

# 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

池光 洋\*, 伊藤陽介\*\*

人工衛星等に搭載された合成開口レーダ(SAR)による地球観測データを用いて、地形変動前後の SAR データ組を干渉処理する干渉 SAR 技術が一般的になってきている。干渉 SAR 技術を学校教育に利用するに当たって、SAR データ及び干渉 SAR 処理ソフトウェア(ISP)に有償提供のものが多く、大きな障壁となっていた。本研究では、無償提供されている SAR データ、及び Windows 上で実行可能な ISP を検討し、学校教育における利用可能性を探った。

[キーワード: 情報教育, 干渉 SAR, 無償提供の干渉 SAR 処理ソフトウェア]

## 1. はじめに

地震や火山活動などの地形変動による災害の経験から、科学的かつ技術的な知見に基づいた教育が必要とされている。一方、合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Radar)による地球観測データを干渉処理することによって、地表面の変動を波紋として表現できる。本研究では、技術・家庭科(技術分野)(以下、「技術科」と略記)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、干渉 SAR による地形計測を題材とする理科・技術科教育を提案し、教育実践に基づいて一定の有用性を明らかにしてきた[1]。この教育の啓発・普及には、無償提供の教材、及び干渉 SAR 処理ソフトウェア(ISP: Interferometric SAR Processing software)が必要と考えられる。本論文では、これらの要件を満たす教材である SAR データと ISP を学校教育で利用する方法について述べる。

## 2. SAR データ

デジタル地球儀や地図サービスが無償利用できるようになり、人工衛星で地球観測した画像を学校教育で普通に用いられるようになった。一方、運用中の人工衛星による SAR データは有償提供のものが多いため、学校教育で利用される事例はほとんどなかった。学校教育での利用を想定すると、SAR データの無償提供が望ましい。

ヨーロッパ宇宙機関(ESA)では、コペルニクス計画(2012年)の一環として、地球観測する人工衛星 Sentinel シリーズの継続的な打ち上げと運用、及び

観測データの無償提供を宣言した。本研究では、ESAによって運用されている SAR の観測プラットフォームである人工衛星 Sentinel-1 に着目し、取得された SAR データを利用する。Sentinel-1 の主な仕様を表 1 に示す。2016年9月までは1機による地球観測を行っていたが、2016年9月26日以降は Sentinel-1A、及びBの2機による観測体制となった[5]。Sentinel-1A 及び B は同型機であり、高度 693km から地球観測を行っている[6]。しかも、同一軌道面を互いに 180° の位相差で周回している[7]。2機体制であるため、1機で観測を行っている日本の同種の人工衛星 ALOS-2 よりも観測頻度は高い。

Sentinel-1 に搭載された SAR は 4 種類の観測モードを有するが、干渉 SAR に適しているのはストリップ観測モードに相当する Stripmap(SM)とスキャン観測モードに相当する Interferometric Wide Swath(IW)の2種類である[2]。そのため、表 1 には、SM と IW のみを記載している。

ESA は Sentinel-1 による観測計画を公表している[8]。SM モードによる観測は、限られた地域でのみ実施予定であるため、干渉 SAR 処理に用いる SAR データは、IW モードによって観測されたものが主体となる。Sentinel-1 により観測された SAR データを入手

表 1 Sentinel-1 の主な仕様[2, 3, 4]

|         |                                            |
|---------|--------------------------------------------|
| 打ち上げ日   | 2014年4月3日(A)<br>2016年4月25日(B)              |
| 運用終了日   | 未定(設計寿命は7年)                                |
| 観測機器    | SAR-C (CバンドSAR)                            |
| 観測波長    | 5.55~5.65cm                                |
| 観測モード   | ストリップ(SM), スキャン(IW)                        |
| オフナディア角 | 16.45° ~41.01° (SM)<br>26.00° ~40.40° (IW) |
| 回帰日数    | 1機12日(AとBで6日)                              |
| 地上分解能   | 5m×5m(SM), 5m×20m(IW)                      |

\* 鳴門教育大学 大学院(修士課程)生活・健康系コース(技術・工業・情報)

\*\* 鳴門教育大学 大学院 自然・生活系教育部

して利用するには、ESA が運用している配信システムにアカウントを登録する[9]。アカウントを登録希望者への制限はなく、無償で作成できるとともに、データ利用にかかる研究提案書なども不要であるため、学校教員が自らアカウントを登録することができる。

