

## 特集

ソフトウェア受信機を使った  
衛星電波受信実験の教育利用

## ～小中学校気象分野での利用～

松平朋香、杉山 明、内山秀樹、金田裕之（静岡大学）

## 1. はじめに

主に低軌道の人工衛星からの電波を受信する実験（衛星電波受信実験）は、第1宇宙速度やドップラー効果等の高校物理で扱う現象を確認でき、かつ、科学技術（人工衛星）との関連を実感させ、生徒の理科への有用感の向上につながる教材であると先行研究[1]で報告されている。先行研究[1]の実践では、アナログ無線機（ワイドバンドレシーバー）を使用していた。しかし、ワイドバンドレシーバーの多くは、高価で音声出力のみしかない欠点がある。そこで我々は近年利用されるようになったソフトウェア受信機（Software Defined Radio, 以下 SDR）に着目した。SDRとは、コンピューターが信号処理を行い動作する受信機のことである。SDRを利用すると、米国海洋大気庁が運用する気象衛星 NOAA [2]の画像（図1）の取得が容易にできる（[3]等を参照）。今回はSDRのこの利点を活かした受信実験の教育利用を検討した。

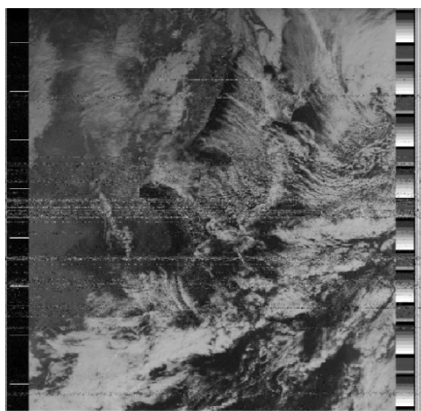


図1 SDRを用いNOAA衛星の電波を受信して取得した気象画像の例

## 2. 学習指導要領と衛星電波受信実験

人工衛星電波受信実験は、小学校、中学校、高等学校の理科に密接に関わっている。具体的に、小学校[4]、中学校[5]、高等学校の理科の学習指導要領[6]との関係を表1に示した。

表1 受信実験の学習指導要領との関係

受信実験で扱う事項	小学校	中学校	高校物理	高校地学	科学と人間生活
人工衛星の物理		-力のつり合い	-円運動と単振動 -万有引力		
アンテナの物理		-光と音 -電流と磁界	-波（基礎） -音 -電流と磁界		-光と熱の科学
NOAA衛星画像	-天気の変化	-気象観測 -日本の気象		-大気構造と運動 -大気と海洋（基礎）	-宇宙や地球の科学

このように、人工衛星電波受信実験は、学校で学ぶ理科と社会や技術を結ぶ教材になることが分かる。また、NOAA衛星の画像を使えば、自分でデータと取得できるため、主体的に学習に取り組めると考えられる。今回は表1の下線で示した小中学校の気象分野での利用を目指した実践を行った。

## 3. 実践の授業デザイン

この実践の講座名を「人工衛星の電波を受信して天気予報にチャレンジ」とした。そして、講座の教育目標は「NOAA衛星の電波受信実験で取得した気象画像から規則性を見出して天気予報をする活動を通じて、偏西風や気圧の理解を深めると同時に、人工衛星などの天気予報に関わる技術について知り、理科

と社会と技術の関わりを実感する。」とした。本実践の効果測定のために「天気予報はどのように行っているの？知っていることをなんでも書いてみよう。」という問いに対する受講者の回答を記述式ワークシートで講座前後に得た。講座前後で記述がどの様に変化しているか、特に先に述べた講座の目標を達成しているかを計量テキスト分析またはテキストマイニングのためのフリーソフトウェア KH Coder [7] を使用して分析した。また、講座後にアンケートを行い、受講者の主観的な受講者の満足度を測った。ワークシートとアンケートにより、この実践が受講者にとって効果的であったのかを測った。

