

## スフリエール火山とコペルニクス計画

4月20日(火)9時10分頃、鹿児島県の桜島で爆発が起き、高く噴煙が上がりました。桜島での爆発は今年に入り60回目だったそうです。桜島周辺は快晴となっていることもあって、周辺からは高く吹き上がる噴煙の様子が見られたということです。桜島関係のライブカメラは多く設置してあるので確認できます。桜島ライブカメラ群のなかでも、鹿児島市の南日本新聞会館9Fから1分毎に撮影された桜島の姿を過去60日分確認できるサイトを早速確認しました。

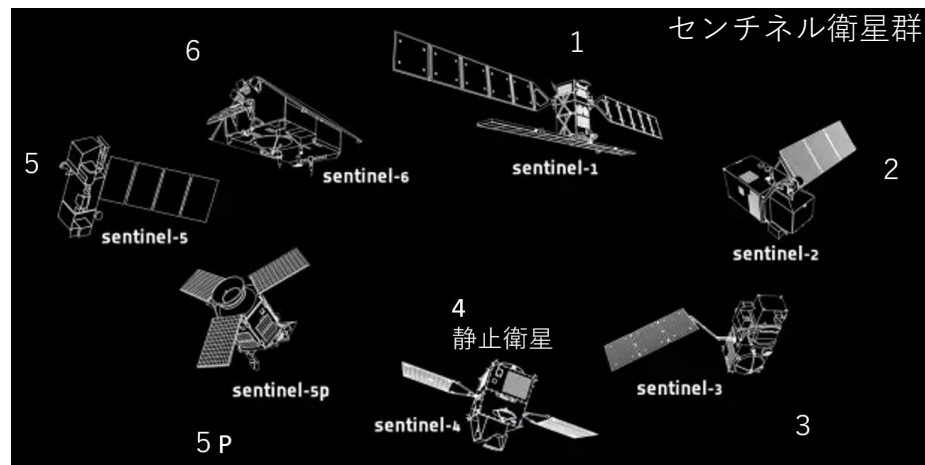
<https://373news.com/sakurajima/funka/>

最近ESAのEOブラウザからの画像を紹介しています。桜島の噴火の様子はどのように観測されているのでしょうか。4月20日の午前中に観測している画像を探してみました。



鮮明な画像がその日のうちに利用できます

これまでアメリカUSGS（地質調査所）のランドサット衛星群、ESA（欧州宇宙機関）のセンチネル1と2を紹介しています。センチネル衛星群はESAのコペルニクス計画のもとで展開されています。陸、海、大気を宇宙から観測しています。コペルニクス計画は、地球温暖化から土地利用の変化や大気まで、宇宙から地球データを収集しています。そして、そのすべての中心にあるのは、センチネル衛星群です。



<https://gisgeography.com/sentinel-satellites-copernicus-programme/>

本号は「スフリエール火山とコペルニクス計画」と名付けました。地学では「スフリエール式噴火」という火山の噴火形態の分類を学びますが、その命名の由来の火山が噴火しました。EOブラウザの画像もたくさん利用します。

### ページ紹介

- ・スフリエール火山はどこにある？
- ・これまでの噴火の歴史は？
- ・火口を衛星データでのぞいてみたら？
- ・火口周辺の温度を測る？
- ・センチネル1, 2, 3, 5Pとランドサット8データの持ち味
- ・ASTER標高データでわかること
- ・EOブラウザはこんなこともできる
- ・衛星データ分析のあれこれ
- ・噴火の影響

# 何回も噴火を繰り返しているスフリエール火山

噴火史  
1718年  
1812年  
1902年  
1971年  
1979年

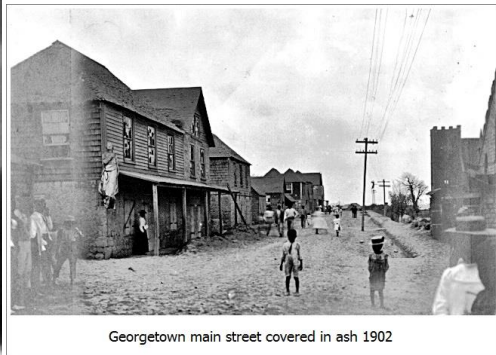
1902年



カリブ海の島にあるスフリエール火山は、記録が残る6回目の噴火をしました。日本では大きく報道されていませんが、火山の噴火モデルの名称になるほど有名な火山です。

自然災害についてもYAC団員のみなさんがしっかり防災学習をすることを願っています。YACかわら版の情報で考える根っこと考える翼を育むことを願っています。

セントビンセント島は噴火の後停電になったそうです。これまでの経験を活かし人的な被害はなかったようですが、多くの大きな被害がありました。皆さんの健勝を祈念するばかりです。



Georgetown main street covered in ash 1902

<http://www.georgetownsvgrevisited.co.uk/la-soufriere-1902-eruption.php>



<https://www.nytimes.com/2021/04/09/world/americas/volcano-St-Vincent-eruption-caribbean.html>

2021年



<https://mainichi.jp/english/articles/20210413/p2g/00m/0in/014000c>

記録に残すことは大切ですね。この号を執筆しながら実感します。

私事ですが、私も数年前水害の被害にあいました。自宅前を片付けていたら、幾人かがおしゃべりしながら笑いながらカメラを向けてきました。絶対してはいけない行為ですね。

最近



スフリエール山

1979



<http://www.georgetownsvgrevisited.co.uk/la-soufriere.php>

# 写真でみる火口の様子

噴火史  
 1718年  
 1812年  
 1902年  
 プリニー式噴火。火砕流により1,680人が死亡  
 1971年  
 \*ブルカの式の噴火  
 1979年  
 事前警告で人的被害なし

1902年の噴火後の荒廃の調査



<https://floridanewstimes.com/once-again-the-volcanic-caribbean-island-looks-like-a->

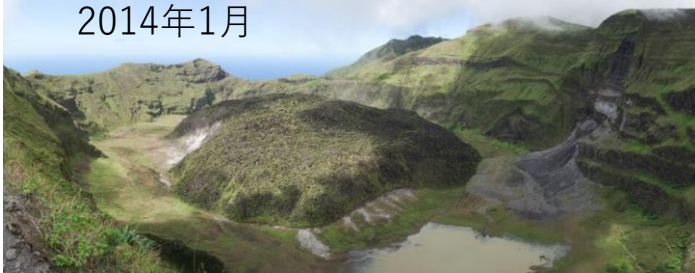


1971年12月  
火口湖

<https://volcano.si.edu/gallery/ShowImage.cfm?photo=GVP-05055>

ドームは、9月下旬または10月上旬に押し出しが始まった後、11月20日に最初に湖の表面の上に姿を現した。高さは、1972年3月20日に成長を停止する前に、2~3 m /日の速度で増加した。

2014年1月



2020年12月



新ドーム

1979年ドーム

スフリエール火山の古い火口内に成長する新しい溶岩ドーム

いわゆる火口湖はなくなり、火口にも[みどり]が戻ってきている。

<https://blogs.egu.eu/network/volcanicdegaassing/files/2014/01/paulcolelargecrater.jpg>

<https://discovermni.com/2020/12/29/mvo-staff-advising-on-new-dome-growth-at-st-vincent-s-la-soufriere-volcano/>

1月18日



マスクを着けてドームを観察する科学者



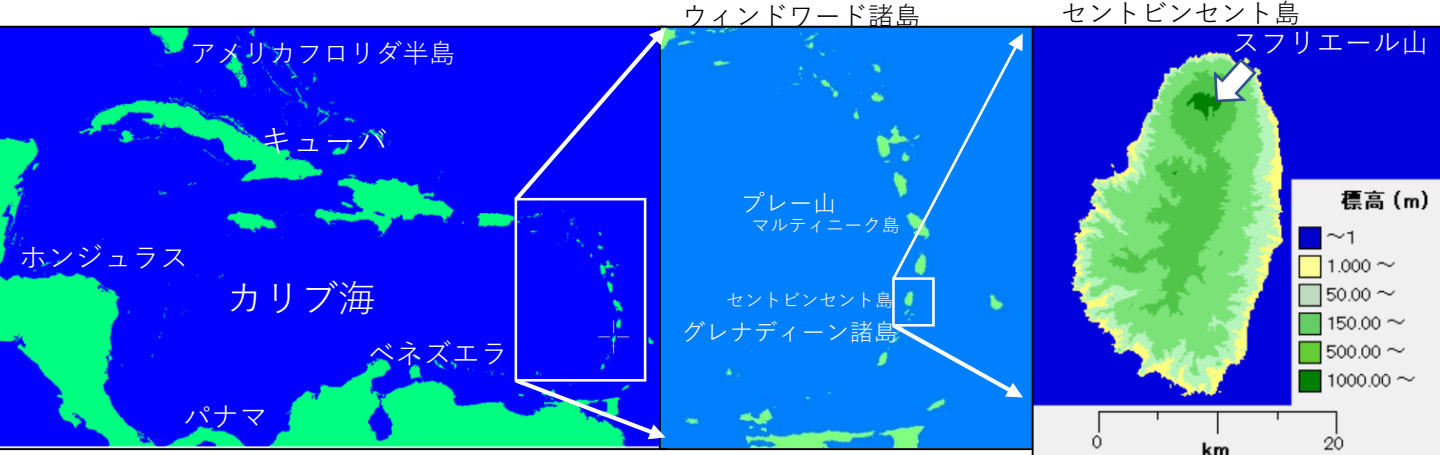
火山から離れた町から

政府が数千人に近くの家からの避難を命じた後、金曜日に爆発的噴火がありました。専門家によると、火山灰は6 km以上の高さまで上昇し、灰の大部分は北東の大西洋に向かっていたとのこと。

<https://www.loopnewscaribbean.com/content/vincentians-will-see-rivers-red-fiere-material-la-soufriere>

<https://www.cbs7.com/2021/04/09/st-vincent-of-volcanic-eruption-orders-evacuations/>

