

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：16102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23531203

研究課題名(和文) 宇宙からの地球観測技術教育プログラムの構築と実践的研究

研究課題名(英文) Construction of Earth observation technology education program from the space and its practical study

研究代表者

伊藤 陽介 (ITO, Yosuke)

鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・教授

研究者番号：90249855

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：人工衛星に搭載されたセンサを用いた宇宙からの観測によって地球環境の全容が明らかにされつつある。本研究課題では、地球観測技術の仕組みを理解しつつ地球環境問題を科学技術的な側面から考察できる人材の育成をねらいとし、「宇宙からの地球観測技術教育プログラム」の構築を行うとともに、地球観測用電波を学習者自身で識別できる教材・教具を開発し、本教育プログラムの部分的な教育実践に基づきその有用性を検証した。

研究成果の概要(英文)：Observation from the space using a sensor on an artificial satellite is revealing the whole situation of the global environment. The purpose of this study is to bring up persons who can understand Earth observation technology and consider global environmental problems from technological aspects. "Earth observation technology education program from the space" was proposed and its learning contents were constructed. Teaching materials and tools, which can distinguish radio waves for the Earth observation in real time, were also produced. Usefulness of the education program was partially verified based on a result of the teaching practice.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：分科：教育学、細目：教科教育学

キーワード：地球観測 技術教育 人工衛星 宇宙

1. 研究開始当初の背景

近年の砂漠化や森林破壊等による広域的な環境変化、火山活動や地震による地殻変動等の地球環境は、宇宙からの観測によりその全容が明らかにされつつある。とくに、人工衛星に搭載され高精度化・多機能化されたセンサを用いる地球観測技術の重要性は高まっている。様々な電磁波に感度をもつセンサによってその強度等を計測する地球観測技術では、可視光領域を含む広帯域の電磁波を利用し、人間の目では認識できない地表面や海面等の現象を観測可能にしている。すでに膨大な地球観測画像のアーカイブやデータベースが構築され、その一部は無償提供されている。近年、デジタル地球儀ソフトウェアや地図サービス等の Web サービスを介して容易に地球観測画像を閲覧できるようになった。しかし、学校教育において積極的に地球観測技術を題材として取り入れた事例は少なく、また、地上においてリアルタイムで地球観測されていることを実感することが難しいという側面から、学校教員や生徒の地球観測技術に対する興味・関心は必ずしも高いとはいえなかった。

2. 研究の目的

本研究課題では、地球観測技術の仕組みを理解しつつ地球環境問題を科学技術的な側面から考察できる人材の育成をねらいとし、中学生以上を対象として教育実践可能な「宇宙からの地球観測技術教育プログラム」の構築と検証・評価を目的とする。

3. 研究の方法

(1) これまでの地球観測技術の教育利用とその研究成果を省察するとともに、地球環境問題を取り上げた教育に関する文献調査を行う。中学校を訪問し、地球環境問題を取り上げた教育実践事例、地球観測技術の教育利用例等について聞き取り調査を行うとともに、学校に導入されている教育用コンピュータシステムの現況を調査し、研究開発する教育用ソフトウェア環境の仕様を定める。地球環境問題と宇宙からの地球観測技術教育に関する学校教員に対する意識調査を行う。これらの調査結果を分析し、具体的な学習指導内容と時間数を定め「宇宙からの地球観測技術教育プログラム」を構築する。

(2) 本教育プログラムの教育実践に必要なとされる教材・教具として、人工衛星による地球観測をリアルタイムで体感できることを特徴とする電波観測機器を研究開発する。教育用ソフトウェア環境は、地球観測技術を視覚的かつ直感的に分かりやすく学習できる点を重視する。図1に本機器を用いた実験環境のイメージを示す。

(3) 研究開発した電波観測機器を用いて人工衛星に搭載されている合成開口レーダ(SAR)から放射された地球観測用電波を対象として観測実験を行い、アンテナの形状を学

習者が製作しやすいように設計するとともに、学習者が地球観測技術を体感できる方法を研究する。

(4) 研究開発した教育用ソフトウェア環境を試験的に運用する。学校教員らによる試用結果を分析し、教育実践を想定して本ソフトウェアの直感的な操作性や学習成果の視認性を改良する。本教育プログラムの学習指導計画を立案するとともに、教示用資料と学習ワークシート等を開発し、教育実践結果に基づいて評価・検証を行う。

