィコビリソーム遺伝子群の転写解析. 第 44 回日本分子生物学会年会. 2021 年 12 月 1 日~3 日
8. 柏木さと, 松橋歩, 松島賢吾, 内山純爾, 太田尚孝. *Synechocystis* sp. PCC 6803 の MsbA ホモログ Sll1276 の温度ストレス耐性機構の解析. 第 44 回日本分子生物学会年会. 2021 年 12 月 1 日~3 日
9. 鶴田大羽, 高橋晃一, 石川晴菜, 内山純爾, 太田尚孝. シアノバクテリア *Synechocystis* sp. PCC6803 のバイオフィーム形成における Sll1951 の関与. 第 44 回日本分子生物学会年会. 2021 年 12 月 1 日~3 日
10. 掛川優佳, 中原凌波, 内山純爾, 太田尚孝. *Synechocystis* sp. PCC6803 の活性酸素種分解に関与する遺伝子の変異株がストレス耐性へ及ぼす影響. 第 16 回日本ゲノム微生物学会年会. 2022 年 3 月 2 日~4 日
11. 柏木さと, 松橋歩, 松島賢吾, 内山純爾, 太田尚孝. *Synechocystis* sp. PCC6803 の Slr2019 および Sll1276 は、大腸菌の LipidA フリッパーゼ (MsbA) の機能を相補する. 第 16 回日本ゲノム微生物学会年会. 2022 年 3 月 2 日~4 日
12. 掛川優佳, 中原凌波, 内山純爾, 太田尚孝. *Synechocystis* sp. PCC6803 の ArsR は活性酸素種の除去機構に関係している. 第 63 回日本植物生理学会. 2022 年 3 月 22 日~24 日
13. 柏木さと, 松橋歩, 松島賢吾, 内山純爾, 太田尚孝. *Synechocystis* sp. PCC6803 の MsbA ホモログの構造比較. 第 63 回日本植物生理学会. 2022 年 3 月 22 日~24 日

武村 政春【教養教育研究院神楽坂キャンパス教養部 教授】

① 学術論文

1. 特定外来生物「クビアカツヤカミキリ」を題材とした授業実践と防除対策ーサクラ被害マップの作製と活用. 倉林正, 深谷将, 高橋瑛人, **武村政春**. 生物教育 in press.
2. RNA-seq of medusavirus suggests remodeling of the host nuclear environment at an early infection stage. Ruixuan Zhang, Hisashi Endo, **Masaharu Takemura**, and Hiroyuki Ogata. Microbiol. Spectrum 9, e00064-21, 2021.
3. Kinetic analysis of Acanthamoeba castellanii infected with giant viruses quantitatively revealed process of morphological and behavioral changes in host cells. Sho Fukaya and **Masaharu Takemura**. Microbiol. Spectrum 9, e00368-21, 2021.
4. Sinking of four species of living diatom cells directly observed by a “tumbled” optical microscope. Ryo Hamano, Shingo Shoumura, Yuto Takeda, Tokio Yamazaki, Kota Hirayama, Yasutaka Hanada, Shigeki Mayama, **Masaharu Takemura**, Han-Jia Lin, and Kazuo Umemura. Microscopy and Microanalysis. doi.org/10.1017/S1431927621012150, 2021.
5. Morphological and taxonomic properties of the newly isolated Cotonvirus japonicus, a new lineage of the subfamily Megavirinae. Haruna Takahashi, Sho Fukaya, Chihong Song, Kazuyoshi Murata, **Masaharu Takemura**. J. Virol. 18, e00919-21, 2021.
6. GIS を活用した地理と生物の教科間連携授業の開発と実践ーサクラマップの作製とその分析を通してー. 倉林正, 高橋瑛人, 深谷将, **武村政春**. 新地理 69, 54-68, 2021.
7. Draft genome sequence of Pandoravirus japonicus isolated from the Sabaishi River, Niigata, Japan. Nao Hosokawa, Haruna Takahashi, Keita Aoki, and **Masaharu Takemura**. Microbiol. Resources Announc. 10, e00365-21, 2021.
8. Marseilleviridae Lineage B Diversity and Bunch Formation Inhibited by Galactose. Keita Aoki, Sho Fukaya, Haruna Takahashi, Mio Kobayashi, Kenta Sasaki, **Masaharu Takemura**. Microbes and Environments 36, e ME20139, 2021.
9. 「遺伝子とその働き」の理解を目指したパフォーマンス課題の検討. 内山智枝子, **武村政春**. 生物教育 62, 66-74, 2021.
10. Draft Genome Sequence of Medusavirus Stheno, Isolated from the Tatakai River of Uji, Japan. Koki Yoshida, Ruixuan Zhang, Kimberly G. Garcia, Hisashi Endo, Yasuhiro Gotoh, Tetsuya Hayashi, **Masaharu Takemura**, Hiroyuki Ogata. Microbiol. Resources Announc. 10, e01323-20, 2021.

② 著書

1. ベーシック生物学 (増補改訂版). **武村政春**. 裳華房, 2021.4.
2. ウイルスはささやく. **武村政春**. 春秋社, 2021.3.

③ 招待講演

1. ○武村政春. 最新の生物学における研究の動向について. 東京都令和 3 年度専門性向上研修, オンライン, 2021.9.28.
2. ○武村政春. 巨大ウイルスから「ウイルスとは何か」を紐解く. 第 40 回サイテックサロン, オンライン, 2021.6.26.
3. ○武村政春. 巨大ウイルス～ウイルスと生物の境界を突き崩す存在. 第 7 回 Nichidai サイエンスカフェ (札幌日大高等学校), オンライン, 2021.5.14.
4. ○武村政春. 巨大ウイルス研究から見えるウイルスと生物の大切な関係. 東京理科大学こうよう会東京都支部 WEB 講演会, オンライン, 2021.3.28.
5. ○武村政春. ウイルスとかけて妖怪と解く. 筑駒理科 SSH 講演会, オンライン, 2021.2.19.

④ その他

1. (TV 番組監修) BS 世界のドキュメンタリー「新型コロナワクチン開発競争の舞台裏」(前後編), 2021.9.30~10.1.
2. (TV 出演) NHK BS1 スペシャル「ウイルスハント タイムラプス」. 2021.3.27.
3. (TV 出演) NHK BS プレミアム「ヒューマニエンス」第 12 回「ウイルス それは“悪魔”か“天使”か」. 2021.2.11.
4. (新聞取材) ウイルスの変異なぜ起こる. 朝日小学生新聞, 2021 年 2 月 3 日

渡辺 雄貴【教育支援機構教職教育センター 教授】

① 学術論文

1. Development of an Effective and Engaging Instructional Design and Technology Course, Kento NAKAMURA, Tadashi MISONO, Yuki WATANABE, International Journal for Educational Media and Technology, 15 巻 1 号, pp. 81-94, 2021 (査読有)
 2. Factors Affecting University Students' At-home Learning during the COVID-19 Pandemic, Takeshi Matsuda, Yuki Watanabe, Katsusuke Shigeta, Nobuhiko Kondo, Hiroshi Kato, International Journal for Educational Media and Technology, 15 巻 1 号, pp.48-70, 2021 (査読有)
 3. An Approach for Academic Success Predictive Modeling based on Multi-objective Genetic Algorithm, Nobuhiko Kondo, Takeshi Matsuda, Yuji Hayashi, Hideya Matsukawa, Mio Tsubakimoto, Yuki Watanabe, Shinji Tateishi, Hideaki Yamashita, International Journal of Institutional Research and Management, 5 巻 1 号, pp.31-49, 2021 (査読有)
 4. 高校生の数学的問題解決方略使用を促す授業外学習教材の開発, 橋本佳蓉子, 渡辺雄貴, 日本教育工学会論文誌, 45 巻, Suppl.号, pp.137-140, 2021 (査読有)
 5. 同期遠隔授業における生徒の協同作業に対する認識の変容, 島智彦, 渡辺雄貴, 伊藤稔, 教育メディア研究, 28 巻 1 号, pp.59-72, 2021 (査読有)
-

② 予稿・口頭発表

1. Evaluation of a Sequential Feedback System to Promote Nudge Among Learners and Support Learning Strategies, Kondo, T., Yokoyama, K., Misono, T., Inaba, R., & Watanabe, Y., 44rd Annual AECT Proceedings, pp.96-105, 2021 (査読有)
 2. Investigation of Psychological and Environmental Factors that Influence Assignments Completion, Rie, M., & Watanabe, Y., 44rd Annual AECT Proceedings, pp.162-171, 2021 (査読有)
 3. Effects of a Problem-solving Framework Based on Engineering Design of Japanese High School Students, Tamaki, K., & Watanabe, Y., 44rd Annual AECT Proceedings, pp.227-236, 2021 (査読有)
 4. A Junior High School Science Teachers' Attitude Survey of Active Learning Classrooms in Science, Yano, S., Watanabe, Y. & Okiharu, F., International Conference for Media in Education 2021 Conference Program and Proceedings, pp.181-182, 2021 (査読有)
 5. Effectiveness of an Interface That Facilitates Nudge to Improve Note-Taking Strategies, Kondo, T., Yokoyama, K., Misono, T., Inaba, R., & Watanabe, Y., International Conference for Media in Education 2021 Conference Program and Proceedings, pp.165-166, 2021 (査読有)
 6. Transformation of Students: Problem-Solving Instruction Based on Engineering Design, Tamaki, K., & Watanabe, Y., International Conference for Media in Education 2021 Conference Program and Proceedings, pp.177-178, 2021 (査読有)
 7. How to Support Students in Implementation of Assignments, Matsuoka, R., & Watanabe, Y., International Conference for Media in Education 2021 Conference Program and Proceedings, pp.163-164, 2021 (査読有)
 8. Nudge for Note Taking Assist System:A Learning Strategy Feedback System Among Learners Through Their Tablet. Kondo, T., Yokoyama, K., Misono, T., Inaba, R., & Watanabe, Y., 23rd International Conference on Human-Computer Interaction Proceedings Part 1, pp.315-331, 2021 (査読有)
 9. Suggestions for Improving High School Students' Mathematical Explanation Skills, Komachi, M., & Watanabe, Y. , International Conference for Media in Education 2021 Conference Program and Proceedings, pp.138-139, 2021 (査読有)
 10. The Learning Strategy Classification for Learning Goals in High School Mathematics, Jitsukawa, H., & Watanabe, Y., International Conference for Media in Education 2021 Conference Program and Proceedings, pp.179-180, 2021 (査読有)
 11. 学習方略使用支援システムによる学習状況の可視化が共同体意識に与える影響, 近藤孝樹, 横山喬一, 御園真史, 稲葉利江子, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2022 年春季全国大会講演論文集, pp.285-286, 2022 (査読無)
 12. 中学校理科におけるアクティブラーニングを促す学習環境デザイン, 矢野翔太, 興治文子, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2022 年春季全国大会講演論文集, pp.315-316, 2022 (査読無)
-

-
13. 数学科教職課程学生の授業設計に影響を与える TPACK と数学教授不安感の要因特定, 中村謙斗, 御園真史, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2022 年春季全国大会講演論文集, pp.373-374, 2022 (査読無)
 14. 高等学校数学科学習動機づけを高める授業設計の提案, 依田文一, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2022 年春季全国大会講演論文集, pp.105-106, 2022 (査読無)
 15. 数学の授業内における説明活動を支援するパターン・ランゲージの開発方針の検討, 小町昌輝, 大浦弘樹, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会講演論文集, pp.515-516, 2021 (査読無)
 16. 高等学校数学科における学習方略習得のための KBCP フレームワークを用いた授業設計の検討, 實川裕斗, 大浦弘樹, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会講演論文集, pp.231-232, 2021 (査読無)
 17. 高等学校数学科における CAT 学習支援システムの設計要件, 加納勇輝, 大浦弘樹, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会講演論文集, pp.323-324, 2021 (査読無)
 18. 中等教育数学科において数学的活動に影響を与える mAR の構成要素の技術的な要件の検討, 細野梓, 大浦弘樹, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会講演論文集, pp.457-458, 2021 (査読無)
 19. 大規模データに基づいた授業評価の自由記述分類モデルの開発, 松河秀哉, 大山牧子, 根岸千悠, 村上正行, 川面きよ, 渡辺雄貴, 江本理恵, 富永陽子, 串本剛, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会講演論文集, pp.15-16, 2021 (査読無)
 20. 退院支援看護師の実践状況と実践能力 ―退院支援部門担当と病棟担当の全国調査結果の比較―, 戸村ひかり, 永田智子, 清水準一, 島田恵, 渡辺雄貴, 第 26 回日本在宅ケア学会学術集会, 2021 (査読無)

③ 講演

1. IRT を用いた学修到達度測定の Web テストー東京理科大学教育 DX の取り組み, 情報メディア教育研究センターシンポジウム 2022 教育におけるデジタル・トランスフォーメーション, 講演, オンライン, 2021
2. デジタルトランスフォーメーションと学びのこれからのカタチ～大学における議論を中心に～, New Education Expo 2021 講演, 東京, 2021
3. デジタルトランスフォーメーションと学びのこれからのカタチ～大学における議論を中心に～, New Education Expo 2021 講演, 大阪, 2021
4. オンライン授業を効果的にする 7 つの方法, IEEE Asia Pacific Region 10 Japan の主催する, Engineer Spotlight ウェビナーシリーズ, 講演, オンライン, 2021

④ 広報

1. 渡辺雄貴, デジタル教科書「利点と課題は」, 北海道新聞, 2021 年 7 月 14 日

⑤ 受賞

1. Takaki Kondo, Yuki Watanabe, Young Scholar Award, International Conference for Media in Education, 2021

-
2. Shota Yano, Yuki Watanabe, Fumiko Okiharum, Young Scholar Award, International Conference for Media in Education, 2021

伊藤 稔【教育支援機構教職教育センター 嘱託教授】

① 国際学会発表

- ・ Minoru Itoh and Tomohiko Shima, 'A Class for Conceptualizing Lagranges Four-Square Theorem (by Plotting Natural Number Squares on A Two-Dimensional lattice Planet)' (ICME 14;世界数学教育国際会議 : The 14th International Congress on Mathematical Education TSG-37 : Research on classroom practice at secondary level, 1-4 頁 (2021 年 7 月、ZOOM開催)

② 社会活動

- ・ 伊藤稔、東京理科大学オープンカレッジ (「折り紙の数理」2022 年 1 月 23 日、参加者は、小学 1 年生から 6 年生までの親子 28 名ほど)
- ・ 伊藤稔、野田市立みずき小学校への出前授業 (「凧あげの不思議」2021 年 12 月 1 日、参加者は、小学 1 年生全 4 クラス 140 名ほど)
- ・ 伊藤稔、宝仙学園への ZOOM 出前授業 (「数理科学の面白さ」2021 年 9 月 25 日、参加者は、高校 1 年生 75 名ほど、)
- ・ 伊藤稔、東京理科大学オープンカレッジ (「電気の性質と面白さ」2021 年 6 月 27 日、参加者は、小学 1 年生から 6 年生までの親子 30 名ほど)

③ 数学教育に関する研究発表等

- ・ 伊藤稔、東京理科大学数学教育研究会理数研ゼミ (2021 年 11 月 27 日、ZOOM開催)
- ・ 伊藤稔、東京理科大学数学教育研究会理数研ゼミ (2021 年 10 月 30 日、ZOOM開催)
- ・ 伊藤稔、東京理科大学数学教育研究会理数研ゼミ (2021 年 9 月 25 日、ZOOM開催)

④ その他

2021 年度 千葉県社会福祉法人「青葉会」評議員

2021 年度 千葉県野田市教育委員会教育長職務代理者

2021 年度 一般社団法人「カンボジア子ども基金きぼう」代表理事

大浦 弘樹【教育支援機構教職教育センター 准教授】

① 学会発表

1. 高等学校数学科における学習方略習得のための KBCP フレームワークを用いた授業設計の検討, 實川裕斗, 大浦弘樹, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会, 2021 年 10 月 16 日
2. 高等学校数学科における反転授業の事前学習課題実施に影響する要因に関する調査

方針, 松岡里衣, 大浦弘樹, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会, 2021 年 10 月 17 日

3. 中等教育数学科において数学的活動に影響を与える mAR の構成要素の技術的な要件の検討, 細野梓, 大浦弘樹, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会, 2021 年 10 月 17 日
4. 数学の授業内における説明活動を支援するパターン・ランゲージの開発方針の検討, 小町昌輝, 大浦弘樹, 渡辺雄貴, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会, 2021 年 10 月 17 日
5. 心理的価値に対する個人 EPA の影響および視聴行動との関係, 伏木田稚子, 大浦弘樹, 吉川遼, 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会, 2021 年 10 月 17 日

② 受賞

1. 伏木田稚子, 大浦弘樹, 吉川遼, 第 35 回論文賞, 日本教育工学会, 2021 年 10 月 16 日

興治 文子【教育支援機構教職教育センター 准教授】

① 論文

1. 興治文子, 小林昭三, わが国初の簡易実験ブームと『小学校生徒用物理書』使用実績, 物理教育, 69(3) pp.137-144, 2021 (査読有) .
2. Fumiko Okiharu, Science Education in Japanese Schools in the Late 1880s as Reflected in Students' Notes, Accessing Technical Education in Modern Japan, Vol.1 (2022) 347-389 (査読有).
3. Shota Yano, Yuki Watanabe, Fumiko Okiharu, A Junior High School Science Teachers' Attitude Survey of Active Learning Classrooms in Science, International Conference for Media in Education 2021 Conference Program and Proceedings, 181-182 (2021) (査読有).

