

この講義では、実際の災害の画像や事例に多く触れます。犠牲者の方々のご冥福をお祈りし、被害者の方々にお見舞い申し上げます。防災・減災のために、これらの資料を厳粛な気持ちで活用させていただきます。

(2011年台風12号) 紀伊半島で発生した崩壊・天然ダム

平成23年（2011年）紀伊半島台風12号土砂災害調査報告, 国総研資料728: 衛星SAR 画像による天然ダム形成状況調査
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutn/tnn/tnn0728pdf/ks072807.pdf>

「夜間や悪天候時においても地表の状態を観測可能な高分解能 SAR 画像の判読により、河道閉塞箇所を推定・抽出、その情報提供が法に基づく緊急調査、住民避難につながった事例について報告を行った。**衛星リモートセンシング技術が実際の土砂災害対応の中で実践的に利用された初めての例と言える。**」

ISSN 1346 7328
国総研資料 第728号
ISSN 0386 5878
土木資料 第4260号
平成25年3月

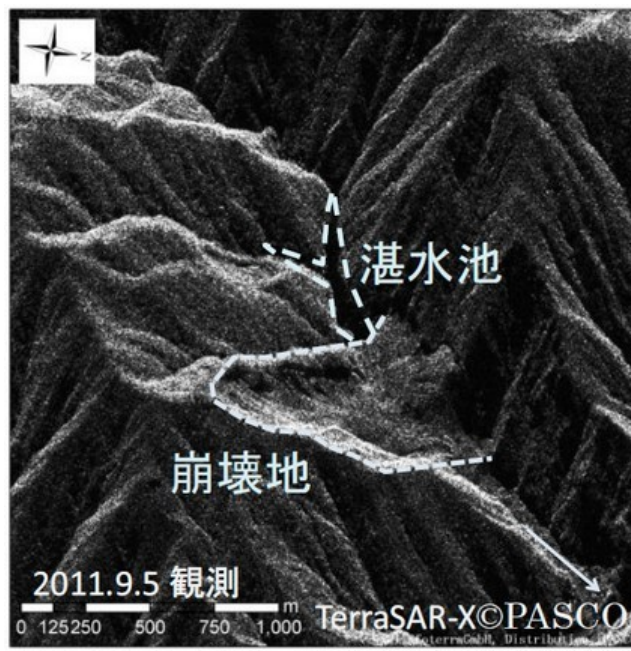
国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of National Institute for Land and Infrastructure Management, No.728
土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of Public Works Research Institute, No.4260
March 2013

平成23年（2011年）紀伊半島台風12号土砂災害調査報告

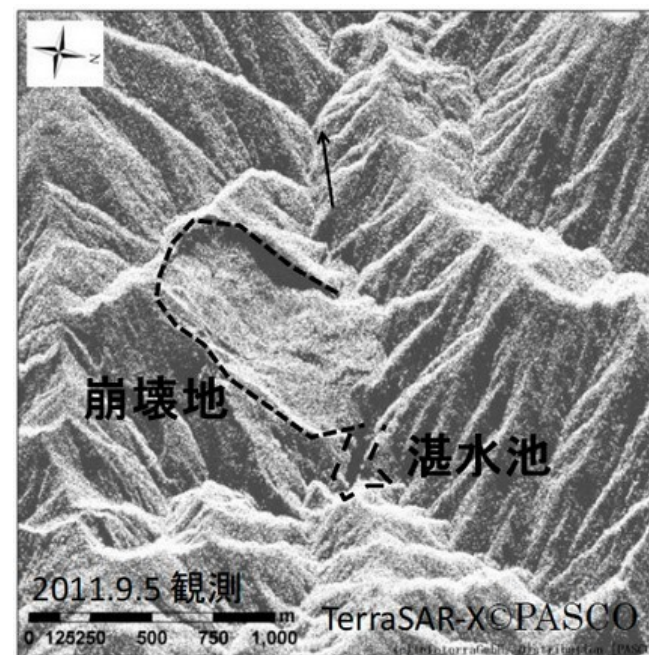
Report on Investigations into Disasters in Kii Peninsula Caused by Typhoon Talas in 2011



長殿地区（判読用リファレンス）



赤谷地区



栗平地区

平成23年（2011年）紀伊半島台風12号土砂災害調査報告, 国総研資料728: 衛星SAR 画像による天然ダム形成状況調査

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn/tnn0728pdf/ks072807.pdf>

判読には、台風12号通過後の9月5日に撮影のドイツの高分解能SAR衛星TerraSAR-Xの画像（波長：Xバンド、撮影モードStrip Map、分解能約3m、観測幅東西約30km×南北約50km、入射角39.21°、軌道Ascending）を使用した。撮影範囲は奈良県十津川村を中心とする図-3.1.1の範囲である。また、画像判読実施のタイムラインは表-3.1.1のとおりである。9月5日に行われたヘリ調査は、雲が多く、長殿地区の河道閉塞箇所が確認できたのみで終了した。得られた長殿地区の位置情報を衛星画像判読チームに送付し、長殿地区と同様の画像パターンを探した。加えて、河川流路の埋塞、尾根及び谷地形の不自然の歪み、滑落崖部分の画像の暗転、崩壊土砂上流の湛水域の画像の暗転の探索により、河道閉塞箇所の推定を行った。判読に際しては、自治体境界、災害前ALOSパンシャープン画像、国土地理院10mメッシュDEMを補助的にリファレンスに使用した。高分解能SAR衛星の判読にあたっては、画像判読のみならず、ヘリ・地上調査の結果、災害前光学衛星画像等のリファレンス情報、本省・地方整備局発表資料、報道等の災害に係る情報を収集し、総合的に判断を行った。

<9月5日>

AM1:30 頃 TerraSAR-X 観測依頼

PM14:00～ ヘリ調査により長殿地区の河道閉塞箇所のみ発見。空中写真は雲が多く撮影できず、ヘリによる断片的情報のみ。

PM5:53 TerraSAR-X 画像撮影 この間、判読作業のため長殿地区の位置情報を衛星画像判読チーム（約10名）に送付。

PM9:00 頃 判読開始 高分解能 SAR 画像において、長殿地区の崩壊地と湛水池が判読できた。長殿地区と同様の画像パターンを探した。約4時間で終了。

<9月6日>

AM1:30 頃 判読終了、赤谷地区、栗平地区等 8か所の河道閉塞を抽出

AM2:00 頃 近畿地整に抽出情報を送付

AM10:00 頃～ 高分解能 SAR 判読で抽出されていたヘリ調査により赤谷地区、栗平地区の河道閉塞を確認

夕方 改正土砂災害防止法に基づく緊急調査実施を報道発表

高分解能 SAR 画像の判読により、図-3.1.2のとおり、河道閉塞の候補として、確度が高い箇所（以下、確度高）が6箇所（長殿地区含む）、確度が低い恐れのある箇所（以下、確度低）が4箇所抽出された。6日の日の出前に近畿地方整備局に抽出情報を送付し、当日のヘリ調査により新たに赤谷地区、栗平地区の河道閉塞が確認され、緊急調査に移行した。8日には緊急調査から得られた計測結果に基づいて、土砂災害緊急情報が発表され、五條市、十津川村での避難指示発令、住民避難へとつながった。

抽出結果の評価としては、**確度高の6箇所は全て河道閉塞を抽出しており**、特に、緊急調査対象となった赤谷地区、栗平地区の河道閉塞箇所を抽出していた。また、確度低の4箇所についても、2箇所で河道閉塞（坪内）、大規模崩壊を抽出していた（図-3.1.2、図-3.1.3）。

今回、使用した画像はAscending軌道の単画像であり、レーダー照射方向（今回は西から東）、入射角等の関係で抽出できなかった河道閉塞（例えば北股地区）、大規模崩壊も存在した。災害対応実施上の時間的制約はあるものの、Ascending、Descendingの2つの軌道、異なった入射角の画像判読を行うことにより、判読精度の向上を図ることができる可能性がある。

本節では、夜間や悪天候時においても地表の状態を観測可能な高分解能 SAR 画像の判読により、河道閉塞箇所を推定・抽出、その情報提供が法に基づく緊急調査、住民避難につながった事例について報告を行った。衛星リモートセンシング技術が実際の土砂災害対応の中で実践的に利用された初めての例と言える。今後、高分解能 SAR 画像判読による河道閉塞箇所の推定の実務利用を定着させるため、①衛星撮影条件（Ascending、Descending両軌道による斜面両側からの撮影、入射角の適切な設定、観測モード（分解能、観測幅等））②抽出可能地形条件（斜面方向、傾斜角、最小抽出可能崩壊面積）③運用体制について検討を行っていくことが必要である。特に③については、衛星ごとに回帰日数が異なるため、今回使用したTerraSAR-Xに加え、現在運用中の他の高分解能衛星COSMO-SkyMed（イタリア、Xバンド）、RADARSAT-2（カナダ、Cバンド）及び平成25年打ち上げ予定のALOS2（日本、Lバンド）の利用可能性について検討を行っていくことが必要である。