かつての**プリニー式噴火** → **スフリエール式噴火**



産総研「桜島火山の大規模噴火に共通の前駆過程を発見」の用語解説によれば…

**プリニー式噴火**

大規模で爆発的な噴火。噴火が継続的に発生し、柱のように立ち上る噴煙が形成される。一度の噴火の継続時間は数時間から数十時間で、大量の軽石や火山灰・火山ガスを放出する。桜島で有史に発生した大規模噴火では各噴火で約108 m<sup>3</sup>のマグマが放出された。

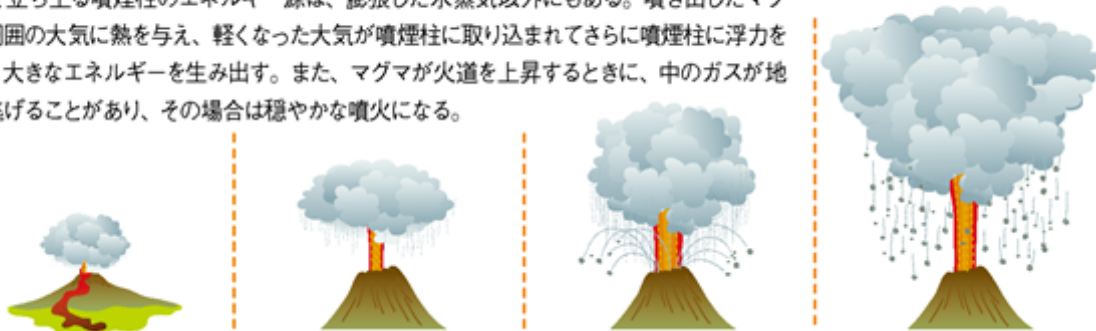
\* プリニー式噴火はスフリエール式噴火とよばれます

[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2019/pr20190214\\_2/pr20190214\\_2.html#](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190214_2/pr20190214_2.html#)

注 富士山の宝永大噴火 (1707年) もプリニー式噴火とされています。

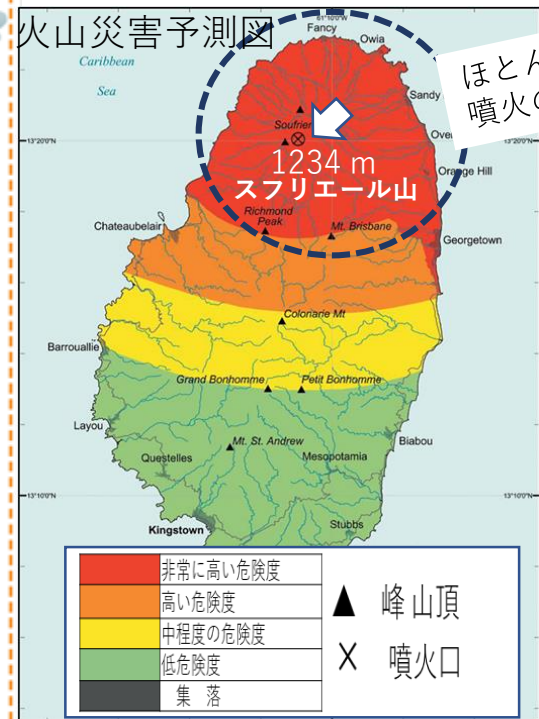
**噴火のタイプ**

噴火で立ち上る噴煙柱のエネルギー源は、膨張した水蒸気以外にもある。噴き出したマグマが周囲の大気に熱を与え、軽くなった大気が噴煙柱に取り込まれてさらに噴煙柱に浮力を与え、大きなエネルギーを生み出す。また、マグマが火道を上昇するときに、中のガスが地中に逃げることもあり、その場合は穏やかな噴火になる。



低い ← 噴煙柱の高さ → 高い  
 穏やか ← 噴火の程度 → 激しい  
 低い ← 溶岩の粘性 → 高い

- 〈ハワイ式〉**
  - ・高温の玄武岩質のマグマ
  - ・莫大な量の溶岩流
  - ・火山灰は出ない
  - ・しぶきが落下し、火口の周りに溶岩湖ができる
  - ・キラウエア火山、マウナロア火山など
- 〈ストロンボリ式〉**
  - ・やや粘りのある玄武岩質のマグマ
  - ・数十秒～数分間マグマのしぶきを噴き上げる小爆発を繰り返す
  - ・火山弾、スコリアが火口のそばに降り積もり火砕丘を形成
  - ・溶岩流も見られる
  - ・伊豆大島、諏訪之瀬島 (鹿児島県) など
- 〈ブルカノ式〉**
  - ・粘り気のある安山岩質のマグマ
  - ・溶岩流はあまり出ない
  - ・爆発的に岩石や火山灰を飛ばす
  - ・岩石は短時間に一気に、火山灰は比較的長時間噴出
  - ・浅間山、桜島など
- 〈プリニー式〉**
  - ・とても粘り気のある流紋岩質のマグマ
  - ・大量の火山灰、軽石を噴出
  - ・噴煙柱が成層圏に達し、火山灰が地球全体に回ると異常気象を引き起こす
  - ・噴煙柱が崩壊すると火砕流に、崩壊しないと軽石、火山灰が降下
  - ・ピナトウボ火山、セントヘレンズ火山など



ほとんど過去の噴火の堆積物

噴火史  
 1718年  
 1812年  
 1902年  
 プリニー式噴火。火砕流により1,680人が死亡  
 1971年  
 \*ブルカノ式の噴火  
 1979年  
 事前警告で人的被害なし

# ランドサット8の温度データ

## 観測データで温度を探る

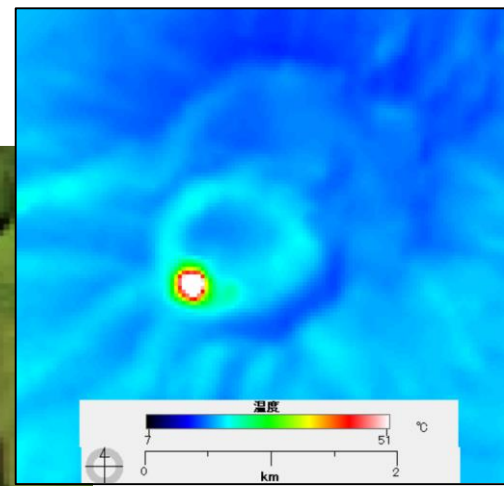
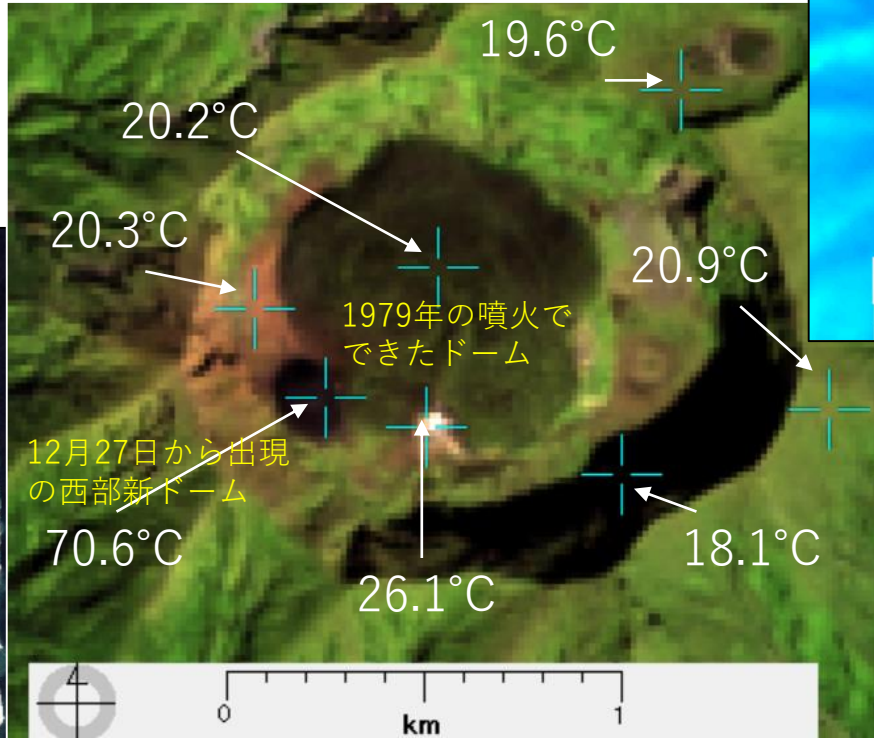
2013年から運用されているランドサット8のスプリエール火山周辺観測データのうち2021年1月3日が最高の観測日でした。

ランドサット8は地表の温度データが得られます。

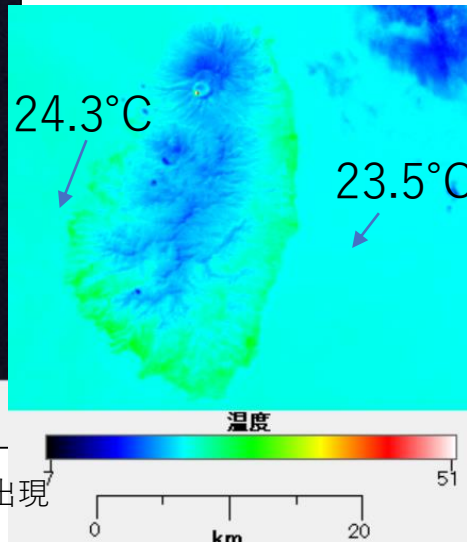
火口周辺の1月3日観測データ



2021年1月3日



- Data sources
- Sentinel-1
  - Sentinel-2
  - Sentinel-3
  - Sentinel-5P
  - Landsat
  - Landsat 5 (ESA archive)
  - Landsat 7 (ESA archive)
  - Landsat 8 (ESA archive)
  - Landsat 8 (USGS archive)
- Max. cloud coverage: 0%
- Envisat Meris
  - MODIS
  - DEM
  - Copernicus Services
  - Proba-V
  - GIBS



ランドサット観測後1月16日、拡大する西部ドームの前面は約590°Cに達したそうです。その後4月9日の噴火に向かいます。

EOブラウザはランドサット8データも分析することができます。次ページにデータを示します。データをダウンロードしてEISEIで分析しなくても、EOブラウザは過去データを分析することができます。