#### 4. 実践

静岡大学附属浜松中学校で 2023 年度に実践を行った。理数系人材育成プロジェクト浜松トップガン[8]の一環とし、希望者が自主的に参加する科学教室として実施した。第 1 回は 3 時間、第 2 回は 2 時間の全 2 回で行った。受講者は、小学 5 年生が 6 人、小学 6 年生が 2 人、中学 1 年生が 6 人、中学 2 年生が 1 人の計 15 人が参加した。

使用機材は、必要なソフト (HSDR [9] と Wxtoimg[10]) をインストールした PC と SDR 機材 (RTL-SDR.COM V3 RTL2832U R820T2)、アナログ無線機 (ICOM IC-R6) が 4 セット、既製品の 2 エレメント 144 MHz の八木アンテナが 8 本である。また、ひまわりリアルタイム Web[11]を利用するために iPad を受講者の人数分用意した。

ひまわりリアルタイム Web とは、気象庁が提供するひまわり 8 号衛星の高解像度可視画像を見ることができる Web サービスである。国立研究開発法人情報通信研究機構の NICT 時空間データ GIS プラットフォームのビックデータ技術開発プロジェクトの一環として公開されている。ひまわり衛星から見た地球

の画像を見ることができる。また、リアルタイムだけでなく、日付や時刻を変更し、過去の画像も見ることができる。そのため、季節や時間による雲の動きや変化を見ることができる。今回は、受信実験で受講者自身が取得した画像と、受講者がインタラクティブに見られるひまわりリアルタイム Web の画像を相補的に利用した。

以下に実践の各回の様子を示す。

#### 4.1 第 1 回の様子

本講座では、導入として天気による様々な被害を防いだり、生活の役に立ったりする天気予報の重要性の確認から始めた。そして、天気予報に必要な情報について問いかけ、その 1 つである気象画像に注目した。気象画像は人工衛星が撮影していることを確認し、人工衛星について学んだ。その上で、受信実験の方法の解説を行い、受信実験を実施した。受信実験は 1 班 3~4 人の 4 班に分かれて、図 2 に示した役割分担で行った。図 3 が実際の実験の様子である。

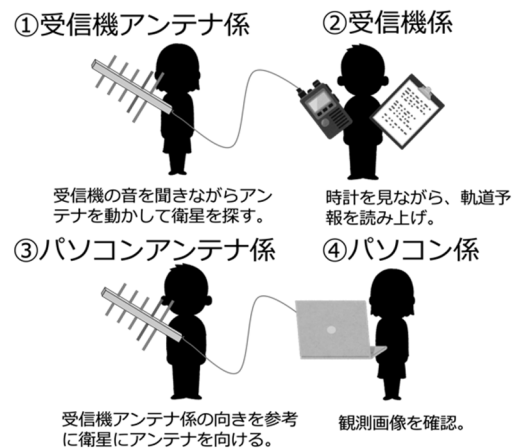


図 2 受信実験時の役割分担

本実践により、小中学生であっても SDR を使った受信実験は、適切な準備があれば、十分実施できることが分かった。人工衛星は受講者にとって身近なものではないが、受信実験によって身近に感じる事ができたと考えら

れる。受信実験への受講者の感想には、「画像ができることが印象に残った。」や「浜松の上空を人工衛星が飛んでいることに驚いた。」等があった。受信結果は、4班のうち3班は雲の様子が分かる画像が取得できたが、1班はできなかった。受信画像と気象衛星ひまわりの画像を元に、その日の午後以降の天気を受講者が予想した。実際の天気を記録する宿題を課し、第2回へと繋げた。



図3 受信実験の様子

#### 4.2 第2回の様子

第2回は、予報のためには天気の規則性を見出す必要があることを受講者に気付かせる導入を行った。一方で前回行った予想で根拠とした規則性として、多くの受講者が「雲が西から東に動く」を挙げていた。そこで、受講者がiPadでひまわりリアルタイムWebを使って自由に雲の動きを観察し、その規則性が本当であるか確認を行った。また、生徒の中で当たり前の考え方である「雲が西から東に動く」は、日本以外の他の地域でも通用するのかについて考え、ひまわりリアルタイムWebをもとに観察した。そこで、偏西風以外にも様々な風が吹いていることを理解した。ひまわりリアルタイムWebを使った受講者の感想は、「雲の動きが手に取るように分かり、新鮮だった。」や「地球の場所によって雲の動きが違ったことが面白かった。」などがあった。また、第1回で行った予想の際に、ひまわりリアルタイムWebの画像で雲が渦を巻いて

