

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K12933

研究課題名（和文）超小型人工衛星からの電波受信実験の高校物理での教育利用

研究課題名（英文）Educational use of radio reception experiments from nanosatellites for high school physics classes

研究代表者

内山 秀樹 (Uchiyama, Hideki)

静岡大学・教育学部・講師

研究者番号：50708435

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：高校生が意欲の持てる宇宙から出発し、しかし天文に限らない基礎的な理科分野を、科学技術や社会との関わりを明らかにしつつ学習でき、理科への有用感が増す教材として、衛星電波受信実験の教材化を行った。科学教室、および、正課授業で実践を行い、受信実験が高校生に広く受け入れられる実験であり、かつ、受講者の理科（物理）への有用感を高められることを確認した。高校教員や生徒が授業で人工衛星電波受信実験が簡単に実施できるよう、必要な情報をまとめたWebサイトを作成した。また、超小型衛星の教育利用の更なる発展として、超小型衛星Stars-AOを用いた観測計画を中高生が立案する科学教室も実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

科学技術に支えられた現代社会に生きながらも、その基礎となる理科への学習意欲と有用感は日本の高校生では低いことが、近年の調査から明らかになっている。これは技術者育成だけでなく科学技術が関わる様々な政策を選択する市民の育成の点から、大きな問題である。本受信実験教材を活用した授業は、こうした状況を改善する一助になる。

研究成果の概要（英文）：We developed a teaching material of a satellite radio wave reception experiment. By using it in science classrooms, it was confirmed that the experiment is interesting for high school students and it enhances the students' interest in science. We made a website that summarizes the necessary information so that high school teachers and students can easily carry out the experiment in class. In addition, as a further development of educational use of nanosatellite, a science class was held in which junior and senior high school students made observation plans using the nanosatellite Stars-A0.

研究分野：X線天文学

キーワード：科学教育

1. 研究開始当初の背景

近年の調査[1]によると、理科(特に物理・化学)の勉強が好きな高校生の割合は他の教科に比べて10ポイント以上も低い。加えて「社会に出たら理科は必要なくなる」と答えた高校生の割合は日米中韓で最多である[2]。つまり、科学技術に支えられた現代社会に生きながらも、その基礎となる理科への学習意欲と有用感は日本の高校生では低いと言える。これは技術者育成だけでなく科学技術に関わる様々な政策を選択する市民の育成の点から、大きな問題である。一方で、天文・宇宙に関する興味関心は、日本の高校生では非常に高い[2]。そこで我々は、高校生が意欲の持てる宇宙から出発し、しかし天文に限らない基礎的な理科分野を、科学技術や社会との関わりを明らかにしつつ学習でき、理科への有用感が増す教材を検討した。その一つの答として、超小型人工衛星からの電波の受信実験の高校物理での教育利用を研究課題とし提案した。

2. 研究の目的

超小型衛星(特に大きさが10 cm立方のキューブ衛星、CubeSat)の一部はアマチュア無線帯でモールス信号によるビーコン電波を発信している。この電波は、免許がなくとも自由に、比較的安価な機材で受信できる。超小型衛星の多くは低軌道(高度数百km)であり、約10分で地平線から地平線へ我々の頭上を通過する。軌道情報に基づき、衛星が通過する予定の方向にアンテナを向けると、その電波を受信できる。これを受信し続ける様にアンテナを動かせば、衛星の天球上での動きを測定できる。衛星は高速(第1宇宙速度、秒速約8 km)なため、刻々と変化するビーコン電波の周波数からドップラー効果も実感できる。この様に電波受信実験は、高校で扱う物理現象が、単純な理解しやすい形で現れる。ゆえに、高校生自身がデータを定量的に解析し、これらの物理法則を学ぶのに非常に優れた教材となる。この衛星電波受信実験は、高校物理の実験教材として優れると同時に、理科(物理)と科学技術・社会を繋ぐ効果も高いと我々は考えた。衛星は目では見えない。だが、予定に従いアンテナを向けると、モールス信号が聞こえ、学んだ物理の予言通りに、物凄い速さで衛星が頭上を通過することが確かに分かる。これには未知の体験と物理の予言可能性に対する素朴な感動がある。この感動を出発点に「衛星を含む様々な科学技術が気づかない所で重要な社会インフラをなすこと」、「その原理は高校で学ぶ理科で理解できること」を実感できる教材に受信実験はなり得る。宇宙から電波を送っていた、文字通り「遠い」科学技術の塊に感じる人工衛星を実際に手に取り、更にその仕組みを自身が学ぶ理科(物理)の延長で理解できたという経験は、高校生にとって科学技術との距離を縮め、理科の有用感を高める効果を持ち得る。

