



東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

宇宙教育を軸としたPBL型探究プログラムの開発

メタデータ	<p>言語: Japanese</p> <p>出版者: 東京学芸大学附属学校研究会</p> <p>公開日: 2025-09-17</p> <p>キーワード (Ja): ETYP:教育関連論文</p> <p>キーワード (En):</p> <p>作成者: 西村, 壘太, 窪田, 美紀, 吉永, 恭平, 大谷, 忠</p> <p>メールアドレス:</p> <p>所属: 東京学芸大学附属高等学校, 東京学芸大学附属竹早小学校, 三菱総合研究所, 東京学芸大学</p>
URL	<p>https://doi.org/10.50889/0002001149</p>

宇宙教育を軸とした PBL 型探究プログラムの開発

研究代表者 東京学芸大学附属高等学校 西村 墨太
共同研究者 東京学芸大学附属竹早小学校 窪田 美紀
三菱総合研究所 吉永 恭平
東京学芸大学 大谷 忠

目 次

1. 背景と目的	56
2. 組織体制と外部連携機関等	57
3. 実施したプログラム	59
4. おわりに	64
参考文献	64

宇宙教育を軸とした PBL 型探究プログラムの開発

研究代表者	東京学芸大学附属高等学校	西村 墨太
共同研究者	東京学芸大学附属竹早小学校	窪田 美紀
	三菱総合研究所	吉永 恭平
	東京学芸大学	大谷 忠

1. 背景と目的

1. 1. 背景

令和3年1月26日中央教育審議会（答申）では、“目指すべき「令和の日本型学校教育」の姿を「全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと、協働的な学びの実現」と述べている¹⁾。そして、高等学校教育段階においては、“多様な生徒の興味・関心や特性、背景を踏まえて、特色・魅力ある教育活動が行われるとともに、（中略）地方公共団体、高等教育機関、国際機関、NPO 等と連携・協働することによって地域・社会の抱える課題の解決に向けた学びが学校内外で行われ、生徒が自立した学習者として自己の将来のイメージを持ち、高い学習意欲を持って学びに向かっている（p.20）” 姿や、“学校と社会とが連携・協働することにより、多様な生徒一人一人に応じた探究的な学びが実現されるとともに、STEAM 教育などの実社会での課題解決に生かしていくための教科等横断的な学びが提供されている（p.21）” ことが求められている¹⁾。また、“新時代に対応した高等学校教育等の在り方について、高校生の学習意欲を喚起し、可能性及び能力を最大限に伸長するため（p.49, 51）” に、“地域社会や高等教育機関、企業等の関係機関と連携・協働することが求められる。（p.54）” その際、“関係機関との連携・協働に当たっては、校長をはじめとする管理職やミドルリーダーがリーダーシップを発揮し、設置者である教育委員会等による積極的な支援・関与も得ながら、人材配置も含め複数の機関との連携・協働をコーディネートする体制を構築し（p.54）”、“複数の高等学校が連携・協働して高度かつ多様な学習プログラムを開発・共有し、全国の高校生がこうした学習プログラムに参加することを可能とする取組を進めることが必要である（p.54）” と述べられている。さらに同答申¹⁾ では、STEAM 教育の推進についても、“「社会に開かれた教育課程」の理念の下、産業界等と連携し、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高度な内容となるもの（p.57）” であり、“新学習指導要領に新たに位置づけられた「総合的な探究の時間」や「理数探究」（p.57）” で“STEAM 教育がねらいとするところと多くの共通点があり、（中略）これらの科目等を中心として STEAM 教育に取り組むことが期待される（p.57）” と述べられている。その際、“スーパーサイエンスハイスクール（SSH）などでの教育実践の成果を生かしていくことが考えられる（p.58）”。つまり、高校生が多様な他者と協働しながら、実社会での問題発見・解決に向かうような学びを行うことが求められており、かつ、そのような教育プログラムを実施する際には、学校内だけで完結させるのではなく、学校外の組織等と密接に連携・協働する体制を整える必要があるということである。

1. 2. 目的

そこで本研究では、宇宙教育を軸として、生徒が企業等と協働しながら課題解決に取り組む、PBL 型探究プログラムを開発、実践することを目指す。PBL とは Project Based Learning の略で、溝上ら²⁾ の定義では“実社会に関する解決すべき複雑な問題や問い、仮説を、プロジェクトとして解決・検証していく学習のこと”である。まさに上述した「令和の日本型学校教育」において、高等学校段階で実現されるべき生徒の学びの姿と合致

