

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：16102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26381213

研究課題名(和文)地球観測技術を題材とする科学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 and practical study of a science and technology education program as a subject for Earth observation technology

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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：地球環境問題や大規模な自然災害等への対処手段、持続可能型社会の実現のために、地球の状態をグローバルに把握できる地球観測技術の重要性は年々高まっている。本研究課題では、「地球観測技術を題材とする科学技術教育プログラム」を構築し、教育実践に基づいて評価することを目的とし、地球の内部に起因する自然現象を人工衛星による地球観測技術で捉える学習に焦点を当て、本プログラムの有用性ならびに開発した学習指導計画の実施の可能性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The importance of Earth observation technology that can globally measure a state of the Earth is increasing year by year in order to address global environmental problems and large-scale natural disasters and realize a sustainable society. The purpose of this research is to construct “a science and technology education program as a subject for Earth observation technology” and to evaluate it based on educational practice. It focused on learning to understand natural phenomena caused by the energy of the earth called crustal movement with Earth observation technology using an artificial satellite. Usefulness of the program and possibility of implementing the developed learning guidance plan were clarified.

研究分野：社会科学

キーワード：科学技術 地球観測技術 教育プログラム 教育実践

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化、熱帯雨林の減少、砂漠化等の地球の表層部分にかかる地球環境問題への対処、ならびに、地震や火山活動、地盤沈下等の地球内部に起因する大規模な自然災害の発生メカニズムの解明や予測等のために、人工衛星に搭載されたセンサを用いて地球の状態をグローバルに計測する地球観測技術が研究開発されている。持続可能型社会の実現のために地球観測技術の有用性は年々高まっており、地球表面から放射される電磁波を捉える受動型センサに加え、センサ自らが電波を放射しその反射波を計測する能動型センサの高精度化、高機能化が進められている。米国の地球観測衛星ランドサット1号が1972年に打ち上げられて以降、膨大な地球観測画像アーカイブが構築されている。近年、その一部はインターネットを使った地図サービスやデジタル地球儀ソフトウェアを介して無償で閲覧できるようになっている。学校教育で使われている多くの教科書には、地球観測画像が掲載され教材として利用されるようになっていく。しかし、地球観測技術そのものを体験的・実験的に学習し、自らが観測データを情報処理し得られた地球観測画像等を科学的に探究する教育事例は少なかった。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、中学生以上を対象として教育実践可能な「地球観測技術を題材とする科学技術教育プログラム」を構築し、教育実践に基づいて本プログラムの評価・検証を目的とするとともに、構築したプログラムの教育実践に必要な教材・教具である教育用電波計測装置ならびに教育用地球観測データ処理ソフトウェア環境を研究開発する。

### 3. 研究の方法

(1) 地球観測技術に関する文献と教育への応用事例を調査するとともに、これまでの研究成果を省察する。文献調査と並行して中学校を訪問し、技術教育と理科教育を連携した教育実践事例についてヒアリング調査するとともに、訪問学校における教育用コンピュータシステムの現況を調査する。地球観測技術を題材とする科学教育と技術教育を連携する教育内容と方法に関して学校教員に対する意識調査を行う。得られた調査結果に基づき具体的な学習指導内容と方法、学習時間数を定め「地球観測技術を題材とする科学技術教育プログラム」を構築する。

(2) 構築したプログラムの教育実践において必要とされる地球の表層や内部に起因する自然現象を能動型センサの一種である合成開口レーダ(SAR)を用いた地球観測技術で捉えることのできる事例、及び地球観測データ等を収集するとともに、教材化する。教育用地球観測データ処理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表示する点を重視し研究開発する。一般研究用

として利用されている商用ソフトウェアと同程度の画像品質を備えるように開発するとともに、学校教育で広く普及することをねらい研究代表者らによって開発される部分以外は、すべて無償ソフトウェアを改良し組み合わせたものとする。

(3) 野外において地球観測技術そのものを体験的・実験的に学習する場合を想定した課題を調査するとともに、必要な教材・教具の適用の可能性を検証する。とくに、学習者が製作することを想定した電波受信用アンテナとソフトウェアラジオ(SDR)技術の導入について検討する。