いる様子に着目した受講者がいた。その意見を取り上げ、この雲の渦は低気圧によること、気圧も天気の規則性に関わることを説明した。そして、気圧を理解するために、真空実験を行った。具体的には、お菓子の袋、マシュマロ、お湯を手動・電動のポンプを使い真空状態にした(図4)。この時の受講者の感想は、「空気の重さについて理解できた。」があった。この上で、気圧が高い方から低い方に空気が移動する規則性があること、また、この気圧の差により季節風が吹いていることを説明した。最後に、気象予報をするには、様々な規則性を組み合わせて考えなければならないことに触れ、実際には各所での気圧等も含めた多くのデータを元にしたコンピュータの計算結果を利用することを説明した。この過程には受講者が学校で学んでいる理科・プログラミングや他の教科が密接に関わっていることを示した。



図4 真空実験の様子

### 5. 結果と考察

#### 5.1 講座前後の変化

「天気予報はどのようにしているのか」という問いに対する、講座開始時14件・終了時15件の記述式回答を得た。この内容がどのように変化しているかをKH Coderで共起ネットワークを作成し分析した。共起ネットワークとは、文章に含まれている単語の頻度と単語間の結びつきを図示したものである。円の大きさは単語の出現頻度を示し、線同じ文中

に共に出現し結びつきがある単語を結んでいる。また、円の色は、結びつきが強い単語群をグループ化して示している。講座開始時・終了時の記述の共起ネットワークを図5、6に示した。今回着目した部分を円で囲んだ。

開始時(図5)には講座のタイトルが「人工衛星の電波を受信して天気予報にチャレンジ」であったため、タイトルから「人工衛星」、「電波」、「受信」という言葉を多くの生徒が使用していた。また、多くの生徒が、雲の動きや風向きに着目することを記述していた。

終了時(図6)には、開始時に比べて、使用している言葉の数が増えていることがわかる。これより、講座を通して天気予報について様々な知識を得て、記述ができるようになったと考えられる。また、「規則」や「情報」と「集める」が、「データ」と「予報」が結びついていた。これらは講座前には見られなかった言葉である。さらに、講座で扱った規則性である偏西風や気圧についての記述も見られた。これより、講座で強調した「規則性」や「様々なデータ」を利用して天気予報をしていることに気付くことができたと考えられる。そして、講座前にも見られたが強い結びつき

は見られなかった「人工衛星」と「雲」や「動き」が密接に結びついている。これにより、人工衛星という技術が私たちの身近な天気予報に、ひいては私たちの生活に密接に関わっていることを実感できたと考察できる。

受講者全体だけでなく、個別の受講者での記述の変化も調べた。講座前に、「今日の天気や前の天気を参考にしている」と記述していた受講者は、「色々な規則を使い、コンピュータで数値化し、図などにして天気を予報している。天気には気圧や季節風が関係している。」という記述に変化した。この受講者は、講座前の段階で、現在や過去の天気を参考にすることが書かれていた。講座後には、理科では重要な「規則性」を使ってコンピュータで計算していることを理解し、気圧が関係していることを捉えられる様になっていた。講座で目標にしていた姿を見ることができた。一方で、講座前には「周辺の天気や現在の天気からの予測」と記述していた別の受講者が、講座後に「コンピュータを使わなければ正確な予報はできない」という理科学的な視点が抜け落ちた記述に変化してしまっていた。これは、講座で行った「規則性を探し、それにより予