アカウント登録後ログインした後、処理対象とするイベントの前後に観測されたデータを検索し、必要なデータをダウンロードする。Sentinel-1 により観測された SAR データは、原則として観測後 24 時間以内に配信システムに登録される体制であり、即時性は高い[10]。なお、ESA が一般向けに公開している SAR データは、2014 年 10 月 3 日以降に観測されたデータである[11]。

図 1 に、ESA が運営しているデータ配信システムである Sentinels Scientific Data Hub を示す[12]。図 1 の Web ページに表示された地図を用いて取得したい SAR データの地域を指定する。その後、図 2 の左側に表示される「条件指定ダイアログ」を開いて SAR データの観測時期、観測モードなどの条件を指定し、検索を開始する。検索結果は図 3 のように地図上に観測領域を示す枠と、検索ダイアログの部分が条件に合致する SAR データの一覧に変わって表示される。各 SAR データの概要を閲覧するには、図 3 の各 SAR データにある「目の形のアイコン」をクリックすると、図 4 のように該当する SAR データの概要を表示する。この閲覧結果を参照し、必要なデータであることが判明したら、図 4 に示したウィンドウ上部にあるリンクをクリックすることによって、当該データのダウンロードが開始される。

Sentinel-1 は北行き(昇交)もしくは南行き(降交)の進行方向をとる。また、175 種の軌道を周回して観測しており、軌道を相対軌道番号として検索条件に指定できる[7]。本研究において人工衛星 Sentinel-1 による SAR データを入手するための検索条件として、(1)イベントの発生した地域、(2)発生日前後の日付、(3)衛星の進行方向、(4)相対軌道を指定した。

### 3. 干渉 SAR 処理ソフトウェア

干渉 SAR 処理ソフトウェア(ISP)については、ESA が開発し、無償で公開ならびに配信している SNAP(Sentinels Application Platform)を採用する。SNAP はオープンソースで開発されているため、必要に応じて改良することも可能である。ESA の提供する Sentinel-1 の SAR データは zip 形式の圧縮ファイルとして配信されている。SNAP は圧縮ファイルを展開することなく、そのまま干渉 SAR 処理できる。