② Proceedings

1. Ryunosuke Ozaki, Hiromi Matsuoka, Fumiko Okiharu. Current state of inquiry activities and issues to be explored in the analysis of experimental reports. Proceedings of International Conference on Technology and Social Science 2020 (ICTSS2020). 2021.6 (査読有)
2. Kyoko Ishii, Masako Tanemura, Fumiko Okiharu, Haruka Onishi, Naoshi Takahashi. Simple and Beautiful Experiments XII by LADY CATS and Science Teachers Group -in the memory of KAWAKATSU. Proceedings of GIREP-ICPE-EPEC-MPTL 2019 conference, Journal of Physics: Conference Series. 2021.6 (査読有)
3. Hiromi Matsuoka, Ryunosuke Ozaki, Fumiko Okiharu, Yamato Hasegawa. Can simple harmonic oscillation simulations help learners to understand graphs?.

Proceedings of International Conference on Technology and Social Science 2020 (ICTSS2020). 2021.6 (査読有)

4. Yamato Hasegawa, Hiromi Matsuoka, Ryunosuke Ozaki, Fumiko Okiharu. Application of wave simulations in distance education. Proceedings of International Conference on Technology and Social Science 2020 (ICTSS2020). 2021.6 (査読有)
5. Shota Yano, Yuki Watanabe, Fumiko Okiharu. A Junior High School Science Teachers' Attitude Survey of Active Learning Classrooms in Science. International Conference for Media in Education 2021 Conference Program and Proceedings. 2021.8 (査読有)

③ 著作

1. 興治文子. 未来の教室と学びの最適化. 理科教室. 64(6) pp.92-93, 2021年6月
2. 小林昭三、興治文子. Grafの浮力背理と流体圧力をめぐる能動的深い学び -明治期授業の解説による-. 2021PC CONFERENCE 論文集. pp.189-192, 2021年8月
3. 興治文子、松岡広海、尾崎龍之介、中村公亮、長谷川大和、小林昭三. 単振動におけるグラフ理解に関する一考察. 2021PC CONFERENCE 論文集. pp.185-188, 2021年8月
4. 興治文子. 生徒の自己肯定感・自己有用感を育む理科の授業づくり 第1回プログラムの概要と調査. 理科教育ニュース (少年写真新聞) . 1150号 pp.6-7, 2021年10月
5. 興治文子. 幼保一元化の動向と保育園での理科教育. 理科教室. 64(10) pp.94-95, 2021年10月
6. 興治文子. 生徒の自己肯定感・自己有用感を育む理科の授業づくり 第2回理科の授業実践を通しての指導法開発. 理科教育ニュース (少年写真新聞) . 1153号 pp.6-7, 2021年11月

④ 学会発表

1. 小林昭三、興治文子、久松洋二. 小川正孝講義の物理学筆記で読み解く明治期物理教育の実相と史的教訓. 日本科学史学会第68回年会. 2021年5月22日
2. 長谷川大和、遠藤霞、尾崎龍之介、松岡広海、中村公亮、興治文子. 屈折率の測定 -多様表現や振り返りとしてのPhETの有効性. 2021年度日本物理教育学会年会第37回物理教育研究大会. 2021年8月10日~11日
3. 尾崎龍之介、中村公亮、長谷川大和、興治文子. 物理現象を式で理解することに困難を感じる高校生を対象とした多様表現導入の試み. 2021年度日本物理教育学会年会第37回物理教育研究大会. 2021年8月10日~11日
4. 松岡広海、長谷川大和、右近修治、興治文子. 大学生の単振動に関する事前調査からみるグラフ理解とその困難. 2021年度日本物理教育学会年会第37回物理教育研究大会. 2021年8月10日~11日
5. 小林昭三、興治文子、久松洋二. 小川正孝講義の物理学筆記で読み解く明治期科学教育の実相と史的教訓 (アジア人初の新元素発見者による科学教育研究貢献の意

-
- 義・役割・教訓 その 1). 日本リメディアル教育学会第 16 回全国大会. 2021 年 8 月 18 日～20 日
6. 興治文子、小林昭三、久松洋二. デジタル化時代に再考する小川正孝・櫻井房記による明治期の科学教育の実態 (アジア人初の新元素発見者による科学教育研究貢献の意義・役割・教訓 その 2). 日本リメディアル教育学会第 16 回全国大会. 2021 年 8 月 18 日～20 日
 7. 久松洋二、小林昭三、興治文子. 小川正孝による明治期の科学教育の一事例 (アジア人初の新元素発見者による科学教育研究貢献の意義・役割・教訓その 3). 日本リメディアル教育学会第 16 回全国大会. 2021 年 8 月 18 日～20 日
 8. 興治文子、松岡広海、尾崎龍之介、中村公亮、長谷川大和、小林昭三. 単振動におけるグラフ理解に関する一考察. 2021PC カンファレンス. 2021 年 8 月 20 日～23 日
 9. 小林昭三、興治文子. Graf の浮力背理と流体圧力をめぐる能動的深い学び-明治期授業の解説による-. 2021PC カンファレンス. 2021 年 8 月 20 日～23 日
 10. 小林昭三、興治文子. 流体圧に潜む浮力背理を氷解する能動的深い学び-明治物理筆記と E.H.Graf の浮力背理との対比から-. 日本物理学会 2021 年秋季大会. 2021 年 9 月 20 日～23 日
 11. 興治文子、長谷川大和、小林昭三. 大学初年次物理における授業外運動分析ソフトの利用とその効果. 日本物理学会 2021 年秋季大会. 2021 年 9 月 20 日～23 日
 12. 東辻浩夫、中屋敷勉、栗原進、上杉智子、大原仁、岡部豊、興治文子、金子朋史、杉山忠男、田中忠芳、波田野彰、吉岡大二郎、松本益明、鈴木功、安藤静敏、毛塚博史、近藤泰洋、呉屋博、佐藤誠、真梶克彦、並木雅俊、長谷川修司、光岡薫、小宮山智浩、渡邊明大. 第 51 回国際物理オリンピック 2021(リトアニア,オンライン)報告. 日本物理学会 2021 年秋季大会. 2021 年 9 月 20 日～23 日
 13. 矢野翔太、渡辺雄貴、興治文子. 中学校理科教員を対象としたアクティブラーニングを促進する理科室に関する調査. 日本教育工学会 2021 年秋季全国大会(第 39 回大会). 2021 年 10 月 16 日
 14. Kosuke Nakamura, Hiromi Matsuoka, Ryunosuke Ozaki, Yamato Hasegawa, Fumiko Okiharu. Teaching material for the visualization of the Lorentz force with an awareness of the connection between junior and senior high school science. International Conference on Technology and Social Science 2021. 2021.12.7～9
 15. Yamato Hasegawa, Kasumi Endo, Ryunosuke Ozaki, Hiromi Matsuoka, Kosuke Nakamura, Shuji Ukon, Fumiko Okiharu. Measurement of the Refractive Index with PhET. 3rd World Conference on Physics Education. 2021.12.13～16
 16. Hitoshi Katsuda, Hideo Nitta, Haruko Uematsu, Ruita Nishimura, Michi Ishimoto, Shuji Ukon, Fumiko Okiharu, Jun-ichiro Yasuda, Akihito Imai, Asako Kariya, Akihiro Shimizu, Kenya Nagakura, Kenta Hiramoto, Kai Eto, Gaku Yamamoto, So-ichiro Ogata. Development of Concept Inventories fitting Japanese High School Physics I. 3rd World Conference on Physics Education. 2021.12.13～16
-

-
17. Ryunosuke Ozaki, Kosuke Nakamura, Yamato Hasegawa, Fumiko Okiharu. Survey of Newton Mechanics Conceptual Consistency using Multiple Representations for High School Students. 3rd World Conference on Physics Education. 2021.12.13~16
 18. Ruita Nishimura, Hideo Nitta, Haruko Uematsu, Hitoshi Katsuda, Michi Ishimoto, Shuji Ukon, Fumiko Okiharu, Jun-ichiro Yasuda, Akihito Imai, Asako Kariya, Akihiro Shimizu, Kenya Nagakura, Kenta Hiramoto, Kai Eto, Gaku Yamamoto, So-ichiro Ogata. Development of Concept Inventories fitting Japanese High School Physics II. 3rd World Conference on Physics Education. 2021.12.13~16
 19. Fumiko Okiharu, Hiromi Matsuoka, Yamato Hasegawa, Shuji Ukon, Akizo Kobayashi. Graph Comprehension of Simple Harmonic Motion and Understanding among Japanese University Students. 3rd World Conference on Physics Education. 2021.12.13~16
 20. Akizo Kobayashi, Fumiko Okiharu. Active Learning on Paradoxical Phenomena in the Fluid Pressure. 3rd World Conference on Physics Education. 2021.12.13~16
 21. 小林昭三、興治文子. 小川正孝や中国四国九州の明治期物理化学筆記で読み解く日欧米科学教育の実相と教訓. 日本物理学会第77回年次大会. 2022年3月15日~19日

⑤ 広報活動

1. 科学技術コミュニケーションセミナー第2回, オンライン, 2021年11月13日.

⑥ 受賞 (指導学生の受賞)

1. Shota Yano, Yuki Watanabe, Fumiko Okiharu, Yong Scholar Award, International Conference Media in Education 2021, (2021).
2. Kosuke Nakamura, Hiromi Matsuoka, Ryunosuke Ozaki, Yamato Hasegawa, Fumiko Okiharu, Best student paper award, International conference on technology and social science 2021, (2021).

⑦ その他

1. 新潟県立新発田高等学校 SSH 運営指導員
 2. 公益社団法人 物理オリンピック日本委員会 副理事長
 3. コンピュータ利用教育学会 副会長理事
 4. 日本物理教育学会 理事
 5. 日本物理学会「大学の物理教育」編集委員
 6. 日本物理学会 代議員
 7. 千葉県児童生徒・教職員科学作品展 審査委員
 8. 東京都葛飾区教員研修 東京理科大学連携特別講座「授業力向上研修会」, 小中学校の教員対象, 2022年1月12日.
-

矢部 博【データサイエンスセンター 教授】

① 学術論文

1. Shummin Nakayama, Yasushi Narushima, Hiroaki Nishio and Hiroshi Yabe, An active-set memoryless quasi-Newton method based on a spectral-scaling Broyden family for bound constrained optimization, *Results in Control and Optimization*, 3 (2021), 100012. (doi: 10.1016/j.rico.2021.100012) (査読あり)
2. Hiroaki Nishio, Shummin Nakayama, Yasushi Narushima and Hiroshi Yabe, A globally convergent active-set memoryless quasi-Newton method based on spectral-scaling Broyden family for bound constrained optimization, *Proceedings of the International Conference on Nonlinear Analysis and Convex Analysis & International Conference on Optimization: Techniques and Applications II*, (in Hakodate, Japan, 2019), pp. 147-160, 2021. (査読あり)
3. Yasushi Narushima and Hiroshi Yabe, A smoothing and scaling Fletcher-Reeves type conjugate gradient method for systems of nonsmooth equations, *Pacific Journal of Optimization*, 17 (2021), pp.547-564. (査読あり)
4. 矢部博、山下浩、原田耕平「非線形半正定値計画問題に対する主双対内点法」、オペレーションズ・リサーチ、pp. 29-34, 2021年6月号. (査読なし)

② 国際会議

1. 中山舜民、成島康史、矢部博「An inexact proximal difference-of-convex algorithm based on memoryless quasi-Newton methods」、SIAM Conference on Optimization, Washington, USA, 2021年7月23日. (Online)

③ 一般講演

1. 中山舜民、成島康史、矢部博「微分不可能な DC 関数を含む最適化問題に対する非厳密ニュートン型近接勾配法」、共同研究(公開型)「数理最適化の理論と応用の深化」、京都大学数理解析研究所、2021年8月19日. (オンライン開催)
2. 中山舜民、成島康史、矢部博「メモリーレス準ニュートン法に基づく非厳密ニュートン型近接 DC アルゴリズム」、日本 OR 学会、九州大学、2021年9月16日. (オンライン開催)

④ 広報

1. 日刊工業新聞、「レーザー：他大学をリード」、2021年12月21日朝刊.
2. 矢部博「東京理科大学のデータサイエンス教育の取り組み」、SAS アナリティクス・キャリアシンポジウム招待講演、2021年12月22日.
3. 矢部博「東京理科大学における統計教育と統計人材育成」、月刊統計「特集 / 統計教員の育成」、日本統計協会、pp. 21-22, 2021年12月号.

⑤ その他 (学外委員)

日本オペレーションズ・リサーチ学会代議員

⑥ 研究課題

「非線形最適化問題に対する数値解法の研究」

本研究では、大規模な最適化問題を解くための数値計算アルゴリズムを提案してその収束性を証明するとともに、数値実験を通じて提案手法の有効性を検証している。無制約最適化問題については共役勾配法・準ニュートン法について、制約付き最適化問題（非線形半正定値計画問題を含む）については主双対内点法について研究している。また最近では、機械学習などの分野で扱われている近接勾配法についても研究している。

8. 理数教育研究センター客員教員による研究紹介

8-1. 体験的な数学活動やツールの開発と実践, および海外交流

理数教育研究センター 客員研究員 中島 さち子

はじめに

2020年度より小学校, 2021年度より中学校にて新しい学習指導要領が導入され, プログラミング教育が学校教育課程内で導入されることとなった. 2022年度より導入される高校の新学習指導要領では「情報」が大幅改訂され, 2025年からは大学入学共通テストにも「情報」教科が設けられる.

一方, 新学習指導要領の一つの大きな特徴として, 「探究」学習が重視されていることがあげられる. 探究学習とは, 児童・生徒自らが課題を設定し, 解決に向けて情報を収集・整理・分析したり, 解決策を試行して形作ったり, 周囲の人と意見交換・協働したりしながら深く掘り下げていく学習活動である. また, 3つの資質・能力(知識及び技能, 思考力・判断力・表現力など, 学びに向かう力・人間性など)を育成するためには「社会に開かれた教育課程」の実現が重要であるとされる. 同様に, 文部科学省が近年推進するSTEAM教育においては, 「Aを芸術, 文化, 生活, 経済, 法律, 政治, 倫理等を含めた広い範囲で定義」し, 「STEAMとは各教科等での学習を実社会での問題発見・解決に生かしていくための教科等横断的な学習である」としている. こうした国内のSTEAM教育推進の流れは, 新学習指導要領での探究学習の重視, 社会に開かれた教育課程の重視, および世界の学習変革, STEAM教育推進の流れとも呼応する.

世界においてSTEAM教育を説明する際に, よく描かれる言葉の一つが, 「科学や数学を学ぶということではない. 科学者や数学者のように考え, アーティストやエンジニアのように作るという学び方・生き方だ」というフレーズである. 研究者・芸術家は正しい知識を覚え適用するだけでなく, 常に新しい知見や視点を自ら生み出していく. 答えや問いが揺らぐVUCA時代(Volatility: 変動性・Uncertainty: 不確実性・Complexity: 複雑性・Ambiguity: 曖昧性の頭文字を取った造語. 21世紀のように未来の予測が難しい, 変化の激しい時代などに使われる)においては, 誰しもが研究者や芸術家のように, 自ら問いをたて, 解決策などを形にしていく創造の喜びや自信を育て, 多様な創造性を発揮していくことがこれからの学びにおいて重要であると考えられる.

そのため, これからは数学・科学教育においても, 芸術や社会や工学, 技術などと深く結びつきながら, 奥深い学問の世界へ多角的に体験的に関わりあう活動や場, ツール, 文化などの構築が重要であると考えられる. 本報告書では, 今年度開発に携わった体験的なSTEAM関連活動について紹介する.

1. 数学的思考を用いたデジタルアート, および世界とのつながり

2020年度経済産業省「未来の教室」STEAMライブラリーでは, 以下のようなプログラムを開発した. いずれも, 動画の他, ワークシートや指導ガイドも準備されている.