4. 研究成果

(1) 「宇宙からの地球観測技術教育プログラム」の開発にあたり、地球観測技術を題材とする教育内容を学校教育に導入できる可能性を調査するため、主に中学校において技術科を担当している学校教員に対して意識調査を実施した。その結果、地球観測技術に関する予備知識については多いとはいえなかったが、様々な機器で利用されている電波を題材として取り上げ、電波の観測実験を取り入れることによって技術教育として構築できる可能性が示唆された。

教員に対する意識調査ならびに教育用コンピュータシステムの現況調査結果に基づき、本プログラムの教育目標として「地球観測技術に関する基礎的・基本的な知識を身につけ、地球観測に使われている電波の観測実験による体験的な学習を通して、地球観測技術が生活や社会に果たしている役割を理解すること」とした。

(2) この目標を達成するため、主な学習内容として地球環境問題と関連する地球観測技術の役割、ホーン型アンテナの製作、学習支援機器の設置実習と電波観測実験、地球観測画像の処理実習等を取り入れる。開発したプログラムを16単位時間で実施する場合の授業内容例を表1に示す。

まず、第1時において地球環境問題と地球観測技術の意義について理解しつつ、利用されている人工衛星とセンサをインターネット等を用いて調べる。第2、3時において、電波を利用した様々な技術や機器等を調べつつ、その利用価値を認識する。とくに、地

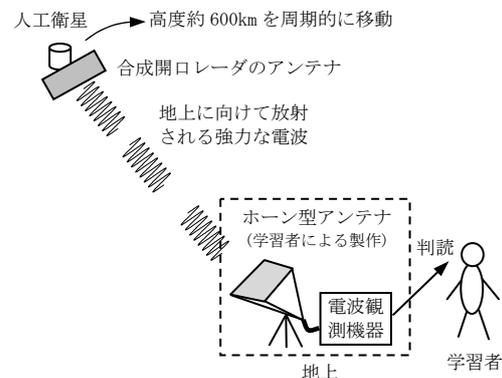


図1 宇宙からの地球観測を体感するための実験環境

球環境を把握するためには、北極や南極、熱帯雨林地方を昼夜を問わず天候にも影響されにくい方法による観測が有効であることを知らせ、この観測方法の一つとして SAR が利用されていることを示し、その概要について宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 等の Web ページを引用しつつ学習する。

第 4~6 時において電波観測機器とホイップ型アンテナ等を用いて身近な放送 (FM、ワイヤレスマイク等) 用や通信 (無線 LAN や携帯電話等) 用の電波を観測し、その結果をまとめて発表する。この学習活動を通して電波観測機器と制御用ソフトウェア、ケーブルやコネクタ等の使い方を知る。

第 7、8 時では、人工衛星に搭載された SAR によって身近な地域が観測される日時について SAR を運用している機関の Web ページ等を参照して調べる。地球観測用電波観測実験を実施するための日時と場所を決め、必要とされる準備物を列挙した実施計画を作成する。本計画の作成では、実施計画書のひな形を指導者が作成し、穴埋め形式で作成できるように配慮する。

第 9、10 時では、SAR から放射された電波を観測するためのホーン型アンテナを学習者自身で製作する。このアンテナはアルミニウム箔で被覆された厚紙を切り抜き、立体構造となるように粘着テープ等で組み立てる。なお、製作状況に応じて、あらかじめ指導者が作成した複数種類の型紙を用いることも

ある。円滑に電波観測実験ができるように室内において製作したアンテナをカメラ用三脚に固定し、電波観測実験を模擬的に実施する。

第 11 時以降は、決定した電波観測実験の実施日に合わせる。第 11、12 時において電波観測実験を野外で実施する。アンテナの方位角と仰角は、人工衛星の軌道に基づいて定め、本体を三脚により固定する。受信電波の強度が減衰しにくくするように電波観測装置は、できるだけアンテナの近くに設置する。SAR の観測予定時刻の 10 分程度前から受信を開始し、受信状態を時系列的に記録し表示した結果を観察して地球観測用電波を識別する。また、一連の実験の様子をデジタルカメラやビデオカメラで記録しておく。