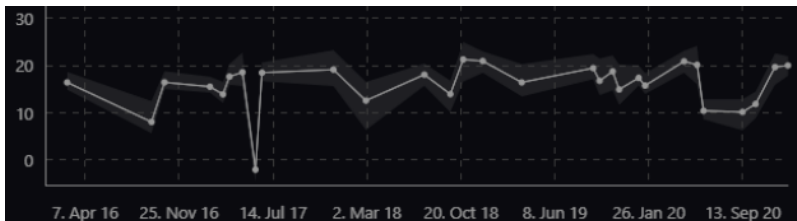
ランドサット8は、4月9日23:59に火山周辺を観測しています。今回の噴火活動の2回目は4月9日の12:41でした。可視光での観測をしています。火口周辺は広範囲の噴煙でおおわれていました。

12月27日に山頂火口内に新しい溶岩ドーム出現

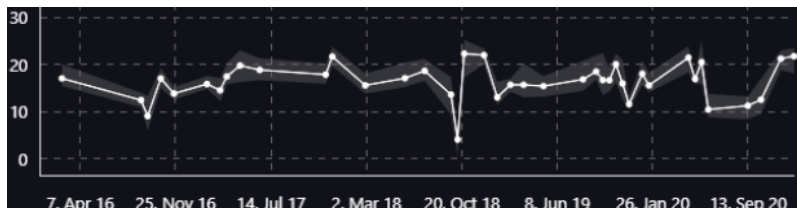
# ランドサット8の温度データ

MOブラウザで温度を探る

A 火口範囲内を大きく



B 内側のカルデラ内



C 旧溶岩ドーム範囲

旧ドームの表面温度も変化する



D 西側新ドーム範囲

新ドームは、昨年12月に出現した



5年間の指定範囲の温度変化を把握できます。範囲内の気温平均値が得られます。

\* 雲量などの指定は必要



新ドーム出現までは火口の他の地域の温度変化と比較する必要があります。旧ドームも温度の変化があるようです。

観測範囲を変えて詳しく分析すると多くのことが見つかるでしょう。

① EOブラウザを開く

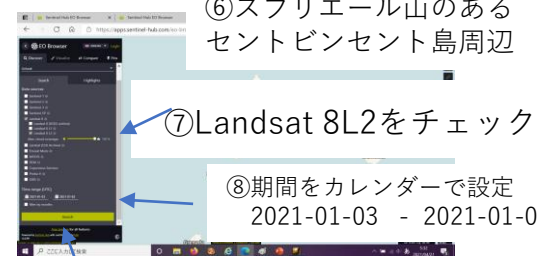
<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=10&lat=41.9&lng=12.5&themeld=DEFAULT-THEME> 日本語OK

④初期画面に場所をタイプ



⑤候補から選ぶ

⑥スフリエール山のあるセントビンセント島周辺



⑦Landsat 8L2をチェック

⑧期間をカレンダーで設定 2021-01-03 - 2021-01-03

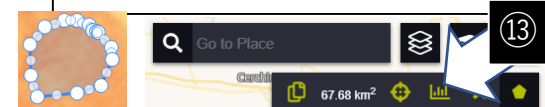
⑨設定が終わるとチェック

⑩検索した1月3日が表示される。「Visualize」をクリック



⑪「Thermal」をクリック 温度データを表示

⑫画面右上2番目の真ん中のペンをクリックし、分析個所の地図画面を囲む



⑬囲んだ範囲内の面積も表示されるグラフマークをクリックすると統計情報等表示される。左図の通り。

Statistical Info / Feature Info Service chart

# 同じ日の様子を光学衛星と電波衛星で調べる


2021年4月18日14:39

## センチネル2

### フォルスカラー

噴火の後センチネル1で速やかに現地を観測し状況を把握し、光学衛星の観測で詳しく調べる

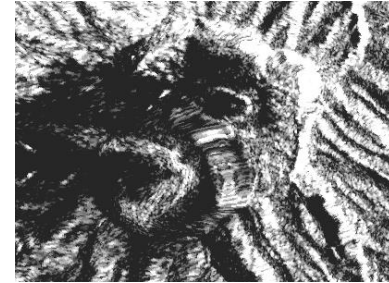
白いところは雲  
火口周辺も区の下  
赤いところは緑下元気に育っている

 火山灰におおわれ植物が弱っている

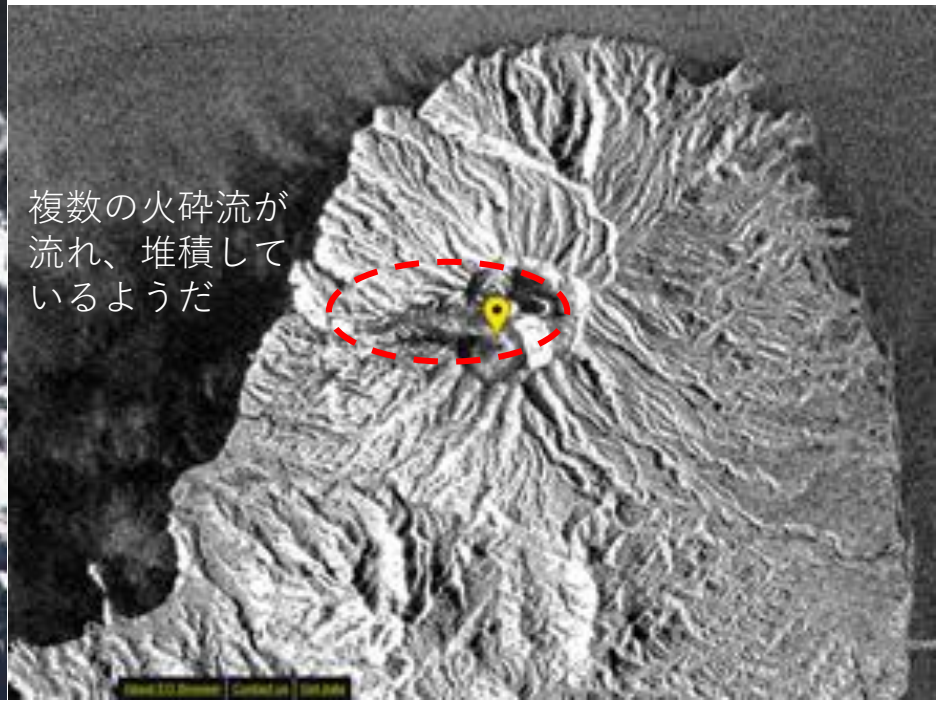
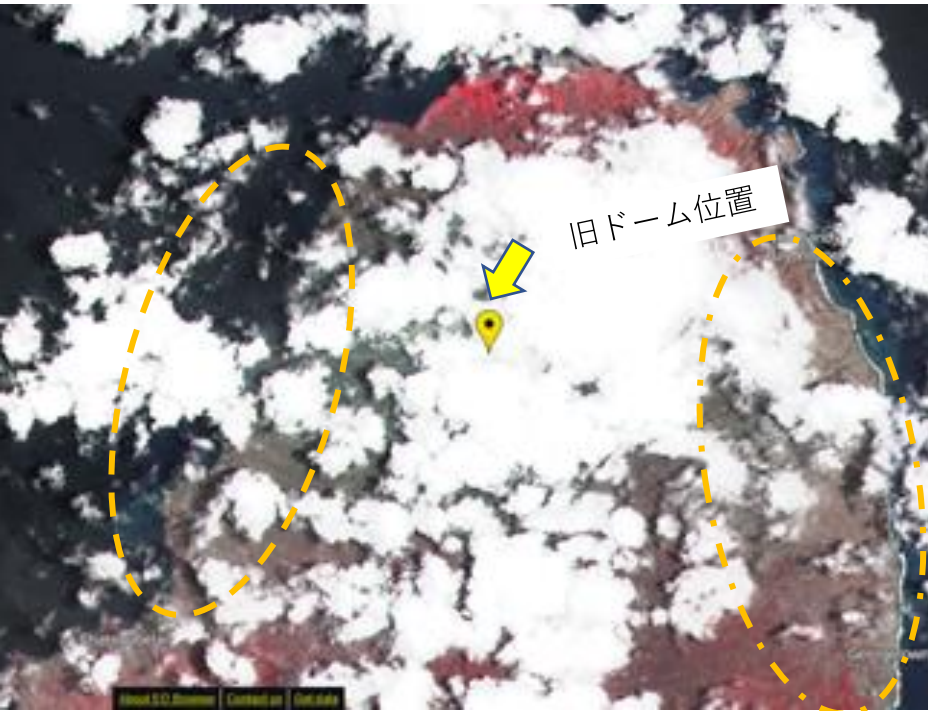
2021年4月18日22:18