(4) 「地球観測技術を題材とする科学技術教育プログラム」の詳細な学習指導計画を立案するとともに、教示用資料と学習用ワークシート等を開発する。本プログラムに従った教育を中学校において実践する。教育実践の前後で地球観測技術に関する学習者に対する意識調査を実施する。さらに、「技術教育に関する学習過程」と「科学教育に関する学習過程」に関して学習者の情意・認知領域からの調査を行う。事前・事後調査ならびに学習過程における情意・認知領域の調査結果を詳細に分析し、本教育プログラム、及び使用した教材・教具を評価・検証し、課題を明らかにする。

### 4. 研究成果

(1) 「地球観測技術を題材とする科学技術教育プログラム」の開発にあたり、科学教育と技術教育を連携しつつ地球観測技術を教育する内容と方法について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理科、技術・家庭科(技術分野)(以下、技術科と略記)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、人工衛星等を用いた地球観測技術に関する興味・関心は高く、科学技術の発展には科学と技術が有機的に結びつくことが必要であることが指摘され、中学校における理科と技術科は、異なる教科であるが、両者で取り扱う学習内容の関連性は強く、教科間の連携を図った学習指導計画を構成することにより、より高い学習効果が期待された。技術科の学習で得られた成果を理科の学習時の教材として活用する教科間連携に重点を置き、地球観測技術を題材とする理科・技術科教育として構築できる可能性が示唆された。意識調査結果に基づき、本教育プログラムの学習目標として、地球観測画像の観察や実験等から得られた事実を客観的に捉え、科学的な見方や考え方を養うことや自然の恵みだけでなく、自然に対する総合的な見方を養うこと、及び地球観測データの処理を通してコンピュータを使った情報活用にかかわる基礎的・基本的な知識と技術の習得、並びに、技術の在り方や活用の仕方の判断・評価を行い主体的に利用することとした。

(2) この学習目標を達成するため、主な学習内容として、気象衛星から随時送信されてい

る電波を教育用電波観測装置で直接受信し、気象画像として情報処理することを通して地球観測技術を体験する学習活動、及び地震や火山活動等の地球内部に起因する地形変動を精細かつ広域で面的に捉えることのできる「干渉 SAR 技術（同じ場所を SAR によって 2 回観測し、その差をとる技術）」を用いた学習活動を取り入れる。開発したプログラムのうち干渉 SAR 技術を用いて地形変動を捉える学習指導の構成と学習活動例をそれぞれ図 1、表 1 に示す。

図 1 に示すように本学習は、L1、L2、及び L3 の学習段階で構成される。L1 では、技術科の「情報に関する技術」の内容において、地球観測を題材としてコンピュータを主体的に利用し、干渉 SAR 処理を通して情報活用の知識や情報処理技術について学習した後、地形変動を示す波紋画像を生成する。L2 では、理科の「大地の成り立ちと変化」と「自然と人間」の内容において、技術科の学習成果である波紋画像を連携して教材として用いる。波紋画像の分析を通して地震による地形変動やそれに伴う災害について学習し、技術的な成果から新たな知見を得ることができることを知る。L3 では、技術的な側面から理科で学んだ知見を活かして情報処理技術や計測技術の評価・活用力を育成する。

表 1 に示した学習指導計画において第 1 時から第 4 時(L1)は技術科、第 5 時から第 7 時(L2)は理科、最終時の第 8 時(L3)は技術科の学習活動でそれぞれ構成される。第 1 時は、地球観測技術や干渉 SAR の基本的な原理や成果等について理解を深め本単元の学習内容を理解する。本研究で提案する地形計測学習は中学校での実施を想定しているので、知識や技術について深入りをせず、基本的な仕組みについて概要を知る程度にする。「たとえ」を使った図を作成し、学習者が直感で分かるような配慮を行う。第 2 時は、過去に発生した大きな地震や火山活動等を調査し、地形変動を観察したい事例を教材リストから選択する。そして、選んだ事例の発生日、規模、地域等と SAR データの関係や事例を選択した理由等をまとめた発表資料を作成する。第 3 時は作成した資料を使って発表し合い、干渉 SAR 処理の準備を行う。第 4 時は処理の手順に従いソフトウェアを操作し、SAR データの干渉処理を行う。第 5 時は技術科から理科への接続となり、教科連携の要となる。地形変動例を参考にしながら処理結果の考察方法やレポート作成方法を理解する。第 1 時の学習を振り返る活動を取り入れ、効果的に提示資料を活用し、学習者の理解を支援する。第 6 時は、前時を参考にして、自らが処理した事例のレポートを作成する。第 7 時は、お互いのレポートについて討論し、自然災害についての理解を深める。第 8 時は、干渉 SAR 処理で得られた様々な波紋画像例を参照し、地球観測や情報技術の有用性を評価する。