なぜ日本のSAR衛星”ALOS（だいち）”は役立たなかったのか…？

“ALOS（だいち）”は同年5月に運用停止していたから（泣）。

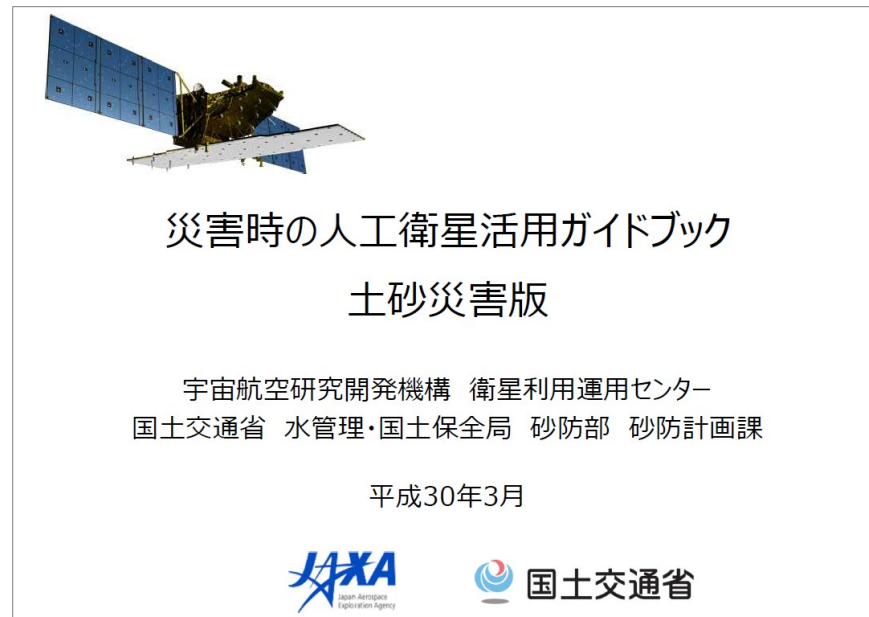
これらの用語や技術を知らない・分からないという人も大丈夫です！
良い技術資料が普及しつつあります！

「合成開口レーダ（SAR）画像による土砂災害判読の手引き」



<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1110.htm>

「災害時の人工衛星活用ガイドブック 土砂災害版」



<https://www.mlit.go.jp/common/001227722.pdf>

これらは初級者でもわかるように書かれています。
とはいえ、「実感」を持って理解するのは簡単ではありません。

この講義の目標

（初級者） 事例に触れて衛星リモートセンシングの面白さ・深み・広がりを実感し、興味関心を得る。

（中級者） 原理の概略を体系的に理解し、衛星リモートセンシングの全体像を俯瞰し、技術文書を読んで「ふんふん」と思えるようになる。

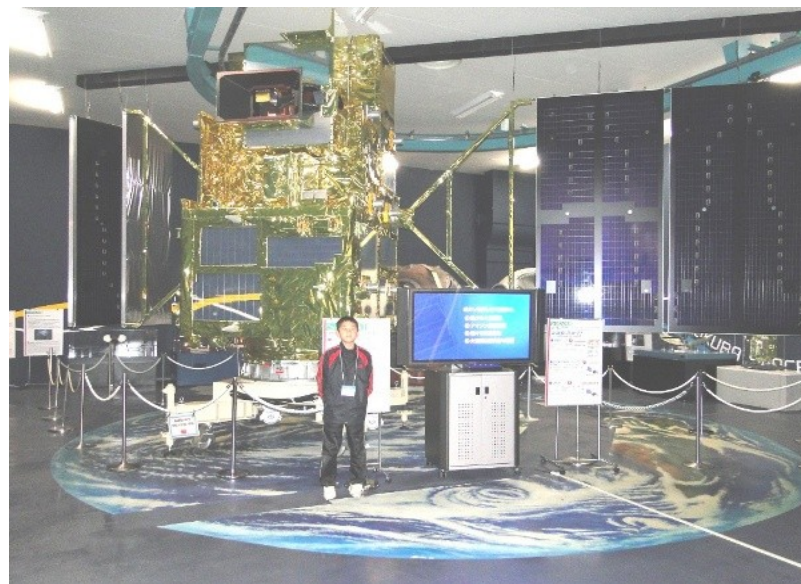
（上級者） 原理の本質的な部分を理解し、さらに、最新の研究動向を知ることによって、"衛星リモセンをこういうふうには役に立てよう!"という話の「勝ち目」を判断・評価できるようになる。

といっても2時間ちょっとでできるのは「きっかけづくり」にすぎません。ですので、この講義の目標達成には、講義後にも皆様それぞれが学び続けて頂くことが重要です。従って、「さらに勉強するには何をすればよいかイメージを得る」ことも全体の目標としたいと思います。

地球観測衛星の例

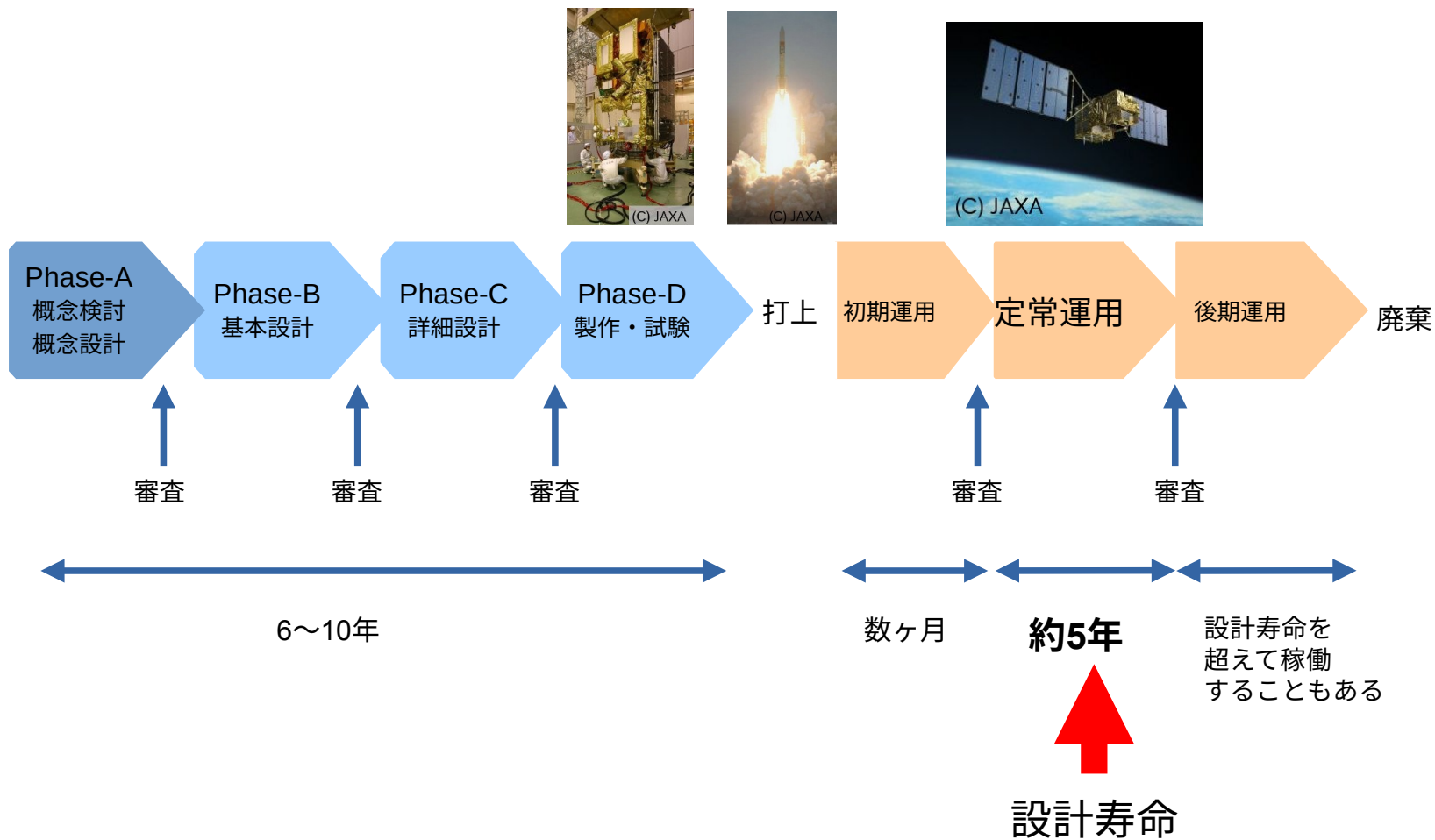
GOSAT (Greenhouse-gas Observation Satellite) いぶき
(愛称)