する授業方法の一つであると言える。

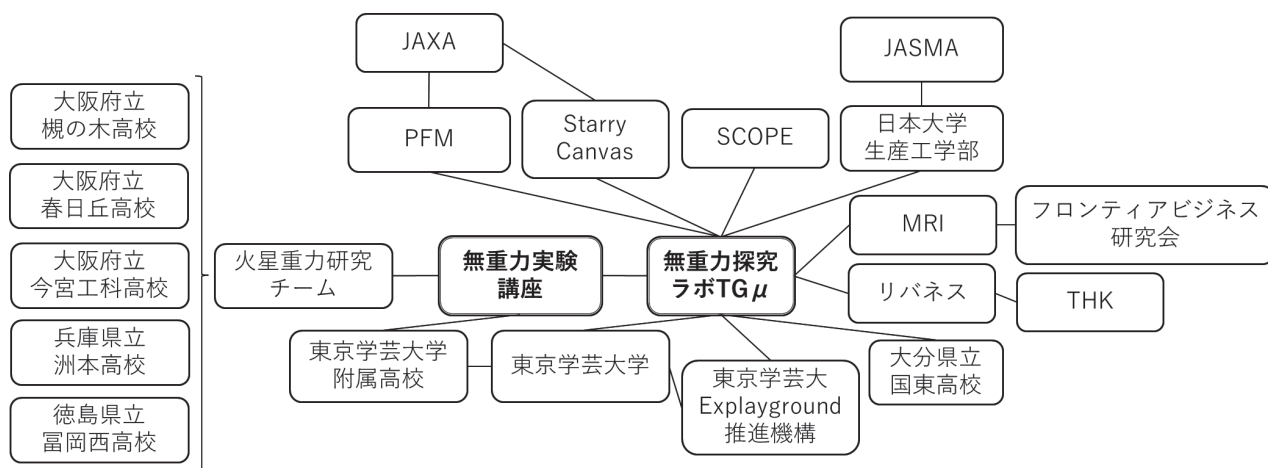
宇宙教育を軸とするのは、次の二つの理由からである。一点目は、民間人宇宙旅行、宇宙開発への盛んな資金投入、それに伴って宇宙をイメージし必要なものを形にしていける人材が求められ始めているという背景があるためである。近年の宇宙開発のトレンドを表す言葉として「官から民へ」といったものが挙げられる。世界の宇宙産業の市場規模は約54兆円であり（1ドル140円で計算）、全体の約4分の1が政府予算、約4分の3が民間衛星・打ち上げ関連となっている²⁾。また、“モルガン・スタンレーによると、世界の宇宙産業の市場規模は、2040年までに140兆円規模になると予測されている”²⁾。“日本の宇宙開発は、長年、大手重工・電気メーカを中心に進められてきて²⁾”おり、“近年、大学等から約100社の宇宙ベンチャーが勃興²⁾”している。“市場規模は約4兆円²⁾”で、“政府は2030年代早期の倍増（約8兆円）を目指している²⁾”。よって、宇宙開発・宇宙産業はまさに現代的な社会課題の一つであると言えるだろう。また二点目は、本研究を実施するプロジェクトメンバーのうち、窪田、吉永、西村が、JAXA 主催の第11回航空機による学生無重力実験コンテスト³⁾ に応募、採択され、実際に実験装置の製作、実験の実施、そして学会で成果発表を行った経験をもっていたことである⁴⁾。高校生ではなく、大学の学部生・大学院生という立場ではあったが、学業やその他の活動等と並行しながらコンテストに取り組み、様々な制約の中で、やり直しのできない一発本番の状況において実験中のリカバリーまで想定して実験装置を製作するなど、無重力実験ならではの経験を積んでいる。また、窪田・西村はこれまでの学校現場での経験も生かして、生徒の資質・能力を伸長する教育プログラムとして昇華することが可能であると考えた。

本教育プログラムは、後でも述べるように、主に附属高等学校のSSH 研究開発事業の一環として実施する「SSH 特別授業」の一つである、「無重力実験講座」に所属する生徒を対象として実践する。附属高等学校は令和6年度にSSH3期に採択されており、2期10年間と経過措置2年間の計12年間ものSSH 校としての教育実践の蓄積がある。この蓄積と環境を生かしつつ、相乗効果をねらって本教育プログラムを実践するとともに、総合的な探究の時間や理数探究の実践のモデルケースとして、教員養成系大学や現職教員研修、あるいは、地域や社会人向けの一般公開講座等の場で広く発信していくことまで希求する。平たく言えば、SSH 事業や総合的な探究の時間、理数探究などの一環として行われる高校生による課題研究を、テーマに関連した研究や仕事を行っている大学や研究所、企業等が一方的に助言・指導を行う意味での連携を目指すのではなく、高校生、高校教員、そして大学等の外部機関の研究者等といった多様な他者が、基本的には対等な立場で社会課題の解決を目指すPBL 型探究プログラムの開発を志向するということである。同時に、本教育プログラムの運営を、例えば実践対象である生徒の所属する附属高等学校内だけで完結させるのではなく、附属高等学校以外に所属する人々と協働しながら行うことにも取り組むこととする。さらに、その成果を広く発信していく。