(3) 人工衛星の回帰日数(同じ場所を通る間

隔)は、種類にもよるが 40 日程度と長く、かつ、特定の地点に配置した電波反射板に対して SAR から放射される電波の受信時間は、1~3 秒程度と非常に短いため、電波受信実験を授業時間中に行うことの困難さが学校教員から指摘された。そのため、アルミニウムを蒸着した厚紙で構成される角錐ホーン型アンテナの模型と拡張現実(AR)技術を用いた擬似体験型教材を教育用電波計測装置として新たに開発した。一方、USB 接続型地上デジタルテレビ用ワンセグチューナと無償提供の制御用ソフトウェアで構成される SDR の教材化を検討した。その結果、受信可能な周波数帯は満足するものの、計測帯域幅が 2MHz 程度と小さく、気象衛星からの電波は受信可能であるが、SAR から放射される電波を捉えることができないことがわかった。

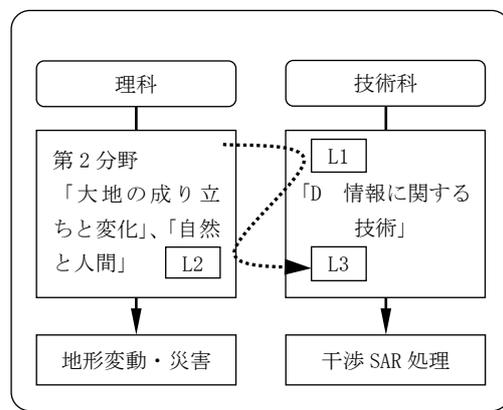


図 1 地形変動を捉える学習の構成

表 1 干渉 SAR 技術を用いて地形変動を捉える理科・技術科教育の学習指導計画

時	教科	学 習 活 動
1	技術科 L1	・地球観測技術や干渉 SAR の基本的な原理や成果等について理解を深め、本単元の学習内容を理解する。
2		・過去に発生した大きな地震や火山活動等を調査し、地形変動を観察したい事例を教材リストから選択する。 ・選択した事例の発生日、規模、地域等と SAR データの関係や事例を選択した理由等をまとめた発表資料を作成する。
3		・作成した資料を使って発表し合い、干渉 SAR 処理の準備を行う。
4		・処理の手順に従いソフトウェアを操作し、SAR データを用いた干渉 SAR 処理を行う。
5	理科 L2	・指導者が提示する例を参考にしながら地形変動の結果の観察や考察を行い、レポート作成方法を理解する。
6		・自らが処理した事例の干渉 SAR 処理のレポートを作成する。
7		・お互いのレポートについて討論し、大地の成り立ちや自然災害についての理解を深める。
8	技術科 L3	・干渉 SAR 処理の波紋画像例を参照し、地球観測や情報技術の有用性を評価する。

1 単位時間：50 分

一方、気象衛星 NOAA は複数運用されているため、地上に向けて送信されている観測画像データを含む電波を受信できる機会は多い。同相と直交信号を受信可能な一般的な無線機と小型アンテナ、気象画像再生ソフトウェアを利用することで、野外において気象衛星からの電波を受信し画像化する学習活動を開発した。

(4) 地震や火山活動等の地形変動は世界中で発生するが、SAR を用いた地球観測技術で捉えることのできる事例として学習者が把握しやすいように日本国内で発生し、イベント発生前後に SAR によって観測され、かつ、干渉 SAR 処理可能なものを教材化する。さらに、干渉 SAR 処理の結果を判読しやすくするために、生じた急激な土地の変化を原因とする断層が生じる事例、局所的に地形変動が激しく見られる事例、土地の隆起や地盤沈下の事例等、地形変動が明確に画像化できる規模のものを含める。これらの要件を考慮して選定した事例を表 2 に示す。番号 1~7 は日本国内で発生した地震であり、特に番号 1 と 6 は大震災を引き起こした。番号 8 は地形変動のない事例であり、観測機器や処理時に発生するノイズ、及び大気や電離層の状態に起因する一時誤差の影響を示すための教材として用いる。なお、指導者は切り出された SAR データの組と基線長の補正量、干渉 SAR に必要な各パラメータを予め教材として準備しておく。開発した教材は、学習者自身が調査し、まとめることのできる紙媒体のワークシートとコンピュータ上で操作するデジタル教材で構成される。