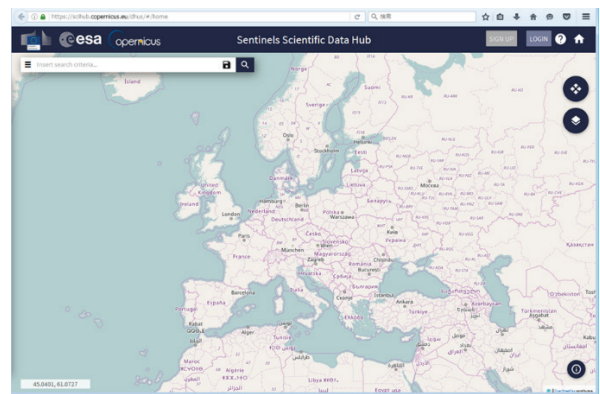


図 1 SAR データ入手先の Web ページ

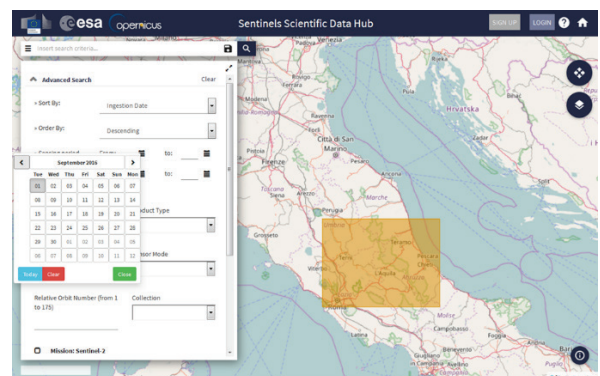


図 2 SAR データの検索条件入力

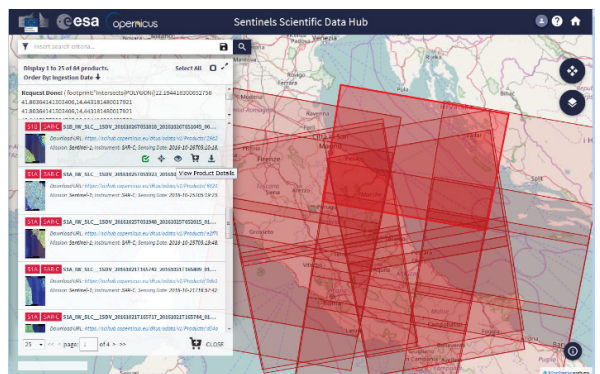


図 3 SAR データの検索結果

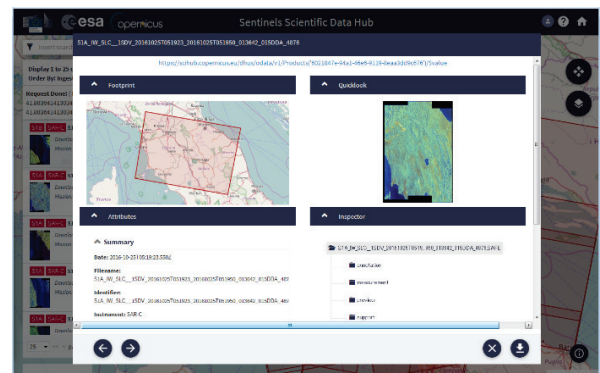


図 4 SAR データの概要の例(イタリアの一部)

SNAP は、Windows, Mac OS X, Linux の 3 種類の OS で動作するものがそれぞれ準備されている。ESA の運営するサイトから入手後、学習用コンピュータにインストールする[13]。

SNAP による干渉 SAR 処理では、CUI または GUI による操作、及び CUI と GUI の併用操作が可能である。本研究では、学習者による操作も念頭におき、直感的な操作を実現しやすい GUI を主に採用する。ESA は SNAP 操作に関して英文チュートリアルを公開している[14]。初めて干渉 SAR 処理を行う学習者に対しては、適宜和訳して用いる。さらに、SNAP のユーザ間で操作や処理方法などに関する相談(英語のみ)や、その結果を閲覧できるフォーラムのページも用意されている[15]。操作や処理方法などに関して不明点があれば、フォーラムを閲覧したり、相談したりして、解決策を議論あるいは発見することもできる。

SNAP を動作させるためのコンピュータのハードウェア要件の一つとして、少なくとも 4GB のメモリが必要とされている。3D World View (地球全球、及び SNAP に読み込ませた SAR データの観測地域の縮尺を任意に変更して表示する機能)を動作させるには、3D グラフィックカード及び最新のドライバを必要とする[16]。

図 5 に SNAP の操作画面を示す。干渉 SAR 処理を行うために、SNAP に Sentinel-1 により観測された SAR データ組を読み込ませ、観測結果の画像を表示させた状態である。SNAP の初期設定においては、画面左上の Product Explorer に、読み込ませた SAR データ組のファイル名が表示される。画面左下に 3D World View が表示される。3D World View には、観測地域の表示倍率の任意変更機能の他に、Sentinel-1 により観測された領域を赤色の枠として表示する機能がある。画面右側には Sentinel-1 により観測された成果を画像として表示し、また一連の干渉 SAR 処理の過程毎に生成された画像を表示することの可能な領

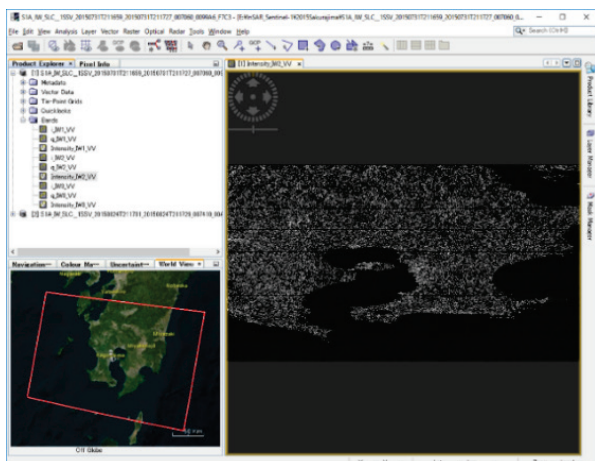


図 5 SNAP の操作画面

域がある。表示された画像は画像ファイルとして出力が可能であり、干渉 SAR 処理後の地理情報を付加した波紋画像ならば、デジタル地球儀ソフトウェア用ファイルとしての出力も可能である。

図 6 に、干渉 SAR 処理の完了した状態の例を示す。SNAP は干渉 SAR 処理の過程毎に新たなファイル及び参照データ群 (1 ファイル毎に参照データ群は同一フォルダに格納される) を作成する仕様であり、新たに作成されるファイル及び参照データ群の保存場所はユーザが任意に指定できる。また、作成されたデータは SNAP に読み込ませた SAR データ組と同じ箇所である、Product Explorer に表示される。