電波観測実験の日時に実験機器を設置した場所の周辺を観測した SAR データを JAXA 等から入手後、第 13、14 時を実施する。学校教育用 SAR 画像解析・表示ソフトウェア (EduSAR) の利用方法を学習する。EduSAR は GUI を備えた Web アプリケーションであり、詳細な SAR データ処理の内容に踏み込むことなく視覚的に SAR 画像を生成できる。電波観測実験時の SAR データを EduSAR を用いて画像化し、地上の様子と SAR 画像の比較結果をまとめて発表する。

第 15、16 時では、SAR による地球観測情報の様々な活用事例を調べるとともに、地球環境に対する地球観測技術の有用性と将来像を示し、学習内容をまとめる。

(3) 本教育プログラムで用いる電波観測機器は、野外での利用と経済的な側面を考慮して開発されている。SAR による地球観測用電波は、線形変調が施されたパルス状である。一般的な放送用電波の受信機では、当該電波を識別することはできないため、スペクトラムアナライザ (SA) を用いる。SA は入力信号に含まれる周波数ごとの強度を計測する機器であり、アンテナからの信号を入力することによって電波の状態を表示できる。近年、SA の機能を限定し小型化・廉価化を実現した組込型 SA (GigaSt) が開発され教材として利用可能になっている。組込型 SA は一般的な SA と比較して、表示部を内蔵しない、ダイナミックレンジが狭い、掃引時間が遅い等の機能的に劣る側面はあるが、本教育プログラムで用いる教材・教具であれば利用可能と判断した。図 2 に組込型 SA を用いた電波観測機器のブロック図を示す。野外での利用を想定し、バッテリー駆動可能なノート型パソコン (PC) 等を利用し、その USB バスパワーと DC-DC コンバータを用いた電源構成となっている。

本機器と PC は USB 通信を介して接続され、組込型 SA の制御と観測信号の表示を PC 側のソフトウェアで行う。本教育プログラムで利用するために新たに開発した制御用ソフトウェアでは、周波数帯域を横軸、経過時間を縦軸とする表示領域に、電力の大きさを各画素の色で表現した線を、あらかじめ設定した

表 1 宇宙からの地球観測技術教育プログラムの授業内容例

時	授 業 内 容
1	<ul style="list-style-type: none"> 地球環境問題の現状等を把握するための手段として地球観測技術が使われていることを理解する。 地球観測用人工衛星の種類や機能等の概要を調べる。
2	<ul style="list-style-type: none"> 電波を利用した様々な技術について調べる。
3	<ul style="list-style-type: none"> 地球観測技術の一つである合成開口レーダ (SAR) の概要について学習する。
4	<ul style="list-style-type: none"> 電波観測機器とアンテナの使い方を知る。
5	<ul style="list-style-type: none"> 放送用や通信用電波の観測実験を行う。
6	<ul style="list-style-type: none"> 観測実験結果をまとめて発表する
7	<ul style="list-style-type: none"> SAR によって身近な地域が観測される日時を調べる。
8	<ul style="list-style-type: none"> 地球観測用電波観測実験の実施計画を作成する。
9	<ul style="list-style-type: none"> ホーン型アンテナを製作する。
10	<ul style="list-style-type: none"> 電波観測実験を模擬的に実施する。
11	<ul style="list-style-type: none"> SAR による地球観測の日時に合わせて野外において電波観測実験を行う。
12	<ul style="list-style-type: none"> 実験時の様子等を記録する。
13	<ul style="list-style-type: none"> 学校教育用 SAR 画像解析・表示ソフトウェア (EduSAR) の利用方法を学習する。
14	<ul style="list-style-type: none"> 電波観測実験時の SAR データを EduSAR を用いて画像化し、地上の様子と SAR 画像を比較した結果をまとめて発表する。
15	<ul style="list-style-type: none"> SAR による地球観測情報の様々な活用事例を調べる。
16	<ul style="list-style-type: none"> 地球環境に対する地球観測技術の有用性と将来像を示し、学習のまとめをする。

(1 単位時間：50 分間)

時間毎に上方向にスクロールする機能を備える。時間経過とともに地表面に向かって照射された電波の強度を記録した結果に基づき、学習者は地球観測状態を認識できる。

(4) 本教育プログラムでは、陸域観測技術衛星 ALOS に搭載された L バンド SAR である PALSAR からの電波を観測対象とした。PALSAR のアンテナの大きさは $3.1 \times 8.9\text{m}$ であり送信電力は 2kW である。アンテナから観測地点までの距離(約 800km)による自由空間損失、及び、利得 8dB 程度のホーン型アンテナによる利用を想定すると受信電力は $-50 \sim -40\text{dBm}$ と推定できる。この推定結果に基づき PALSAR の電波を認識できるように低ノイズ型プリアンプを受信部に追加し、本機器の雑音レベルを -110dBm にしている。また、PALSAR の場合、同一地点に対してパルス繰返周波数とパルス持続時間に応じて断続的に約 3 秒間照射される。計測周波数帯域幅を 100MHz に設定した場合、本組込型 SA の掃引時間は 0.5 秒程度であり、約 6 回程度 PALSAR の電波を計測できると推定される。