(5) 教育用地球観測データ処理ソフトウェア環境における干渉 SAR 処理は、オランダ Delft 工科大学によって開発されオープンソースとして無償提供されている Doris (Delft Object-oriented Radar Interferometric Software) に、マスタとスレーブの軌道位置情報から算出した基線長に対する補正量を推定する処理等を本研究の一環として追加し改良したものを採用する。さらに、米国ハワイ大学によって開発された地図描画ソフトウェア

表 2 干渉 SAR 学習教材に用いるイベントと処理対象 SAR データ

番号	イベント名	場所	イベント発生日	地震規模
1	1995年兵庫県南部地震	日本・兵庫県南部	1995年1月17日	M7.3
2	1998年岩手県内陸北部の地震	日本・岩手県北部	1998年9月3日	M6.2
3	2007年能登半島地震	日本・石川県能登半島	2007年3月25日	M6.9
4	2007年新潟県中越沖地震	日本・新潟県	2007年7月16日	M6.8
5	2008年岩手・宮城内陸地震	日本・岩手県と宮城県	2008年6月14日	M7.2
6	2011年東北地方太平洋沖地震	日本・東日本地域	2011年3月11日	M9.0
7	2011年福島県浜通りの地震	日本・福島県	2011年4月11日	M7.0
8	なし	日本・富士山	—	—

GMT (The Generic Mapping Tools) と補助スクリプトを用いて、干渉 SAR 処理で生成される各種画像を地図投影処理し判読性を高める。本環境は、干渉 SAR 処理等を行う Linux サーバと学習者用クライアント PC から構成される。学習者は SSH ターミナルとファイル転送機能を備えたソフトウェアを介してサーバにログインし、CUI 操作によりステップ毎に情報処理を行い、生成された各種画像ファイルを、GUI 操作によってサーバからクライアント側に転送する。

(6) 表 1 に示した学習指導計画に基づいて中学生を対象に授業実践した。生徒の授業に対する取り組み態度や姿勢、学習成果、及び事前・事後学習調査と自己学習評価の分析結果から、概ね科学的・技術的な知見を踏まえた地形変動について学習できていたと推測された。特に、生徒の情報や震度に対する興味は既に高かった。生徒は地震について調べ、波紋の形と地震による地形変化やその震央との関連性等について観察し考察できた。さらに、ワークシートと発表資料に基づいて口頭発表し、討論を通して他の班が発見した波紋の特徴から得られる情報を共有できていた。波紋から大きな地形変動が起こっていることが推測でき、地震の被害の大きい地域と波紋の疎密を重ね合わせる等、他の情報と関連付けることの重要性に気付いていた。また、学習中にコンピュータを操作し、生徒がデジタル教材に生成した波紋画像を貼り付け、ワークシートを作成することもできていた。

(7) 本研究課題では「地球観測技術を題材とする科学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。本プログラムのうち干渉 SAR 技術を用いて地形変動を捉える理科・技術科教育を授業実践し、学習効果を示した。また、模擬的な授業実践に基づき、野外において気象衛星からの電波を受信し、画像化する学習の可能性も示された。当初の研究計画では 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うことを含めていたが、授業実践の可能性を高めるという観点から AR 技術による疑似体験型教材の利用を新たに提案した。今後、開発したプログラムの学校教育への応用を促進するために、無償提供されている SAR データと処理ソフトウェアの教材化、及び世界各地で発生した地震や火山活動、大規模な地滑り等を調査し、学習者が容易に理解できる明瞭な波紋画像の得られる教材開発も求められる。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 池光 洋、伊藤 陽介、無償提供の SAR データと干渉 SAR 処理ソフトウェアの教育利用、鳴門教育大学情報教育ジャーナル、査読無、第 14 号、2017、pp. 13-19
- ② 池光 洋、南郷 健太、伊藤 陽介、干渉 SAR