## センチネル1

雲に影響されずに観測できている  
電波による観測では、電波の出し方、処理の仕方でも多様な画像が得られる。



VH - decibel gamma0 - orthorectified



複数の火砕流が流れ、堆積しているようだ

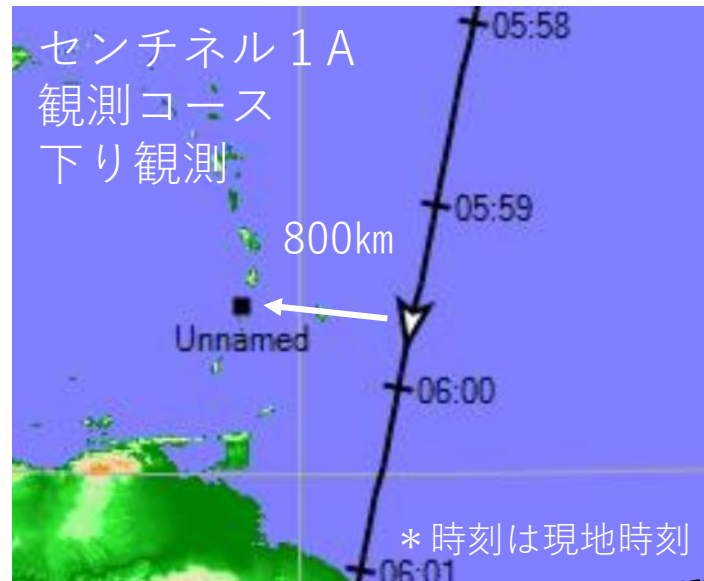
4月11日13:59  
センチネル3



## センチネル1のデータ

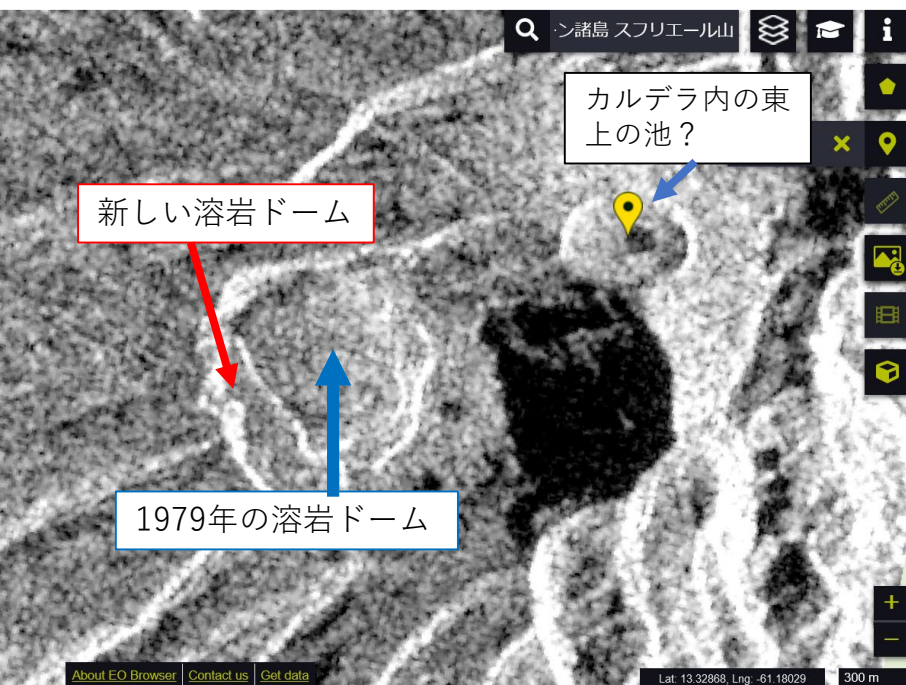
Sentinel-1 AWS-IW-VVVH  
VV - decibel gamma0  
12日の回帰日前後に  
同じ条件で観測した  
もの