2. 組織体制と外部連携機関等

本章では、本教育プログラムを実施するために構築した運営のための組織体制と、連携する外部機関等の関係について述べる。前章でも述べたように、本教育プログラムの実践の対象は附属高等学校の生徒であるが、運営は附属高等学校のみで行うのではなく、外部機関等と連携しながら行うこととした。図1に関連する組織等とそれぞれの繋がりについて示す。なお、図1中の組織等は略称などで書かれていることもある。

まず、無重力探究ラボTG μ （以下、TG μ ）について述べる。TG μ は東京学芸大Explayground推進機構のLABの一つとして設立されている。本実践の対象である生徒たちの所属する無重力実験講座の運営を、東京学芸大学附属高等学校のSULE委員会と協働して行いつつ、外部連携機関等とのコミュニケーションを担当したり、新たな連携先を模索したり、アウトリーチ活動を展開するなど、本教育プログラム実践における組織上の「ハブ」の役割を果たしている。



題や、エネルギーに関する話題を提供いただいた。

日本大学生産工学部の野村研究室¹²⁾には、後で述べるように、落下実験塔をお貸しいただき、高精度での無重力実験の実施に協力いただいたり、生徒の探究活動全般にわたって、無重力実験の専門家としてご指導いただいたりしている。さらには、日本マイクログラビティ応用学会（JASMA）¹³⁾をご紹介いただいたことで、日本マイクログラビティ応用学会第36回学術講演会（JASMAC-36）¹⁴⁾の毛利ポスターセッションにて、生徒が探究活動の成果を発表する機会を得ることができた。

宇宙関連の任意団体 Space Color Project¹⁵⁾（以下、SCOPE）は、TG μ 立ち上げ当初から本活動に関わっていただいており、宇宙関連情報の共有と、大学学部生・大学院生の立場から生徒の探究活動の支援をしていただいている。前章で述べたような、生徒と同じ立場に立って、探究活動に並走して取り組んでくださる団体である。

合同会社 Starry Canvas¹⁶⁾（以下、Starry Canvas）は宇宙航空研究開発機構（JAXA¹⁷⁾）からJAXAベンチャーの認定を受けており、宇宙開発に関する専門的な知見から、宇宙開発を題材とした教育プログラムについてコンサルティングしていただいている。同時に、生徒の探究活動について助言、指導いただいている。また、第1回無重力実験大会では大分県立国東高等学校と同様に、参加附属中学生に宇宙開発・宇宙ベンチャーに関する講演をしていただいた。

パラボリックフライトマネジメント株式会社¹⁸⁾の貫井智之氏は、無重力実験に関する専門的知見から、生徒の探究活動について助言、指導いただいている。また、後で述べるJAXAの主催するアジアントライゼロG（ATZ-G）2023¹⁹⁾をご紹介いただき、国際宇宙ステーション（ISS）での実験実施につながった。

火星重力研究チームは、大阪府立今宮工科高等学校、大阪府立春日丘高等学校、大阪府立槻の木高等学校、兵庫県立洲本高等学校、徳島県立富岡西高等学校の5校の生徒たちで、火星重力下での水の流れについて共同研究を行っているチームである。これらの高校とは、定期的に探究活動に関する情報共有などを行っている。

以上の多様な他者と協働しながら、生徒たちが無重力実験に取り組む教育プログラムの開発に取り組んだ。

3. 実施したプログラム

本章では実践した教育プログラムの内容として、生徒による探究活動、生徒によるアウトリーチ活動、そして、筆者らを中心としたTG μ によるアウトリーチ活動に分けてそれぞれ述べる。

3. 1. 生徒による探究活動

無重力実験講座は前述したように、東京学芸大学附属高等学校のSSH研究開発事業の柱の一つであるSSH特別授業に位置付けられている。有志生徒による継続的な課外での探究活動で、令和6年度は15名の生徒が参加している。約10年後には生徒自らが宇宙へ進出し、活躍することを具体的にイメージして、本講座のテーマは「10年後の宇宙生活を豊かに」と掲げられている。