[21世紀のSTEAMリテラシーシリーズ]

— Playful Coding (p5.jsを利用したデジタルアート)

- Playful Physical Computing (Arduino と M5StickC のセンサーを利用した発明)
 - Playful AI (Google Teachable Machine と Scratch や p5.js を利用した AI 作品)
- [日常に潜む数学シリーズ]
- 数学×デザイン・音楽・宇宙・・・(数学体験館にて撮影)
 - 数学×保険 (保険会社が成り立つからくりを数学の力で読み解く)

そこで、2021 年度は上記を利用した教員研修やワークショップ、メンター育成などを行っている。特に Playful Coding を用いたデジタルアートの試みは今期多数行なっている。本件は javascript ライブラリーを用いるウェブアートとなるため、さまざまな作品が URL にて共有できる。プログラミングの重要性や活用力の価値が高まる中、まずはプログラミングを一つの絵筆としてキャンバス内にスケッチを生み出していくという思想の p5 は、日本の STEAM の一つの大きな軸となり、プログラミング教育に大きなうねりを生み出すと考えている。なお、p5 においては、関数・変数の考え方、座標平面や座標平面の移動の考え方、二進法、三角関数などを多く用いるため、中学・高校数学の良き活用実践の場ともなっており、改めて数学概念を体験的に試行錯誤を通じて理解する良い場ともなっている。

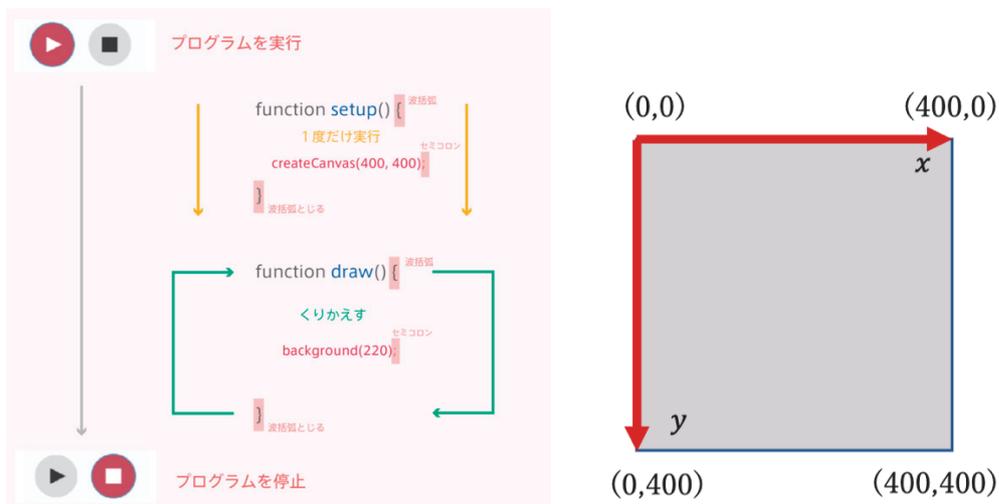


図 1 : p5.js のコード概要と p5 での座標平面の考え方

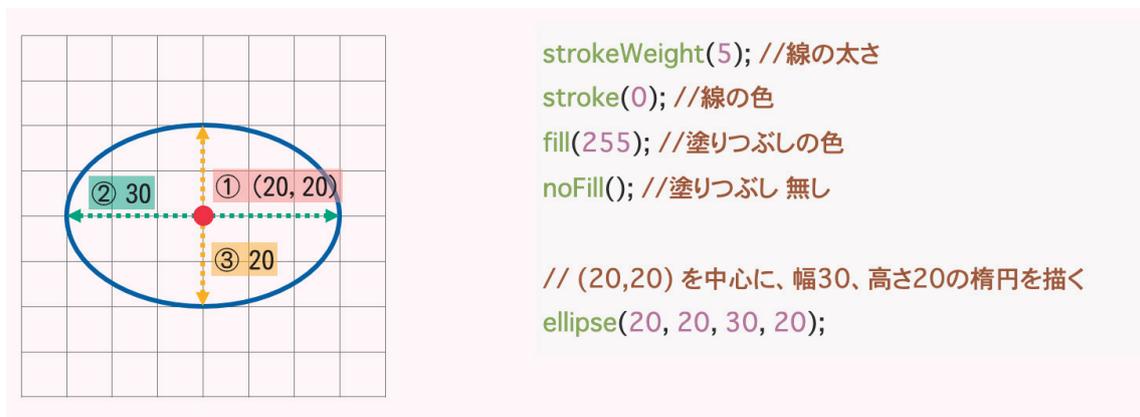


図 2 : p5.js における楕円の描き方例

例えば、以下は大分県立 U 高校 160 名のプログラミング初心者とともに、たった 1 回（3-4 時間）の講座を実施した結果、夏休みの宿題として彼らが提出してきた多様な作品のごく一部である。これらを、彼らは、想像力やアートセンスを酷使しつつも、最終的には数学とテクノロジーの力で描いている。一人一人の個性や好み、性格の違いが良い形で多彩に表れており、アートや遊びの力を感じた。同時に、数学世界における関数・変数などの概念や座標平面などの考え方をを使って、コンピュータと豊かな交流ができ、絵が下手でも豊かな表現を生み出すことができるという‘Computing’の力を感じた。

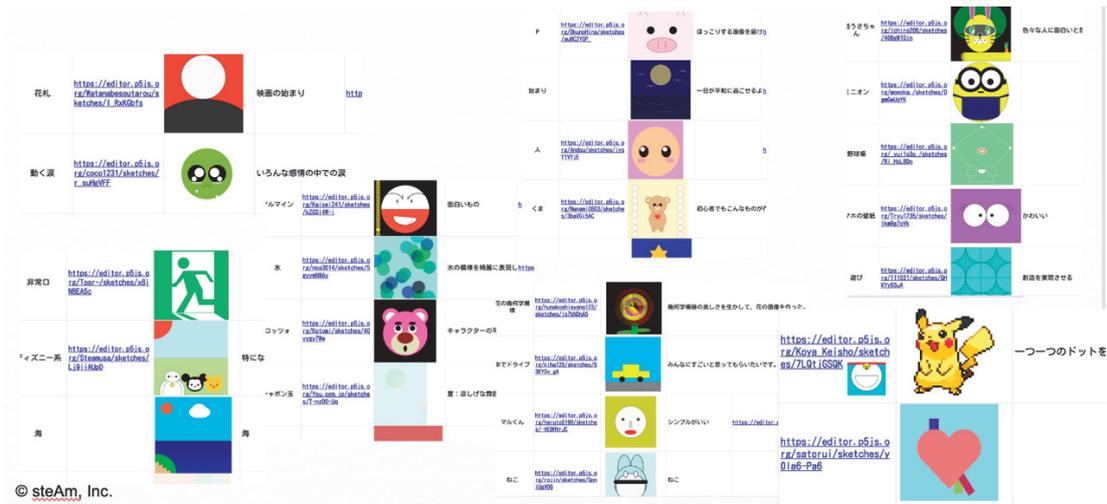


図 3 : 大分県立 U 高校 1 年生 160 名のデジタルアート作品事例

なお、こちらは都内の D 中学校がたった 2 回のラボで生み出した p5 作品コンセプト例である。実際は動きやインタラク션을伴う作品となっている。

- ・古畑任三郎のオープニング動画を「電ラボメディアアート」用に再現！
- ・未来の地球学校のロゴを増殖させる！（未来の地球学校事業のロゴを作成・発展）
- ・SDG12「作る責任・使う責任」（魔法の箱にゴミをいれると別のものに変身！）
- ・SDG15「森の動物たち」（自然の野生生物の大切さを感じてほしい）
- ・持続可能な ART 『 π 』（ π の小数に永遠にバランスよく数字が現れることを利用）



図 4 : D 中学校での作品事例。SDGs などに絡めた表現（コンセプト）も多数

他にも、ある私立のハンドベル部とろう学校が協働し、ハンドベル音楽の美しさを五感を使って耳が聴こえない方に届けられないかという中でプログラミングを活用したり、ある中学校で五感の舞台の創出を考える中に p5 の活用を考えたり、など多様な試みが進んでいる。

さらに、大学生たちは、四国大学生を中心に、毎週 2 時間勉強会と称した学び合いの場をオンラインで持ち、普段各々で進めてきた作品を共有したり質問しあったりしながら成長し、Playful Coding メンターとしての力を育成した。大学生の新たなアウトリーチや社会貢献のあり方の可能性とともに、オンラインを通じて地域や年齢、背景などが異なる仲間が集い、学び合うことの意義と可能性を感じた。なお、四国大学や徳島商業高校を中心に、「みんなの街」プロジェクトを開始し、いろんな人が参画しながらみんなでバーチャル上の街を作る動きもはじまっている。



図 5 : 大学生らによる p5 勉強会の様子

なお、勉強会はある程度門戸を開いていたところ、カンボジアチーム（山本日本語学校のカンボジア人スタッフ、日本側との交流は日本語で行なっている）が毎回参加することとなった。本勉強会の中でもカンボジアメンバーの成長が特に著しく、驚いた。自分たちの描きたいものが描けるということにより、彼らが夢中になり、気がついたら 1 日が終わっていたと言うほど没頭したメンバーも数名いた。現在、彼らはカンボジアの文化や生活の魅力を、デジタルアートを通じて伝えるプロジェクトを始めている。同時に、日本人高校生や中学生にプログラミング（デジタルアート）を教える活動も一部開始している。

見て魅てカンボジア



図 6 : p5 を用いた、カンボジアの文化を魅力的に伝えるデジタルアート作品事例

このように、p5.js を通じて、テクノロジーと数学、アートをつなぎ、体験や試行錯誤を通じて数学やアートの意義を学ぶ活動は、大きな可能性があると感じている。特にアートや遊びの要素が絡むことにより、最初の一步の障壁が下がり、一人一人が夢中になって各々の発想での多様な作品作りを主体的にしはじめることがわかった。また、コンピューターとやりとりする際に、数学がいかに重要で豊かな可能性を提示してくれるものかわかった、という生徒が多い。現在、勉強会では、音に反応するプログラムやフーリエ解析を活用したもの、POSENET という身体姿勢についての AI モデルを利用したものなどにも考察を進めている。

2. バーチャル数学体験館構想、および世界とのつながり

上記の p5.js を用いて、数学体験館の物理的身体的なツールのように、算数・数学の魅力を体験的に伝えるバーチャルツールを生み出せないかと考えた。そこで、大学生（将来的に教員志望）にヒアリングを行い、彼らの要望に基づいて、筆者および福島大学の中田准教授とともにツールを開発した。また、学生は、指導ガイドやワークシートなども作成協力している。

現状、以下のようなツールが開発された。

- 楕円ビリヤード
- 多角形の外角の和が 360 度であることの確認ツール
- 円の面積を、円周を用いて近似的に求めるためのツール
- サイコロ振りシミュレーションツール
- 人口密度シミュレーションツール
- 音と数学：自然数 N がどの程度約数を持つかを視覚・聴覚で感じるツール

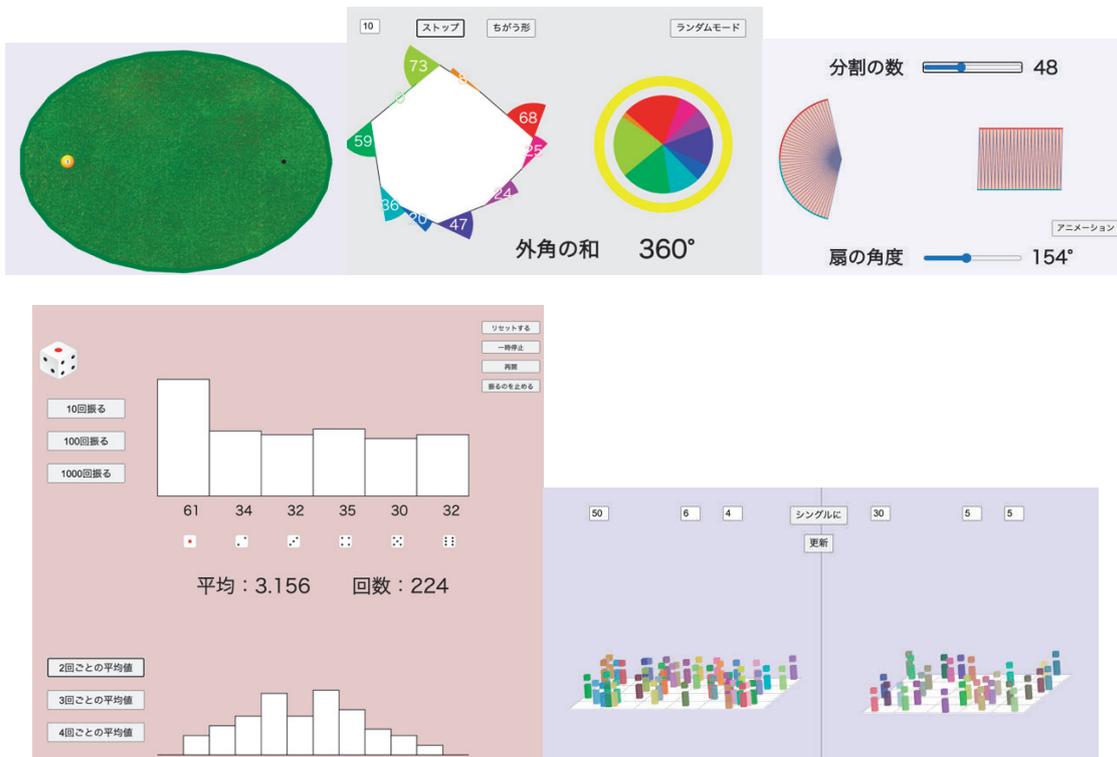


図 7：p5 で生み出した、学校の教科教育支援のためのインタラクティブツール

以上のうち、いくつかは2021年度のSTEAMライブラリー上にて無償展開する予定である。なお、将来的には、こうしたインタラクティブなバーチャル数学ツールにたくさん出会えるバーチャル数学体験館や、バーチャルSTEAM MUSEUMなどを開発推進していく計画をしている。

また、現状、理数教育研究センターの数学体験館にある以下のようなツールをバーチャルツールにする。ほかにも、随時追加案は受け付けている。

- サイクロイド曲線は一番ボールの落下が早い？
- 四角形を切り出すためには？（ルーローの三角形など定幅図形の活用）
- 二項分布パチンコ

なお、今後デジタル教科書の活用が進むと思われるが、その際PDFなど静止したメディアや動画のみによる代替ばかりではなく、こうしたインタラクティブな体験型シミュレーションツールなどがもっと増えてくると、学校の教員、児童・生徒・学生ともに、ワクワクと五感を使って学べるのではないだろうか。

さらに、本内容を英語展開することで、ドミニカ共和国などラテンアメリカやモンゴルなど海外への展開も模索している。ドミニカ共和国については、東京理科大学にて秋山仁教授を中心とする、プレイフルで体験的な数学ツールの伝授、数学体験館の現地開設などを行なった。今期は、大使館を通じて教職員大学に接続し、こどもたちとともにどのようにこうしたウェブ上でのバーチャル数学体験ツールを活用した学び遊びが生み出せるかについて議論を開始している。

3. 身体的な五感を用いたワークショップの展開および数学研究

上記のようにテクノロジー（プログラミングなど）を用いた活動のみならず、より身体的に、五感を用いた体験型数学活動も開発・実践している。例えば、2021年6月には、玉川学園高校1年生20名に対して「メビウスの輪」にちなんだ数学活動を実践した。

まずは2つのメビウスの輪を下図のように直交するように貼り合わせる。

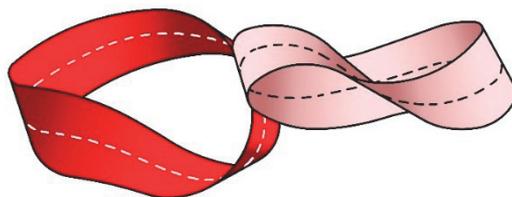


図8：2つのメビウスの輪を直交するように貼り合わせた図

このとき、各々の輪の真ん中（点線部）を切るとどうなるかを予想させ、以下のような「2つのハートらしき形が絡む・絡まない」という運命占いのような結果を楽しんだ。その後、メビウスの輪の作り方には2つの向き（タイプ）があること、タイプの判定法などを示した上でタイプの組み合わせ方による結果の違いなどを予想し、証明を行なった。さらに、いくつかの切断を楽しんだ後、面白い「問い」を生み出してみよう（面白い形を作り、何かしらの切断後にどのような形になるか予想をたて、結果を楽しむ）という活動を行なった。その際には面白い形や予想を発見することを推進する形で行なった。実際、生徒たちは次々と多様な貼り付け方や切り方を考案し、さまざまな予想や発見を行った。多

くの生徒が「予想をたて、証明し、オリジナルの定理を打ち立てる」ということの喜びや価値を感じ取ったように思われる。

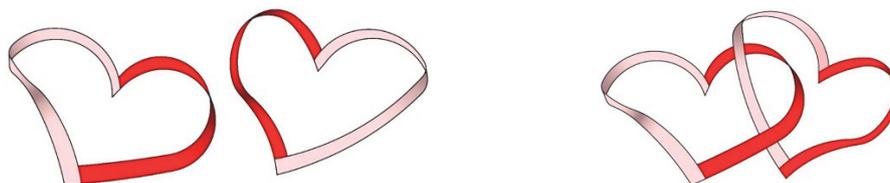


図 9：図 8 右図の 2 つのメビウスの輪を，真ん中の線で切り開いてできるもの

事前事後に質問票による調査を行なったところ (N=20)，「数学はあなたの日常生活の中で役立っていると思いますか?」「あなたは自分のことを優れた発見者だと思いますか?」という 2 つの質問に対して，5%水準で有意な向上が見られた。自身がなんらかの発見ができることに対して自信を深めた生徒が多いと考えられる。

本内容は，その後，拡張 (上記は 2 本の長方形を用いたが，N 本の長方形とする。また，メビウスの輪ではなく N 個の円環を中心に貼り合わせる場合を N-BUD と呼び，N 個のメビウスの輪を中心に貼り合わせる場合を N-FLOWER と呼び，各々について同様の考察を行った) を行い，結果の一部は 9 月に開催された離散数学の国際的な会議 The 23rd Thailand-Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, Graphs, and Games (JCDCG³) にて発表を行なった。その後，さらなる一般化・拡張を行い，位相幾何学的な考察を深め，論文を作成し投稿した。Thai Journal of Mathematics, Submitted.