火口の様子が大きく変化しているようです。  
センチネル1は、空間分解能は10mです。他の衛星の観測結果や、専門機関の説明を待ちましょう。

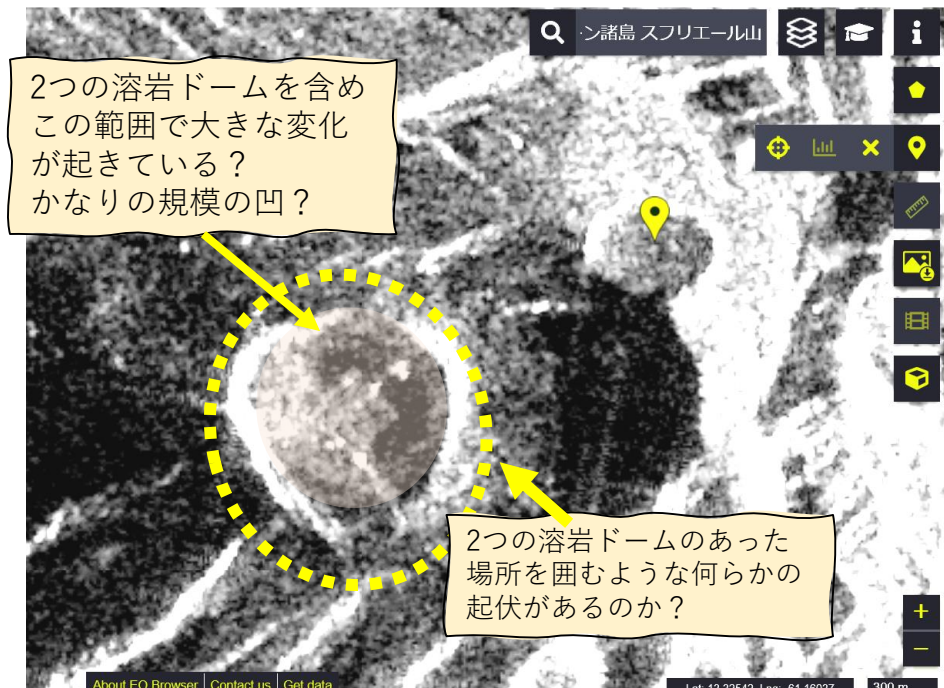


噴煙の下でも観測  
できます

2021年3月30日9:58 9日の噴火前



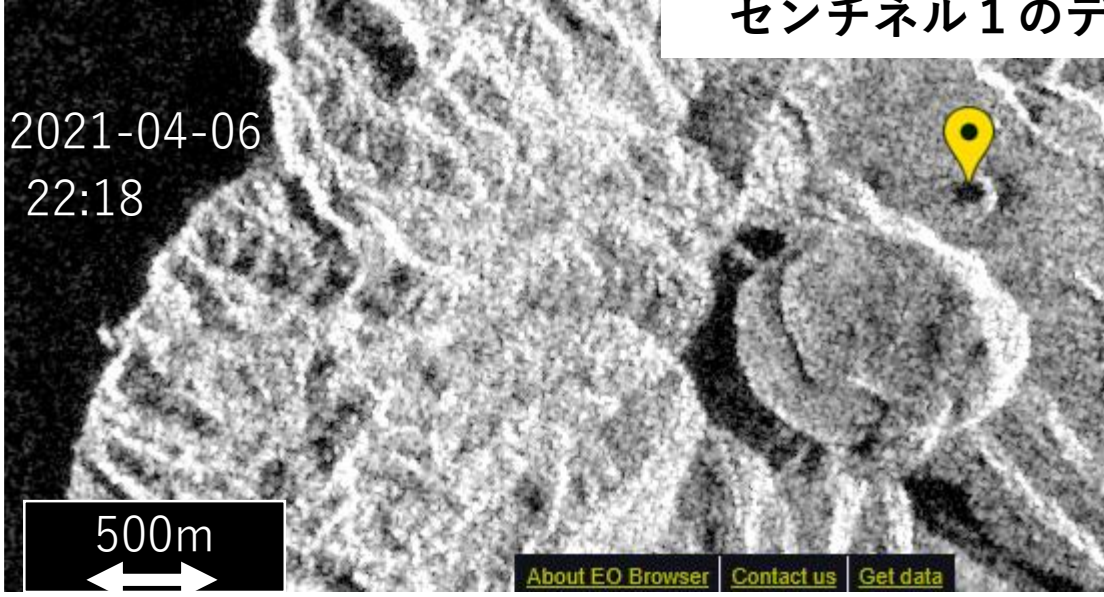
2021年4月11日9:59 噴火後





# センチネル1のデータ

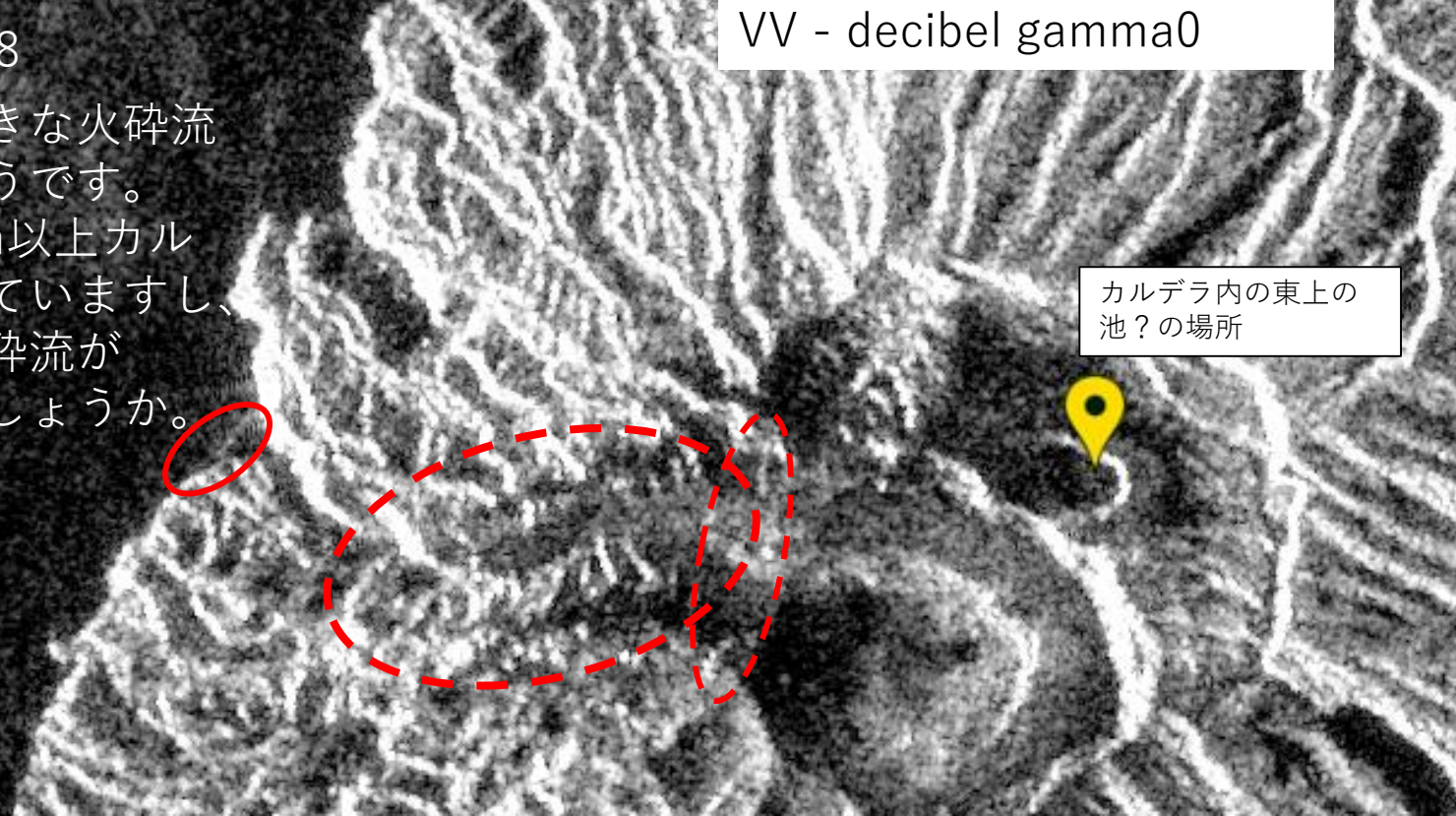
2021-04-06  
22:18



2021-04-18 22:18

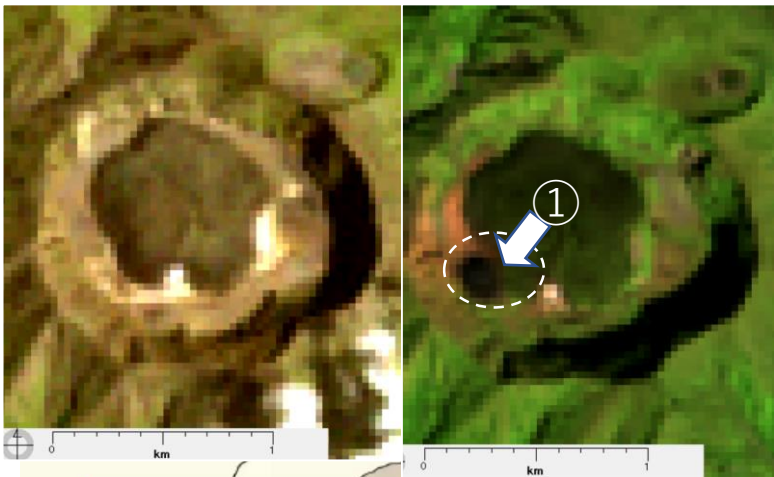
今回の噴火では大きな火砕流が発生しているようです。火口の西側は500m以上カルデラの形が変化していますし、下流に向かって火砕流が堆積しているのでしょうか。

1000m



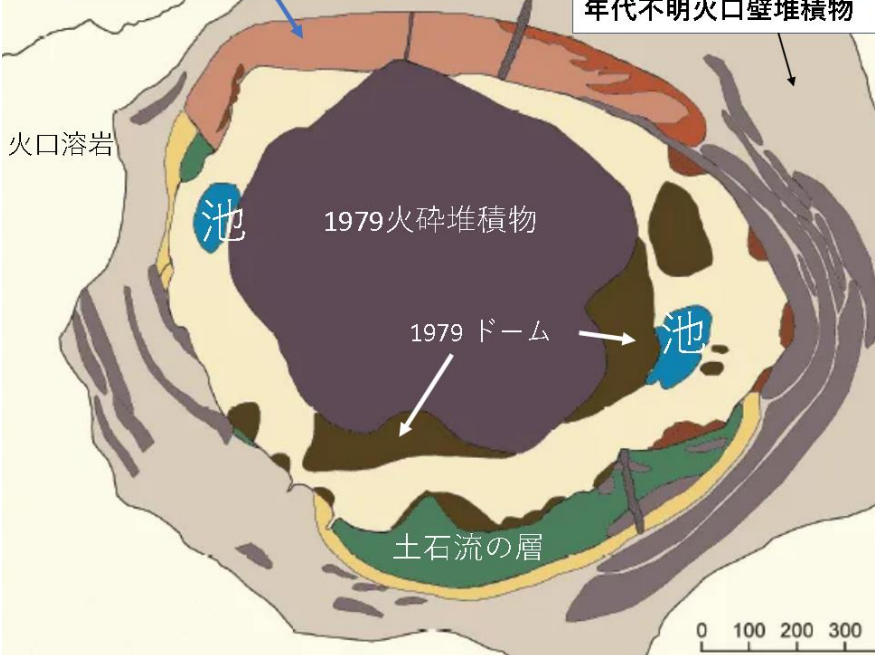
1986年3月26日

2021年1月3日



先史時代の溶岩流

年代不明火口壁堆積物



簡易説明
火口溶岩
年代不明火口壁堆積物
先史時代の溶岩流
1979年火砕堆積物
1979 年ドーム
池
土石流の層
未特定の火口からの堆積物

1月3日のランドサット8の①



2020年12月29日の噴火後、火口内に新しいドーム(国家緊急事態管理機構)

スフリエール火山の火口の地質スケッチ図(小アンティル火山の火山ハザードアトラス、2005) に加筆  
<https://ttweathercenter.com/volcano/la-soufriere-volcano-st-vincent/>

# スフリエール火山噴火をE Oブラウザで探る センチネル2 データをEOブラウザお任せ分析

## フォルスカラー2

植生が緑の色合いで表示されるので植物が弱っている。火口周辺は雲でおおわれ不明だが、溶岩流などは赤や黄色で表現されるはずですが。

## NDVI

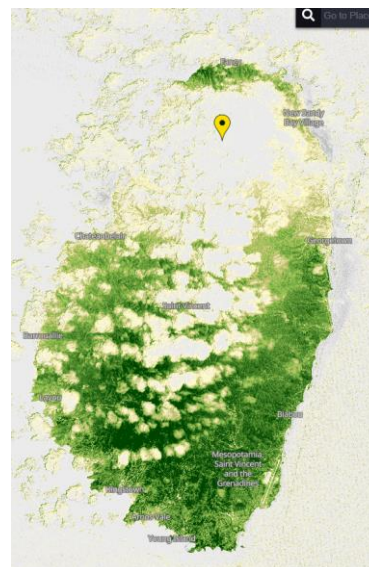
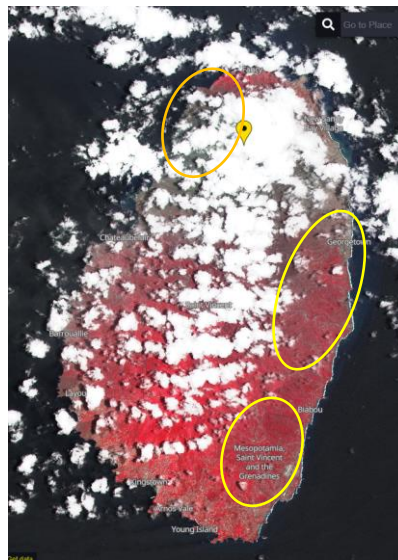
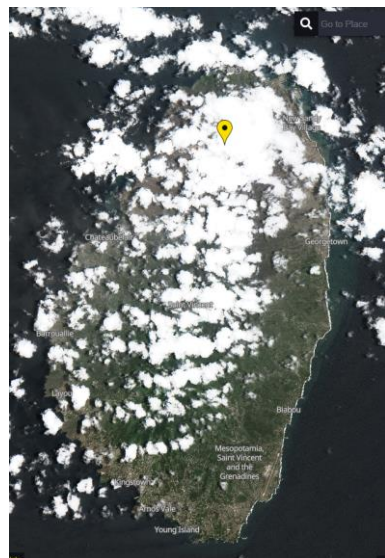
火山に近いほど植生指数が低い  
南部でも影響がある