2009/01/23 打ち上げ。重量1.8トン。世界の大気中の温暖化気体（CO₂やメタン）を観測。



JAXA筑波宇宙センター

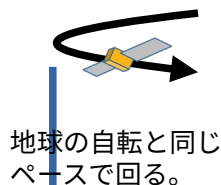
地球観測衛星の一生



人工衛星はどこをどのように飛んでいるか？

静止軌道

気象衛星「ひまわり」



地球の自転と同じペースで回る。

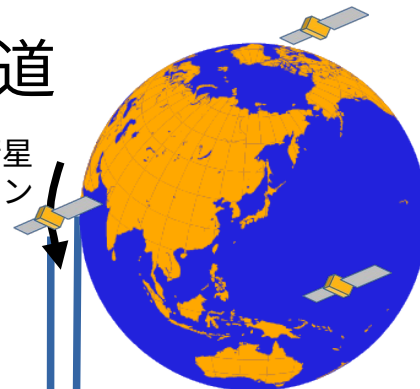
$R = 42000 \text{ km}$
→ $T = 24 \text{ 時間}$

GPS衛星
(カーナビ)



低軌道

多くの地球観測衛星
国際宇宙ステーション



6,400 km

300 km ~ 800 km

$R = \text{約} 7000 \text{ km}$
→ $T = \text{約} 90 \text{ 分間}$

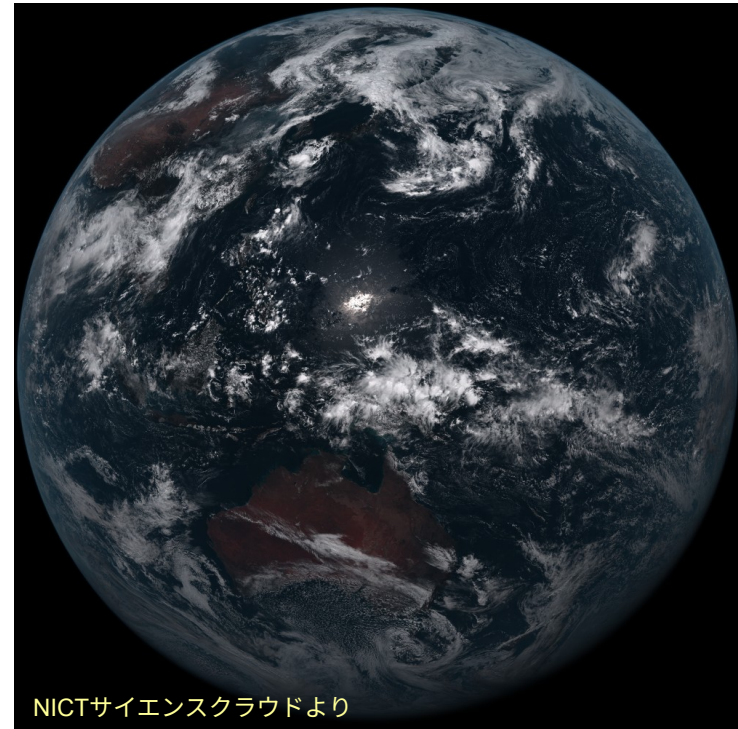
$$\text{周期 } T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}$$

R : 地球中心との距離
 G : 重力定数, M : 地球質量

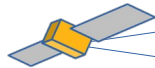
重力と運動の法則で飛んでいる。月が地球のまわりをまわるのと同じ。
打上げ時はロケットの力を借りるが、その後は勝手に飛び続ける。
地球から遠くなるほどゆっくりと地球のまわりをまわる。

静止軌道…気象衛星

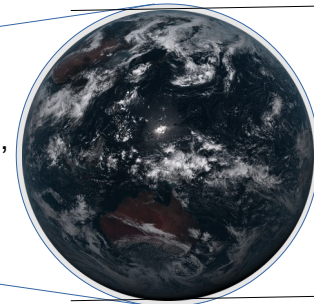
- 地球の自転と同じ角速度で飛ぶ。
地上からは、常に上空の同じ場所にいるように見える。
地球の片面だけを見続ける（裏側は見えない）。
同じ場所を高頻度で継続的に観測できる。
- 赤道上空に居続ける。
直下はよく見えるが、端の方はつぶれてしまう。
- 遠くから見る。
広い範囲をいちどに見える。
細かく見ることは難しい（せいぜい1 km程度）
- 遠くとは言え、無限に遠くからではない。
北極や南極は見えない（死角）



人工衛星



広い範囲を頻繁に（常時）見えるが、
遠いので細かくは見えない。

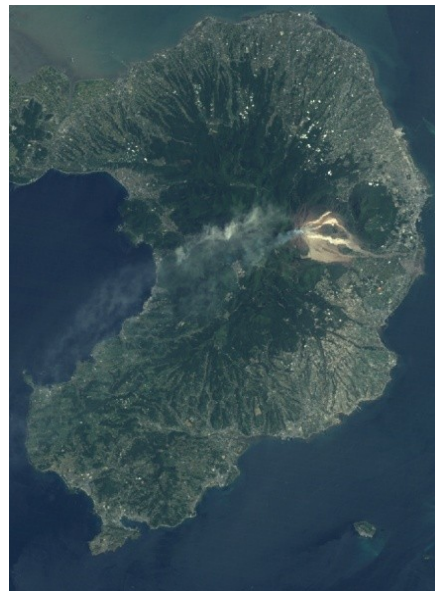


地球

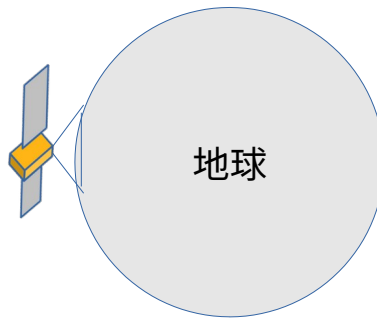
低軌道…多くの地球観測衛星

- 地球直近の上空を飛ぶ。
ハイスピード。約1.5時間で地球1周。秒速約8 km。
- 近くから見る。
細かく見える。
そのかわり、一度に広く見ることはできない。
→ 再観測のタイミングはだいぶ先になる。
→ 同じ場所を頻繁に観測するのは不得手。

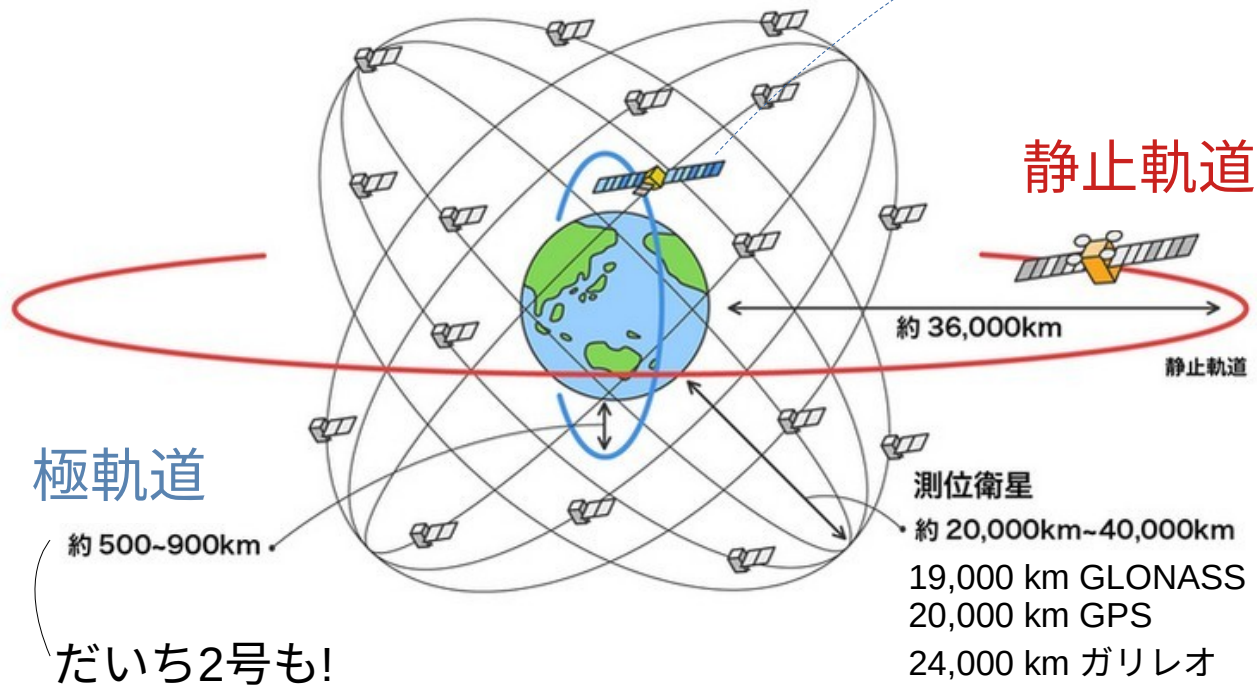
Landsat (島原半島)



人工衛星

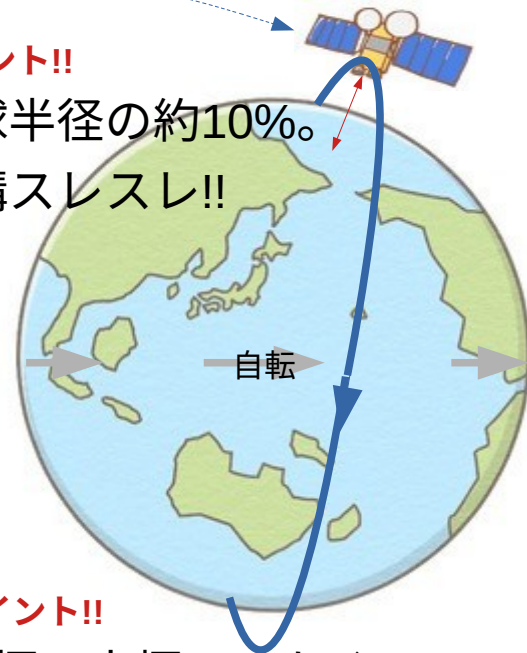


人工衛星はどこをどう飛んでいるか？



ポイント!!