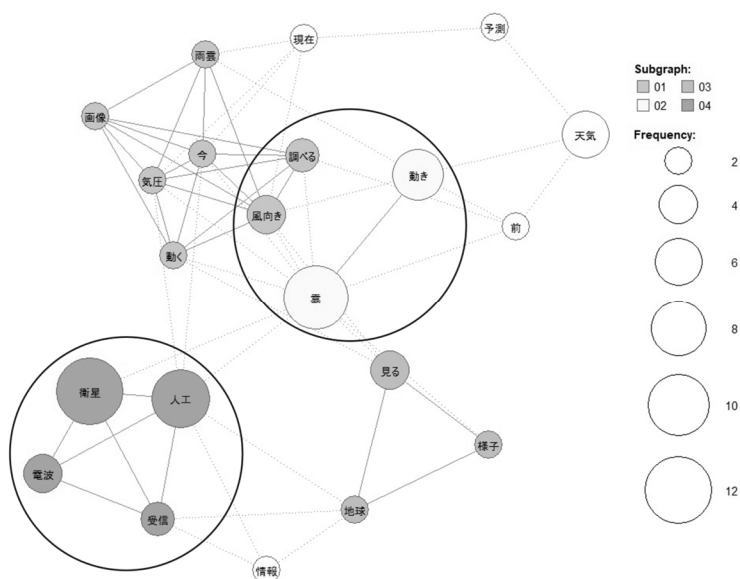


図5 講座開始時の共起ネットワーク

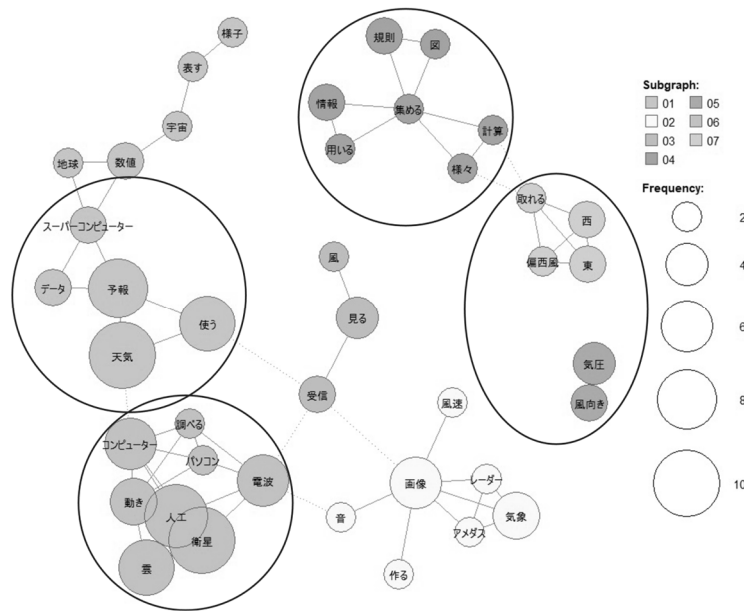


図 6 講座終了時の共起ネットワーク

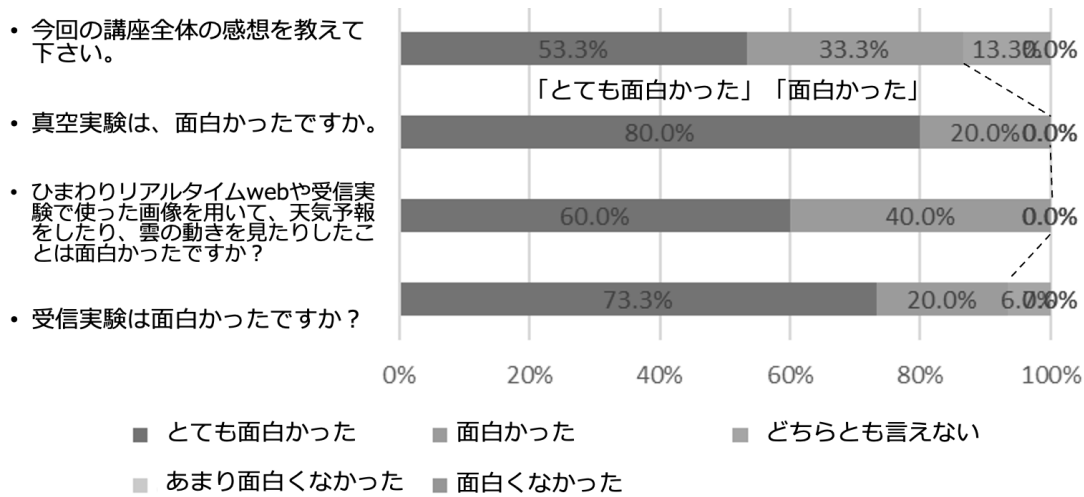


図 7 講座の満足度に関するアンケート結果

報ができる」という過程や「理科と天気予報のつながり」よりも、最後に説明した「コンピュータでの予報」の方が強調され過ぎてしまった結果だと考えている。

これらの個々の記述の変化から、3 節で示した講座の目標の一部が達成できていることが分かったが、改善するべきことも見つかった。コンピュータでの数値予報を扱ったが、これと今回の講座で学んだ他の規則性の関係が結びついていない様に読み取れる受講者もいたことから、その点を工夫する必要がある。