主な活動は、自由落下による微小重力実験と、研究成果の発信、アウトリーチ活動である（アウトリーチ活動については次節で述べる）。なお、本講座で実施しているような自由落下による実験では、観測者であるスマートフォンと観察対象である実験装置が共に自由落下することで、実験装置に加わる重力と慣性力が釣り合い、力がはたらいでいないように見えることを利用している。そのため、重力が全く加わっていないわけではなく、専門的には微小重力実験や、微小重力状態と呼ばれる。一方で、無重力実験講座のように、一般に親しまれている無重力という言葉をあえて用いることもある。

無重力実験講座の生徒たちは、次小節以降でいくつか例示するように、落下カプセルの開発や水平管内の流体の振る舞いなど、それぞれに探究テーマを持ち、互いに切磋琢磨したり、協力し合ったりしながら、探究活動に取り組んでいる。

3. 1. 1. 落下カプセル TG μ -DS1開発

令和5年度までは、段ボール箱などに実験器具を入れて、これらをスマートフォンと共に実験室の天井付近から床まで、あるいは、校舎3階から地面まで自由落下させることで、微小重力状態での様々な現象について調べる実験を行ってきた。しかしながら落下中の段ボール箱の加速度を測定したところ、空気抵抗の影響で、微小重力状態を十分な時間保てていないことがわかった。このことは、いろいろな質量の段ボール箱を校舎3階から地面まで落下させたとき、段ボール箱に固定した加速度センサーで測定される加速度の時間変化を表した a-t グラフからもわかる（図2）。なお、この実験は、鉛直下向きを正の向きとして、重力加速度を含む設定（つまり、落下前は加速度が9.8 m/s²、落下開始直後は0 m/s²程度になる設定）で測定を行った。