地球半径の約10%。
結構スレスレ!!



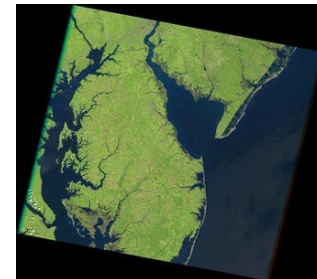
ポイント!!

北極→南極ではなく、
ちょっと傾いてる!

だから

ポイント!!

画像が斜め!!



衛星画像販売・ソリューション提供

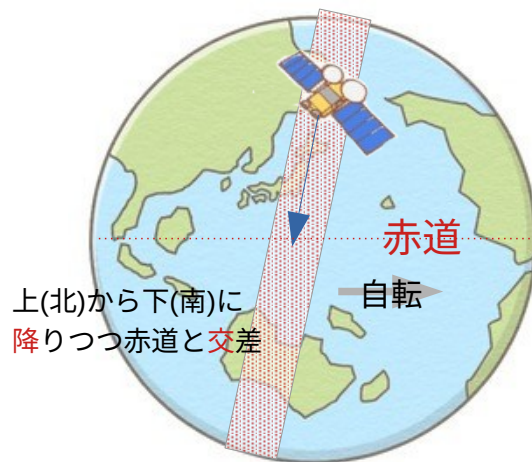
一般財団法人 リモート・センシング技術センター

Remote Sensing Technology Center of Japan

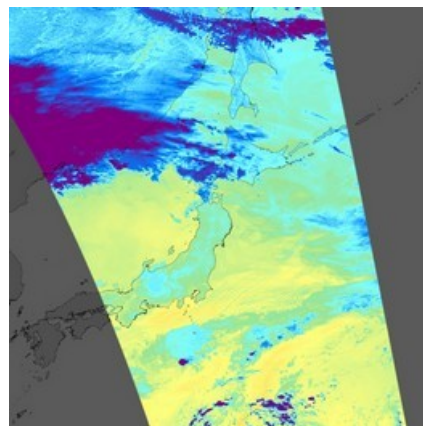
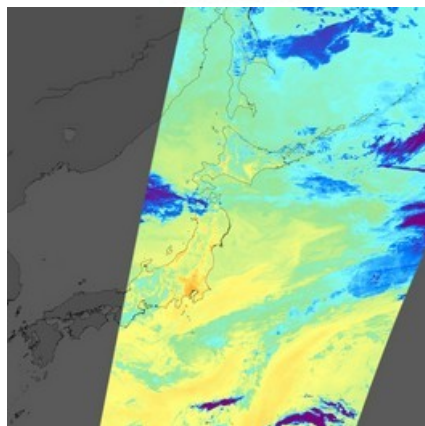
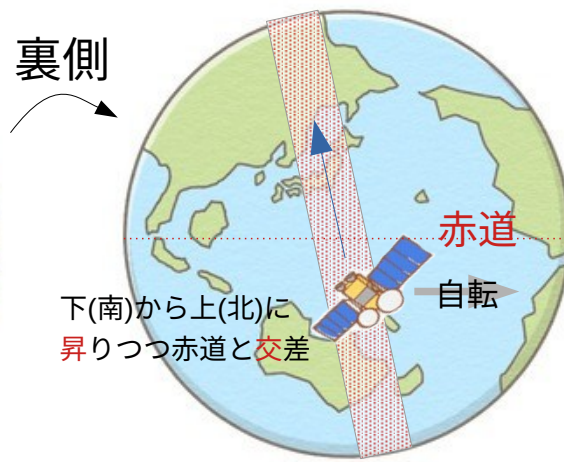
<https://www.restec.or.jp/knowledge/sensing/sensing-2.html>

極軌道衛星の飛び方と見え方

降交パス descending path



昇交パス ascending path



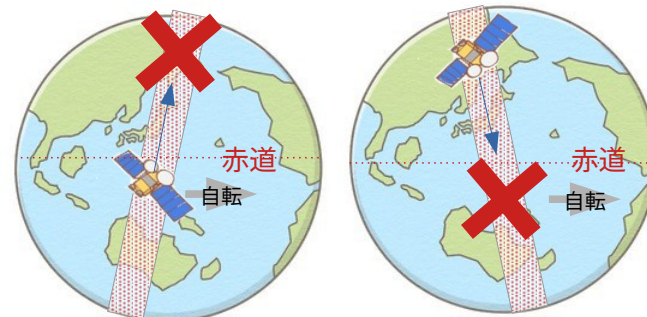
GCOM-C 「しきさい」 衛星のサーモグラフィー画像, 2021

極軌道衛星は、昇交でも降交でも、常に「やや東」から飛んでくるのです（「太陽同期」のため。詳しくは後述）。



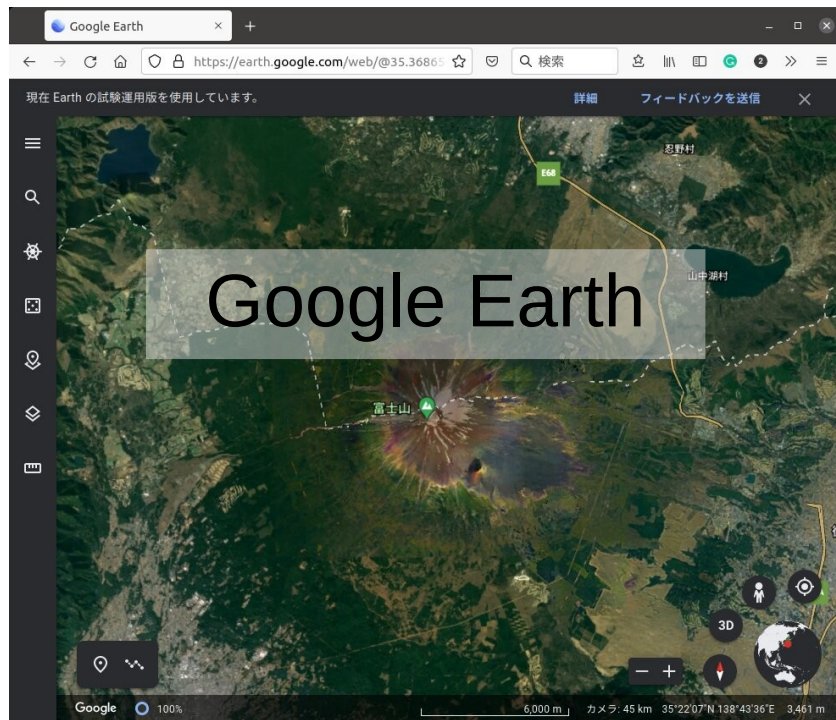
右に傾いた画像は降交パス
左に傾いた画像は昇交パス

こういうのは滅多にありません!!



「太陽同期」にならないから（泣）

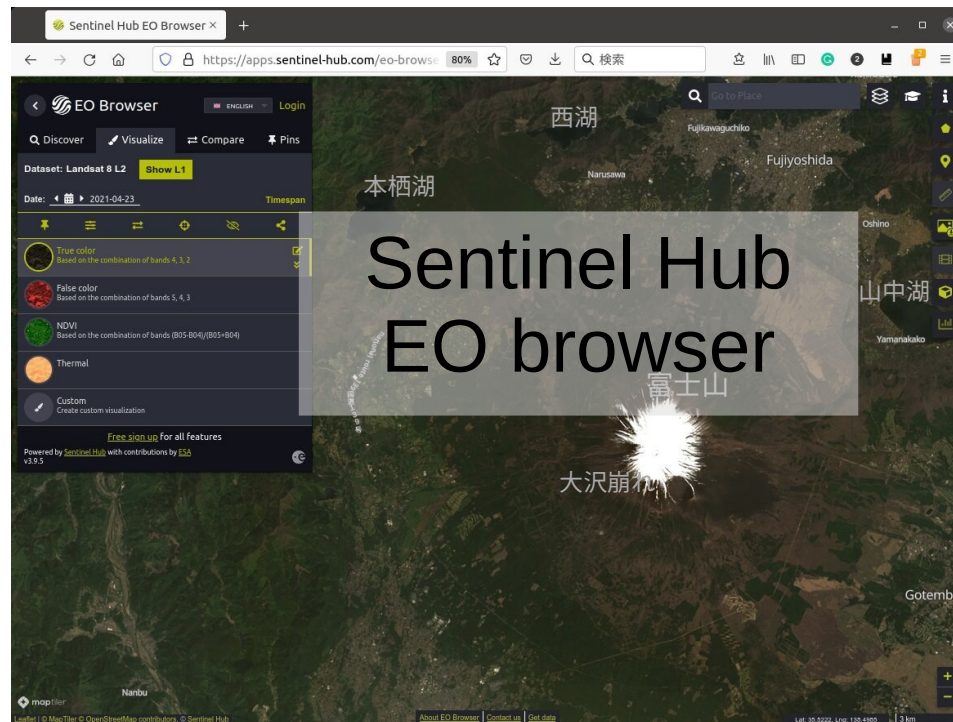
衛星画像を見てみよう!! (初級)