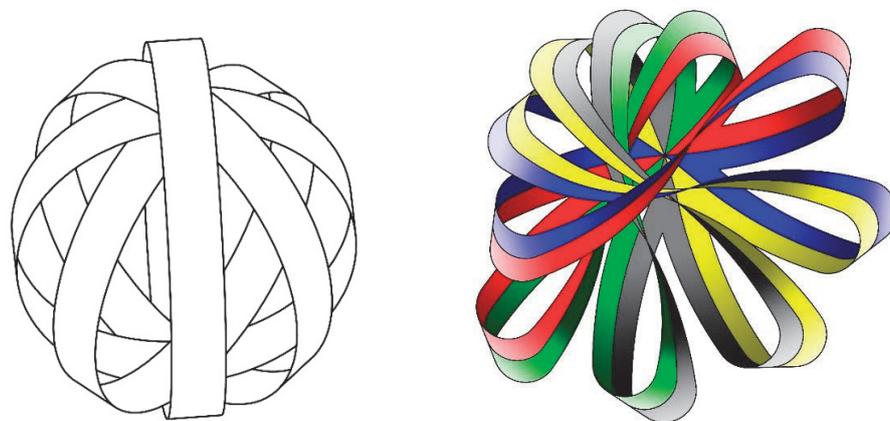


図 10：N-BUD, N-FLOWER の例 (左は 4-BUD, 右は 5-FLOWER)

4. 世界において重要視されている ‘Computational Thinking’ の考え方との連続性

1-3 のような活動は，数学の活用や研究を通して得られる Computational Thinking Skills (CT) の育成につながると考えられる。ここでは，CT について紹介する。

21 世紀初頭，世界で STEM 教育が広まっていく同時期に，世界を揺るがせた言葉の一つが ‘Computational Thinking (CT)’ である。2006 年に Wing は，雑誌 Communications of the ACM のエッセイで，「Computational Thinking(CT) とは，コンピュータ科学者のみならず，21 世紀を生きる全ての人にとって重要な考え方であり，学校のさまざまな教科の中で取り入れるべきである」と発信し，米国をはじめとする世界に大きな影響を与えた。

例えば、英国ではプログラミングではなくコンピューテーションという教科を持ち、CTの育成に力をいれている。ほかにもシンガポール、中国、韓国、オーストラリアなどでCTの重要性が学校でも説かれている。オバマ元大統領はComputer Science for Allプログラムを推進した。CTはプログラミングができるようになるという力とも異なり、必ずしもプログラミングを伴うものでもなく、より本質的な「21世紀に重要とされる物事の捉え方・考え方」を指すと考えられる。

一般的にCTでは、STEAM同様、「計算機のようになるということではない。数学者のように考えるということだ」と言われる。Wing(2006)はCTとは「コンピューターが理解できる言葉に問いを翻訳すること」とし、「データを論理的に整理・分析すること」「現象をモデル化やシミュレーションなどを通じて抽象化すること」「段階や順序を追って解決策を整理すること」「最適な手順や要素を用いて可能性のある解決策を選び出し分析し実行すること」「こうした課題解決プロセスを一般化し、より広い課題に対して転移すること」などの力を含むとしている。また、そのためにも「複雑な状況に向き合う自信」「難しい課題に向き合う粘り強さ」「曖昧さへの耐性」「オープンエンドな問いを扱う力」「何か共通のゴールや解決策に行き着くために他者と協働する力」などが重要であるとされる。

私は、特に注目すべきは、「現象(データ)をモデル化やシミュレーションなどを通じて抽象化すること」であると考え。つまり、CTとは、単に計算をするための思考ということではなく、物事の本質をとらえ、重要な要素のみを抽出してモデル化する力そのものを含み、これらは数学や科学の探究・研究を通じて養われる力であると考え。複雑さや難しい課題、曖昧さ、オープンエンドな(答えが一つではない)課題などといったVUCA時代においては、難題の背後にある本質を多角的に論理的に創造的にとらえる力が重要となる。

1-3のような体験的な数学活用・研究につながる活動をバーチャルでも物理的・身体的にも行うことは、物事の背後にある本質的な構造や要素を論理的俯瞰的にとらえる力、自ら問いを生み出す力(アートの思考)、自ら難題に向き合い試行錯誤する力や探究・研究の喜びや自信など、CTにつながると考えられる。今後、こうした活動をより推進すると同時に、体験的な数学活用・研究につながる活動を通じてCTがどのように育成されているか、や非認知能力育成に関する客観的な評価や意義の再確認を行なっていきたいと考えている。

5. まとめ、および今後の展望

今年度の活動は、「未来の地球学校」(世界中の多様な点と点をつなぎ、ゆるやかに新たな知を創造していくエコシステムを構築する)コンセプトの中で、多彩な体験型の活動や探究の実践、およびそれらを支援するツールや活動の開発を行なった。

まず、p5を用いたプログラミング(数学デジタルアート)の試みは次年度より世界中の20-30校で展開すると同時に、皆の作品をまとめあげるサイトの構築を行いたい。また、数学をより明示的に使うものを紹介していくことで、数学概念の新たな理解の仕方を促し、評価を行なっていきたいと考えている。特に座標、座標平面の移動、関数、変数、2進法、三角関数、微分・積分、確率・・・といった概念を、体験的に学ぶために適切な活動なども模索したい。

また、並行していくつかのp5を用いた数学・物理のインタラクティブなウェブツール、

およびシミュレーションツールをより開発し、日本やドミニカ共和国をはじめとする世界に届け、世界の学びに変革を起こしたいと考えている。これは最終的に、バーチャル数学体験館、ないしバーチャル STEAM MUSEUM 構想につなげたい。

一方、結び目理論や離散数学の世界にての研究を進めると同時に、研究の副産物としての体験型ワークショップの開発も行い、物理的に年に数回開催すると同時に、これらもバーチャル STEAM MUSEUM の中でなんらかの形で身体性を伴った体験ができるようにしていくことを構想している。

また、STEAM ライブラリーや世界における OCW, MOOCs, NY 大学 Daniel Shiffman 教授による The Coding Train (p5.js や Processing などを数学や物理、自然現象などのモデルと絡めて動画や作品事例紹介)などのように、さまざまな知を体験的なワークや問いの事例とともに公開し、社会の共有知として児童・生徒・市民の「創る (探究・研究する)」喜びや可能性を開いていく試みも、より推進していきたいと考えている。

こうした活動を、東京理科大学理数教育研究センターを軸として、大学の新たな地域との価値共創、および世界の教育への貢献のあり方の新しいモデルとして社会に提言し、推進していきたいと考えている。

なお、上記には記載しなかったが、私は 2025 年に開催される大阪・関西万博のテーマ事業プロデューサーをつとめており、「いのちを高める」(遊び・学び・芸術・スポーツ)が、担当するテーマ事業である。上記の活動は、こうした「いのちを高める」テーマ事業の一部、万博全体のテーマ「いのち輝く未来社会のデザイン」の一環としても位置付けている。また、「いのちを高める」パビリオンにおいては、建築の循環ないし変身(遊具や別の建築への変身)をも模索しており、建築家小堀哲夫さんやさまざまな数学者、生物学者、いくつかの企業とともに構想中である。具体的にどのような小さな 3 次元モジュールの組み合わせでどのようにパビリオンの表皮(二重膜のような構造)を構成し、重力や大きさの負荷、実際の解体費用の抑制など現実的な課題にもどう向き合えばよいか、実際に建築→遊具の変身を受け止める市場の構築などを模索していく。最終的に新たな日本ならではの循環・変身・生まれ変わり(「もったいない」精神にもとづく再利用の新たな形)を発明することができればと鋭意尽力している。こうした活動は産官学民連携の社会全体に関わる動きへの俯瞰的な視点が欠かせない。さまざまな専門知による共創、俯瞰的な新たな座組みを構築していく仲間を求めている。ぜひ、今後東京理科大学として、より横断的学際的に取り組むことができれば幸いである。

参考文献

- [1] 文部科学省 (2018a) 小学校学習指導要領。
- [2] 文部科学省 (2018b) 中学校学習指導要領。
- [3] 文部科学省 (2018c) 高等学校学習指導要領。
- [4] 文部科学省 (2019) 新学習指導要領の趣旨の実現と STEAM 教育についてー「総合的な探究の時間」と「理数探究」を中心にー。
- [5] 経済産業省 (2019) 経済産業省「未来の教室」と EdTech 研究会第 2 次提言。
- [6] Anderson, J., and Li, Y. (2020) Integrated Approaches to STEM Education, An International Perspective, Advances in STEM Education. Springer Nature.
- [7] 経済産業省「未来の教室」STEAM ライブラリー (2021) Playful Coding (steAm, Inc.) 他。

-
- [8] Jin Akiyama and Mari-Jo Ruiz (2008), *A Day's Adventure in Math Wonderland*, World Scientific.
- [9] Jin Akiyama y Jorge Urrutia (2018), *El show De las Matematicas*, Museo de las Matematicas, Santo Domingo, DR.
- [10] Jeannette M. Wing (2006) Computational Thinking, *Communications of the ACM*, Vol.49, No.3, pp.33-35.

8-2. コンウェイタイトルの多面体への折り方

客員研究員 松永 清子

2021年度の理数教育センターにおける活動において、数学の研究、教育、啓発に関し、様々な活動に参加しました。書くべき内容は沢山ありますが、本稿ではそれらの中から特に、SUT Journal of Mathematics (以下、SUT と記す) Vol.57, No.2 (2021) [11] と The Mathematical Intelligencer 43 (2) (2021) [9] で報告した内容を中心に据えて、ここ数年の研究活動について簡潔に記述致します。尚、以下の研究の多くは秋山センター長と共同で研究したものです。

— SUT Journal で報告した研究結果 —

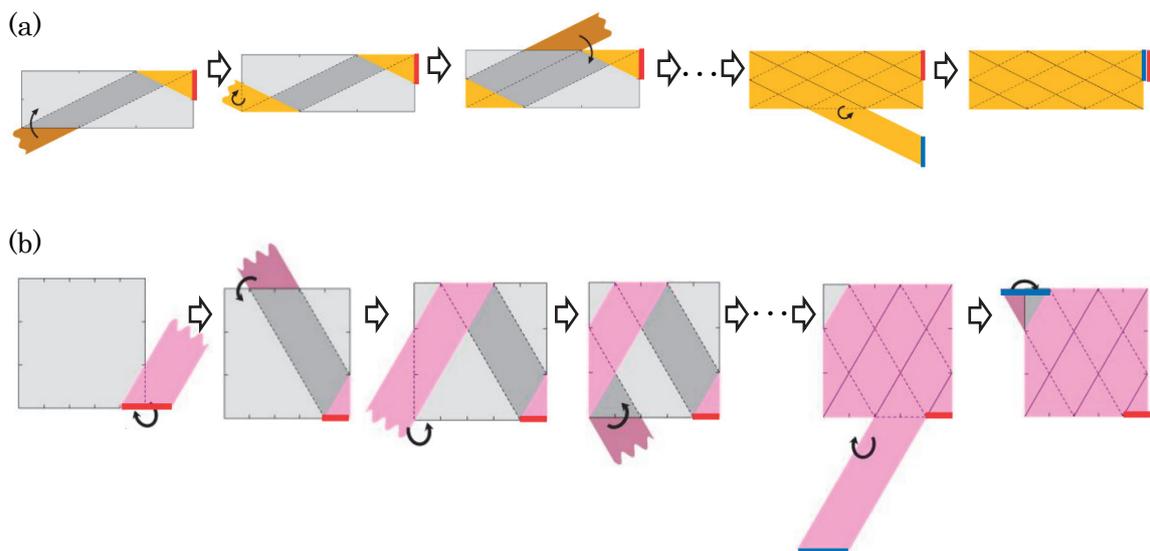
同誌で報告した論文のタイトルは“Mechanism of folding a strip into isotetrahedra or rectangle dihedra”の内容を要約すると以下ようになります：

『図1のような一本の細長い長方形(または平行四辺形)状のテープが与えられたとする。このとき、そのテープがどの部分も重ならずかつ隙間をつくらないように、更にテープの片面だけが表面に現れるようにくるくるっとまわ折っていくと、必ず、長方形二面体(2枚の合同な長方形の辺どうしを貼り合わせてできる、封をした長方形封筒状の形(図2(a), (b))や無数の異なる形の等面四面体(4枚の合同な三角形で囲まれた立体(図2(c), (d))に折ることができる。そのような折り方をすべて具体的に示すと同時に、なぜ、そのように折れるのか、そのしくみを明らかにしてみせる』

図1：細長いテープ



図2：



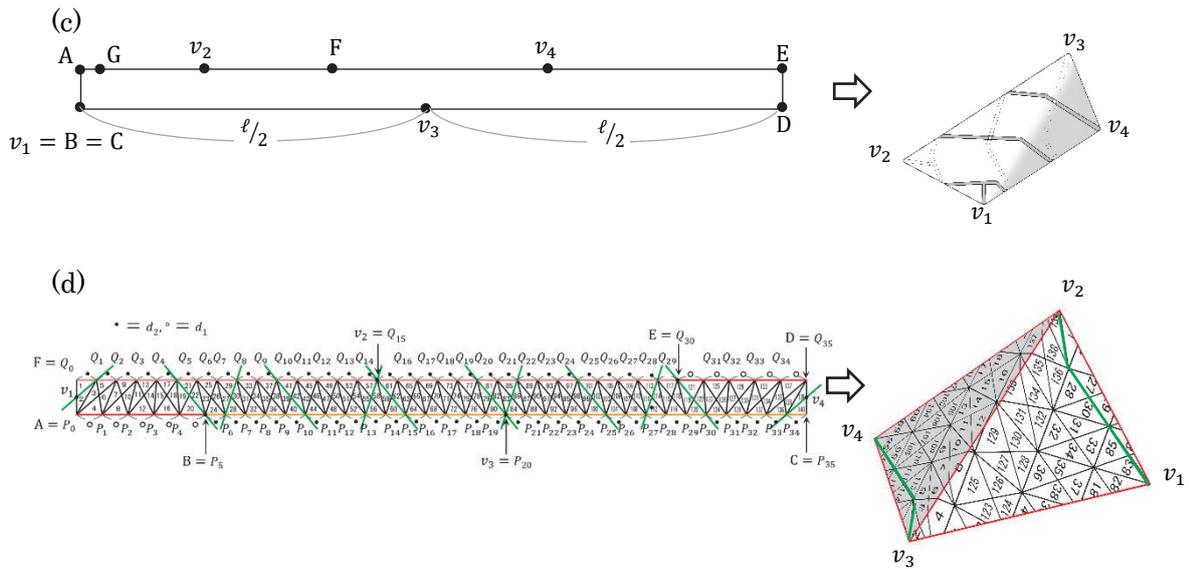


図 2 の (a) と (b) に示した折り方は、様々な国々の古い民芸品の中にも見られるもので、手仕事をする職人さんたちが経験則的に見つけ出していた方法です。“細長いテープから何が折れるのか？”という問いに対して、たとえば MIT の Erik Demaine 教授や北陸先端技術大学の上原教授らによって“フタのない直方体状の箱状に折れる”ことが共著で発表されていました [1] が、無数の異なる形の等面四面体に折れることやその具体的な折り方は知られていませんでした。因みに、“1 枚の紙からどのような多面体を折ることができるか？”というタイプの問題に関して、Joseph O’ Rourke 教授等がラテン十字の紙から 23 種類の多面体が折れることを示したり [10,12]、正方形の紙が折れるすべての多面体を決定しています [3,10,12]。