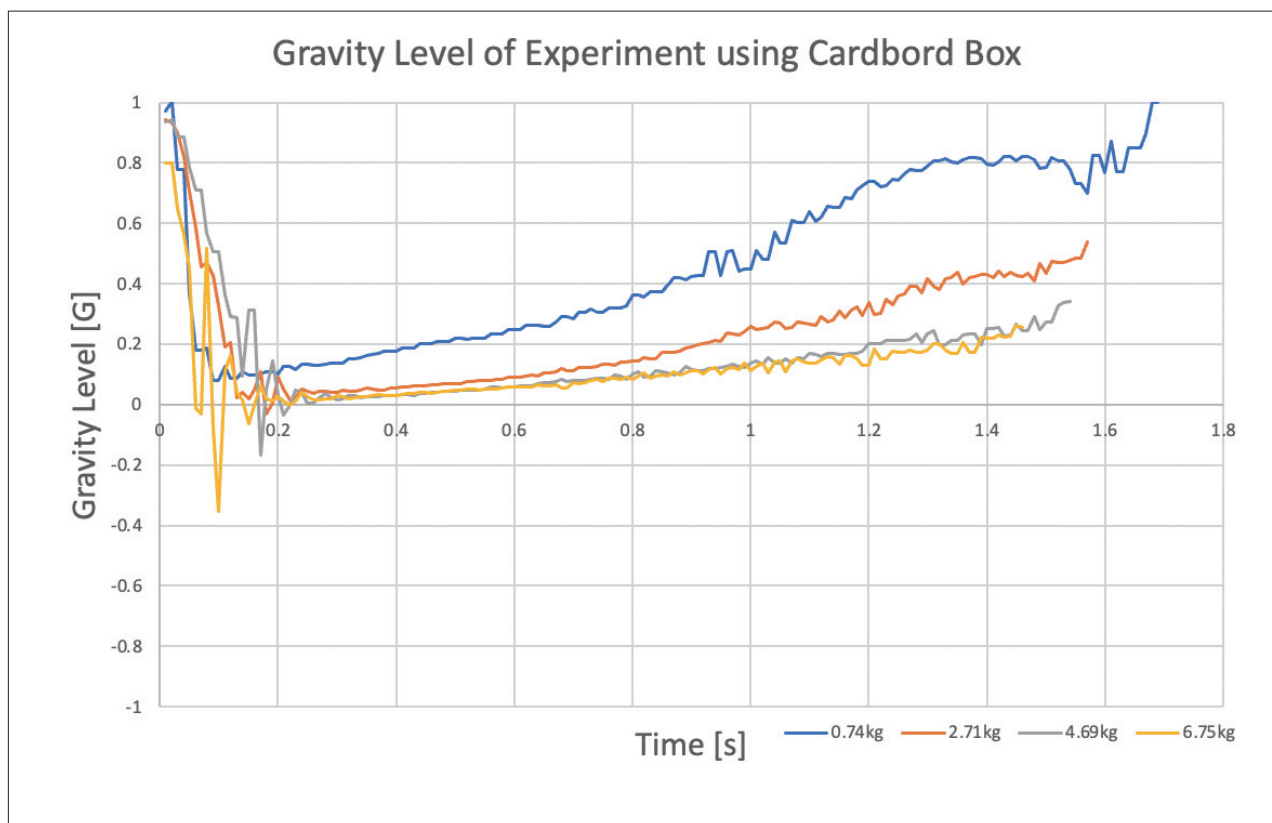


図2

そこで、日本大学生産工学部の落下実験塔（日大落下塔）を参考に、重力加速度の大きさの1/100 ～ 1/1000の微小重力状態を約1秒間持続する二重構造の落下カプセル（TG μ -DS1）製作を行った。なお、TG μ -DS1の製作にあたっては、リバネスサイエンスキャスル研究費 THK ものづくり0. 賞の採択を受けた⁹⁾。日大落下塔は、全高8.6 m、自由落下距離5.4 mであり、約1.1秒間の微小重力状態を実現することができる。落下カプセル内部の重力加速度は、微小重力時間最後期で地表の重力加速度の0.1% 程度である²⁰⁾。

日大落下塔はこのような高精度な微小重力実験を可能にする一方で、落下カプセルの重量が約100 kg あったり専用の建物が必要だったり、高校内に設置するには現実的ではない規模になっている。そのため、TG μ -DS1は高精度で長い時間の実験を可能にし、高校内で日常的に使用できる装置とすることを目指して製作された。

TG μ -DS1は図3のように、ドラッグシールドと内カプセルの二重構造となっており、それぞれ独立して動くことができる。3D-CAD ソフトによる設計、アルミフレームなどの必要な部材や器具等の選定、組み立て、性能評価という製作過程の全てを、リバネス社や THK 社の研究員からのアドバイスを得ながら、生徒たちがほぼ独力で完遂した。なお、TG μ -DS1の詳細については、西村²¹⁾ に詳しく述べているため、ここでは省略する。

TG μ -DS1開発の過程で、以下に挙げる場で研究発表を行った。なお括弧内は受賞した賞の名称である。

- ・第20回日本物理学会ジュニアセッション（奨励賞）
- ・日本地球惑星科学連合（JpGU）高校生セッション（奨励賞）
- ・JASMAC36毛利ポスターセッション

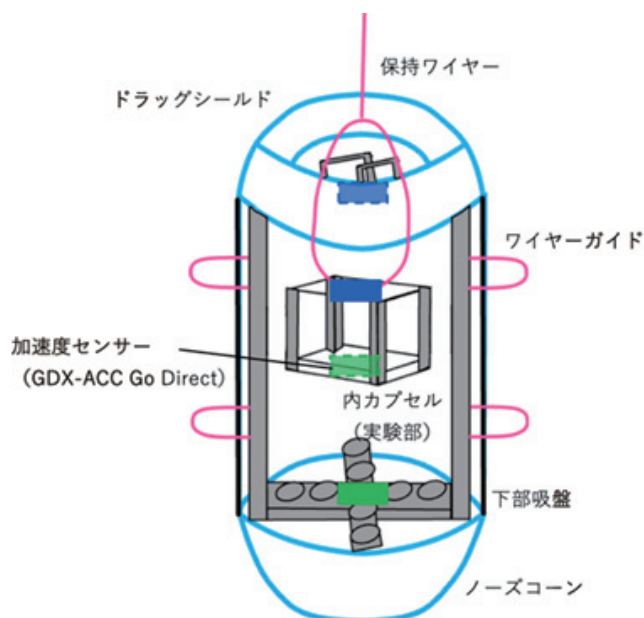


図3

3. 1. 2. 微小重力での水平管内の気液挙動

3. 1. 1. で述べたTG μ -DS1を用いて、生徒たちは各自でテーマをもち、微小重力下での様々な物理現象の振る舞いについて研究を進めている。ここでは、水平管内の気液挙動についての研究を紹介する。