図 7 に SNAP による干渉 SAR 処理の流れを示す。処理に当たり、最初にイベント前のマスタデータ、イベント後のスレーブデータの SAR データ組を SNAP に読み込ませる。以後は図 7 に示した①から⑥のステップによる処理を順に行う。ステップ①においては、処理する地域の抽出を行う。そのまま干渉 SAR 処理を始めることも可能ではあるが、処理に著しく時間を要するためである。

次のステップ②において、サブセットのマスタデータに含まれる SAR 画像(M)と、スレーブデータに含まれる SAR 画像(S)の位置合わせ処理を行う。ステップ③においては、位置合わせ処理を行ったマスタ画像とスレーブ画像を用いて、初期干渉縞画像形成処理を行い、初期干渉縞画像(I1)が生成される。ステップ④においては、初期干渉縞画像から地形縞除去処理を行い、地形縞除去後の干渉縞画像(I2)が生成される。この際に必要とされるデータが、デジタル標高モデル(DEM)データより作成される地形位相画像であり、地形位相画像を参照して除去される。ステップ⑤においては、細かいノイズを除去するフィルタリング処理を行い、フィルタリング処理後の変動縞画像(I3)が生成される。ステップ⑥においては、地形補正(地理情報付加)処理を行う。実際の

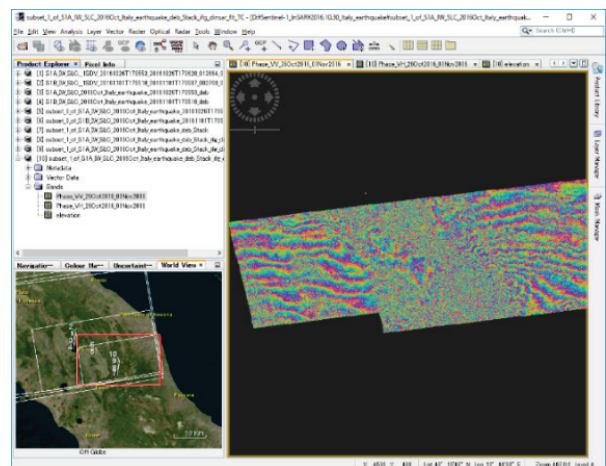


図 6 SNAP による干渉 SAR 処理が完了した例

地図に照らし合わせる必要があるため、地形補正(地理情報付加)処理により最終的な地形変動縞画像(I4)が生成され、干渉 SAR 処理を終了する。

干渉 SAR 処理の終了後、他アプリケーションにおいて活用可能なデータを出力する処理を行うことが可能である。その主なものは、画像ファイルとしての出力と、デジタル地球儀ソフトウェア用ファイルとしての出力である。画像ファイルの形式は BMP, PNG, JPEG といった一般的な形式の他に、地理情報を有する Geotiff 形式としても出力可能である。デジタル地球儀ソフトウェア用ファイルとして出力すれば、地球儀上に地形変動を示す波紋画像が表示でき、学習効果は高いものと期待される。

ここで、SNAP を実際に使用して気づいたことについて以下に述べる。ESA はハードウェアの要件に 4GB 以上のメモリを必要とすることを示していたが、実際に干渉 SAR 処理を行ってみると SNAP へのメモリ割り当ては 4GB どころではなく、8GB を割り当ててもメモリ不足に起因するエラーが発生して干渉 SAR 処理を完遂できなかった。このことから、安定して SNAP による干渉 SAR 処理を行うには、12GB もしくはそれ以上のメモリ割り当てが必要と推察される。コンピュータ搭載のメモリの 3/4 程度までならアプリケーションソフトウェアに割り当て可能と仮定し、本研究では、32GB のメモリをコンピュータに搭載し、24GB を SNAP に割り当てた結果、安定して干渉 SAR 処理が行えるようになった。

前述したように、SNAP を用いて干渉 SAR 処理すると、多くのファイルが生成されるため、大容量の記憶装置が必須となる。具体的には、ESA の公開している SAR データが圧縮状態で 1 データ当たり 2~5GB 程度の容量があり、処理後は過程毎に作成されたファイル及び参照データ群と合計すると、50GB 程度になった。干渉 SAR 処理終了後には途中経過として作成されたファイル及び参照データのうち、不要なものを削除しなければならない。