## フォルスカラー

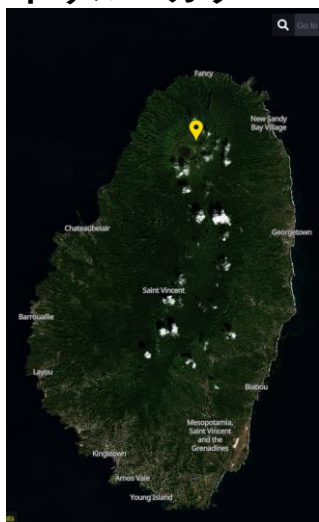
スフリエール火山に近いほど火山灰で緑が失われている様子がわかる

## トゥルーカラー

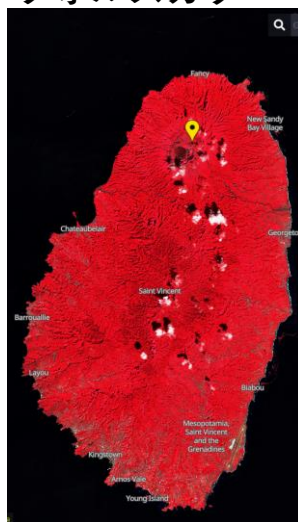
島の南部まで広く火山灰がカバーしている



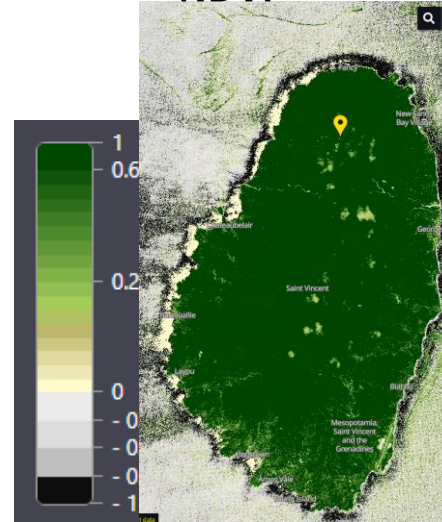
## トゥルーカラー



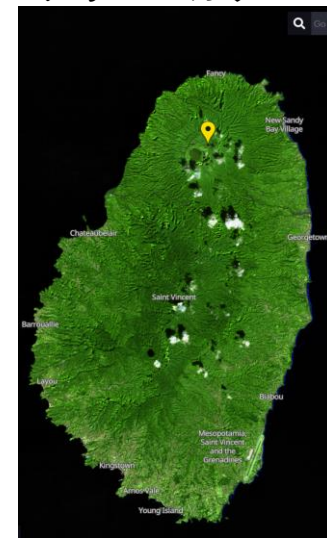
## フォルスカラー



## NDVI



## フォルスカラー2



2021年  
4月18日  
噴火後

2019年  
1月29日  
噴火前

めったとない  
快晴

# スプリエール火山噴火をEOブラウザで探る。センチネル2データをEOブラウザお任せ分析

## 水分指数

噴火前は十分な水分を持った樹木がほぼ島全体をカバーしていましたが、噴火後は水分指数も下がっている

## SWIR

この色合成 (G12,B8A,R4) は植物や土壌にある水量を推定するのに役立ちます。雲で全体の様子は不明ですが火口に近い場所や島の東部分は暗なっています。

## NDWI

他の指数が示しているのと同じように植生の値が小さくなっている

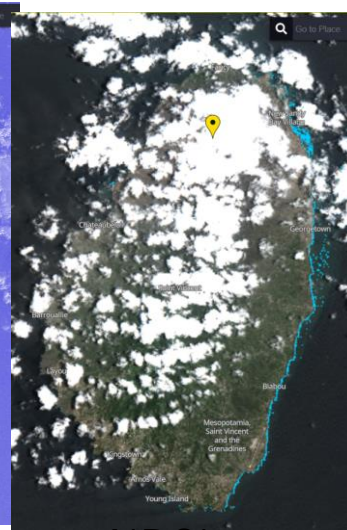
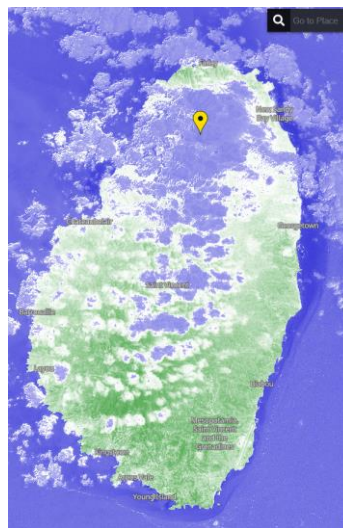
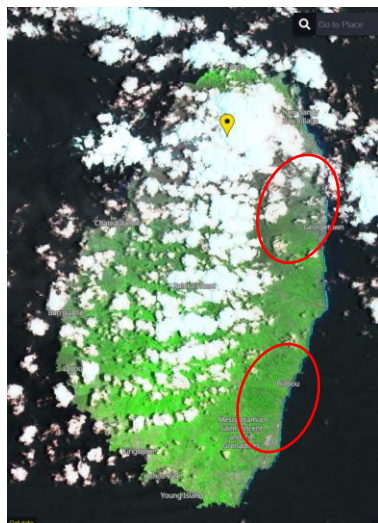
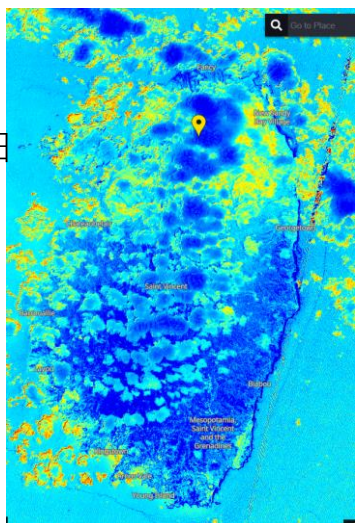
## NDSI

雲が島の標高の高い部分をカバーしている。この島の高地は年間を通して雲が多い。

## シーン分類

- → かつてはほとんど植生であった
- → 噴火後は未分類に相当する部分が広がっている

2021年  
4月18日  
噴火後



## 水分指数

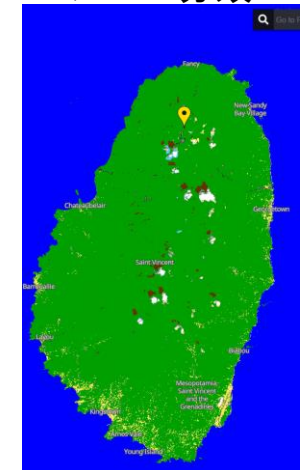
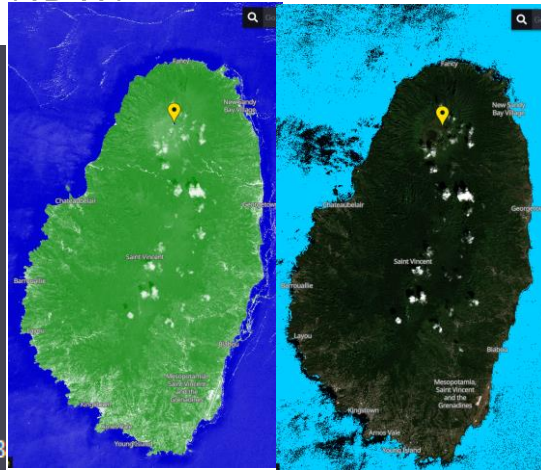
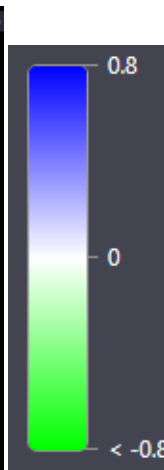
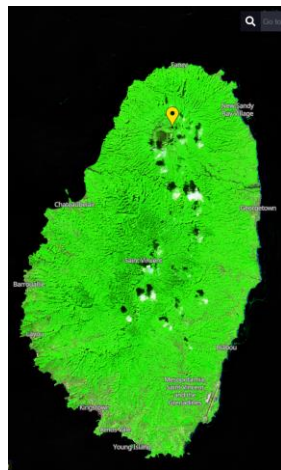
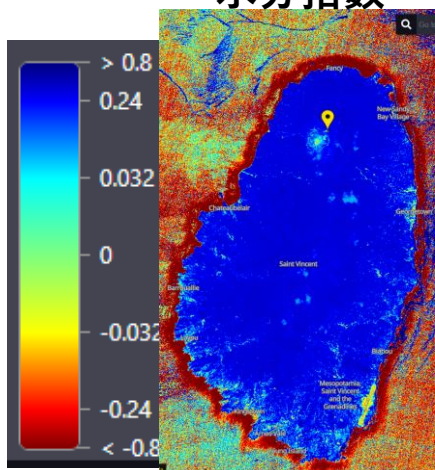
## SWIR