高解像度。過去に遡れる。手軽。



可視画像（赤緑青の三原色）のみ。
衛星データ本体をゲットできない。



可視・赤外・レーダー等, 多種の画像あり。
衛星データ本体を(別途)ゲットできる。



高解像度画像は無い。

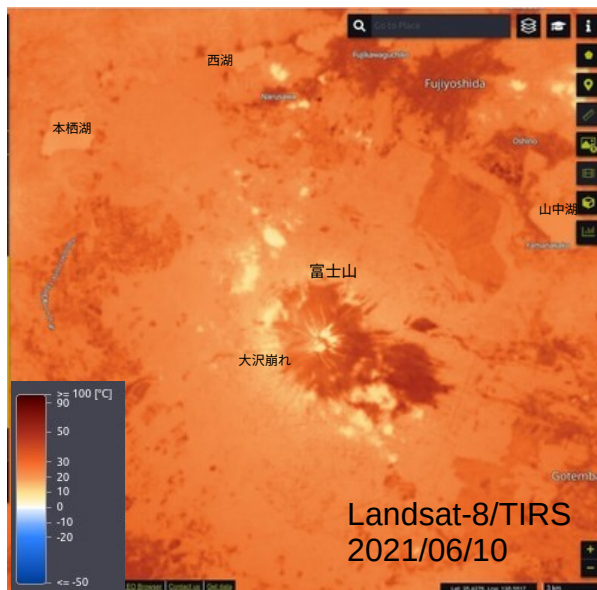
人工衛星で地球を見るセンサー

いろいろあるけど、砂防に使うのは、まずはこの3種類（初級）

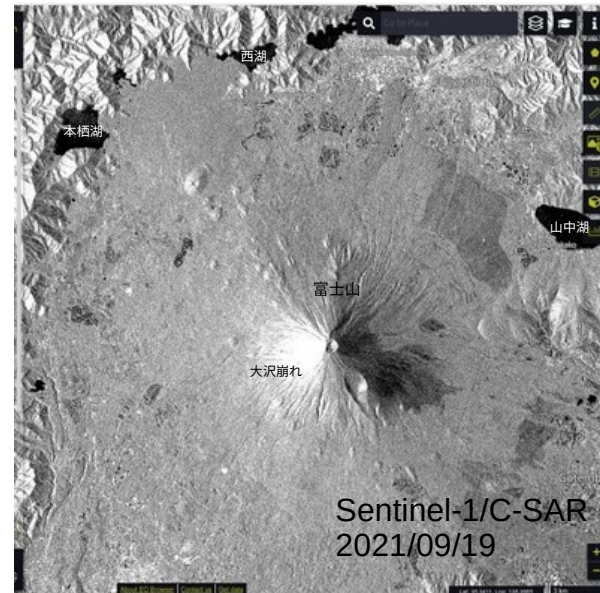
可視・近赤外センサー



熱赤外センサー



合成開口レーダー (SAR)
Synthetic Aperture Radar



要するに
デジカメの豪華版

要するにサーモグラフィ。
非接触体温計の豪華版

日常ではちょっと例えるものが無い（泣）
これが今回の講義の主役

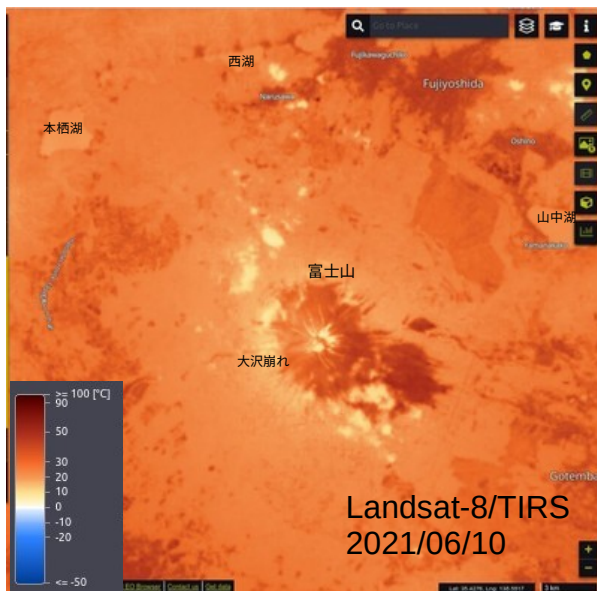
この2つをまとめて「光学センサー」と呼ぶことも多い。
これらの間（中間赤外センサー）もある。

（中級）人工衛星の地球観測センサーは、他にはマイクロ波放射計 (GCOM-W/AMSR2), 散乱計 (WindSat), 降水レーダー (TRMM, GPM), 近赤外ライダー (ICESAT, GEDI), 重力計 (GRACE)などがあります。

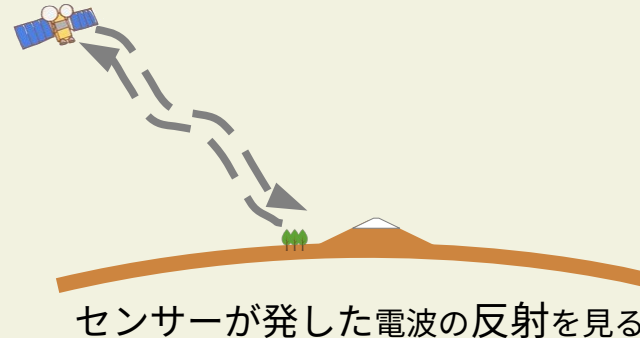
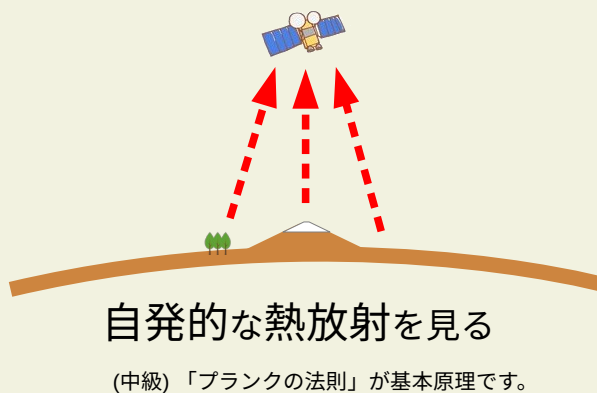
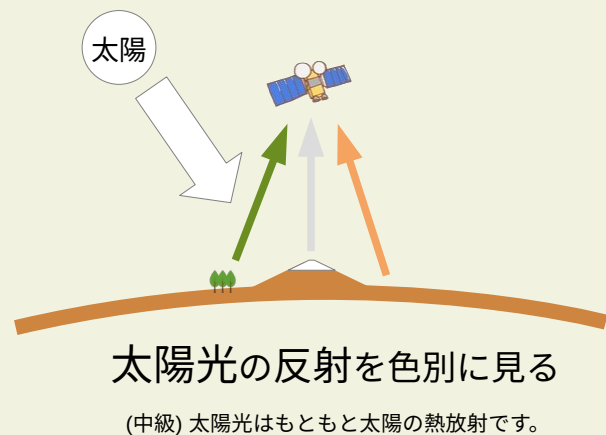
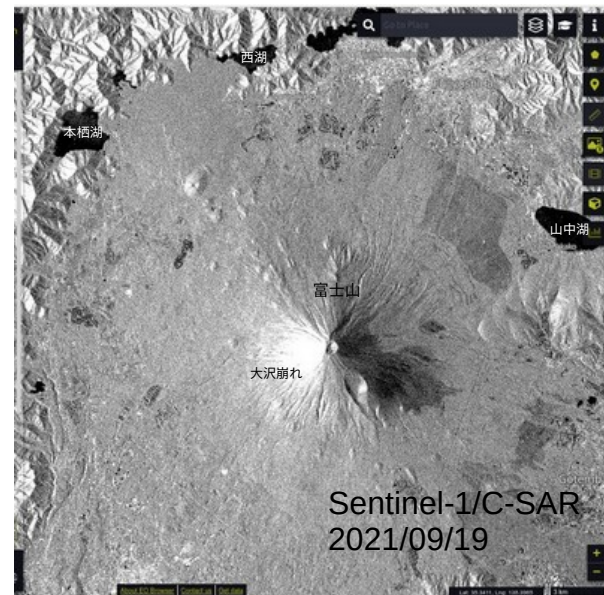
可視近赤外センサー



熱赤外センサー



合成開口レーダー (SAR) Synthetic Aperture Radar



可視近赤外センサー



いいね!