この衛星電波受信実験を、高校の学校現場で利用可能な物理教材として整備し、かつ、その教育効果を実践により確認する事が本研究の目的である。加えて、超小型衛星の新しい教育利用の方法も模索する。

3. 研究の方法

衛星電波受信実験と高校物理の関連を学習指導要領に基づき明らかにする。その上で高校の授業の中で教員が無理なく衛星電波受信実験を実施できるよう、教材パッケージを開発する。

希望者を対象とする科学教室での実践をまず行い、その結果を元に教材の改善を行う。その後、高校の正課授業にて実践を行ない、衛星電波受信実験の教育効果を明らかにする。

高校教員が実験を行う際に必要な情報を集約したWebサイトを開設する。教育効果の測定結果等も公開し、学校現場で衛星電波受信実験を実施できる環境を整える。

4. 研究成果

(1) 科学教室での実践

2016~2018年にかけて、希望者を対象に科学教室形式で実践を行った。全6回の実践を行い、合計で76名(高校生47名、中学生27名、小学生2名)が参加した。実施先の地域は東北・関東・中部、学校は女子校含む普通高校、工業高校、中学校と多岐に渡った。実施内容は主に講義、アンテナ製作、受信実験を行った。講義では主に人工衛星の役割とその運動の力学について解説した。人工衛星の運動については参加者の学年や学習状況に応じて説明を変えながら行った。時間のある場合には電波とアンテナの物理学についても、演示実験をしながら講義を行った。

教材の改良と本実験の教育効果の確認を目的とし、事前と事後に参加者にアンケート・テストを行った。その分析結果から、受講者の満足度は高く受信実験は中高生が興味を持てる教材であること、力学概念テスト正答率の顕著な向上は見られなかったものの、科学教室で直接扱った物理内容の理解については、生徒の自信が高まったことが分かった。一方で理科の有用感については、受講者の有用感が元から高かったこともあり、顕著な向上は見られなかった。2019年には、科学館にて小学生を主な対象とする科学教室も行い、アンケート結果から受信実験は小学生にとっても面白く、科学技術(人工衛星)の存在や役割を実感できる実験であることを確かめた。

これらの結果は、日本天文学会、日本理科教育学会、日本天文教育普及研究会中部支部会等で報告するとともに、「天文教育」誌の記事[3]にまとめた。

(2) 高校授業での実践とその教育効果の測定

2018年には、理科に対する興味や関心が多様な生徒への受信実験の効果測定を目的として、2つの高校の正課の授業の中での実践を行った。

2校(A高校・B高校)で、計74名を対象に実施した。A高校では理数科の2年生41名を対象に、大学教員・大学院生による出張授業として2日間に渡り各3時間で実施した。授業の扱いとしては「課題探求」「科学的探究入門」の中で行った。B高校では普通科の2年生33名を対象に、3時間半の授業を高校教員が行った。夏季休業中の補講扱いであるため「物理」の授業を受けている生徒のうち希望者が参加した。

実験の教育効果を確認するため、2校とも事前と事後にアンケートを行った。また、B高校においては物理を履修している実験参加者と非参加者の両方に人工衛星の運動に関するテストを実施し、その結果を比較した。