— この研究に行き着いた経緯 —

このようなテーマについて考えることになった“そもそものキッカケ”は、2015 年末に出版した専門書“Treks into Intuitive Geometry” [6] を共著執筆したことでした。因みに、この本では、90 年代後半以降に発表された秋山センター長の離散幾何学の様々なトピックに関する研究が各章のハイライトになるように解説されています。そこでは、各研究トピックがどのようなアイデアから見つけ出されたのか、そして、研究を進める中で生じた疑問や興味深い問題に対してどのようなアプローチ（試行錯誤）が成されたのかを丁寧に示しています。すなわち、そのアプローチがうまくいかなかった場合までをも見せた上で考察対象のもつ多面的側面に迫り、新たな問題や一見関係ないと思われていた分野との関連性がどんなふうに浮かび上がってくるものなのか、最終的に守備よくいった証明では何がポイントになったのかが実況中継的に紹介していることが本書の特徴です。多くの専門書等では、うまくいった結果だけが整理されて紹介されているものですが、この本では定理やひとつの理論が出来上がるまでの舞台裏の格闘までをも読者と一緒に考えてもらおうというコンセプトで書かれ、専門書としては異色の本でした。一早く届いた読者からの手紙が、“シリコンバレーでゲームのクリエイターをしている人から変身図形のゲームへの応用を知らせる内容だった”のも、そのようなコンセプトで書かれた本だったからこそその自然な結果だったのかもしれない。

“Treks into Intuitive Geometry”の執筆に際して、秋山先生の論文を読み直し再度検討する過程で、『Tile-maker 定理：どのように切り開いても、その展開図が必ず平面をタイル張りするタイルになる凸多面体は全部で5種類しかない』[2]に関して、「それら5種の中の長方形二面体と等面四面体の任意の展開図はタイルになるだけではなくて、コンウェイ条件 (Conway criterion) と呼ばれる条件 [14] をみたく特殊なタイル (Conway tile (コンウェイ・タイル)) である」という事実に気づいたことがその後の研究の大きな第一歩になりました。このようにして、『多面体が任意の長方形二面体または等面四面体ならば、その任意の展開図はコンウェイ・タイルである』ことが証明できたことにより、その命題の逆命題『任意のコンウェイ・タイルは必ず長方形二面体または等面四面体に折ることができる』も成り立つのだろうか、という問題が生じたのでした。コンウェイ・タイルがどのようなタイルか簡単に説明すると、その周を最低で3つ、高々6つの部分に分けることができ、それらの部分のうち、1組 (すなわち2つの部分) が平行移動で重なり、他の4つの部分はいずれも点対称な線分 (直線または曲線) をしている形です (図3)。

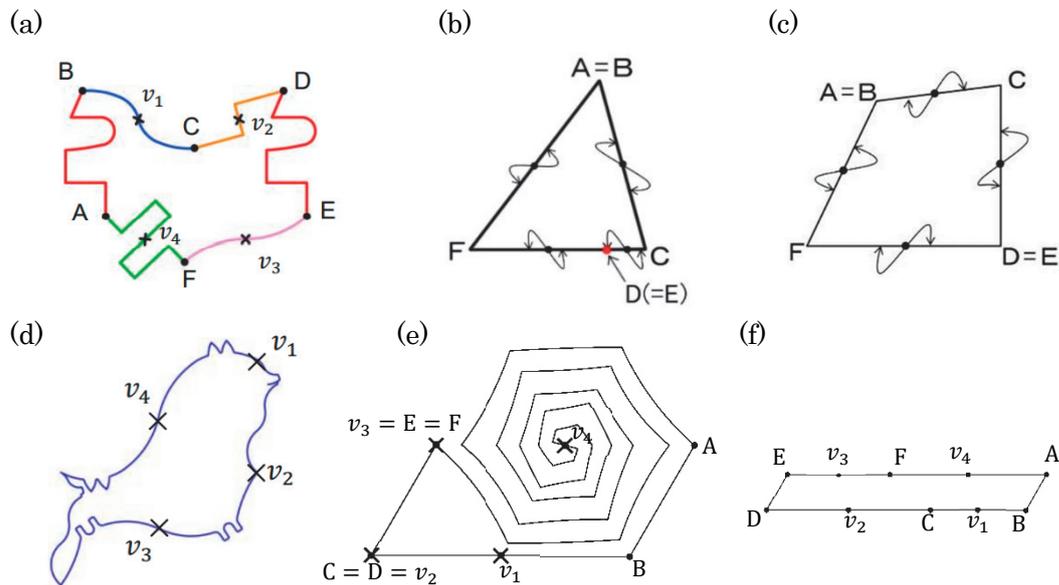


図3: コンウェイ・タイルの例 ABとEDの部分平行移動で重なり、BC、CD、EF、FAの部分それぞれ点 v_1, v_2, v_3, v_4 に関して点対称になっている。

点対称の中心点になる4点 v_1, v_2, v_3, v_4 は必ず平行四辺形の4頂点を形成します。図3の(a)~(e)のように、平行四辺形 $v_1 v_2 v_3 v_4$ を対角線 l で2等分すると2つの合同な鋭角三角形が得られる場合は、そのタイルにそれら2つの三角形の辺に沿って折れば、それが大きな手掛かりとなって $v_1 \sim v_4$ の4点を頂点とする長方形二面体や等面四面体に折り上げる手順が容易にわかります。それに対して、図3(f)のような“対角線で2分しても2つの合同な鋭角三角形が得られないようなコンウェイ・タイル”はどんなふうに折れば長方形二面体や等面四面体に折れるのかが不明で未解決のままです。

一方、“Treks into Intuitive Geometry”の執筆のため、Tile-maker 定理と別のトピック、“変身図形”を再検討する過程で、『合同な2つの多面体を用意し、頂点以外では交差しない任意の2つの切断木それぞれに沿って2つの展開図のペアをつくと、必ずそれらは互いに変身しあう』という驚くべき結果を秋山、Langerman 両先生と共に示すことができま

した [5]。そして、『変身し合う 2 つの図形のペアは、それぞれを共通の (合同な) 多面体に折ることができる』、特に、『コンウェイ・タイルの変身ペアは、それぞれがもつ対称点 v_1, v_2, v_3, v_4 を 4 頂点とする合同な等面四面体または長方形二面体に折ることが出来る』… (☆) が新たに証明されました [3, 4]。因みに、変身図形のトピックを生み出した原点の問題 “デュードニーのハーバードダッシュヤ・パズル” で扱われている正三角形と正方形のペア (図 4(a)) も、それぞれの 4 つの対称点がつくる平行四辺形 v_1, v_2, v_3, v_4 が合同であり、それらは共通の等面四面体に折ることができます (図 4(b),(c))。

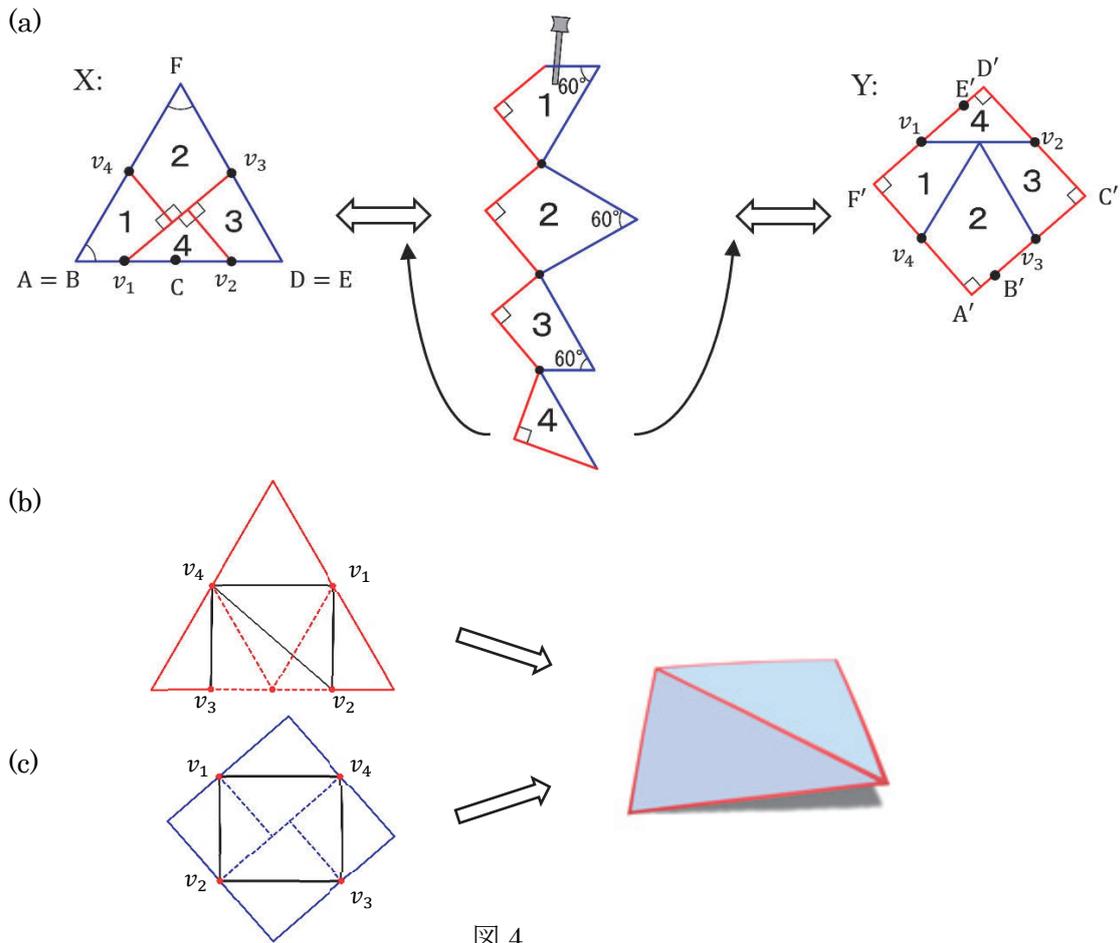


図 4

(☆) により、未解決のまま残されていた “ v_1, v_2, v_3, v_4 が細長い平行四辺形になってしまふタイプのコンウェイ・タイル P” は、 $v_1 \sim v_4$ の 4 点を切断点にするような変身によって、『4 点 v_1, v_2, v_3, v_4 が形成する平行四辺形と合同な平行四辺形を内蔵する細長い長方形 (または平行四辺形) 状のテープを長方形二面体や等面四面体に折る問題に帰着される。よって、その方法を見つけさえすれば、全面解決となる』 [8] (2020) という方針の下にその決着をつけたのが SUT で報告した結果です。SUT で示した結果に辿り着く前段階として、[7] で、図 1(a),(b) に示した細長いテープを RD に折る古くから知られている 2 つの方法について、テープの三角形分割を導入し、それらの RD の頂点がそれぞれの細長い長方形テープをコンウェイ・タイルとして捉えたときの対称点 $v_1 \sim v_4$ に他ならないことを示し、これらの折り方の背後に潜む幾何学的背景を明らかにしました。その方針を拡張させる方向で考察を進め、前節で紹介した結果を得ることができました。

— コロナ渦にある 2021 年の中で—

一連の研究結果に大きく関与したコンウェイ条件、コンウェイ・タイルの生みの親は、英国の数学者ジョン・H・コンウェイ（1937.12.26～2020.4.11）です。英国王立協会の元会長だったマイケル・アライア氏が Conway について聞かれたときに、「魔法のような数学を展開するという点で、コンウェイは世界一の数学者です。そして、彼がどのような人物かと聞かれたら、私はアルキメデスとミック・ジャガーとダリとファインマンを混ぜ合わせてひとつにしたような人物だと答えるでしょう」と答えたように [13]、コンウェイは数学界のヒーローかつアイドル的なアイコンでした。

非常に残念なことに、彼は 2020 年 4 月にコロナで亡くなりました。専門誌 *The Mathematical Intelligencer* で彼を追悼する特集号が出版されるので、そこに上述の一連の論文の内容を投稿することを Janos Pach 教授に勧めていただきました。その結果、“コンウェイ条件に関係する多岐に亘る研究成果”を秋山センター長と共同でまとめた論文が *Mathematical Intelligencer* に掲載されました [9]。憧れの Conway 氏をこのような形で追悼できたことは、楽しい出来事の少ないコロナ渦の中のささやかな慰めになりました。

参考文献

- [1] Zachary Abel et., *Common Developments of Several Different Orthogonal Boxes*, Proceeding 23rd Canadian Conference Computational Geometry (2011), 77-82.
- [2] Jin Akiyama, *Tile-Makers and Semi-Tile-Makers*, American Math. Monthly 114 (2007), 602-609.
- [3] 秋山仁, 『離散幾何学フロンティア～タイルメーカー定理と分解回転合同～』, 近代科学社 (2020)
- [4] Jin Akiyama, Erik D.Demaine and Stefan Langerman, *Polyhedral Characterization of Reversible Hinged Dissection*, *Graphs & Combinatorics*32(2) 2020, 25-33
- [5] Jin Akiyama, Stefan Langerman and Kiyoko Matsunaga, *Reversible Nets of Polyhedra*, LNCS9943,13-23,2006
- [6] Jin Akiyama and Kiyoko Matsunaga, *Treks in Intuitive Geometry*, Springer (2015).
- [7] Jin Akiyama and Kiyoko Matsunaga, *Unfoldings of an envelope*, *European Journal of Combinatorics*, 80 (2019), 3-16
- [8] Jin Akiyama and Kiyoko Matsunaga, *An Algorithm for Folding a Conway Tile into an Isotetrahedron or a Rectangle Dihedron*, *Journal of Information Processing* 28 (2020), 750-758
- [9] Jin Akiyama and Kiyoko Matsunaga, *A Prettier Shell on the Seashore: The Conway Criterion*, *Math Intelligencer* 43 (2) (2021), 99-107
- [10] Erik D. Demaine and Joseph O'Rourke, *Geometric Folding Algorithms*, Cambridge University Press, 2007
- [11] Kiyoko Matsunaga, *Mechanism of folding a strip into isotetrahedra or Rectangle dihedra*, *SUT Journal of Mathematics* Vol.57, No.2 (2021), 109-131.
- [12] Joseph O'Rourke, *How to fold it*, Cambridge University Press, 2011
- [13] Siobhan Roberts, John Horton Conway: the world's most charismatic mathematician, *Guardian*, July 23, 2015

[14] Doris Schattschneider, *Will It Tile? Try the Conway Criterion*, Mathematics Magazine 53 No. 4 (1980), 224-233.

8-3. ラグランジュ点とその求め方

吉見 奈緒子

ジョゼフ＝ルイ・ラグランジュ (1736-1813) はイタリアで生まれ、ドイツとフランスで活躍した 18 世紀後半を代表する数学者である。30 才でベルリン科学学士院の数学部長になり、51 才でパリ科学学士院に所属した。50 代後半からは高等師範学校や理工科大学などで数学を教えている。解析力学を創始し、「ラグランジュの運動方程式」と呼ばれる新たな方程式を樹立した。彼の名を冠した数学用語が多数あることから分かるように、彼の功績は数学の様々な分野に及んでいる。¹

その一つがラグランジュ点と呼ばれる 5 つの点 (図 1) であり、本年はこの点が発見されてからちょうど 250 年という節目に当たる。これは天体力学における三体問題の研究史上重要な発見であり、近年でもラグランジュ点に関する論文が多数発表されている。そこで、これを記念してラグランジュ点の概略とその求め方を解説する。計算過程の中に、問題解決のためのいくつかの技法が登場する。それも、本稿をお読みになる上での楽しみとしていただきたい。

1 制限三体問題とラグランジュ点

ラグランジュ点とは、彼ラグランジュが 1772 年²に発見した平面三体問題上の 5 つの点、 L_1 から L_5 を指す (図 1)。すなわち、太陽と木星の 2 天体に対して、もう一つ小惑星があると仮定する。このとき、この小惑星がどこに位置するかをニュートンの万有引力の法則にしたがって探り当てたものがラグランジュ点である。彼は、小惑星が存在し得る位置が 5 箇所あることを証明した。³

当時のヨーロッパ数学界で中心となる重要なテーマの一つが三体問題である。これは、前述のような 3 天体のそれぞれの軌道を求める問題をいう。つまり時間 t に対して 3 天体がどのように運動⁴するのかということだ。これが明らかになれば、目的の天体がいつ、どこに現れるのかを知ることができる。日食や月食の日時をより正確に予測することにも繋がる。

3 つの天体の軌道を解明するには、それぞれの縦、横、高さの座標を明らかにする必要がある。それに加えてどれも 2 階の微分方程式である。従って、18 の未知関数を求めて初めて三体問題が解けたと言える。たとえ 1 次方程式であっても実際に 18 の未知数を解くことは困難である。そのことから、三体問題を解くことがいかに大変なことであるかは想像に難くない。後に、アンリ・ポアンカレ (1854-1912) とハインリヒ・ブルンス (1848-1919) によって三体問題を解析的に解くことは不可能だと証明された。そのくらい難解な問題なのだ。

そこである種の制限を加えて三体問題の何らかの解を得ようと試みた。これを制限三体問題と呼ぶ。制限三体問題の研究の端緒を開いたのは、レオンハルト・オイラー (1707-1783) だ⁵。彼は、三体問題の未知数の数を減らすために 3 番目の天体の質量をゼロにすることを思いついた。ずいぶん