長さ200 mm程度で、太さの異なるアクリル管に、管内に食紅で色付けたイオン交換水を、管内の容積の半分程度を満たす分だけ入れて両端を閉じ、水平にして内カプセル底面に固定する。その状態でTG μ -DS1を落下させ、微小重力状態で気液がどのような振る舞いをするのかを解析した。先行研究²²⁾では大規模な落下実験装置を用いて、微小重力下で表面張力の影響が顕在化し、液体（先行研究ではメタノールを使用）が円管内ではほぼ等間隔に分裂しプラグを形成することが報告されている。

落下前（重力下）では図4のように水平管の上部に空気、下部にイオン交換水が満たされており、水面は水平だった。落下を開始してからは（微小重力状態に移行）、徐々に水面が変形していく様子が見られ（図5, 6）、さらに時間が経過すると、先行研究と同様に、ほぼ等間隔にイオン交換水が分裂し、プラグを形成する様子が観察された（図7）。図4～7で約1秒間であった。今後は、プラグ形成の条件などをさらに詳しく探究していく予定である。

水平管内の気液挙動に関しては、以下に挙げる場で研究発表を行った。

- ・第68回日本学生科学賞東京大会 論文投稿

3. 1. 3. その他の研究

前小節で述べたもの以外の研究テーマについては、以下に研究発表を行った発表会や受賞した賞などとともに挙げる。これらのテーマでの探究・研究活動を年間通じて実施した。

- ・落下装置の開発・JASMAC36毛利ポスターセッション、東京都内SSH 校合同研究発表会

- ・衝撃吸収材の検討・JpGU（奨励賞），東京都内SSH 校合同研究発表会
- ・毛細管現象・ATZ-G2023，第68回日本学生科学賞東京大会
- ・燃焼現象の検討・東京学芸大学主催課題研究発表会（予定）

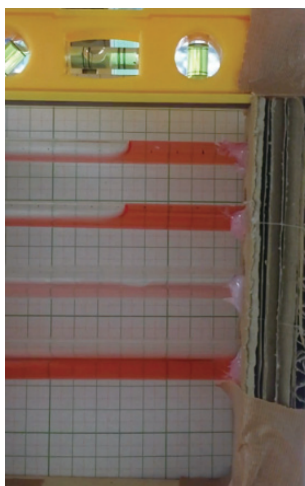


図4

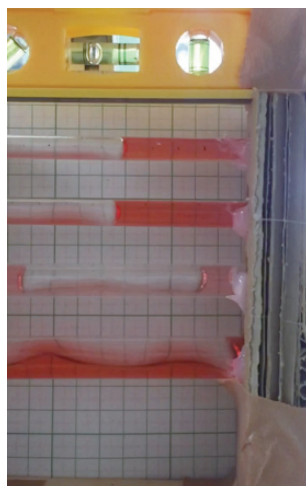


図5

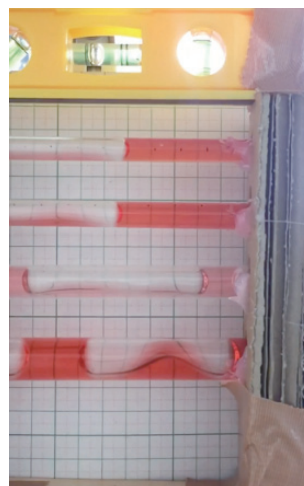


図6

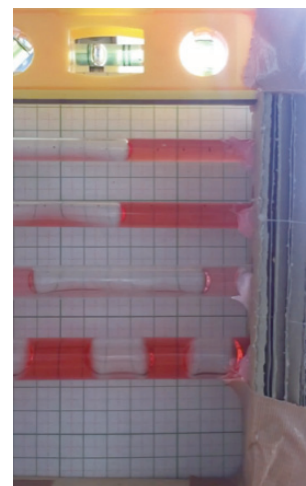


図7

3. 2. 生徒によるアウトリーチ活動

3. 2. 1. 附属中学生対象の無重力実験大会

無重力実験の認知度と基礎実験の裾野を広げるための普及活動として，無重力実験大会を実施した。このイベントは，本学附属中学生から TG μ -DS1を用いて行う微小重力実験のアイデアを募集し，無重力実験講座の生徒とともに，オンラインでのミーティングを重ねながら実験装置を開発していき，夏休み期間に実際に本校を訪れ，落下実験を実施するというものである。企画の発案から募集，運営まで全てを生徒が中心となって実施した。落下実験だけでなく，無重力実験講座の紹介や，無重力実験の魅力やこれまでの研究の過程を伝える講演を生徒自身が実施したり，外部連携先の専門家たちによる宇宙に関する講演会を随時行ったりした。本企画には附属中学生16名の参加があった。図8は生徒が作った募集ポスターである。