高校授業でも、科学教室の場合と同様に、各実施内容について肯定的な回答が得られた。受信実験は(科学教室の受講者のように天文や人工衛星に特に関心のある生徒以外でも)一般の生徒にも受け入れられる実験と考えられる。理科の有用感に関する質問では、実験前後で有意な差での改善が見られた。受信実験を通して、現代社会を支える実用的な技術(人工衛星)との関連を実感し、受講者の理科(物理)への有用感が増していることを確認できた。

受信実験による物理内容の理解の向上を測定するため、B高校での授業実践の約1ヶ月半後に物理を履修している実験参加者と非参加者の両方に、受信実験の内容と関連のある4問の力学のテストを実施した。その結果、実験の参加者の方が非参加者より有意に得点が高かった。

これらから、衛星電波受信実験の教材としての効果を確かめることができた。これらの結果は、日本天文学会、日本物理学会、日本物理教育学会等で報告するとともに、「物理教育」誌の査読付き論文[4]にまとめた。

(3) 衛星電波受信実験 Web サイト

高校教員や生徒が授業で人工衛星電波受信実験が簡単に実施できるよう、必要な情報をまとめたWebサイト[5]を作成した。Webサイトでは、学習指導要領と本実験の関連の説明、詳細な実験手順、機材の情報、受信予報作成のためのExcelファイル、実践による教育効果測定の結果を掲載している。

また、受信実験の対象とできる人工衛星を調査する為に、Raspberry piとソフトウェア受信機(SDR)を利用した自動受信局を試作し、動作を確認する事ができた。この自動受信局の定常的な運用と、その結果の受信可能な衛星リストのWebサイトでの公開が今後の課題である。

(4) 超小型人工衛星を使った新たな教育利用の試み

超小型衛星の教育利用の更なる発展として、静岡大学工学部が開発した超小型衛星 Stars-A0を用いた観測計画を中高生が立案する科学教室も実施した。これは将来的には高校「理数探究」内での実施を視野に入れている。静岡大学教育学部の教育心理・哲学・理科教育の研究者と協力し、特に参加者の「理数知識を具体的な現象に活用する能力」と「創造的なアイデアを生む為に建設的な議論を行う能力」の育成を目指しカリキュラムを作成した。37名の中高生が参加し、うち2名は本科学教室のアイデアを元に研究を進め、日本天文学会ジュニアセッションで発表した。

目標とした2つの能力の向上を評価するために、参加者が科学教室中に作成した成果物(個人アイデア#1・2、中間発表資料、最終発表資料)、事後アンケートの内容を分析した。

「理数知識を具体的な現象に活用できる能力」の向上を評価するため、予習資料や解説講義の中で取り上げてきた理数的概念が、成果物の中で適切に活用されているかを客観的基準で採点して、定量的に評価した。平均得点は段階を追って伸びており「理数知識を具体的な現象に活用できる能力」は向上しているようであった。

「創造的なアイデアを生む為に建設的な議論を行う能力」の向上の評価を定量的に評価することは困難であった。そこで各個人・各チームでの成果物の中から、参加者がこの能力を活用したと考えられるエピソードを探し、定性的に評価した。ある1つのチームの例を取り上げる。このチームのメンバーは個人でのアイデア検討段階では月に興味があり、衛星による月の撮像を試みようとしていた。中間発表の段階で、定量的検討により、衛星の空間分解能が、月の直接撮像には不十分と気づいた。最終発表では、「日食時の地表の月の影を間接的に観測する」というアイデアを、観測実現性も定量的に検討し発表した。チームの1人のアンケート記述に「自分で解決できなかった問題を他の人の質問やコメントから解決策を思いつくことができた」というものがあった。月の直接観測から間接観測へのアイデアの変遷はある種の創造性の表れだと我々は考えた。「創造的なアイデアを生む為に建設的な議論を行う能力」を活用し訓練する機会を科学教室の中で設けられたと考える。

これらの結果は、日本天文学会、International Symposium on Space Technology and Science等で報告するとともに、「Aerospace Technology Japan」誌の査読付き論文[6]にまとめた。