¹『岩波 数学辞典 第 4 版』岩波書店 (2007)

²『日本大百科全書 ニッポニカ』小学館 (2001)

³ラグランジュは三角形解を導いたことに対して、1760 年頃に直線解を発見したオイラーとともに、1772 年フランス科学アカデミー賞を受賞している。浅田秀樹著『三体問題 天才たちを悩ませた 400 年の未解決問題』講談社 (2021)

⁴天体力学という運動とは、天体がどういう軌道をどのように移動するのかを指す。一般的には天体の運行という方がわかりやすいかもしれない。

⁵前掲書『三体問題 天才たちを悩ませた 400 年の未解決問題』

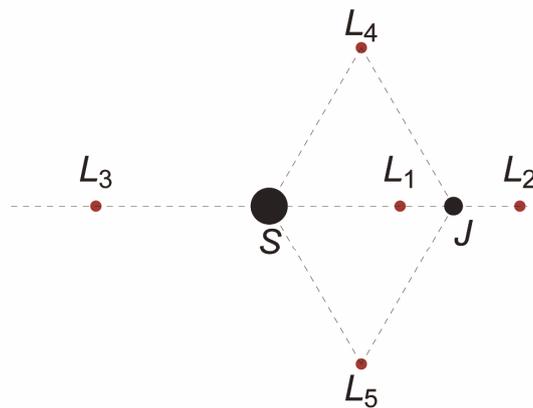


図 1: L_1 から L_5 までがラグランジュ点。太陽 S と惑星 J に対して 3 番めの天体を取り得る位置を表している。

大胆な発想だが、太陽の質量は $1.9891 \times 10^{30} \text{kg}$ で地球の質量のおよそ 30 万倍である⁶。逆に太陽の質量を 1 とすると、地球のそれは約 30 万分の 1 しかない。太陽から見れば、地球の質量はほとんどゼロのようなものだ。質量ゼロとは、そういうことである。これを無限小質量と呼ぶのだが、3 体めを無限小質量とすると、1 体めと 2 体めの天体の運動は 3 体めの質量の影響を受けない。

当時、2 つの天体のみで考える二体問題についてはすでにスイスの数学者ヨハン・ベルヌーイ (1667-1748) が厳密な解を与えていた⁷ので、それをもとに無限小質量を用いることで三体問題の解を得られるのではないかと考えたわけだ。そうしてオイラーによって導かれたのが直線解と呼ばれる特別な解であるが、これはラグランジュ点の L_1, L_2, L_3 に当たる。つまり、3 体のうちの 1 つの質量を無限小のゼロにしたとき、万有引力の法則を満たす 3 体と同じ直線上に並ぶ解が、計算上存在することが証明された。

彼と親交のあったラグランジュは、オイラーのアイデアを用いて正三角形解の存在を示した。つまり、3 つの天体が正三角形のそれぞれの頂点に位置するような 2 つの解があることを証明したので。オイラーの直線解とこの 2 つの正三角形解を合わせた 5 つがラグランジュ点だ。

2 天体力学の誕生

天文学は、人類史上最も古い学問の一つで生活に密着した重要なものであった。古代のメソポタミアやエジプトでは、農耕のための季節の移り変わりを知るために、天上の星の動きを観測した。古代ギリシアにおいては、ヒッパルコス (前 2 世紀後半) が精度の高い天体観測を行い、その 300 年後にプトレマイオス (後 2 世紀) が天動説を説いた。地動説をはじめに著したのはコペルニクス (1473-1543) である。⁸

一方で、力学は比較的新しい学問といえる。力学の基礎を築いたのはガリレオ・ガリレイ (1564-1642) である。実用的科学に強い関心をもったガリレイは、それまで信じられてきた科学的な理論の一つひとつを実験し、事実に基づいた理論を打ち立てた。⁹ 彼は力と物体の重さ、作用点までの

⁶NetAdvance Inc. 「太陽諸定数表」(2001-2022)

⁷前掲書『三体問題 天才たちを悩ませた 400 年の未解決問題』

⁸前掲書『日本大百科全書 (ニッポニカ)』

⁹前掲書『日本大百科全書 (ニッポニカ)』

距離、物体が移動している時間の長さの関係を考え、これが運動物体の力学の基礎となった。また、自ら屈折望遠鏡を製作し、月に凹凸があることや木星の4個の衛星、太陽の黒点などを発見し、自らの天体観測の結果に基づいて地動説に対する確信を深めた。

やがてヨハネス・ケプラー (1571-1630) が惑星の運動に関する3つの法則 (1) 惑星は太陽を1焦点とする楕円軌道を描いて公転する、(2) 惑星と太陽を結ぶ直線は一つの惑星については一定の時間に一定の面積を描く、(3) 任意の惑星の公転周期の2乗は太陽からの平均距離の3乗に比例する¹⁰ を発表する (1609-1619)。ガリレオの力学とこの法則が、ニュートン (1642-1727) の万有引力の法則の発見 (1687) に大いに貢献した。

万有引力とは、質量をもつ全ての物質の間にはたらく力のことで、相互の質量の積に比例し、距離の二乗に反比例する大きさをもつ。これを数式で表すと、(質量 A × 質量 B) ÷ (互いの距離の2乗) となる。また、逆にニュートンの万有引力の法則によって成り立つ運動方程式が、ケプラーの法則の正しさを証明した。こうして天文学と力学とが融合した天体力学が誕生し、発展していく。

3 二体問題

ラグランジュ点の求め方を紹介する前に、その準備として二体問題について概説する。ニュートンが導き出した万有引力の法則「二つの質点は、その間の距離の2乗に反比例し、それらの質量の積に比例する力で引き合う」¹¹ を使って二つの天体、例えば太陽と惑星の運動を調べるものを二体問題、あるいはケプラー問題という。質点とはその物体を代表する点を指す物理用語で、物体の質量の全てがその物体の重心に集まっていると考える。万有引力の法則を数式で表すと、

$$\text{引力} = \text{質量 A} \times \text{質量 B} \div \text{互いの距離の 2 乗}$$

となる。一方、物体の運動によって生まれる力は、質量 × 加速度で表される。速度が増した方が物体の持つ力（勢い）が強くなることは、日常生活の中から容易に想像できるだろう。ニュートンは、この力と2つの物体の間にはたらく引力が等しいと考えた。つまり、

$$\text{質量} \times \text{加速度} = (\text{質量 A} \times \text{質量 B} \div \text{互いの距離の 2 乗}) \times \text{方向ベクトル}$$

という方程式ができる。これをニュートンの運動方程式と呼ぶ。

この方程式から太陽と惑星のそれぞれの軌道を求めるのだが、現代的にはハミルトンの運動方程式（ハミルトニアンともいう）を使って導く。が、ここでは少し時代を遡ってハミルトニアンを使わずにそれぞれの軌道を導く方法を紹介する¹²。

運動方程式 さて、太陽を S, 惑星を J としたとき、ニュートンの運動方程式を言葉で書くと次のようになる。

$$S \text{ の質量} \times S \text{ の加速度} = \text{引力} \times S \text{ の J へ向かう単位ベクトル} \quad (1)$$

$$J \text{ の質量} \times J \text{ の加速度} = \text{引力} \times J \text{ の S へ向かう単位ベクトル} \quad (2)$$

右辺の引力とは先に述べたとおりだが、この場合に限った書き方をすると、

$$\text{引力} = \text{重力定数} \times \frac{S \text{ の質量} \times J \text{ の質量}}{S \text{ と } J \text{ の距離の 2 乗}}$$

¹⁰ 「ブリタニカ国際大百科事典 小項目事典『ケプラーの法則』解説」DIGITALIO

¹¹ 齋藤利弥著『解析力学講義』日本評論社 (1991) p.17

¹² Moulton, F. R., "An Introduction to Celestial Mechanics", Macmillan Company (1960)

である。右辺に単位ベクトルを掛けるのは、左辺の加速度が向きを持った量、つまりベクトルだからだ。左辺がベクトルであれば、右辺もベクトルにする必要がある。単位ベクトルの長さは1だから、全体の量を変えずに向きだけを指定したことになる。

また、ここで重要なことは、(1)も(2)も時間の関数ということだ。なぜなら、物体の運動は時間と共にある。位置を時間で微分すると速度が求められ、それをもう一度微分すると加速度が導かれる。位置を時間で微分するとは、微小な単位時間で位置がどのくらい動いたかを示し、さらに速度を微分すると微小な単位時間での速度が変化がわかるからだ。

惑星 J の運動方程式 まずは、前述の(1)、(2)と2天体の間の重心を使って J の運動方程式を書き換える。重心を表す式は、

$$\frac{S \text{ の質量} \times S \text{ の位置ベクトル} + J \text{ の質量} \times J \text{ の位置ベクトル}}{S \text{ の質量} + J \text{ の質量}}$$

である。この重心がちょうど原点にくるように座標をとる。こうしても「一般性が失われることはない（これは数学の独特な言い方でしばしば論文に登場する）」¹³。すると、この式の分子がゼロと等しくなるので、方程式が一つ増える。これを变形すると、

$$S \text{ の位置ベクトル} = - \frac{J \text{ の質量} \times J \text{ の位置ベクトル}}{S \text{ の質量}} \quad (3)$$

が得られる。これを(2)に代入して整理すると、S の位置ベクトルを表す関数が消去されて、

$$J \text{ の加速度} = (-1) \times \boxed{\text{重力定数と } S, J \text{ の質量からなる定数}} \times \frac{J \text{ の位置ベクトル}}{\text{原点から } J \text{ までの距離の } 3 \text{ 乗}} \quad (4)$$

という J の加速度を示す式を導くことができる。この式の右辺は、J から原点へ向かうベクトルがあることから、J に働く力が重心からの中心力¹³と同じである。このことから、J が原点から J へのベクトルを含んだ平面上を運動していることを導き出せる。よって、J の位置は、2次元で表すので十分である。

J と同様に、S が原点から S へのベクトルを含んだ平面上を運動していることを示すこともできる。原点は S と J との重心なので、つまるところ両者は同じ平面上を運動していることになる。¹⁴

極座標と変数変換 このあと2階の微分方程式を解いて S, J の軌道を求めるが、そこで必要となる極座標と変数変換について簡単に説明する。中学から高校1年生までの間に扱う平面座標といえは xy -座標をさすが、これとは別に極座標と呼ばれるものがある。原点からある点 P までの距離を $r(t)$ 、点 P と原点とを結び、水平な基準軸から反時計まわりに開いた角度を $\theta(t)$ で表す。 (t) はその直前の r や θ が時間 t の関数であることを示している。極座標は、回転する運動を表すのに便利な座標である。これを xy -座標と対応させると、 $(x(t), y(t)) = (r(t) \cos \theta(t), r(t) \sin \theta(t))$ である。このように、ある関数を別の関数に書き換えることを変数変換と呼ぶ。どの座標系を使うかは、計算の目的に合わせて判断する。

¹³物体（厳密には、質点、質量をもつが、広がりをもたないかまたは無視しうる）に働く力の一種で、その強さが力の中心から物体までの距離だけで決まり、その方向が力の中心と物体を結ぶ直線に沿っているものをいう-前掲書『日本大百科全書（ニッポニカ）』

¹⁴前掲書『解析力学講義』pp.76-83

Jの軌道を求める さて、(4)を使ってJの軌道を求める。Jの位置ベクトルは x 座標と y 座標を使って表すので、(4)からそれぞれの座標を使った2つの式が現れる。これを以下の手順で、 r と θ の式に書き換える。

まず、この2式を連立させて

$$(-1) \times \frac{\boxed{\text{重力定数と S, J の質量からなる定数}}}{\text{原点から J までの距離の 3 乗}}$$

を消去すると、

$$\text{位置ベクトルの } x \text{ 成分} \times \text{加速度の } y \text{ 成分} = \text{位置ベクトルの } y \text{ 成分} \times \text{加速度の } x \text{ 成分} \quad (5)$$

という、美しい対称性をもった式が得られる。この式に表れている位置ベクトルも加速度も J のそれであるが、「J の」は省略した。この両辺を時間で積分すると、

$$\begin{aligned} & \text{位置ベクトルの } x \text{ 成分} \times \text{速度の } y \text{ 成分} \\ & - \text{位置ベクトルの } y \text{ 成分} \times \text{速度の } x \text{ 成分} = \text{積分定数 1} \end{aligned} \quad (6)$$

が得られる。(5)の式に大変よく似ているが、積分をしたので加速度が速度に変化している。(5)と(6)で項の数が同じなのは、積分したときに現れる2つの項の絶対値が等しくかつ符号が逆なので、両方で打ち消し合うからだ。これを先ほど紹介した極座標に変数変換すると、

$$\text{原点から J までの距離の 2 乗} \times \text{角度の 1 階微分} = \text{積分定数 1} \quad (7)$$

となる。ここで「角度」とは、Jと原点とを結び、水平な基準軸から反時計まわりに開いた開き具合のことである。(6)と比べると、ずいぶん簡素な式になったことがわかる。これは、 $\sin \theta$ を微分すると $\cos \theta$ になり、 $\cos \theta$ を微分すると $-\sin \theta$ になる、または $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$ など、式が簡素化されていく要素があるためだ。どのような場合も簡単になるわけではないが、ここでは、変数変換したことが有益であったといえる。

次に、(4)の式から別の方程式を導く。まず、(4)の x 成分の式と y 成分の式の両辺に、それぞれ速度の x 成分の2倍、速度の y 成分の2倍をかける。この2式の両辺を足し合わせた後に、距離の時間微分を使って式を簡略化する。さらにその両辺を時間で積分すると、

$$\begin{aligned} & \text{速度の } x \text{ 成分の 2 乗} + \text{速度の } y \text{ 成分の 2 乗} \\ & = \frac{\boxed{\text{重力定数と S, J の質量からなる定数}}}{\text{原点からの距離}} + \text{積分定数 2} \end{aligned} \quad (8)$$

となる。さらにこれを距離と角度の変数に変換すると、

$$\begin{aligned} & \text{距離の微分の 2 乗} + \text{距離の 2 乗} \times \text{角度の微分の 2 乗} \\ & = \frac{2 \times \boxed{\text{重力定数と S, J の質量からなる定数}}}{\text{原点からの距離}} + \text{積分定数 2} \end{aligned} \quad (9)$$

となる。

ここで、時間の関数である距離を角度の関数と考えるのだが、これも、問題解決のための重要な技法の一つである。すると、(9)は

$$\begin{aligned} & \text{角度の微分の 2 乗} \times (\text{距離を角度で微分したものの 2 乗} + \text{原点からの距離の 2 乗}) \\ & = \frac{2 \times \boxed{\text{重力定数と S, J の質量からなる定数}}}{\text{原点からの距離}} + \text{積分定数 2} \end{aligned} \quad (10)$$

となる。これで (4) の $x(t), y(t)$ の微分方程式を $r(t), \theta(t)$ の式 (7), (10) に書き換えることができた。

次に、(7) と (10) を連立させて J の原点からの距離を角度の関数に書き換える。まず、(7) を使って (10) の角度の時間微分の項を消去する。さらにこれを積分すると、角度が距離の関数として求まる。これを距離について解いたものが、J の軌道である。「距離について解く」と言う一言で済んでしまうが、角度の時間微分を消去して距離を求めるまでの計算は一筋縄ではいかない。数式の書き換え、文字の置き換え、逆関数の利用など様々な工夫が必要である。具体的な数式を文末の付録に記したので、興味のある方は、そちらを参照していただきたい。

求められた距離の関数は、原点に中心をもつ円錐曲線¹⁵と呼ばれる式と一致する。この中に離心率¹⁶と呼ばれる値が現れ、この値が 0 であればこの曲線は円を、0 を超えて 1 未満のときに楕円を描く。今は惑星 J の軌道を求めているので、離心率は 0 以上 1 未満にあると考えるのが自然である。補足すると、離心率がちょうど 1 のときは放物線を、1 以上の場合は双曲線を描く。

惑星 J と同様のやり方で、太陽 S の軌道を求めることができる。¹⁷

4 ラグランジュ点を求める

いよいよ制限三体問題について考える。二体問題同様、太陽を S, 惑星を J とし、さらに 3 番めの天体・微小惑星を P とする。まず初めに、万有引力の法則にしたがって運動方程式を立てる。

4.1 運動方程式を立てる

P の運動方程式 P の運動も S や J と同じ平面上で運動するものと仮定すると S, J, P の運動方程式は、それぞれ

$$\begin{aligned} S \text{ の質量} \times S \text{ の加速度} &= S \text{ と } J \text{ の間にはたらく引力} \times S \text{ の } J \text{ へ向かう単位ベクトル} \\ &\quad + S \text{ と } P \text{ の間にはたらく引力} \times S \text{ の } P \text{ へ向かう単位ベクトル,} \\ J \text{ の質量} \times J \text{ の加速度} &= J \text{ と } S \text{ の間にはたらく引力} \times J \text{ の } S \text{ へ向かう単位ベクトル} \\ &\quad + J \text{ と } P \text{ の間にはたらく引力} \times J \text{ の } P \text{ へ向かう単位ベクトル,} \\ P \text{ の質量} \times P \text{ の加速度} &= P \text{ と } S \text{ の間にはたらく引力} \times P \text{ の } S \text{ へ向かう単位ベクトル} \\ &\quad + P \text{ と } J \text{ の間にはたらく引力} \times P \text{ の } J \text{ へ向かう単位ベクトル.} \end{aligned} \tag{11}$$