参加附属中学生に対するアンケートやインタビューの結果より，本大会を通して，中学生には「高校生と協働する」「一から自分で実験を考えて用意する」「工学的発想を体験する」「宇宙・無重力に関する様々な知見を得る」という経験が，高校生には「中学生と協働する」「大会を運営する」「新しい視点から無重力実験をできる」という価値があったことがわかった。中学生と高校生の双方にとって良い経験，教育効果が望めることが示唆された。

参加中学生の提案した実験テーマ例を下に挙げる。

- ・水の水平投射，スプレーから出る水の粒子の振る舞い
- ・コップの壁面を伝うジュースの振る舞い
- ・密度の異なる物体の水中での振る舞い
- ・空気または水素を吹き入れて膨らませた風船の振る舞い
- ・台秤の針の様子，人形の髪型の変化（重力観察）
- ・揚力の変化
- ・ろうそくの炎の観察

また，無重力実験講座の生徒及び外部連携先の専門家による講演のテーマを下に挙げる。

- ・宇宙とものづくり，エネルギー（三菱総合研究所）

- ・宇宙ビジネス (Starry Canvas)
- ・SPACE コース・自然科学同好会の紹介 (大分県立国東高等学校)
- ・微小重力実験とは, ATZ-G2023 (無重力実験講座)
- ・パラボリックフライト, 無重力で動くピタゴラスイッチ (窪田)

10年後の宇宙生活を豊かに

第1回! 無重力実験大会

2024年5月~8月開催
@東京学芸大学 附属高等学校 物理実験室

★宇宙の未来をつくる
あなたの実験アイデアを
お待ちしております!

4月下旬: 募集開始
5月中旬: 募集締切
5月下旬: 実験内容についての
フィードバック開始
6月下旬: 実験内容決定・
実験装置制作
夏休み: 実験会開催

※4月ごろに正式な募集Formをお送りします。

東京学芸大学附属高等学校
SSH特別授業無重力実験講座

連絡先: 東京学芸大学附属高校物理科 西村 聖太
nishimura@gakugei-hs.setagaya.tokyo.jp

活動紹介
動画

<大会概要>

企画・主催・運営
無重力実験講座(東京学芸大学附属高等学校、SSH特別授業)

場所
募集開始~フィードバック時: 大会参加校とのオンライン会議
装置製作~実験時: 東京学芸大学附属高等学校
(基本的に現地参加)

期間
2024年4月(募集開始)~2024年夏休み(無重力実験実施)
※具体的な日程は表面参照

参加対象
東京学芸大学附属世田谷・竹早・小金井中学校、国際中等教育学校
その他、無重力実験講座顧問教員の紹介による高校

<無重力実験とは?>

自由落下中の物体では、重力と慣性力が釣りあうことで(右図)、無重力状態とみなすことができます。その状態で行う実験のことを無重力実験と呼びます。

<落下カプセルについて>

無重力実験では私たちの開発した「落下カプセル」を用います。この落下カプセルは約1秒間の無重力状態を作り出すことができます。この落下カプセルを用いることで、無重力下での現象を観察することができます。

<実験例>(参考)

普段の私たちの活動で行った実験をご紹介します。

無重力下の様子: 液体が上がり続ける様子(毛細管現象)

砂時計の砂の落下が止まる様子

ろうそくの炎が丸く変化する様子

落下体: 慣性力、重力

落下体: カプセル落下の様子(動画)

<実験条件>

- ・実験サイズ: 25cm×25cm×25cmの空間内(落下カプセルへの収まりを考慮)
- ・実験時間: 約1秒間(落下実験による無重力環境の持続時間)
- ・無重力状態を作り出す落下カプセルや実験撮影用のカメラは附属高校で用意しますが、実験に使用する実験装置は参加校で用意していただきます。
- ・無重力状態中(落下実験中)は基本的にカプセル内の実験装置の操作はできません。

上記の実験条件に適合しない場合でも改善をサポートいたします。
ぜひ気軽にご応募ください!