<参考文献>

- [1] 国立教育政策研究所、「平成 17 年度高等学校教育課程実施状況調査」、2007 年
- [2] 国立青少年教育振興機構、「高校生の科学等に関する意識調査 H26」、2014 年
- [3] 内山秀樹、原田裕貴、増田光希、「人工衛星電波受信実験の教育利用：静岡大学附属浜松中学校での実践」、天文教育、29-4、23-25、2017 年
- [4] 小林尚輝、内山秀樹、山本仁、神尾誠也、木下拓史、島野誠大、武井大、松山福太郎、内山智幸、内田匡、石代晃司、渡辺謙仁、「高校物理のための人工衛星電波受信実験の教材化と実践」、物理教育、68/2、79-86、2020 年
- [5] 小林尚輝、内山秀樹、「人工衛星電波受信実験」、<https://wvp.shizuoka.ac.jp/jushin-jikken/>（最終閲覧日 2021 年 5 月 31 日）
- [6] Hideki Uchiyama, Takeshi Machi, Michitaro Nakamura, Yoshiyuki Gunji, Satoshi Nozawa, Masahiro Nohmi, Mami Saito, “Trial of a New Educational Use of a Nanosatellite: Workshop Planning Observations Using the Stars-A0 Satellite for High School and Junior High School Students”, Aerospace Technology Japan, Vol.19, No.4, 2021 年