「S と J の間にはたらく引力」も「J と S の間にはたらく引力」も全く同じ量であるが、どちらから見ているかを示すために順序を入れ替えた。また、天体が 1 つ増えるとそれに関係する項が 1 つ増えることがわかる。先述したように、P の質量をゼロとすると P と S, P と J との間にはたらく引力がゼロになるので、上の第 1 式、第 2 式は、先に述べた二体問題の方程式になる。前節で示したように、S と J の軌道は既知のものと考えてよい。

¹⁵直円錐の表面を平面で切ったときできる切り口の曲線。切り方によって円、楕円、放物線、双曲線、二直線などになる。これを平面上に描けば、座標 x, y の二次方程式で表わされるので二次曲線ともいう。『精選版日本国語大辞典』小学館 (2005)

¹⁶平面上において、2 定点からの距離の和が一定となるような点の描く図形が楕円で、同じく 2 定点からの距離の差が一定となるような点の描く図形が双曲線である。これらの場合、2 定点間の距離が $2c$ で、一定値が $2a$ ならば、 $e = c/a$ を離心率または心差率という。-『世界大百科事典第 2 版』平凡社 (2014)

¹⁷前掲書『An Introduction to Celestial Mechanics』

第3式は両辺にPの質量を含んでいるが、これにゼロを代入すると式そのものの意味がなくなる。そこで、ゼロを代入する前に両辺をPの質量で割ると、Pの加速度を表す式となる。これが、制限三体問題を解く鍵である。つまり、第3式は

$$\begin{aligned} \text{Pの加速度} = & \text{重力定数} \times \frac{\text{Sの質量}}{\text{PとSの距離の2乗}} \times \text{PのSへ向かう単位ベクトル} \\ & + \text{重力定数} \times \frac{\text{Jの質量}}{\text{PとJの距離の2乗}} \times \text{PのJへ向かう単位ベクトル} \end{aligned} \quad (12)$$

であり、これが解くべき微分方程式である。

座標系を考える 運動方程式(12)を解くにあたり改めて座標を取り直すのだが、二体問題の場合と同様に3つの天体の重心(Pの質量をゼロとしているので、結局はSとJの重心に等しい)を xy -座標の原点におき、さらにSとJの間の距離を1として両者が x 軸上にのるように座標を決める。こうすると、SとJの座標がそれらの質量の比によって自然に決まる。そして、Pの座標を (x_p, y_p) とする。

また、S、Jの軌道は一般には楕円であるが、ここでは離心率をゼロと仮定してそれぞれが原点(つまり重心)を中心に円運動をしているものとする。実際、太陽系の惑星の離心率を見ると最大で水星の0.2056、最小で金星の0.0068¹⁸なので、離心率をゼロと考えてもよいだろう。SとJが絶えず円運動をしているので、当然微小惑星Pもその影響を受けて円運動をしていると考えられる。

そこで、SやJの運動に合わせて回転する新たな座標系 (r, θ) を考える。 r は原点からの距離、 θ は原点と天体を結んだ直線が左回りに回転する角度である。こうすることで、運動そのものを考慮しないで計算を進めることができる。このときに有益なのが回転行列と呼ばれる2次の正方行列である。これを作用させると、時間 t だけ回転した座標が容易に得られる。

微分方程式の書き換え 微小惑星Pに回転行列を作用させた座標を (ξ_p, η_p) ¹⁹とすると、

$$(\xi_p, \eta_p) = \text{Pの位置ベクトル} \times \text{回転行列} \quad (13)$$

となる。両辺を時間で2階微分すると、面白いことに、右辺に再び回転行列が現れる。つまり、

$$(\xi_p, \eta_p) \text{の時間} t \text{による2階微分} = \text{ベクトル} A \times \text{回転行列} \quad (14)$$

である。この両辺に右側から回転行列の逆行列²⁰をかけると、

$$(\xi_p, \eta_p) \text{の2階微分} \times \text{回転行列の逆行列} = \text{ベクトル} A \quad (15)$$

が得られる。この左辺に、(12)を $r\theta$ -座標に書き直した式を代入する。複雑な式になるがこれを根気よく計算して整理すると、S、J、P全体のポテンシャルエネルギーを導くことができる。このことと(15)から、

$$\begin{aligned} \text{ベクトル} A \text{の第1成分} &= \text{ポテンシャルエネルギーの} x_p \text{による偏微分、} \\ \text{ベクトル} A \text{の第2成分} &= \text{ポテンシャルエネルギーの} y_p \text{による偏微分} \end{aligned} \quad (16)$$

が得られる。この2つの式は、左辺が x_p または y_p の2階微分、右辺が x_p または y_p の関数である。これで、(12)をより平易な微分方程式に書き換えることができた。

¹⁸NetAdvance Inc. 「惑星諸定数表」(2001-2022)

¹⁹ ξ はギリシャ文字でクシーあるいはグザイ、 η はエータと読む。後出のギリシャ文字をあげると、 μ はミュー、 τ はタウである。

²⁰元の行列に右から掛けても左から掛けても単位行列 $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ になるものをいう。

4.2 微分方程式を解く

いよいよ、前節で導いた微分方程式から微分を含まない代数方程式に直して、ラグランジュ点を導出する。

代数方程式に直す まず、上式を時間を含まない自励系²¹の微分方程式に直す。そのために x_p の1階微分を u , y_p の1階微分を v とおく。すると、 x_p, y_p の2階微分はそれぞれ u と v の1階微分になる。ここで $u = v = 0$ とすると (つまり速度はゼロ!)、 x_p と y_p は時間によらない定数になる。これを (16) に代入すると、 $\dot{u} = \dot{v} = 0$ なので

$$\text{ポテンシャルエネルギーの } x_p \text{ による偏微分} = x_p \quad (17)$$

$$\text{ポテンシャルエネルギーの } y_p \text{ による偏微分} = y_p \quad (18)$$

が得られる。これで、2階微分の運動方程式から時間微分のない2つの代数方程式を導くことができた。この2式を詳細に見ると、 $y_p = 0$ の場合と $y_p \neq 0$ の場合に分けることができる。これを「場合分け」と呼ぶが、結論を先にいうと、 $y_p = 0$ の場合にはラグランジュ点のうち L_1, L_2, L_3 が、 $y_p \neq 0$ の場合には L_4, L_5 が解となる。前者の3点を直線解、後者の2点を正三角形解という。

直線解を求める $y_p = 0$ を (17) の第1式に代入して得られる式を仮に f とすると、 f の中に分数の項が2つ現れる。片方は、分母に P の x 座標と S の x 座標の差の3乗、もう一方の分母に P の x 座標と J の x 座標の差の3乗がある。分母が0になることは数学では禁忌なので、そうならないようにするために、 x_p の取り得る範囲を

1. 負の無限大から J の位置まで
2. J と S の間
3. S から正の無限大まで

の3区間に分ける (図2)。

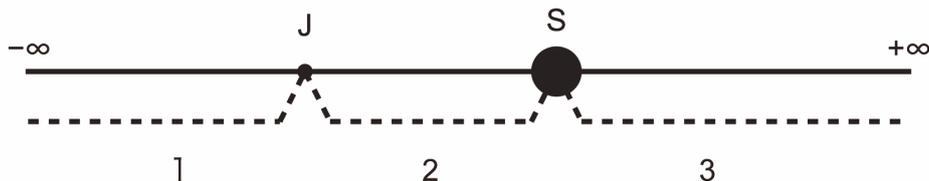


図 2: x_p の取り得る範囲

x_p がどの区間にあるかによって式 f の各項の符号が変わるので、このときのそれぞれの方程式の左辺を f_1, f_2, f_3 とすると、それぞれ図3, 図5, 図7のようになる。

例えば、図3では、 $y = f_1$ のグラフと $y = x_p$ のグラフが J より左側で交わっている。つまり、この点の x 座標が方程式を満たし、尚且つ上記1の区間に収まっている。よって、これがこの区間での P の値である。 f_2, f_3 のグラフでも同じように読み取ることができ、それぞれ x_p が一意に決まる²²。

²¹微分方程式 $dx/dt = f(x, t)$ において $f(x, t)$ が t を含まないとき、これを自励系あるいは自律系と呼ぶ。前掲書『解析力学講義』p.10

²²解がただ一つ決まる、つまり解が2つ以上ないことを「一意に決まる」という

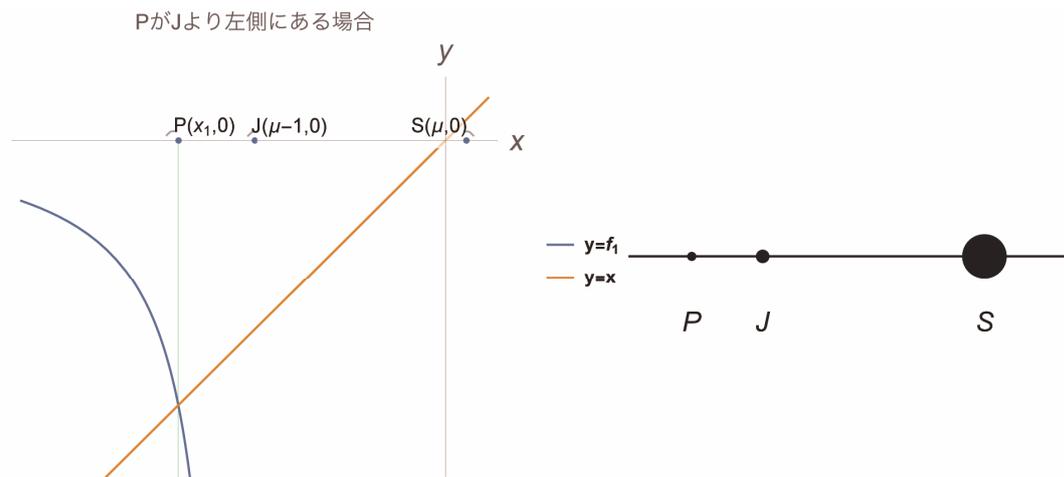


図 3: $x_p = x_1$

図 4: $x_p = x_1$ の場合の S, J, P の配置

正三角形解を求める 次に、 $y \neq 0$ の場合を考える。(17) と、(18) の両辺を y_p で割った式を連立させて計算すると、P と S の間の距離も P と J の間の距離も 1 であることがわかる。S と J の間の距離を初めに 1 と決めていたので、S と J と P で正三角形を描いているわけだ。この正三角形の向きにより、P の座標を 2 通りとることができ、それが L_4 と L_5 である。

ラグランジュ点のうち L_1, L_2, L_3 は不安定で、 L_4 と L_5 が安定であることが知られている。つまり、現実の宇宙で 3 体が一直線上に並ぶことがあってもそれはほんのわずかな時間のことで、その直線はすぐに崩壊してしまう。一方、正三角形解は 3 体はその形状を保ったままそれぞれの軌道を周回する。その実例が太陽と木星と、トロヤ群と呼ばれる小惑星群である。トロヤ群は、 L_4 と L_5 の両方の場所で見つかっているが、 L_4 の方が小惑星の数、質量ともに L_5 より多いことがわかっていてる。

以上、ラグランジュ点とその求め方を紹介したが、ご理解いただけただろうか。詳細がわからずとも、こんなふうに解が求められていくのか、と数学の世界を少し垣間見て頂けたなら幸いである。言葉だけでは物足りない、実際に計算をしたい、という方のために付録に計算式を記した。参考にしていただきたい。

5 付録

本文中の計算を数式で表記する。数式の前括弧内の番号は、本文中の式番号である。

二体問題における運動方程式 重力定数を k , S の質量と位置を $m_s, \mathbf{q}_s(t)$, J のそれを $m_j, \mathbf{q}_j(t)$, S と J との間の距離を $r_{sj}(t)$ とすると、互いの間にはたらく引力は $k \frac{m_s m_j}{r_{sj}(t)^2}$, S の J へ向かう単位ベ

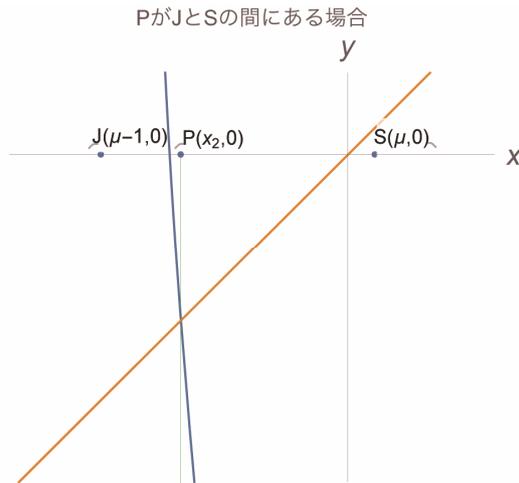


図 5: $x_p = x_2$

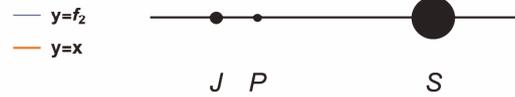


図 6: $x_p = x_2$ の場合の S, J, P の配置

クトルは $\frac{\mathbf{q}_j(t) - \mathbf{q}_s(t)}{r_{sj}(t)}$, J の S へ向かう単位ベクトルは $\frac{\mathbf{q}_s(t) - \mathbf{q}_j(t)}{r_{sj}(t)}$ なので、(1), (2) は

$$m_s \ddot{\mathbf{q}}_s(t) = \frac{km_s m_j (\mathbf{q}_j(t) - \mathbf{q}_s(t))}{r_{sj}(t)^3}, \quad m_j \ddot{\mathbf{q}}_j(t) = \frac{km_s m_j (\mathbf{q}_s(t) - \mathbf{q}_j(t))}{r_{sj}(t)^3}$$

となる。式の数を減らすために、位置を表す記号にベクトル $\mathbf{q}_s(t)$, $\mathbf{q}_j(t)$ を使っているが、より詳細に述べるなら、 xy -平面で考える場合、 $\mathbf{q}_s(t) = (x_s(t), y_s(t))$, $\mathbf{q}_j(t) = (x_j(t), y_j(t))$ であり、実際の方程式の数は全部で 4 本である。

また、 $\dot{\mathbf{q}}$ は \mathbf{q} の時間 t による微分、 $\ddot{\mathbf{q}}$ は t の 2 階微分を表すが、これは天体力学でよく使われる記号である。

J の運動方程式 重心を原点とおいたので重心を求める式より、 $\frac{m_s \mathbf{q}_s + m_j \mathbf{q}_j}{m_s + m_j} = \mathbf{0}$ である。よつ

て、S の位置ベクトル (3) は $\mathbf{q}_s = -\frac{m_j \mathbf{q}_j}{m_s}$ と書ける。

重力定数と S, J の質量からなる定数 $\frac{km_s^3}{(m_s + m_j)^2}$ を K で表すと (4) は、

$$\ddot{\mathbf{q}}_j = -K \frac{\mathbf{q}_j}{\|\mathbf{q}_j\|^3}, \quad \|\mathbf{q}_j\| = \sqrt{x_j^2 + y_j^2}$$

である。 $\mathbf{q}_j = (x_j, y_j)$ として (4) を x_j 成分と y_j 成分に分けて書き下すと

$$\ddot{x}_j = -K \frac{x_j}{\sqrt{x_j^2 + y_j^2}^3}, \quad \ddot{y}_j = -K \frac{y_j}{\sqrt{x_j^2 + y_j^2}^3}. \quad (19)$$

微分方程式を書き換える (19) から $\frac{K}{\sqrt{x_j^2 + y_j^2}^3}$ を消去すると、 $x_j \ddot{y}_j - y_j \ddot{x}_j = 0$ となり、これを積分すると (6) $x_j \dot{y}_j - y_j \dot{x}_j = c_1$ が得られる。これを極座標に変換すると、

$$(7) \quad r^2 \dot{\theta} = c_1. \quad (20)$$

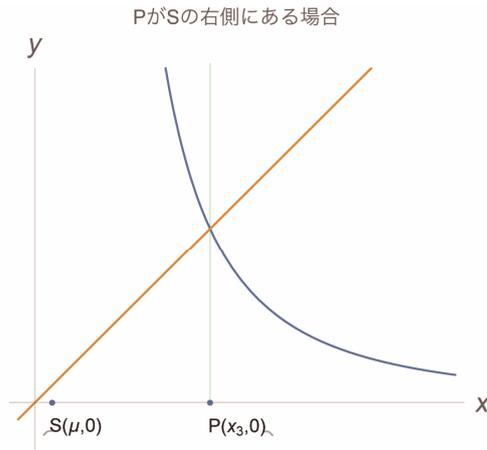


図 7: $x_p = x_3$



図 8: $x_p = x_3$ の場合の S, J, P の配置

また、 $r = \sqrt{x_j^2 + y_j^2} = (x_j^2 + y_j^2)^{\frac{1}{2}}$ から $\dot{r} = \frac{x_j \dot{x}_j + y_j \dot{y}_j}{r}$ が得られるので、

$$2\ddot{x}_j \dot{x}_j + 2\dot{y}_j \dot{y}_j = -\frac{2K}{r^3} (x_j \dot{x}_j + y_j \dot{y}_j) = -\frac{2K}{r^2} \dot{r}.$$