SNAP の機能のうち、特に有用性の高い機能は、図 7 のフローチャートにおいてステップ①として示した SAR による観測地域の任意の領域を抽出する処理である。地震や火山活動などによる地形変動を対象とする場合、観測地域全体を干渉 SAR 処理することは稀であるため、対象とする地域をあらかじめ抽出することで、処理時間を短縮できる。

#### 4. 干渉 SAR 処理例

中学生を対象とする授業に向け、教材化可能なイベントを調査した。教材として適切なイベントは、地震や火山活動などのイベント前後において SAR に

よって観測されたデータが存在し、かつ、十分な干渉条件を満たし地形変動縞画像に波紋が明瞭に示されるものである。そうした条件を満たし易いのは、規模の大きな地震や火山活動であると考え、2014 年 11 月以降に発生したモーメントマグニチュード(Mw) 7.0 以上の地震、及び火山爆発指数(VEI) 3 以上の火山活動を中心に教材化の成否を調査した。さらに、調査の結果候補としたイベントの干渉 SAR 処理を試み、地形変動を示す明瞭な波紋画像の得られたものを教材として選定した。表 2、表 3 に一覧として示す。表 2 が教材化した地震、表 3 が火山活動の一覧

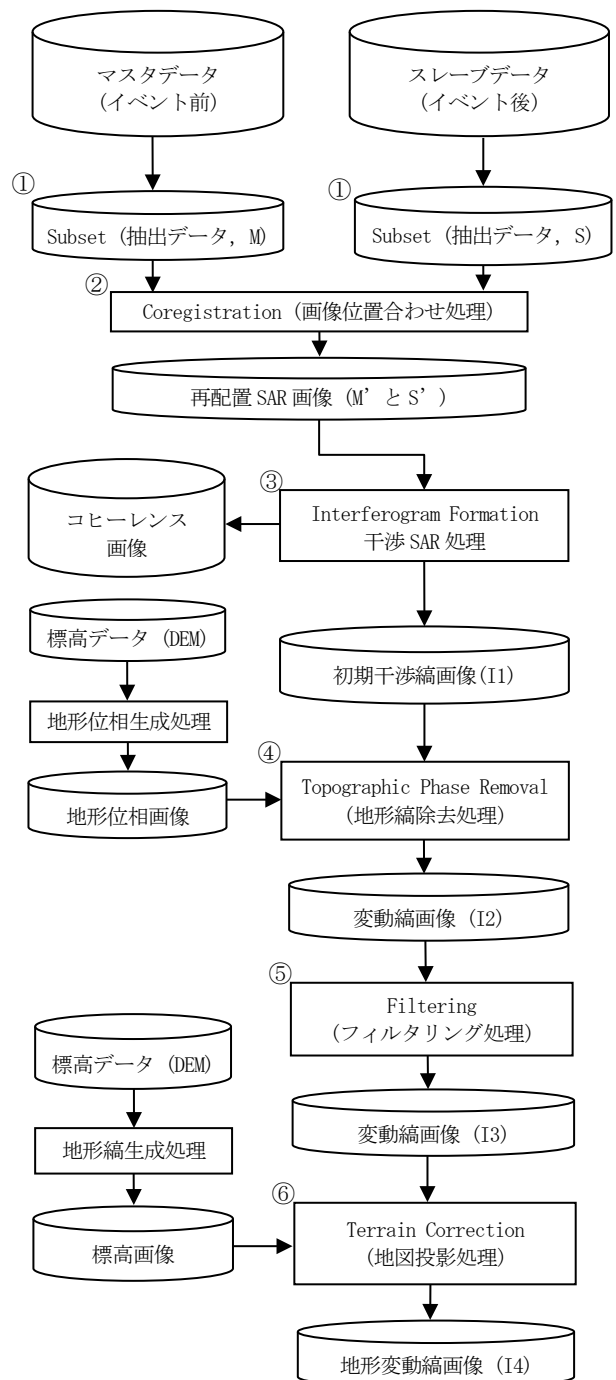


図 7 干渉 SAR 処理から地図投影までのフローチャート

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 (地震)