- による地形計測を題材とする授業実践と評価、日本産業技術教育学会誌、査読有、第 58 巻、第 4 号、2016、pp. 215-222
- ③ 馬 文鵬、矢野 慶志郎、伊藤 陽介、拡張現実を用いた地球観測技術の疑似体験型教材の開発、鳴門教育大学情報教育ジャーナル、査読無、第 13 号、2016、pp. 49-53
- ④ 新居 浩、武市 朋彦、伊藤 陽介、干渉 SAR を用いた地形計測を題材とする理科・技術科教材、日本産業技術教育学会誌、査読有、第 57 巻、第 1 号、2015、pp. 1-9
- ⑤ 伊藤 陽介、干渉 SAR 処理における残存軌道位相の除去方法とソフトウェアへの組み込み、鳴門教育大学情報教育ジャーナル、査読無、第 12 号、2015、pp. 17-25
- [学会発表] (計 18 件)
- ① 伊藤 陽介、無償提供の SAR データと干渉 SAR 処理ソフトウェアを用いた教材開発、日本産業技術教育学会第 32 回情報分科会研究発表会、2017 年 2 月 18 日、ミュゼ雪小町 (新潟県上越市)
- ② 池光 洋、理科・技術科教育における無償提供の SAR データと干渉 SAR 処理ソフトウェアの利用、日本産業技術教育学会第 32 回四国支部大会、2016 年 12 月 3 日、香川大学 (香川県高松市)
- ③ 伊藤 陽介、干渉 SAR 処理と成果を用いた科学技術教育の実践と評価、日本リモートセンシング学会第 61 回学術講演会、2016 年 11 月 1、2 日、新潟テルサ (新潟県新潟市)
- ④ 池光 洋、干渉 SAR による地形計測を題材とする授業における教材開発、日本産業技術教育学会第 59 回全国大会、2016 年 8 月 27 日、京都教育大学 (京都府京都市)
- ⑤ Y. Ito, Development and evaluation of science and technology education program using interferometric SAR, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 18 July 2016, Prague (Czech)
- ⑥ 池光 洋、干渉 SAR による地形計測を題材とする授業実践と評価、日本産業技術教育学会第 31 回情報分科会研究発表会、2016 年 2 月 27 日、佐賀大学 (佐賀県佐賀市)
- ⑦ 池光 洋、干渉 SAR を用いた地形計測を題材とする授業の開発と評価、日本産業技術教育学会第 31 回四国支部大会、2015 年 12 月 5 日、鳴門教育大学 (徳島県鳴門市)
- ⑧ 矢野 慶志郎、拡張現実技術を用いた地球観測技術の疑似体験型教材の開発、日本産業技術教育学会第 31 回四国支部大会、2015 年 12 月 5 日、鳴門教育大学 (徳島県鳴門市)
- ⑨ 伊藤 陽介、PALSAR-2 スポットライト観測データを用いた差分干渉 SAR 処理、日本リモートセンシング学会第 59 回学術講演会、2015 年 11 月 27 日、長崎大学 (長崎県長崎市)
- ⑩ H. Ikemitsu, Development and evaluation of education program using interferometric SAR, The 36th Asian Conference on Remote Sensing, 20 Oct. 2015, Manila (Philippines)
- ⑪ 矢野 慶志郎、地球観測技術の教育用角錐ホーン型アンテナの設計と教材化、日本産業技術教育学会第 58 回全国大会、2015 年 8 月 22 日、愛媛大学 (愛媛県松山市)
- ⑫ 伊藤 陽介、干渉 SAR プロセッサ Doris の PALSAR-2 への対応と差分干渉解析、日本リモートセンシング学会第 58 回学術講演会、2015 年 6 月 2 日、千葉大学 (千葉県千葉市)
- ⑬ 伊藤 陽介、干渉 SAR による地形計測を題材とする授業開発と実践、日本産業技術教育学会第 30 回情報分科会研究発表会、2015 年 3 月 14 日、埼玉大学 (埼玉県さいたま市)
- ⑭ 伊藤 陽介、干渉 SAR を用いた地形計測学習用教材の開発、日本産業技術教育学会第 30 回情報分科会研究発表会、2015 年 3 月 14 日、埼玉大学 (埼玉県さいたま市)
- ⑮ 矢野 慶志郎、球観測技術の教育用レーダ波計測装置の開発と教材アンテナの設計、日本産業技術教育学会第 30 回四国支部大会、2014 年 12 月 6 日、高知大学 (高知県高知市)
- ⑯ 松嶋 辰哉、干渉 SAR を用いた地形計測を題材とする授業開発、日本産業技術教育学会第 30 回四国支部大会、2014 年 12 月 6 日、高知大学 (高知県高知市)
- ⑰ 矢野 慶志郎、地球観測用レーダ波計測装置の開発と識別特性、日本産業技術教育学会第 57 回全国大会、2014 年 8 月 23 日、熊本大学 (熊本県熊本市)
- ⑱ Y. Ito, Interferometric SAR processing as a subject for science and technology education, 2014 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 17 July 2014, Quebec City (Canada)
- [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