また、学校で学ぶ理科が技術につながっている点についても、もっと伝えるべきであった。

## 5.2 講座の満足度

講座終了時の満足度についてのアンケートを四項目の選択式で行った。結果を図 7 に示した。全ての項目で、8 割以上が「とても面白かった」や「面白かった」を選択していることが分かる。アンケートの自由記述では、「新しい事をたくさん知れました。」や「天気予報が実際どうやっているのか、自分の手で

考えることが楽しかった。」などの肯定的な意見が多かった。今回の満足度は高いと言える。一方では、ある中学生は「対象年齢が低く、さらに詳しく知りたかった。」や、ある小学生は「よくわからないところもあった。」等の内容の難易度に関する意見があった。小中学生のどちらかに対象を絞るか、もっと班構成を考えるべきであったかもしれない。

### 5.3 今後の教育利用に向けた課題

本実践の中では、受信実験での画像取得に成功したか否かにより天気予報をする活動にモチベーションの差が生じた課題があった。今後行う際は、受信実験の成功率を高める為に高度の高い時を選ぶべきである。また、受信に失敗した班でも自分事として捉えられる様に、上手く受信できた班の画像を iPad 等の ICT で全体に共有する工夫も必要である。

## 6. まとめ

SDR を使った電波受信実験で NOAA 衛星の気象画像を取得し、天気予報を行う小中学生向けの実践を行った。SDR を使った受信実験は小中学生でも十分行えることが分かった。アンケートでの受講者の満足度も高かった。講座前後のワークシート記述から、気象分野の理解を深め、技術と生活の関わりを実感させる効果はあったと考えられる。一方で理科と技術の結びつきについては伝える工夫が必要である。また、実施上の課題（実験成功率の向上、ICT の活用）も見えてきたので、今後の改善が必要である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20H01742 の助成を受けたものである。

## 文 献

[1] 小林尚輝ら (2020), 「高校物理教材と

しての人工衛星電波受信実験」, 物理教育, 68/2 79-86

[2] NOAA National Environmental Satellite, Data, and Information Service, “Currently Flying”, <https://www.nesdis.noaa.gov/current-satellite-missions/currently-flying> (2024 年 4 月 6 日最終閲覧)

[3] falconblog, 「ソフトウェア無線で気象衛星 NOAA の画像を受信」, <https://falconblog.org/software-radio-noaa-image-setup/> (2024 年 4 月 6 日最終閲覧)

[4] 文部科学省 (2017), 「小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説理科編」

[5] 文部科学省 (2017), 「中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説理科編」

[6] 文部科学省 (2018), 「高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 解説理科編 理数編」

[7] 樋口耕一, “KH Coder”, <https://kncoder.net/> (2024 年 4 月 6 日最終閲覧)

[8] 浜松トップガン教育システム, <https://topgun.ed.shizuoka.ac.jp/> (2024 年 4 月 6 日最終閲覧)

[9] HDSDR, <https://www.hdsdr.de/> (2024 年 4 月 6 日最終閲覧)

[10] WXtoImg, <https://wxtoimgrestored.xyz/> (2024 年 4 月 6 日最終閲覧)

[11] 情報通信研究機構, 「ひまわりリアルタイム Web」, <https://himawari8.nict.go.jp/ja/himawari8-image.htm> (2024 年 4 月 6 日最終閲覧)

[12] Chris Peat, “Heavens Above”, <https://www.heavens-above.com/> (2024 年 4 月 6 日最終閲覧)

松平 朋香

杉山 明

内山 秀樹

金田 裕之