| 番号  | イベント名                     | 発生国・場所                      | イベント発生日         | 地震規模            | 観測モード | 軌道 | マスタ観測日          | スレーブ観測日         | 観測間隔 [日] | 基線長 (垂直成分) [m] |
|-----|---------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------|----|-----------------|-----------------|----------|----------------|
| E-1 | 2015年<br>チリ・イヤペル地震        | チリ<br>コキンボ州沖                | 2015年<br>9月16日  | Mw<br>8.3       | IW    | 昇交 | 2015年<br>8月26日  | 2015年<br>9月19日  | 24       | -72.54<br>(平均) |
| E-2 | 2015年<br>ギリシャ・レフカダ地震      | ギリシャ<br>イオニア諸島<br>レフカダ島     | 2015年<br>11月17日 | Mw<br>6.5       | IW    | 昇交 | 2015年<br>11月5日  | 2015年<br>11月17日 | 12       | -26.56         |
| E-3 | 2015年<br>タジキスタン地震         | タジキスタン<br>ゴルノ・バダフ<br>シャン自治州 | 2015年<br>12月7日  | Mw<br>7.2       | IW    | 降交 | 2015年<br>11月18日 | 2015年<br>12月12日 | 24       | -25.56         |
| E-4 | 2016年<br>熊本地震             | 日本<br>熊本県                   | 2016年<br>4月16日  | M7.3<br>(Mw7.0) | IW    | 降交 | 2016年<br>3月27日  | 2016年<br>4月20日  | 24       | -12.78         |
| E-5 | 2016年8月<br>イタリア中部地震       | イタリア<br>ペルージャ県<br>ノルチャ南東    | 2016年<br>8月24日  | Mw<br>6.2       | IW    | 降交 | 2016年<br>8月9日   | 2016年<br>8月27日  | 18       | 5.76           |
| E-6 | 2016年10月<br>イタリア中部地震      | イタリア<br>ペルージャ県<br>ノルチャ北方    | 2016年<br>10月30日 | Mw<br>6.6       | IW    | 昇交 | 2016年<br>10月26日 | 2016年<br>11月1日  | 6        | 60.39          |
| E-7 | 2016年<br>ニュージーランド<br>南島地震 | ニュージーランド<br>クライストチャー<br>チ北方 | 2016年<br>11月13日 | Mw<br>7.8       | IW    | 昇交 | 2016年<br>11月3日  | 2016年<br>11月15日 | 12       | -9.87          |

※外国のイベント発生日は、協定世界時を基準としている。

表 3 干渉 SAR 学習教材に用いるイベントと処理対象 SAR データ (火山活動)

| 番号  | イベント名             | 発生国・場所          | イベント発生日         | 規模 (VEI) | 観測モード | 軌道 | マスタ観測日         | スレーブ観測日        | 観測間隔 [日] | 基線長 (垂直成分) [m] |
|-----|-------------------|-----------------|-----------------|----------|-------|----|----------------|----------------|----------|----------------|
| V-1 | 2014年<br>フォゴ山噴火   | カーボベルデ<br>フォゴ島  | 2014年<br>11月23日 | 0        | IW    | 降交 | 2014年<br>11月8日 | 2014年<br>12月2日 | 24       | 7.15           |
| V-2 | 2014年<br>エトナ山噴火   | イタリア<br>シチリア島   | 2014年<br>12月28日 | 2        | IW    | 昇交 | 2014年<br>12月7日 | 2015年<br>4月30日 | 144      | 65.42          |
| V-3 | 2015年<br>カルブコ山噴火  | チリ<br>ロス・ラゴス州   | 2015年<br>4月22日  | 4        | IW    | 昇交 | 2015年<br>4月14日 | 2015年<br>4月26日 | 12       | 40.96          |
| V-4 | 2015年<br>桜島噴火     | 日本<br>鹿児島県      | 2015年<br>8月15日  | 3        | IW    | 降交 | 2015年<br>7月31日 | 2015年<br>8月24日 | 24       | -29.97         |
| V-5 | 2016年<br>フルネーズ山噴火 | フランス領<br>レユニオン島 | 2016年<br>9月11日  | 不明       | SM    | 降交 | 2016年<br>8月18日 | 2016年<br>9月23日 | 36       | -77.20         |

※外国のイベント発生日は、協定世界時を基準としている。

である。表 2、表 3 のいずれにも、基準とした規模から外れたイベントもあるが、明瞭な地形変動を示す波紋画像が生成されることから選定している。

表 2 と表 3 にそれぞれ列挙した地震や火山活動を対象とする処理例をそれぞれ図 8 から図 11 に示す。図 8 と図 9 は表 2 における番号 E-1 の 2015 年チリ・イヤペル地震を、図 10 と図 11 は表 3 における番号 V-4 の 2015 年桜島噴火を干渉処理した結果である。これらは、画像ファイルとデジタル地球儀ソフトウェア用ファイルとして出力したものである。図 8 と図 9 の 2015 年チリ・イヤペル地震は Mw8.3 であり巨大地震と評される規模であった。同図の波紋に示すように、地形変動が広範囲に現れていると読み取