直感的にわかりやすい。
解像度が良い(細かく見える)。



残念!

雲・煙が邪魔(致命的)。
夜は見えない。

熱赤外センサー



いいね!

温度がわかる(火山等)
夜でも見える。



残念!

雲が邪魔(致命的)。
解像度はイマイチ。

合成開口レーダー (SAR)

Synthetic Aperture Radar



いいね!

雲・煙を透過して見える。
夜でも見える。
解像度が良い。
mm級の変位がわかる。



残念!

急峻な地形でしんどい。
直感的にわかりにくい。

よくある素朴な質問

なぜ可視近赤外センサーは解像度が良い（熱赤外センサーは解像度が悪い）の？
... いろいろありますが、ひとつの理由は、可視近赤外光は熱赤外光より波長が短いことです。一般に、**波長が長くなると解像度は悪く**なります。

自発的な熱放射って何ですか？よくわからないんですが。

... これ、知らない人が多いですが、リモセンの最も大事な基礎です。**そもそも物体は温度に応じて自発的に光を出すもの**なのです。それを熱放射といいます。小学校で、「熱の伝わり方」として「放射・伝導・対流」と習いませんでしたか？その中の「放射」です。温度が高いほど波長の短い光が出ます。人体や地表の温度では0.01 mm程度の波長の光（熱赤外線）を出します。太陽くらい熱くなると0.0005 mm程度の光（可視光線）を出します。

熱赤外線も光なのですか？

... そうです。「マイクロ波」も「ガンマ線」も「X線」も「紫外線」も、目に見えませんが光です。これらは波長が違うだけです（目に見えない光にまで色の名前をつけたようなものです）。光は別名「電磁波」と言います。電場と磁場に起きる波のことです。

電波とはどう違いますか？

... 同じです。**光も電磁波も電波も本質は同じ**です。ただ、慣習的には、波長の短い電磁波を光、波長の長い電磁波を電波、と言います。「電磁波」は全部を指す言葉として使われることが多いです。

熱赤外センサーは雲が邪魔とのことですが、煙は邪魔ではないのですか？

... **波は波長より小さいものをすり抜けるという性質**があります。煙粒子が熱赤外光の波長(0.01 mm)よりずっと小さければ、熱赤外光はすり抜けれます。だから消防士さんはよく熱赤外カメラを使います。

ということは、合成開口レーダー（SAR）の電波は、煙や雲粒より長いのですか？だから雲や煙を透過するのですか？

... はい、そういうことです。

でも波長が長いと解像度が悪くなるんですよね。SARの解像度は良いのですか？

... それがSARの魔法のような特長です。**SARは「ドップラー効果」と「チャープ信号」という2つの概念を使って解像度を劇的に上げています**。後述します。

SARだけ斜めから観測するのですか？

... **SARは斜め観測が必須**です。理由は後述します。可視近赤外や熱赤外でも斜めから観測することはありますが、必須ではありません。

SARはなぜ急峻な地形でしんどいのですか？

... 斜めから見ますので、山の向こうの斜面が見えなかったりします（**レーダーシャドウ**と言います）。また、山の手前も傾斜がきつすぎると**レイオーバー**という「観測不能」なエラーが置きます。後述します。

レーダーと合成開口レーダー（SAR）は同じ？

... 違います。SARはレーダーの一種ですが、SARではないレーダーもあります。たとえば降水レーダー（雨雲レーダー）はレーダーだけどSARではありません。

こういういろんなセンサーは、どの人工衛星も持っているのですか？

... 違います。可視近赤外センサーだけ持っている衛星や、合成開口レーダーだけ持っている衛星などが多いです。

なぜですか？全部つけるほうがよくないですか？

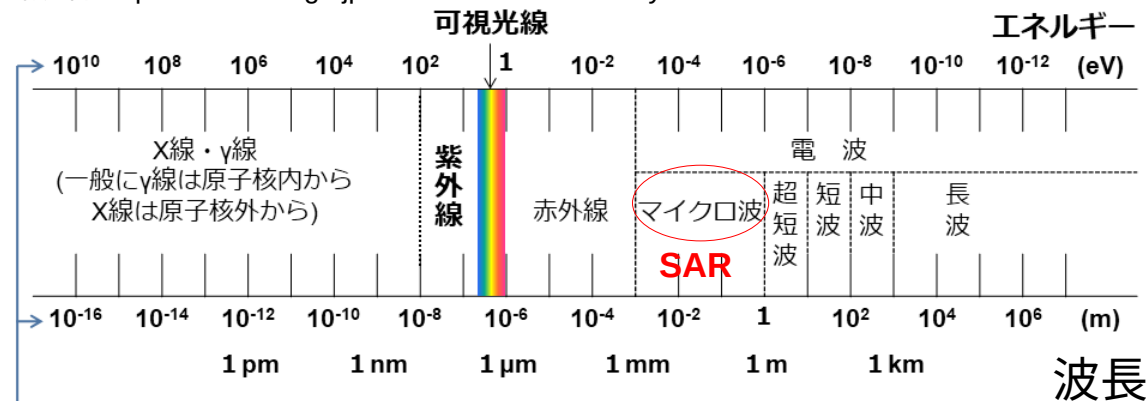
... それがなかなか難しい、いろいろ**葛藤**があるのです。後述します。

リモートセンシングの原理 「光も電磁波も電波も本質は同じ。電場と磁場の波」

放射線

電磁波の仲間

環境省 <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h30kisoshiryo/h30kiso-01-03-05.html>

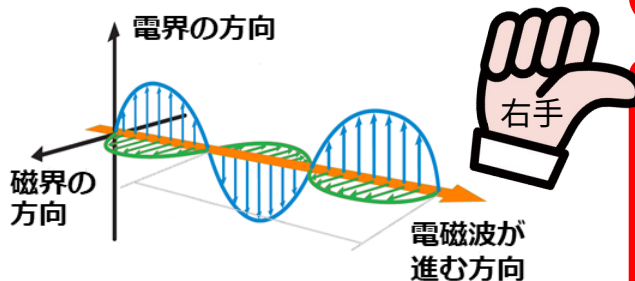


- ・ 光は波としての性質のほかに粒子としての性質を持ちます
- ・ 電磁波を粒子と捉えたときに「光子」と呼びます

上の数字は光子のエネルギー(eV)、
下の数字は波動としての波長(m)を示します

pm : ピコメートル μm : マイクロメートル
nm : ナノメートル eV : 電子ボルト

ALOS-2/PALSAR-2は波長24 cm (Lバンドマイクロ波)



(約束) 右手で電界から磁界へ握り込む
ときに親指方向に電磁波は進む!!!!

「放射線」と「電磁波」の関係

放射線の一部は電磁波。

電磁波: γ線・X線

粒子線: α線・β線・中性子線・陽子線…

… 粒子線は電磁波ではない!!