電波観測機器が PALSAR の電波を計測できることを検証するため、擬似レーダ波発生装置を用いた試験を行った。本装置の回路構成の制約から、周期 $600\mu\text{s}$ のうち $40\mu\text{s}$ 継続するパルスを繰り返し出力し、中心周波数 1850MHz バンド幅 80MHz と中心周波数 1930MHz バンド幅 15MHz の 2 種類を試験対象とした。疑似レーダ波として識別できた計測値の割合はそれぞれ 12% 、 13% 程度であり、本機器を用いて地球観測用電波を観測できる性能を備えていることがわかった。

(5) 本研究課題の実施期間中に、教育実践に基づいて本教育プログラムを評価・検証する計画であったが、当初観測対象としていた

PALSAR が 2011 年 5 月に運用停止となった。さらに、2013 年度中に打ち上げ予定であった後継の人工衛星 ALOS-2 も 2014 年度に運用開始が延期されたため、教育実践時に L バンド SAR を利用するできなくなった。そのため、野外における電波観測実験を除外し、室内での電波観測機器を用いた実験と電磁界シミュレータを利用した教育実践を行った。図 3 に電波観測実験時の機器構成を示す。

本教育実践は、電波の視覚化を含めた体験活動を重視し、身の回りで利用されている電波の観測実験とコンピュータを用いて電波の挙動を可視化する新しい学習内容を含む。教育実践の結果からこれらの教材・教具を学習活動に導入できることが示された。事前・事後学習調査と学習状態の時系列的な分析の結果に基づき、本教育により電波を利用する技術に対する知識と興味・関心が高まり、その技術の社会に果たす役割と有用性について学習できたことが明らかにされた。図 4 に電波観測機器を用いた学習者の様子を示す。

(6) 本研究課題では「宇宙からの地球観測技術教育プログラム」の学校教育での実践の可能性を示し、具体的な教育内容と教材・教具を開発した。さらに、教育利用を念頭におきつつ野外での利用と経済性等を考慮し、SAR による地球観測用電波を識別可能な電波観測機器を研究開発した。当初の研究計画では、人工衛星に搭載された SAR から放射された電波を地上において学習者が製作したホーン型アンテナと電波観測機器等を用いた野外での実験を行い、本教育プログラムによる学習効果を評価・検証することも含めていた。しかし、利用予定の SAR が運用停止となり本研究の一部を遂行できなかった。室内におけ