れる。図 8 と図 9 の地形変動を捉えた波紋画像は、地上換算で南北方向約 360km、東西方向約 126km に及ぶ。図 9 に示されている凡例と波紋の繰り返し回数から視線方向の変動量を推定でき、その結果最大変動量は 134.5cm と推定される。

図 10 と図 11 に示した 2015 年桜島噴火を対象とする処理例は、桜島中央部の御岳山頂から南東方向(鍋山)に波紋が見られる。この変動は、地下から上昇してきたマグマにより盛り上がったもので、その視線方向の変動量は最大 10.6cm であると推定される。

学校教育で利用する際は、画像ファイルやデジタル地球儀ソフトウェア用ファイルの特性を活かして指導する。例えば、画像ファイルを用いれば、視

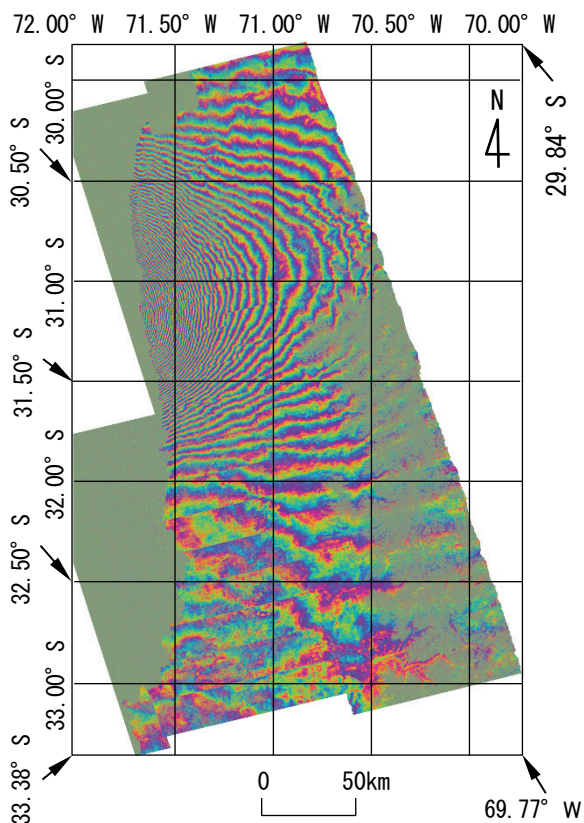


図8 干渉 SAR 処理の例(画像ファイル, 2015年チリ・イヤペル地震)

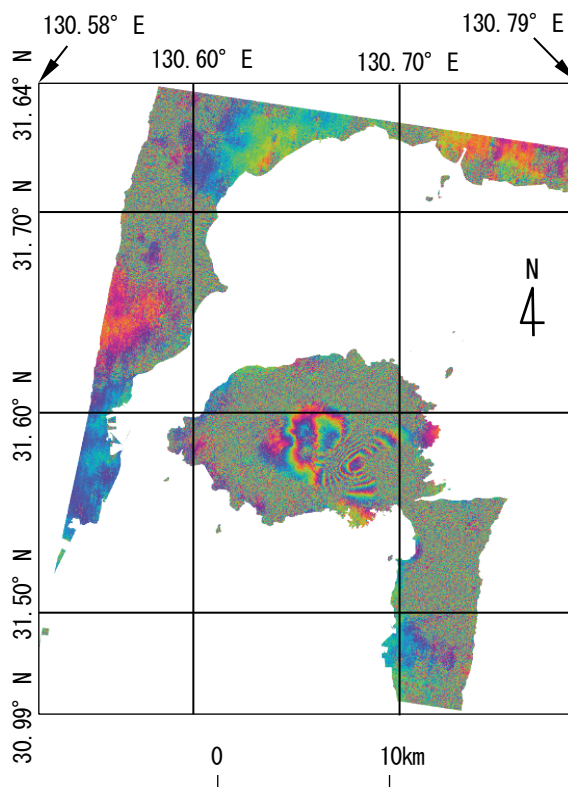


図10 干渉 SAR 処理の例(画像ファイル, 2015年桜島噴火)