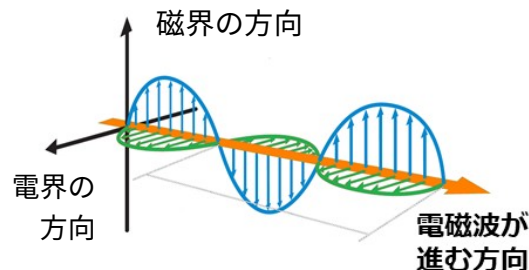
粒子の大きさ



兵庫県立粒子線医療センター

<https://www.hibmc.shingu.hyogo.jp/ion/about.html>

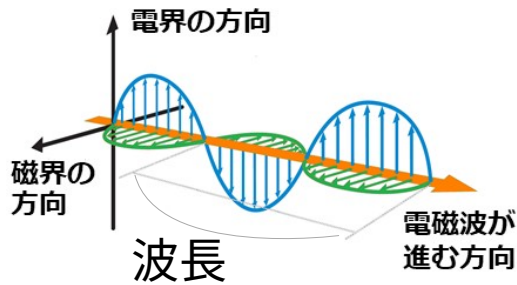
よくある誤解



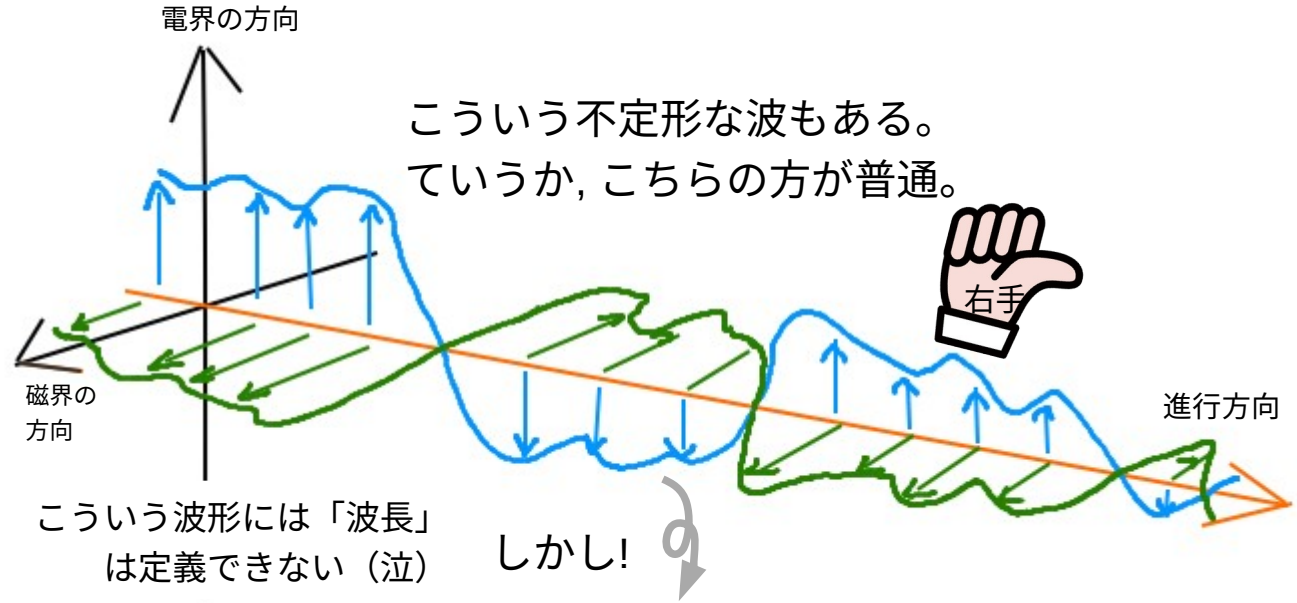
リモートセンシングの原理 「光も電磁波も電波も本質は同じ。電場と磁場の波」

よくある誤解

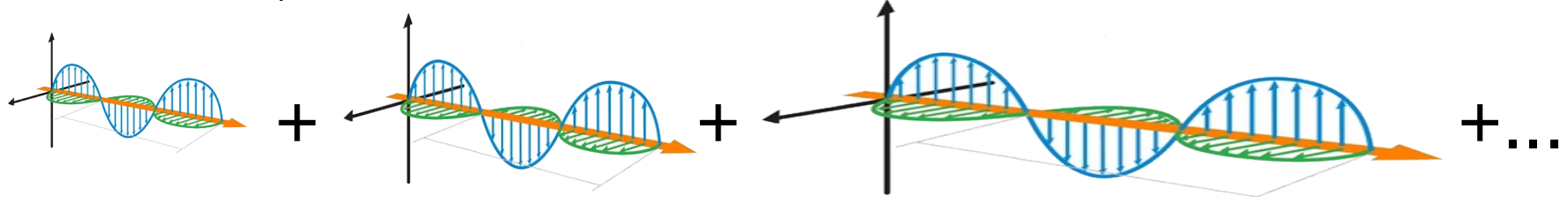
電磁波は全て↓こういうきれいなサインカーブだと思っている...



こういう不定形な波もある。
ていうか、こちらの方が普通。



不定形な波は、様々な波長のサインカーブの重ね合わせと等価



だからサインカーブがよく出てくるし、「波長」が意味を持つ。一般の（不定形な）波は、一つの波であっても様々な波長を持っている＝「スペクトル」。

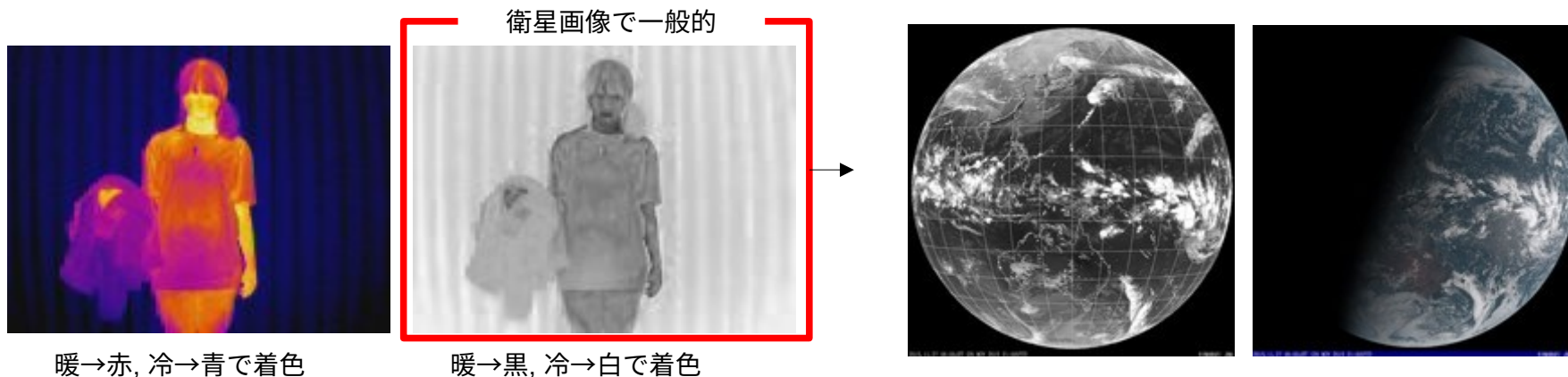
リモートセンシングの原理「そもそも物体は温度に応じて自発的に光を出すもの」(熱放射)

暖かい物体からは強い赤外線が出る。それをキャッチ！



プランクの法則

↑フライパンにはった水に熱湯を注いだ様子：温水の分布がわかる！



暖→赤, 冷→青で着色

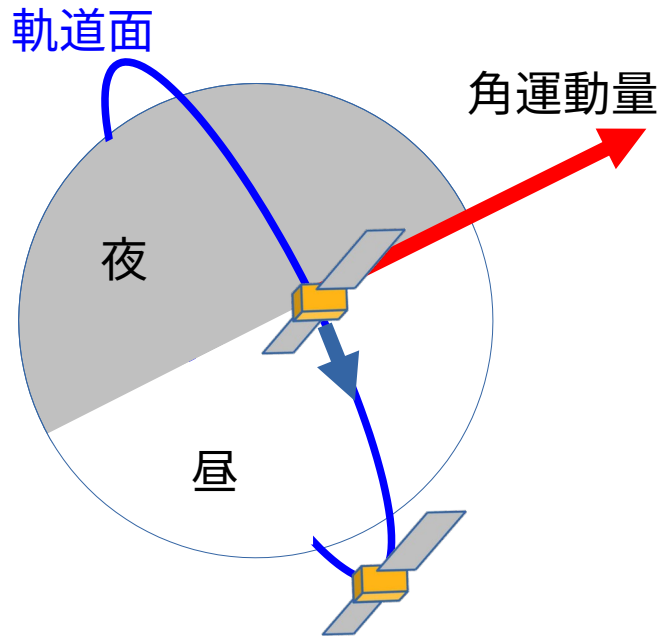
暖→黒, 冷→白で着色

↑同じサーモグラフィ画像も、コンピュータでの色づけによって変わって見える。

リモートセンシングの原理 「一般に、波長が長くなると解像度は悪くなります」

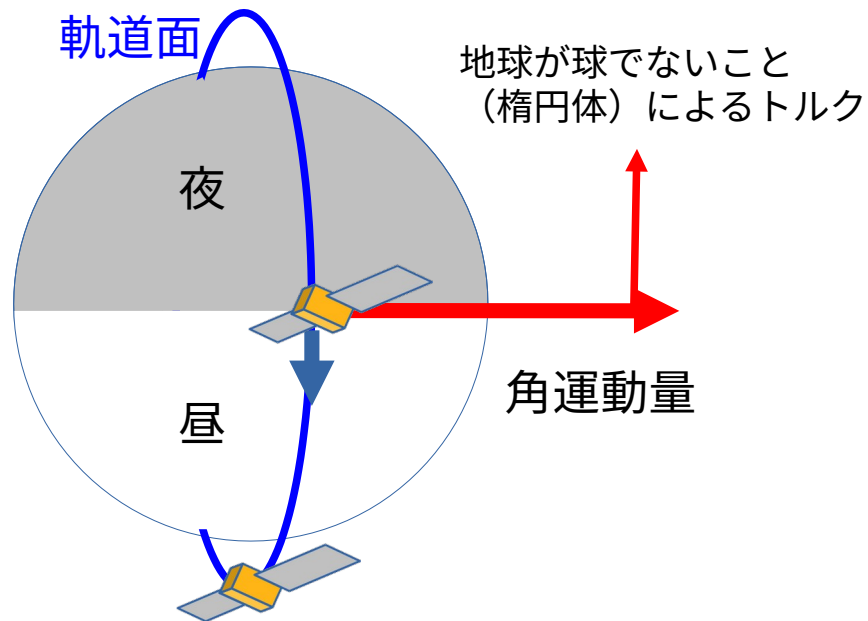
(回折限界, 波長・高度・空間解像度の関係)