この両辺を積分すると (8) $\dot{x}_j^2 + \dot{y}_j^2 = \frac{2K}{r} + c_2$ となり、さらに左辺を極座標に変換すると

$$(9) \quad \dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2 = \frac{2K}{r} + c_2. \quad (21)$$

距離を角度の関数と考える 距離を角度の関数と考えると、 $r(t) = r(\theta(t))$ となるので、これを t で微分すると、 $\dot{r}(\theta(t)) = \frac{dr}{d\theta}(\theta(t)) = \frac{dr}{d\theta} \frac{d\theta}{dt}(t)$ である。これを (21) に代入すると、

$$(10) \quad \dot{\theta}^2 \left(\left(\frac{dr}{d\theta} \right)^2 + r^2 \right) = \frac{2K}{r} + c_2. \quad (22)$$

これで (19) の微分方程式を (20), (22) に書き換えた。

θ を求める (20) から求められる $\dot{\theta} = \frac{c_1}{r^2}$ を使って (22) の $\dot{\theta}$ を消去して、整理すると

$$d\theta = \frac{c_1 dr}{r \sqrt{-c_1^2 + 2Kr + c_2 r^2}}$$

が得られる。ここで、

$$B^2 = c_2 + \frac{K^2}{c_1^2}, \quad u = -\frac{K}{c_1} + \frac{c_1}{r} \quad (23)$$

とおくと上式は $d\theta = \frac{-du}{\sqrt{B^2 - u^2}}$ と書き換えることができる。この両辺を積分すると、

$$\theta = \cos^{-1} \frac{u}{B} + c_3 \quad (24)$$

が得られる。

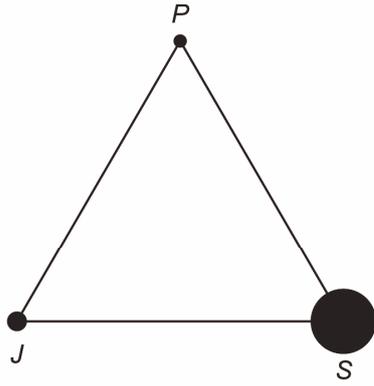


図 9: $\mathbf{q}_p = \left(\mu - \frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$ の場合の S, J, P の配置

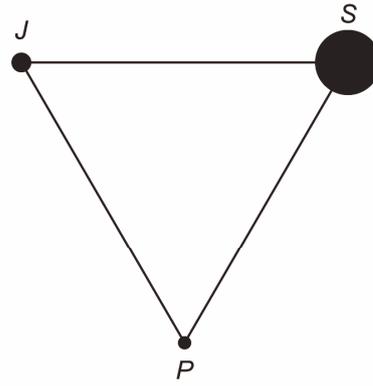


図 10: $\mathbf{q}_p = \left(\mu - \frac{1}{2}, -\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$ の場合の S, J, P の配置

距離関数 r を求める (24) の逆関数は $\cos(\theta - c_3) = \frac{u}{B}$ なので、これを u について解き、(23) の第 2 式に代入して、それを r について解くと

$$r = \frac{p}{1 + e \cos(\theta - c_3)} \quad (25)$$

となるが、 $p = \frac{c_1^2}{K}$, $e^2 = 1 + \frac{c_1^2 c_2}{K^2}$ である。(25) が二体問題の解であり、右辺は円錐曲線を表し、 e が離心率である。

三体問題における運動方程式 微小惑星 P の位置と質量をそれぞれ $\mathbf{q}_p(t)$, m_p とする。P の運動も S や J と同じ平面上で運動するものと仮定すると S, J, P の運動方程式は、それぞれ

$$\begin{aligned} m_s \ddot{\mathbf{q}}_1(t) &= \frac{km_s m_j (\mathbf{q}_j - \mathbf{q}_s)}{r_{sj}^3} + \frac{km_s m_p (\mathbf{q}_p - \mathbf{q}_s)}{r_{sp}^3}, \\ m_j \ddot{\mathbf{q}}_2(t) &= \frac{km_j m_s (\mathbf{q}_s - \mathbf{q}_j)}{r_{sj}^3} + \frac{km_j m_p (\mathbf{q}_p - \mathbf{q}_j)}{r_{jp}^3}, \\ (11) \quad m_p \ddot{\mathbf{q}}_p(t) &= \frac{km_p m_s (\mathbf{q}_s - \mathbf{q}_p)}{r_{sp}^3} + \frac{km_p m_j (\mathbf{q}_j - \mathbf{q}_p)}{r_{jp}^3}. \end{aligned}$$

P の運動方程式

$$(12) \quad \ddot{\mathbf{q}}_p(t) = \frac{km_s (\mathbf{q}_s - \mathbf{q}_p)}{r_{sp}^3} + \frac{km_j (\mathbf{q}_j - \mathbf{q}_p)}{r_{jp}^3}. \quad (26)$$

座標を決める S の質量を $1 - \mu$, J のそれを μ として S が原点の右側にあるとすれば、S の座標は $(\mu, 0)$, J のそれは $(\mu - 1, 0)$ となる²³。また、求める P の座標を (x_p, y_p) とする。

²³ μ はギリシャ文字でミューと読む。後出のギリシャ文字をあげると、 ξ はクシーあるいはグザイ、 η はエータ、 τ はタウである。

xy-座標から rθ-座標への変換 S, J, P の rθ-座標をそれぞれ (ξ_s, η_s) , (ξ_j, η_j) , (ξ_p, η_p) とする。それぞれに $(\xi, \eta) = (x, y) \begin{pmatrix} \cos t & \sin t \\ -\sin t & \cos t \end{pmatrix}$ を計算すると、

$$\begin{aligned} (\xi_s, \eta_s) &= (\mu \cos t, \mu \sin t), \\ (\xi_j, \eta_j) &= ((\mu - 1) \cos t, (\mu - 1) \sin t), \\ (13) \quad (\xi_p, \eta_p) &= (x_p \cos t - y_p \sin t, x_p \sin t + y_p \cos t). \end{aligned} \quad (27)$$

運動方程式の書き換え 次に、P の運動方程式 (26) を解くためにこれを書き換える。まず、(27) の両辺を t で 2 階微分する。これを行列表示すると、

$$(14) \quad \begin{pmatrix} \ddot{\xi}_p & \ddot{\eta}_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ddot{x}_p - 2\dot{y}_p - x_p & \ddot{y}_p + 2\dot{x}_p - y_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos t & \sin t \\ -\sin t & \cos t \end{pmatrix}.$$

回転行列の逆行列 $\begin{pmatrix} \cos t & -\sin t \\ \sin t & \cos t \end{pmatrix}$ をこの両辺に右からかけると (15) は、

$$\begin{aligned} \cos t \cdot \ddot{\xi}_p + \sin t \cdot \ddot{\eta}_p &= \ddot{x}_p - 2\dot{y}_p - x_p, \\ \cos t \cdot \ddot{\eta}_p - \sin t \cdot \ddot{\xi}_p &= \ddot{y}_p + 2\dot{x}_p - y_p. \end{aligned} \quad (28)$$

一方、S と J の質量と座標を使って P の運動方程式 (26) を書き直すと、

$$\begin{aligned} \ddot{\xi}_p(t) &= \frac{k(1-\mu)(\mu \cos t - \xi_p)}{\rho_1^3} + \frac{k\mu((\mu-1) \cos t - \xi_p)}{\rho_2^3}, \\ \ddot{\eta}_p(t) &= \frac{k(1-\mu)(\mu \sin t - \eta_p)}{\rho_1^3} + \frac{k\mu((\mu-1) \sin t - \eta_p)}{\rho_2^3}, \\ \rho_1 &= \sqrt{(\xi_s - \xi_p)^2 + (\eta_s - \eta_p)^2}, \quad \rho_2 = \sqrt{(\xi_j - \xi_p)^2 + (\eta_j - \eta_p)^2}. \end{aligned} \quad (29)$$

そして、(28) の左辺に (29) を代入して整理すると、

$$\begin{aligned} \cos t \cdot \ddot{\xi}_p + \sin t \cdot \ddot{\eta}_p &= -\frac{(1-\mu)(x-\mu)}{\rho_1^3} - \frac{\mu(x+1-\mu)}{\rho_2^3} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{1-\mu}{\rho_1} - \frac{\mu}{\rho_2} \right), \\ \cos t \cdot \ddot{\eta}_p - \sin t \cdot \ddot{\xi}_p &= -\left(\frac{1-\mu}{\rho_1^3} + \frac{\mu}{\rho_2^3} \right) y = -\frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{1-\mu}{\rho_1} - \frac{\mu}{\rho_2} \right). \end{aligned} \quad (30)$$

この式の右端の括弧内を比べると、どちらも同じであることがわかる。このことから、この 3 体のポテンシャルエネルギー U は、 $-\frac{1-\mu}{\rho_1} - \frac{\mu}{\rho_2}$ である。これで、P の運動方程式 (26) を (28) の右辺と (30) の右辺を等号で結んだ方程式

$$(16) \quad \begin{cases} \ddot{x}_p - 2\dot{y}_p - x_p = -\frac{\partial U}{\partial x_p} \\ \ddot{y}_p + 2\dot{x}_p - y_p = -\frac{\partial U}{\partial y_p} \end{cases} \quad (31)$$

に書き換えることができた。

代数方程式を導く $\dot{x} = u$, $\dot{y} = v$ とおくと、(31) 上式は

$$\begin{cases} \dot{u} - 2v - x_p = -\frac{\partial U}{\partial x_p} \\ \dot{v} + 2u - y_p = -\frac{\partial U}{\partial y_p} \end{cases} \quad (32)$$

となる。ここで $u = v = 0$ とすると $\dot{u} = \dot{v} = 0$ なので、これらを (32) に代入すると、

$$(17) \quad \frac{\partial U}{\partial x_p} = x_p, \quad (18) \quad \frac{\partial U}{\partial y_p} = y_p.$$

これと (30) を使って

$$\frac{(1-\mu)(x_p - \mu)}{\rho_1^3} + \frac{\mu(x_p + 1 - \mu)}{\rho_2^3} - x_p = 0, \quad (33)$$

$$\left(\frac{1-\mu}{\rho_1^3} + \frac{\mu}{\rho_2^3} - 1 \right) y_p = 0 \quad (34)$$

が得られる。これで、微分方程式から代数方程式を導くことができた。

$y_p = 0$ の場合 $y_p = 0$ を (29) の ρ_1, ρ_2 に代入すると、

$$\begin{aligned} \rho_1 &= \sqrt{(\xi_s - \xi_p)^2 + (\eta_s - \eta_p)^2} = \sqrt{(x_p - \mu)^2 + y_p^2} = |x_p - \mu|, \\ \rho_2 &= \sqrt{(\xi_j - \xi_p)^2 + (\eta_j - \eta_p)^2} = \sqrt{(x_p + 1 - \mu)^2 + y_p^2} = |x_p + 1 - \mu|. \end{aligned}$$

従って、(33) は、

$$\frac{(1-\mu)(x_p - \mu)}{|x_p - \mu|^3} + \frac{\mu(x_p + 1 - \mu)}{|x_p + 1 - \mu|^3} - x_p = 0.$$

分母が 0 にならないように x_p の取り得る範囲を μ と $\mu - 1$ を除いた

$$-\infty < x_p < \mu - 1, \quad \mu - 1 < x_p < \mu, \quad \mu < x_p < \infty$$

の 3 つの区間に分ける。よって、上式は、それぞれの区間で以下のように書ける。

$$\begin{aligned} f_1(x_p) &= -\frac{1-\mu}{(x_p - \mu)^2} - \frac{\mu}{(x_p + 1 - \mu)^2} = x_p, & -\infty < x_p < \mu - 1, \\ f_2(x_p) &= -\frac{1-\mu}{(x_p - \mu)^2} + \frac{\mu}{(x_p + 1 - \mu)^2} = x_p, & \mu - 1 < x_p < \mu, \\ f_3(x_p) &= \frac{1-\mu}{(x_p - \mu)^2} + \frac{\mu}{(x_p + 1 - \mu)^2} = x_p, & -\mu < x_p < -\infty. \end{aligned}$$

まず、区間 $-\infty < x_p < \mu - 1$ で $f_1(x_p)$ のグラフを考える。 $f_1(x_p)$ は常に負の値をとり、 $f_1(x_p)$ を x_p で微分すると

$$f_1'(x_p) = -\frac{2(1-\mu)}{(x_p - \mu)^3} - \frac{2\mu}{(x_p + 1 - \mu)^3} < 0$$

なので、 $f_1(x_p)$ はどこまでも右下がり（これを単調減少と呼ぶ）の曲線である。この式の左辺にある記号'（ダッシュ）は、 f_1 を x_p で微分していることを表している。また、 f_1 の極限をとると

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} f_1(x_p) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \mu-1} f_1(x_p) = -\infty.$$

よって、 $y = f_1(x_p)$, $y = x_p$ のグラフを書くと図 3 のようになる。両者の交点が $x = \mu - 1$ よりも左側にただ 1 つあるので、 $f_1(x_p) = x_p$ はただ一つの解 x_1 をもつことがわかる。

次に、区間 $\mu - 1 < x_p < \mu$ では、 f_2 の符号は x_p の値により正負の両方を取り、 x_p で微分すると

$$f_2'(x_p) = \frac{2(1-\mu)}{(x_p-\mu)^3} - \frac{2\mu}{(x_p+1-\mu)^3} < 0$$

であることから f_1 と同様に単調減少である。また、極限をとると、

$$\lim_{x \rightarrow \mu-1} f_2(x_p) = \infty, \quad \lim_{x \rightarrow \mu} f_2(x_p) = -\infty.$$

であるから、 $y = f_2(x_p)$, $y = x_p$ のグラフを書くと図5のようになり $f_2(x_p) = x_p$ もただ一つの解 x_2 をもつ。

3つめの区間 $\mu < x_p < \infty$ では

$$f_3(x_p) > 0, \quad f_3'(x_p) = -\frac{2(1-\mu)}{(x_p-\mu)^3} - \frac{2\mu}{(x_p+1-\mu)^3} < 0,$$

$$\lim_{x \rightarrow \mu} f_3(x_p) = \infty, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} f_3(x_p) = 0$$

なので、グラフは図7のようになり $f_3(x_p) = x_3$ もただ一つの解をもつ。よって、求める点Pの座標は $(x_1, 0), (x_2, 0), (x_3, 0)$ である。これがラグランジュ点の L_1, L_2, L_3 と呼ばれる点であり、S, J, Pの3体の関係を図にするとそれぞれ図4, 6, 8のようになる。

$y_p \neq 0$ の場合 次に、 $y_p \neq 0$ の場合を考える。(34) から y_p を消去し、さらに両辺に $x_p + 1 - \mu$ をかけて (33) から引くと

$$\frac{1-\mu}{\sqrt{(x_p-\mu)^2 + y_p^2}^3} - (1-\mu) = (1-\mu) \left(\frac{1}{\sqrt{(x_p-\mu)^2 + y_p^2}^3} - 1 \right) = 0$$

が得られる。 $1-\mu > 0$ なので $\frac{1}{\sqrt{(x_p-\mu)^2 + y_p^2}^3} - 1 = 0$ 。これより $\sqrt{(x_p-\mu)^2 + y_p^2} = \rho_1 = 1$ が導かれる。同様に、先ほどの式の両辺に $x_p - \mu$ をかけて (33) から引くと

$$\frac{\mu}{\sqrt{(x_p+1-\mu)^2 + y_p^2}^3} - \mu = \mu \left(\frac{1}{\sqrt{(x_p+1-\mu)^2 + y_p^2}^3} - 1 \right) = 0.$$

よって、 $\sqrt{(x_p+1-\mu)^2 + y_p^2} = \rho_2 = 1$ である。この2つの結果とSとJとの間の距離 $r_{sj} = 1$ からS, J, Pからなる三角形が正三角形であることがわかる。よって、Pの座標は、 $\left(\mu - \frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$, $\left(\mu - \frac{1}{2}, -\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$ の2つであり、これは L_4, L_5 と呼ばれるラグランジュ点である。

2021年度（令和3年度）東京理科大学教育支援機構
理数教育研究センター活動報告書

発行・編集：東京理科大学教育支援機構理数教育研究センター
発行月：2022年6月