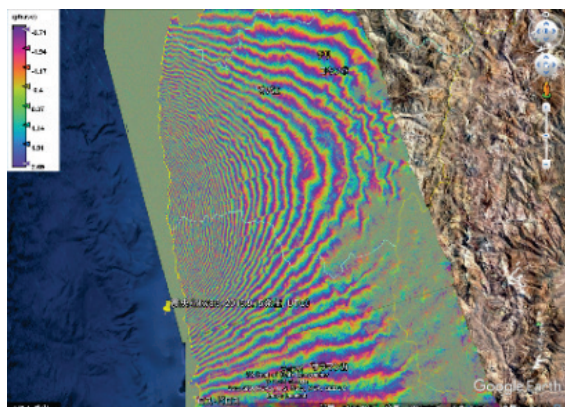


図9 干渉 SAR 処理の例(デジタル地球儀ソフトウェア用ファイル, 2015年チリ・イヤペル地震)

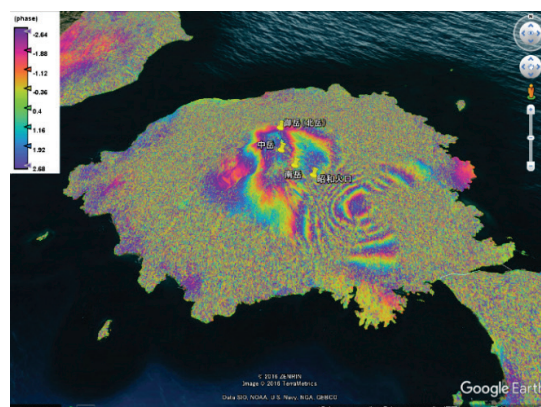


図11 干渉 SAR 処理の例(デジタル地球儀ソフトウェア用ファイル, 2015年桜島噴火)

線方向の地形変動量を推定することができる。デジタル地球儀ソフトウェアを用いて地形変動を示す波紋画像を表示すれば、立体的に変動を把握することができ、より理解し易いと考えられる。

## 5. まとめ

無償提供されている干渉 SAR 処理ソフトウェアの一種である SNAP は、Windows 上でも動作し、インターフェイスが GUI であることから、マウスとキーボードを用いて操作できる。中学校を対象とする学校教育において、学習者自身に操作させることがで

きると推測される。あらかじめ授業者が処理対象となるイベントを選定し、SAR データを入手できれば、提案した理科・技術科教育で利用できることを示唆した。今後、中学生を対象として SNAP が利用可能であるか検証し、授業実践を行ってその有用性を評価する予定である。

## 参考文献

- [1] 池光洋・南郷健太・伊藤陽介(2016) 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, 日本産業技術教育学会

- 第 31 回情報分科会研究発表会講演論文集, pp. 27-28.
- [2] User Guides – Sentinel-1 SAR – Mapping of Applications to Sentinel-1 Modes – Sentinel Online, <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications/mapping-applications-s1-modes> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [3] SAR Instrument – Sentinel-1 SAR Technical Guide – Sentinel Online, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/sar-instrument> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [4] User Guides – Sentinel-1 SAR – Stripmap – Sentinel Online, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes/stripmap> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [5] Sentinel-1B data access opening – News – Sentinel Online, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/news/-/article/sentinel-1b-data-access-opening> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [6] Sentinel-1 – Mission Summary – Sentinel Online, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview/mission-summary> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [7] Orbit – Sentinel-1 – Sentinel Handbook, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/satellite-description/orbit> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [8] Sentinel-1- Observation Scenario – Planned Acquisitions – ESA, <https://earth.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/observation-scenario> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [9] Sentinels Scientific Data Hub, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [10] Sentinel-1 – Data Distribution Schedule – Missions – Sentinel Online, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-distribution-schedule> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [11] When was Sentinel-1A imagery made available to users? (Data Access/General Queries, FAQ – Sentinel Online), <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/faq> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [12] Sentinels Scientific Data Hub, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [13] STEP | Science Toolbox Exploitation Platform, <http://step.esa.int/main/> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [14] Tutorials | STEP, <http://step.esa.int/main/doc/tutorials/> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [15] STEP Forum, <http://forum.step.esa.int/> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).
- [16] SNAP FAQ | STEP, <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/snap-faq/> (最終アクセス日: 2017 年 1 月 20 日).