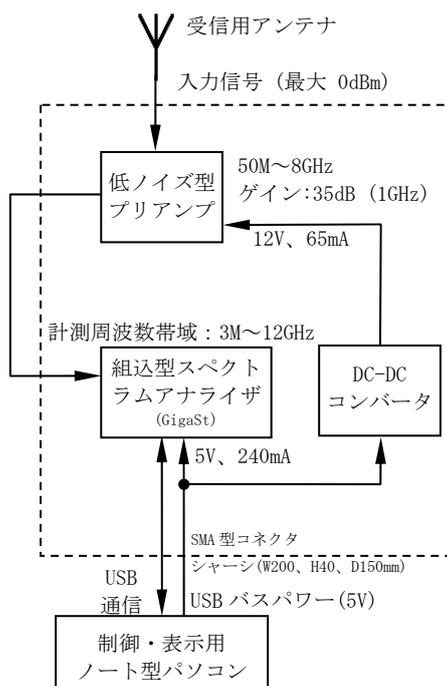


図 2 電波観測機器の構成



図 3 電波観測実験の機器構成



図 4 電波観測機器を用いた教育実践の様子

る身の回りの電波観測実験と電磁界シミュレータを利用した教育実践に基づく学習評価結果から、本教育プログラムの部分的な有用性を確認することができた。今後、2014年度中に運用開始予定の ALOS-2 に搭載された SAR である PALSAR-2 を対象として本教育プログラムを教育実践し、学習効果の評価・検証を行っていく必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① 青井 中央人、伊藤 陽介、谷 陽子、電波を題材とする技術教育の開発と評価、日本産業技術教育学会誌、査読有、第55巻、第3号、2013、pp. 199-206
- ② 新居 浩、武市 朋彦、伊藤 陽介、干渉 SAR の教育利用に関する調査、鳴門教育大学情報教育ジャーナル、査読無、第10号、2013、pp. 15-19
- ③ 伊藤 陽介、加志崎 保貴、久保川 雄大、大泉 計、地球観測技術を題材とする技術教育の提案と授業実践、日本産業技術教育学会誌、査読有、第53巻、第3号、2011、pp. 189-198

[学会発表] (計16件)

- ① 前田 修児、技術教育を想定した電波観測機器の制御用アプリケーション開発、日本産業技術教育学会第29回四国支部大会、2013年12月7日、愛媛県松山市
- ② 伊藤 陽介、教育用 SAR プロセッサと干渉 SAR プロセッサ Doris を用いた干渉解析、日本リモートセンシング学会第55回学術講演会、2013年11月22日、福島県郡山市
- ③ 前田 修児、電波観測機器を制御するための教育用ソフトウェアの開発、日本産業技術教育学会第28回情報分科会研究発表会、2013年3月17日、新潟県新潟市
- ④ 村井 厚美、FDTD 法による電磁波解析ソフトウェアの開発と教育利用に関する考察、日本産業技術教育学会第28回四国支部大会、2012年12月8日、香川県高松市
- ⑤ 青井 中央人、電波を題材とする技術教育の開発と学習効果の分析、日本産業技術教育学会第28回四国支部大会、2012年12月8日、香川県高松市
- ⑥ 伊藤 陽介、教育用合成開口レーダ処理ソフトウェアの開発、日本リモートセンシング学会第53回学術講演会、2012年11月19日、広島県東広島市
- ⑦ 伊藤 陽介、電波を題材とする技術教育の開発と評価、日本産業技術教育学会第55回全国大会、2012年9月2日、北海道旭川市
- ⑧ Y. Ito, Development and evaluation of technology education using Earth observation technique, The XXII Congress, The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing,

- 26 August 2012, Melbourne (Australia)
- ⑨ 前田 修児、地球観測用レーダ波の計測機器の開発と実験、日本産業技術教育学会第27回情報分科会研究発表会、2012年3月18日、徳島県鳴門市
- ⑩ 村井 厚美、電磁波シミュレータによる技術教育の構築と教材開発、日本産業技術教育学会第27回情報分科会研究発表会、2012年3月18日、徳島県鳴門市
- ⑪ 青井 中央人、電波を題材とする技術教育の実践と学習評価、日本産業技術教育学会第27回情報分科会研究発表会、2012年3月17日、徳島県鳴門市
- ⑫ 青井 中央人、電波を題材とする技術教育に関する意識調査、日本産業技術教育学会第27回四国支部大会、2011年12月10日、徳島県鳴門市
- ⑬ 伊藤 陽介、簡易型スペクトラムアナライザを用いた電波観測教材の開発、日本産業技術教育学会第27回四国支部大会、2011年12月10日、徳島県鳴門市
- ⑭ 伊藤 陽介、SAR 画像を用いたドップラ中心周波数の反復推定法、日本リモートセンシング学会第51回学術講演会、2011年11月11日、青森県弘前市
- ⑮ Y. Ito, Development of an educational SAR processor with ScanSAR image formation, The 32nd Asian Conference on Remote Sensing, 4 Oct. 2011, Taipei (Taiwan)
- ⑯ 青井 中央人、電磁波を用いた技術を学習するための電磁波シミュレータの教育利用、日本産業技術教育学会第54回全国大会、2011年8月27日、栃木県宇都宮市

[図書] (計2件)

- ① Edited by the Remote Sensing Society of Japan, Remote Sensing: An Introductory Textbook, Maruzen Planet (Japan), 2013, pp. 255-261
- ② 日本リモートセンシング学会編、基礎からわかるリモートセンシング、理工図書、2011、pp. 264-271

[その他]

Web ページ
<http://www.naruto-u.ac.jp/facultystaff/ito/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
伊藤 陽介 (ITO, Yosuke)
鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・教授
研究者番号：90249855
- (2) 研究分担者
なし
- (3) 連携研究者
なし