## NDWI

## NDSI

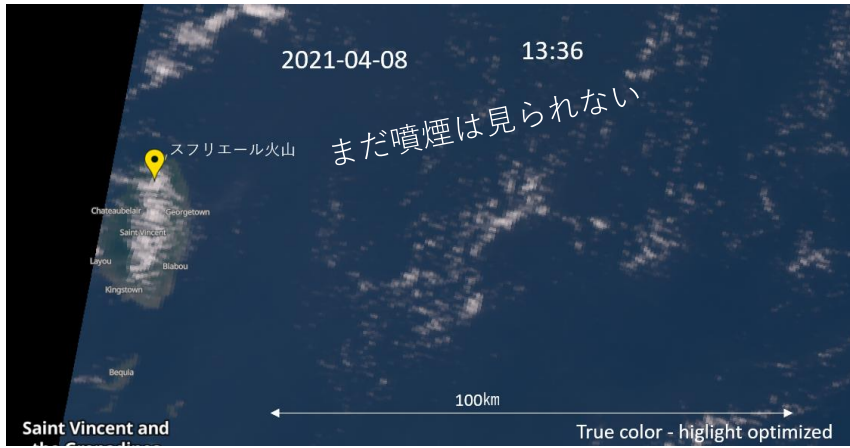
## シーン分類

2019年  
1月29日  
噴火前

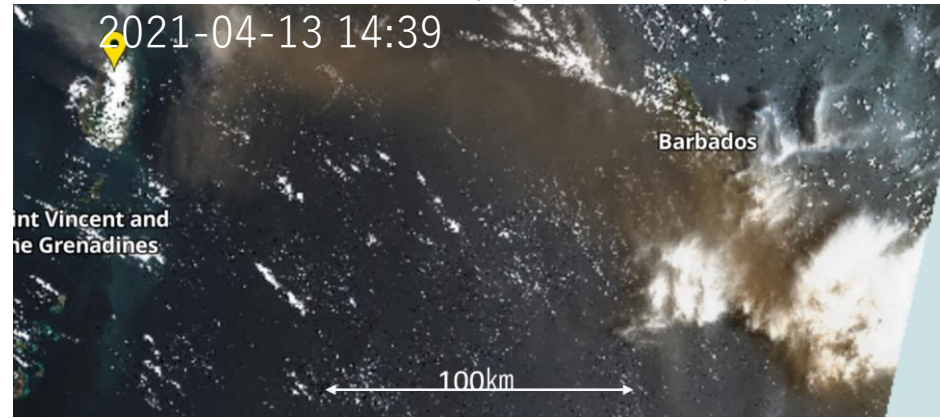


# スフリエール火山の噴煙の広がり

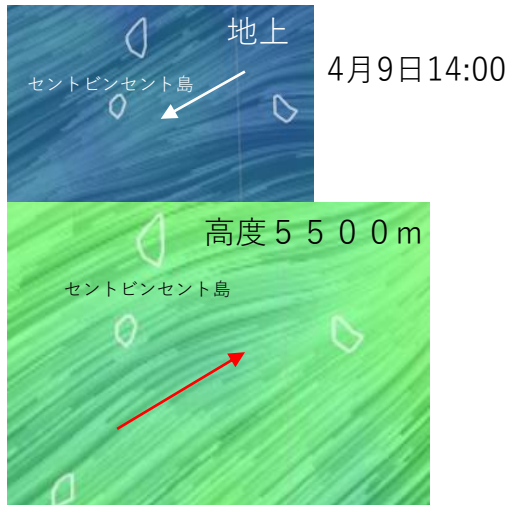
## センチネル 3



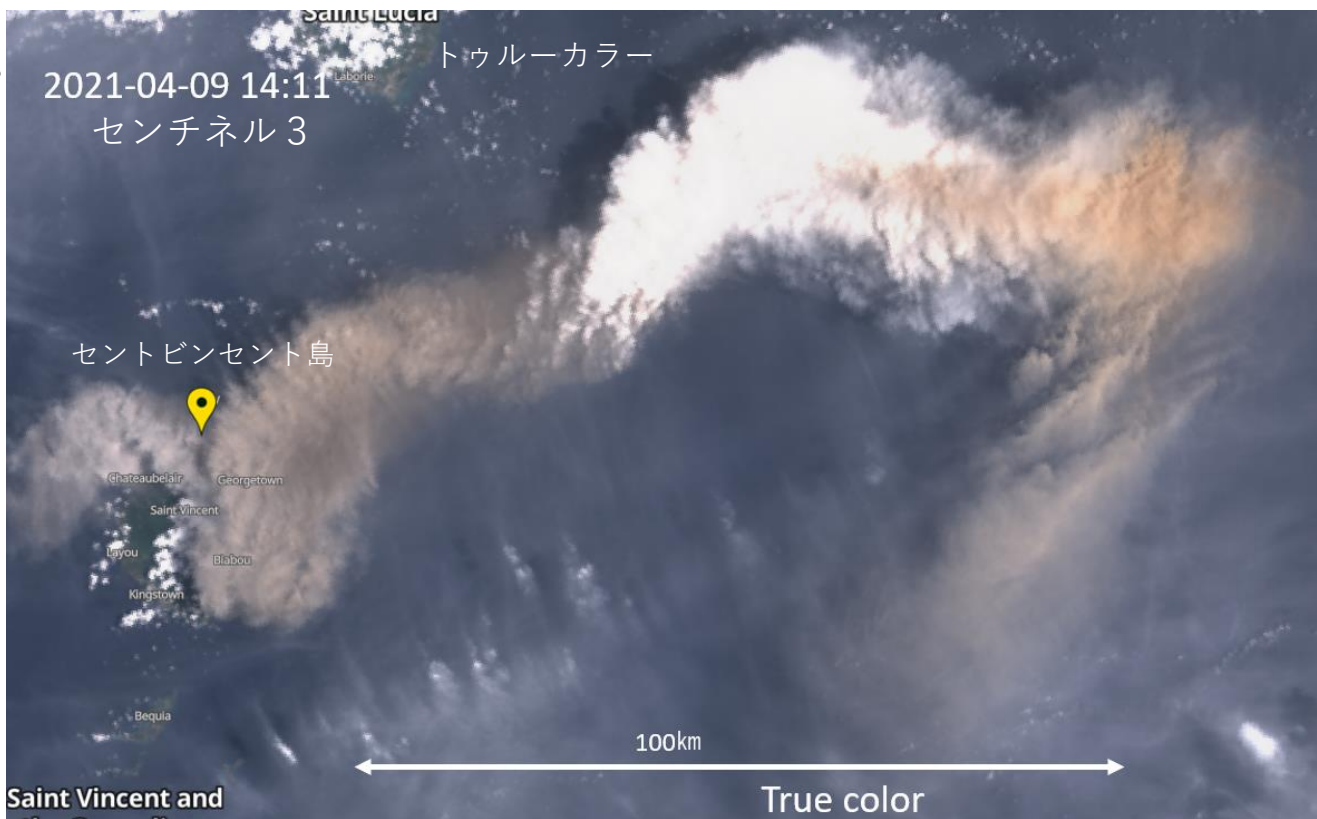
センチネル 2 モザイク機能8シーンを合成



センチネル 2 は、空間分解能が10mです。センチネル 3 は、0.5~1 kmです。広範囲を回数多く観測する持ち味があります。鮮明に右上のセンチネル 2 では、多くのデータを合成する必要もあります。火山の噴煙は風の流れと深い関係があります。

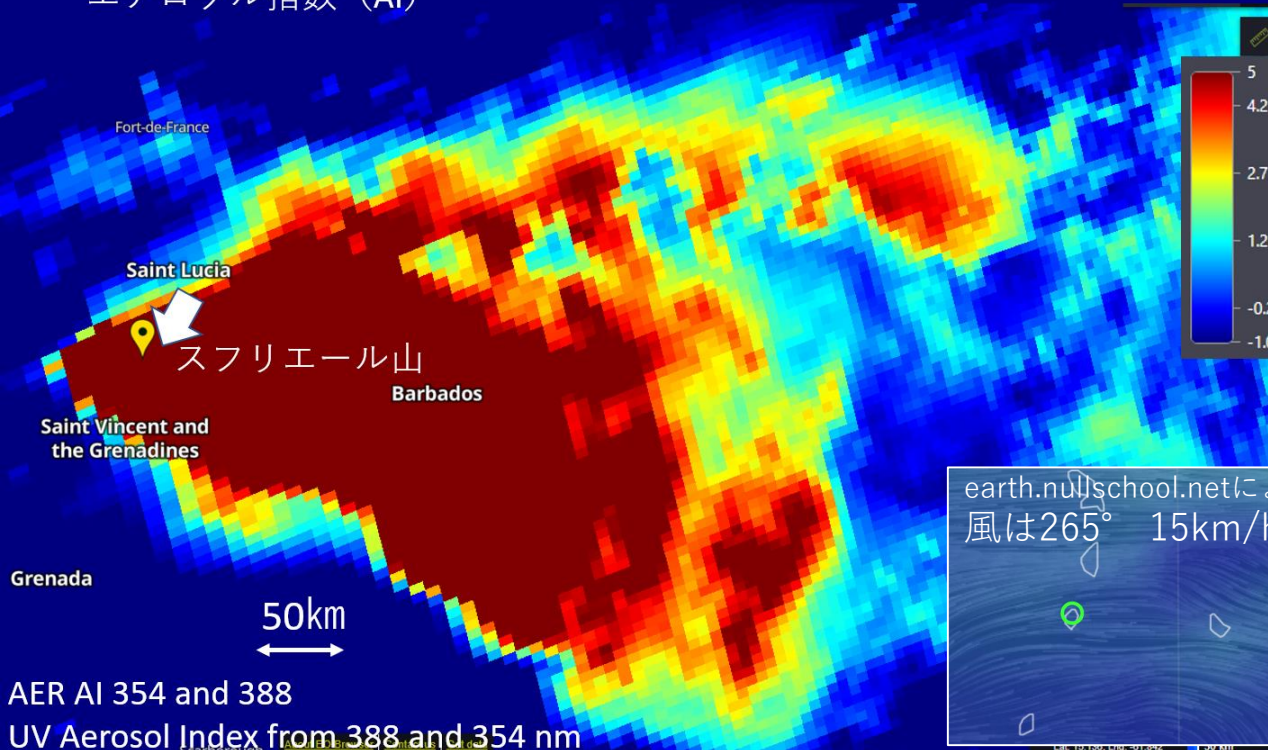


earth.nullschool.netで調べた風



# スフリエール火山噴煙のセンチネル5 P観測

Sentinel-5 AER\_AI 2021-04-10  
エアロゾル指数 (AI)

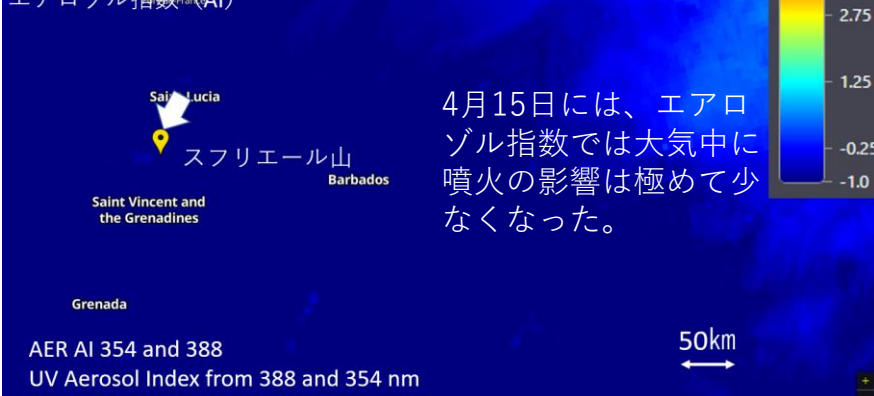


earth.nullschool.netによる  
風は265° 15km/h

センチネル-5Pは大気観測衛星です。空間分解能は7 x 3.5kmですが、同じ地域を再訪する再訪時間は最大1日です。スフリエール火山噴火も観測しました。2017年10月13日にロシアのプレセツク宇宙基地から打上られました。高度826km、周期101分、17日で回帰です。2018年4月からデータの利用が可能でEOブラウザでも無料で利用できます。オランダ製の観測機器で空気中の一酸化炭素、二酸化窒素、オゾン、二酸化硫黄の濃度を観測します。火噴煙・火山灰や黄砂 等も観測します。左図はエアロゾルのデータです。

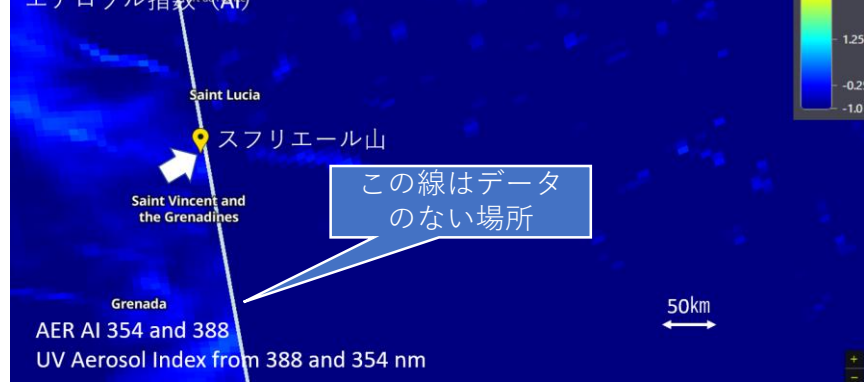
大気上層のエアロゾル（大気中の微粒子）の存在量を表す数値。紫外線のバンドで観測したデータを使用することにより、紫外線を吸収する性質のあるエアロゾルー火山噴煙や黄砂などーの分布が分かります。

Sentinel-5 AER\_AI 2021-04-15  
エアロゾル指数 (AI)