図8

3. 2. 2. そのほかのアウトリーチ活動

無重力実験大会以外でも、以下のアウトリーチ活動に取り組んだ。

- ・辛夷祭(附属高校の文化祭)への出展
- ・附属高校の学校説明会への出展
- ・メディア配信(BS テレ東「THE 名門校」, TBS「THE TIME,」の『全国中高生ニュース』)

3. 3. TG μ によるアウトリーチ活動

将来の宇宙開発を担う人材への興味・関心を喚起する機会、アウトリーチ活動をTG μ としても行っている。宇宙人材教育および無重力研究活動の両面において、先進的な取り組みを続けているということで、三菱総合研究所の主催するフロンティアビジネス研究会に招待され、本プロジェクトの取り組みを発表した。フロンティアビジネス研究会は、産業界が主体となって日本発の宇宙資源ビジネス市場創出を目指した検討を行う研究会である。現在、45社を超える民間企業とともに活動を行っている。微小重力環境の活用や宇宙空間でのエンタメ用途検討等を実施しており、本取組に近い分野での検討を行っているため、相乗効果を目指した。

4. おわりに

生徒自らで課題を設定し、解決のための設計・デザインを行い、実際にものづくりをして、製作したものの性能を評価し、次のサイクルへつなげるといった、ものづくり思考・工学的な発想での探究活動を、無重力実験講座の生徒たちは大いに楽しみ、夢中になって取り組んでいる。今後は、平時から継続的に本活動にコミットし、高校生と大人がそれぞれの立場や強みを生かしながら共に課題解決に取り組むことで生まれる相乗効果や、生徒たちのどのような資質・能力が伸長しているのか、そしてこれらはどのようにして評価することができるのか、といった点についての検証を行うことである。また、本プログラムをSTEAMに広げていくためには、無重力実験大会で実施した講演で扱われたような知見をインプットしながら、探究活動で得られた学びを創造に活かし、どうやったら次世代の宇宙ビジネスやものづくり、エネルギー利用に活かしていけるかについて考える活動に発展させていく必要がある。そして、STEAMへの展開が実現されたその先の、生徒の高校卒業後の進路・キャリア意識の変容も一体的に評価・分析することで、本研究の目指す教育プログラムの姿が見えてくると考える。

参考文献

- 1) 令和3年1月26日中央教育審議会（答申）「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと、協働的な学びの実現～
https://www.mext.go.jp/content/20210126-mxt_syoto02-000012321_2-4.pdf (20250121参照).
- 2) 経済産業省 製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室：資料5 国内外の宇宙産業の動向を踏まえた経済産業省の取組と今後について：令和6年3月
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/space_industry/pdf/001_05_00.pdf (20250121参照).
- 3) https://iss.jaxa.jp/topics/2013/10/parabolic11_selection.html (20240824参照).
- 4) 窪田美紀ら：Int. J. Microgravity Sci. Appl. Vol. 31 No.3 2014 (137-141).
- 5) 東京学芸大学附属高等学校：平成29年度指定 SSH 研究開発実施報告書（経過措置 第2年次），p.10，（2024）.
- 6) 東京学芸大 Explayground 推進機構 <https://explayground.com/> (20250121参照).
- 7) 大分県立国東高等学校 SPACE コースについて <https://kou.oita-ed.jp/lp/kunisaki/> (20250121参照).
- 8) 株式会社リバネス <https://lne.st/> (20250121参照).
- 9) サイエンスキャッスル研究費 ものづくり0.THK 賞 2023
<https://www.monozukuri-zero.com/science-castle/> (20250121参照).
- 10) 三菱総合研究所 <https://www.mri.co.jp/> (20250121参照).
- 11) フロンティアビジネス研究会 <https://www.mri.co.jp/seminar/20240614.html> (20250121参照).
- 12) 日本大学生産工学部野村研究室
<http://www.me.cit.nihon-u.ac.jp/lab/nomura/main/index.html> (20250121参照).
- 13) 日本マイクログラビティ応用学会 <https://www.jasma.info/> (20250121参照).
- 14) 日本マイクログラビティ応用学会第36回学術講演会（JASMAC-36）<https://www.jasma.info/jasmac-36/> (20250121参照).
- 15) Space Color Project <https://scope2021.wixsite.com/spacecolorproject> (20250121参照).
- 16) 合同会社 Starry Canvas <https://www.starrycanvas.jp/> (20250121参照).
- 17) 宇宙航空研究開発機構（JAXA）<https://www.jaxa.jp/> (20250121参照).
- 18) パラボリックフライトマネジメント株式会社 <https://www.pfm.co.jp/> (20250121参照).

- 19) アジアントライゼロ G (ATZ-G) 2023成果報告会
<https://humans-in-space.jaxa.jp/biz-lab/news/detail/004062.html> (20250121参照).
- 20) 野村浩司ら：日本大学生産工学部研究報告 A, 39-1, (2006).
- 21) 西村壘太ら：物理教育通信198, (2024), pp.14-18.
- 22) <https://g.ted-jsme.jp/18001.html> (最終参照年月日：2024年7月22日).