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 小林尚輝, 内山秀樹, 山本仁, 神尾誠也, 木下拓史, 島野誠大, 武井大, 松山福太郎, 内山智幸, 内田匡, 石代晃司, 渡辺謙仁	4. 巻 68
2. 論文標題 高校物理のための人工衛星電波受信実験の教材化と実践	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 79 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20653/pesj.68.2_79	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hideki Uchiyama, Takeshi Machi, Michitaro Nakamura, Yoshiyuki Gunji, Satoshi Nozawa, Masahiro Nohmi, Mami Saito	4. 巻 19
2. 論文標題 Trial of a New Educational Use of a Nanosatellite: Workshop Planning Observations Using the Stars-AO Satellite for High School and Junior High School Students	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 内山秀樹、小林尚輝	4. 巻 31
2. 論文標題 超小型人工衛星を「使う」教育利用の試み	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 天文教育	6. 最初と最後の頁 3-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 内山秀樹, 原田裕貴, 増田光希	4. 巻 29
2. 論文標題 人工衛星電波受信実験の教育利用: 静岡大学附属浜松中学校での実践	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 天文教育	6. 最初と最後の頁 23-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 増田光希, 内山秀樹	4. 巻 29
2. 論文標題 人工衛星電波受信実験のための Arduino とProcessing を使った方位・仰角計の製作	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 天文教育	6. 最初と最後の頁 26-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計20件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 内山秀樹
2. 発表標題 人工衛星(の電波受信実験)を中心にした高校物理程度力学授業: オンラインでの実施
3. 学会等名 第34回天文教育研究会(日本天文教育普及研究会2020年年会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林尚輝, 内山秀樹
2. 発表標題 人工衛星電波受信実験のための教員向けWebサイト作成
3. 学会等名 2019年(2018年度)日本天文教育普及研究会中部支部 天文教育研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内山秀樹
2. 発表標題 中高生による軌道上望遠鏡超小型衛星Stars-A0(あおい)を用いた観測研究立案プロジェクト
3. 学会等名 2019年(2018年度)日本天文教育普及研究会中部支部 天文教育研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki UCHIYAMA, Takeshi MACHI, Michitaro NAKAMURA, Yoshiyuki GUNJI, Satoshi NOZAWA, Masahiro NOHMI, Mami SAITO
2. 発表標題 Trial of New Educational Usage of a Nano Satellite: Workshop of Stars-A0 Observation Planning for High and Junior-High School Students
3. 学会等名 32nd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林尚輝, 内山秀樹
2. 発表標題 高校物理教材としての人工衛星電波受信実験の実践
3. 学会等名 日本物理教育学会 第36回 物理教育研究大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内山秀樹, 町岳, 中村美智太郎, 郡司賀透, 齋藤茉美, 能見公博, 野澤恵
2. 発表標題 超小型人工衛星を使った新たな教育利用の試み : 中高生による軌道上望遠鏡超小型衛星Stars-A0 (あおい) を用いた観測研究立案プロジェクト
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林尚輝, 内山秀樹
2. 発表標題 人工衛星電波受信実験の小学生に向けた実践
3. 学会等名 日本理科教育学会第69回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤茉美, 内山秀樹, 町岳, 中村美智太郎, 郡司賀透, 能見公博, 野澤恵
2. 発表標題 超小型人工衛星を使った新たな教育利用の試み : 軌道上望遠鏡超小型衛星Stars-A0 (あおい) を用いた中高生向けの科学教室の実践とその効果
3. 学会等名 武蔵野大学宇宙教育セミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林尚輝, 内山秀樹, 山本仁, 神尾誠也, 木下拓史, 島野誠大, 武井大, 松山福太郎, 内山智幸, 内田匡, 石代晃司, 渡辺謙仁
2. 発表標題 高校物理教材としての人工衛星電波受信実験の実践
3. 学会等名 武蔵野大学宇宙教育セミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内山秀樹, 小林尚輝, 山本仁, 神尾誠也, 木下拓史, 島野誠大, 武井大, 松山福太郎, 内山智幸, 内田匡, 石代晃司, 渡辺謙仁
2. 発表標題 人工衛星電波受信実験の高校物理教材化 : 正課授業での実践
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林尚輝, 内山秀樹, 山本仁, 神尾誠也, 木下拓史, 島野誠大, 武井大, 松山福太郎, 内山智幸, 内田匡, 石代晃司, 渡辺謙仁
2. 発表標題 高校物理のための人工衛星電波受信実験の教材化と実践
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内山秀樹, 小林尚輝, 山本仁, 佐藤航, 神尾誠也, 木下拓史, 島野誠大, 武井大, 松山福太郎, 内山智幸, 渡辺謙仁
2. 発表標題 人工衛星電波受信実験の高校物理教材化 : 科学教室形式での実践
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内山秀樹
2. 発表標題 中高生によるStars-A0衛星 観測研究立案プロジェクト実施報告
3. 学会等名 第7回小型衛星の科学教育利用を考える会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林尚輝, 内山秀樹
2. 発表標題 人工衛星電波受信実験の物理教材化 : 高校授業での実践
3. 学会等名 第7回小型衛星の科学教育利用を考える会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内山 秀樹, 小林 尚輝
2. 発表標題 人工衛星電波受信実験の教育利用 : 中学・高校での科学教室での実践 1
3. 学会等名 天文教育普及研究会中部支部 2017年度 天文教育研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 尚輝,内山 秀樹
2. 発表標題 人工衛星電波受信実験の教育利用：中学・高校での科学教室での実践2
3. 学会等名 天文教育普及研究会中部支部 2017年度 天文教育研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤 茉美,内山 秀樹
2. 発表標題 軌道上望遠鏡超小型衛星 Stars-A0 を用いた中高生の研究体験の計画
3. 学会等名 天文教育普及研究会中部支部 2017年度 天文教育研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内山 秀樹
2. 発表標題 人工衛星電波受信実験の物理教材化：中高生向けの科学教室としての実践
3. 学会等名 第6回小型衛星の科学教育利用を考える会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内山 秀樹
2. 発表標題 人工衛星電波受信実験の教育利用
3. 学会等名 第15回 ものづくり・創造性教育に関するシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内山 秀樹
2. 発表標題 人工衛星電波受信実験の教育利用：附属浜松中学校での実践報告と今後に向けて
3. 学会等名 第5回小型衛星の科学教育利用を考える会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

人工衛星電波受信実験教員向けWebサイト https://wpp.shizuoka.ac.jp/jushin-jikken

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	深井 貫 (Fukai Kan)		
研究協力者	今井 一雅 (Imai Kazumasa)		
研究協力者	内山 智幸 (Uchiyama Tomoyuki)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	横田 一弘 (Yokota Kazuhiro)		
研究協力者	渡辺 謙仁 (Watanabe Takahito)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関