4月15日には、エアロゾル指数では大気中に噴火の影響は極めて少なくなった。

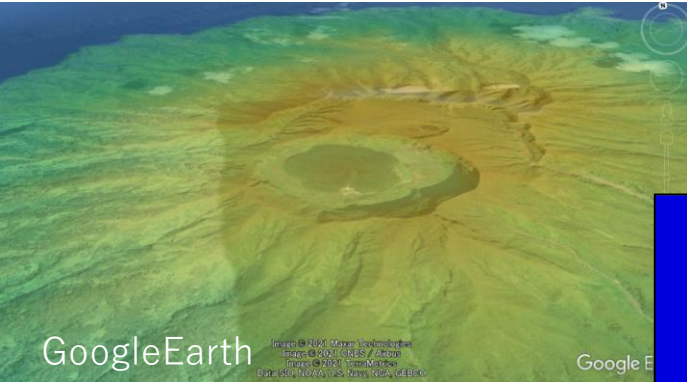
Sentinel-5 AER\_AI 2021-04-16  
エアロゾル指数 (AI)



この線はデータのない場所

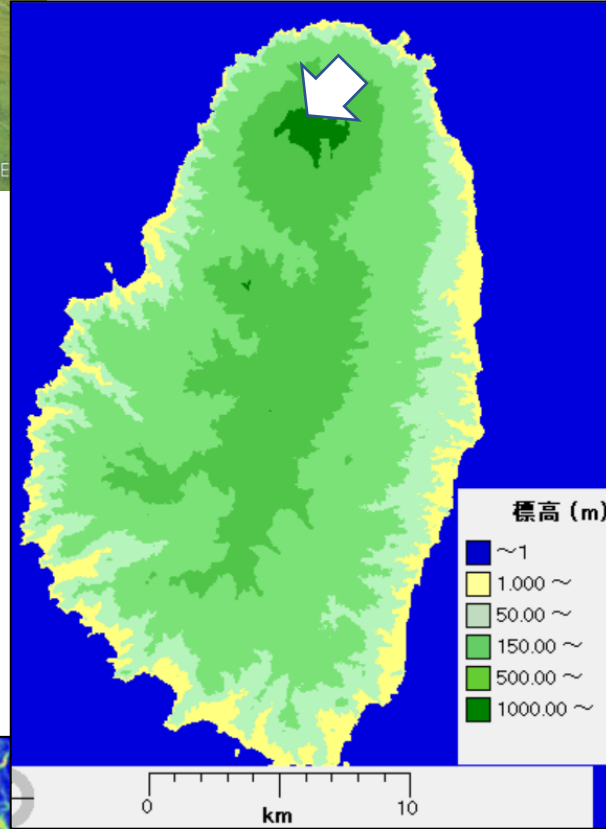
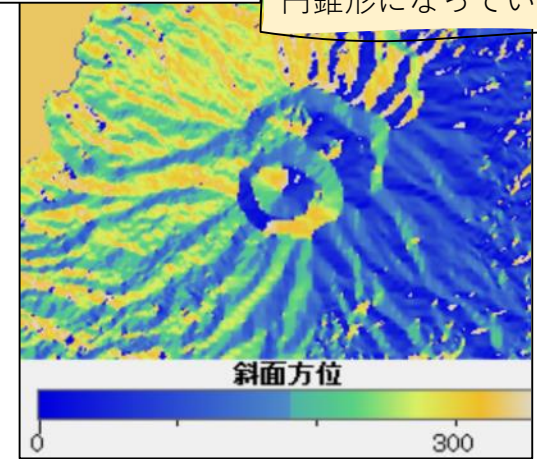
# 標高データでのスフリエール火山の分析

ASTER全球3次元地形データを用いて



斜面方位の検討

全ての方位に斜面が向いている  
円錐形になっている



<https://www.viator.com/en-PH/St-Lucia-attractions/La-Soufriere-Volcano-La-Grande-Soufriere/d38-a2469>

<https://www.guadeloupe-shuttle.com/product/from-gosier-to-soufriere-volcano/>

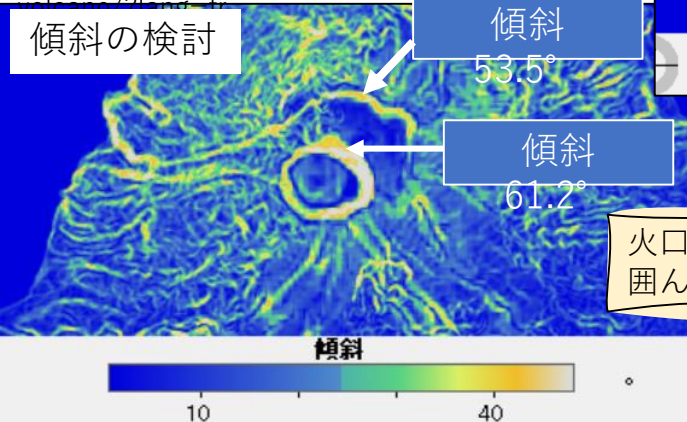
傾斜の検討

傾斜

53.5°

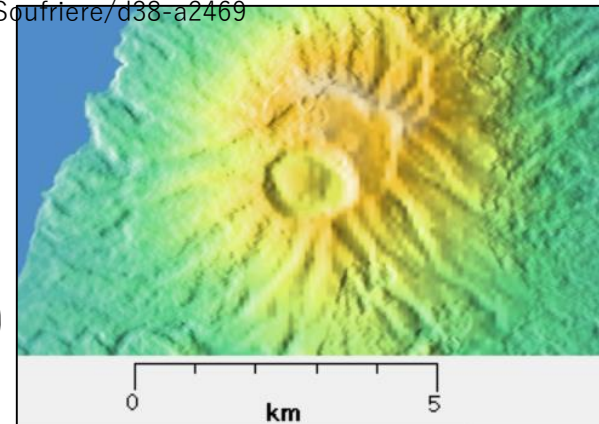
傾斜

61.2°



火口を二重に  
囲んでいる

ここでの情報は噴火前の標高データからの分析です。



# <追補説明>

JAXAの「だいち2」は、センチネル1と同じ仲間のSAR衛星です。空間分解能は3mです。YACかわら版133をお届けした後、JAXAウェブサイト「地球が見える 2021年セントビンセント島スフリエール山の噴火」が公開されました。とても参考になる情報です。

<https://www.eorc.jaxa.jp/earthview/2021/tp210423.html>

2021年4月7日および21日の変化があった場所「だいち2号」コヒーレンス画像という方法で処理した画像です。暗い部分が降灰域（火山灰におおわれた場所）に概ね対応しているそうです

**センチネル1のデータ**  
 Sentinel-1 AWS-IW-VVHV VV - decibel gamma0  
 12日の回帰日後に同じ条件で観測したもの

4月11日13:59 センチネル3  
 島全体が火山の噴煙の下

火口の様子が大きく変化しているようです。センチネル1は、空間分解能は10mです。他の衛星の観測結果や、専門機関の説明を待ちましょう。

センチネル1A 観測コース 下り観測  
 800km  
 時刻は現地時刻

2021年3月30日9:58 9日の噴火前

2021年4月11日9:59 噴火後

新しい溶岩ドーム

カルデラ内の東上の池?

2つの溶岩ドームを含めこの範囲で大きな変化が起きている? かなりの規模の凹?

1979年の溶岩ドーム

2つの溶岩ドームのあった場所を囲むような何らかの起伏があるのか?

噴煙の下でも観測できます

火山灰におおわれている場所の変化を考えてください

スフリエール火山噴火をEOブラウザで探る センチネル2データをEOブラウザお任せ分析

**トゥルーカラー**  
島の南部まで広く火山灰がカバーしている

**フォルスカラー**  
スフリエール火山に近いほど火山灰で緑が失われている様子がわかる

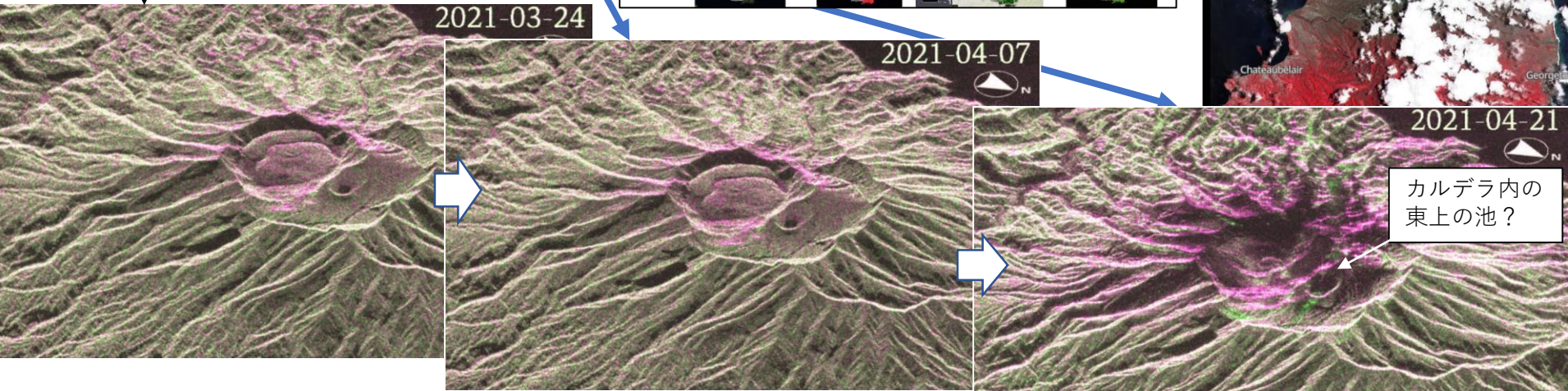
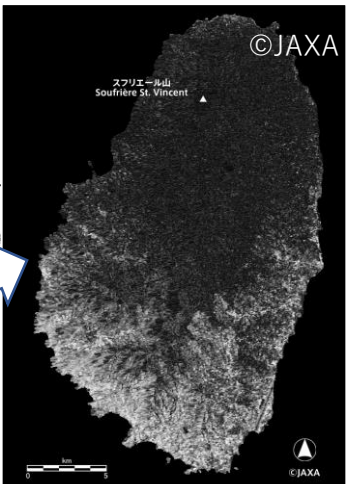
**NDVI**  
火山に近いほど植生指数が低い 南部でも影響がある

**フォルスカラー-2**  
植生が緑の色合いで表示されるので、物が覆っている。火口周辺は露われ不明だが、溶岩流などは表現されるはず

2021年4月18日 噴火後

2019年1月29日 噴火前

めったとない快晴



だいち2の情報で火口の様子がよくわかります