リモートセンシングの原理 「なぜ極軌道は斜めなのか？」



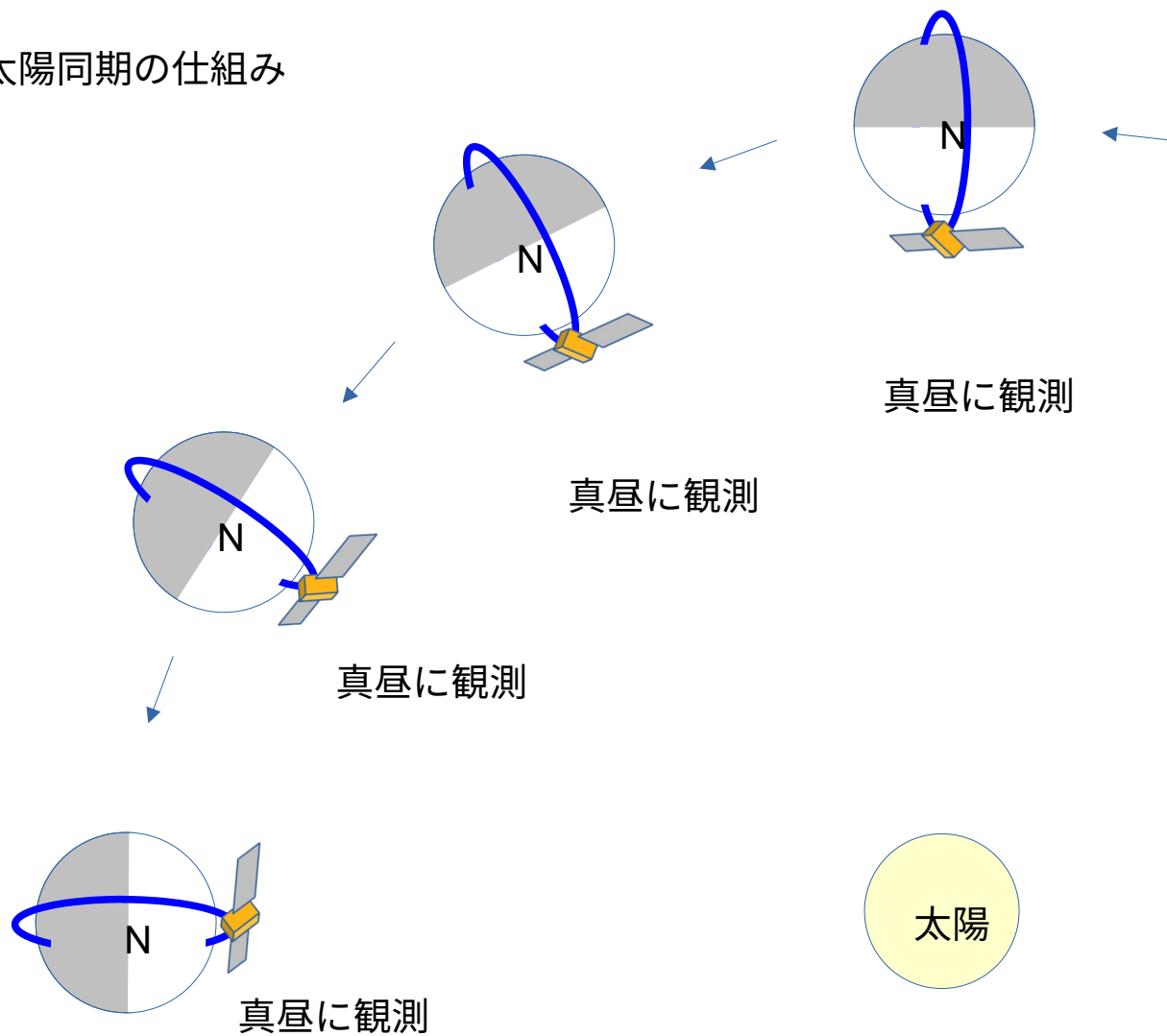
公転

This blue arrow points from the left diagram towards the right diagram, indicating the progression of the satellite's orbit.



短所: 北極や南極は死角。

太陽同期の仕組み



リモートセンシングの原理「合成開口レーダーの原理」

そもそもレーダーとは？（船舶レーダーを例に）

船の高いところについてる。

水平な棒（アンテナ）がくるくる**回る**。

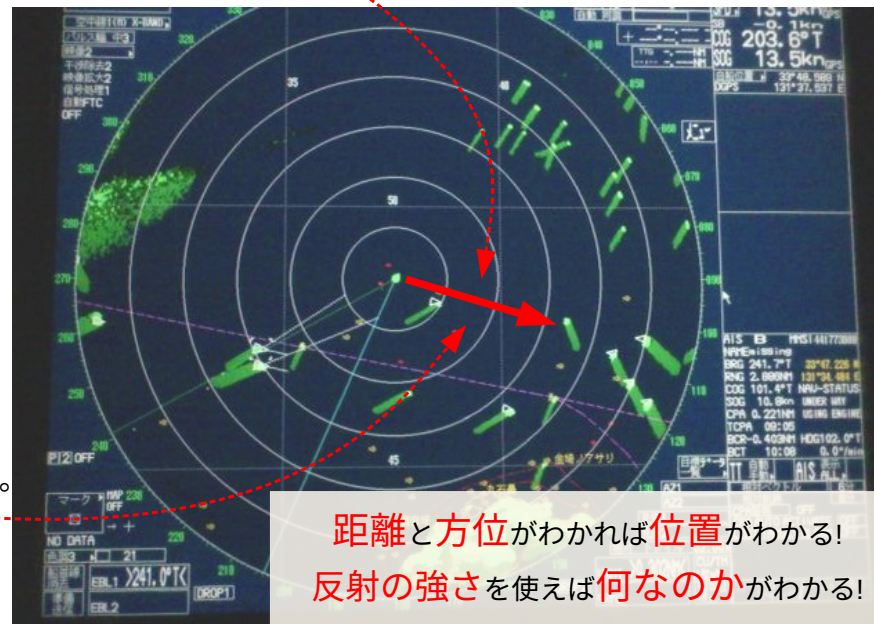
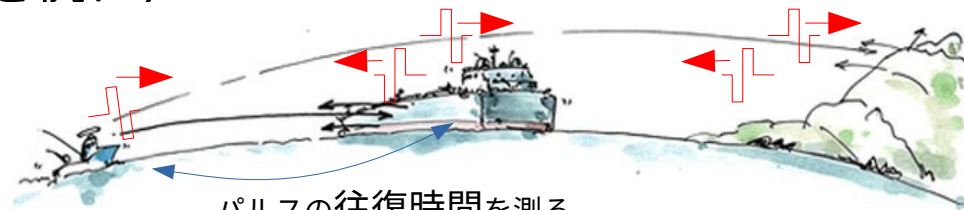


電波のパルス
(メインローブ
= 主ビーム)

アンテナが長いほど
シャープなビームになる

電波のパルス
(サイドローブ
= 副ビーム)

アンテナの水平角
→ 対象の**方位**がわかる。

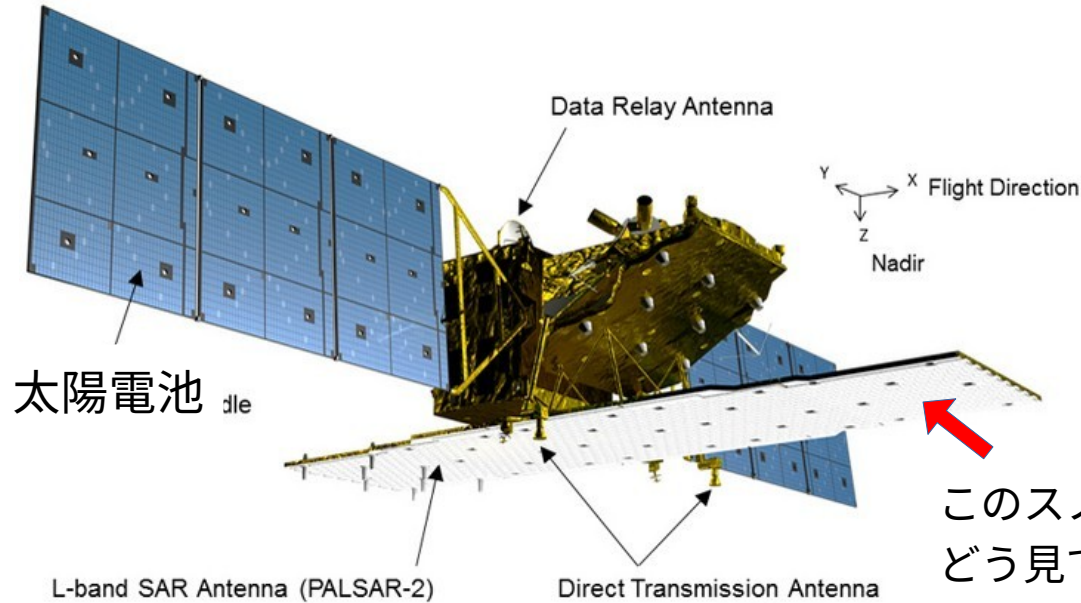


フルノ <https://www.furuno.com/jp/technology/radar/basic/>

スオナダフェリー <https://www.suonada.co.jp/staff/view.php?id=170>

リモートセンシングの原理 「合成開口レーダー（SAR）の原理」

衛星搭載合成開口レーダー … だいち2号(ALOS-2)/PALSAR-2を例に



JAXA/EORC <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/overview.htm>

船舶レーダー（**回る**）

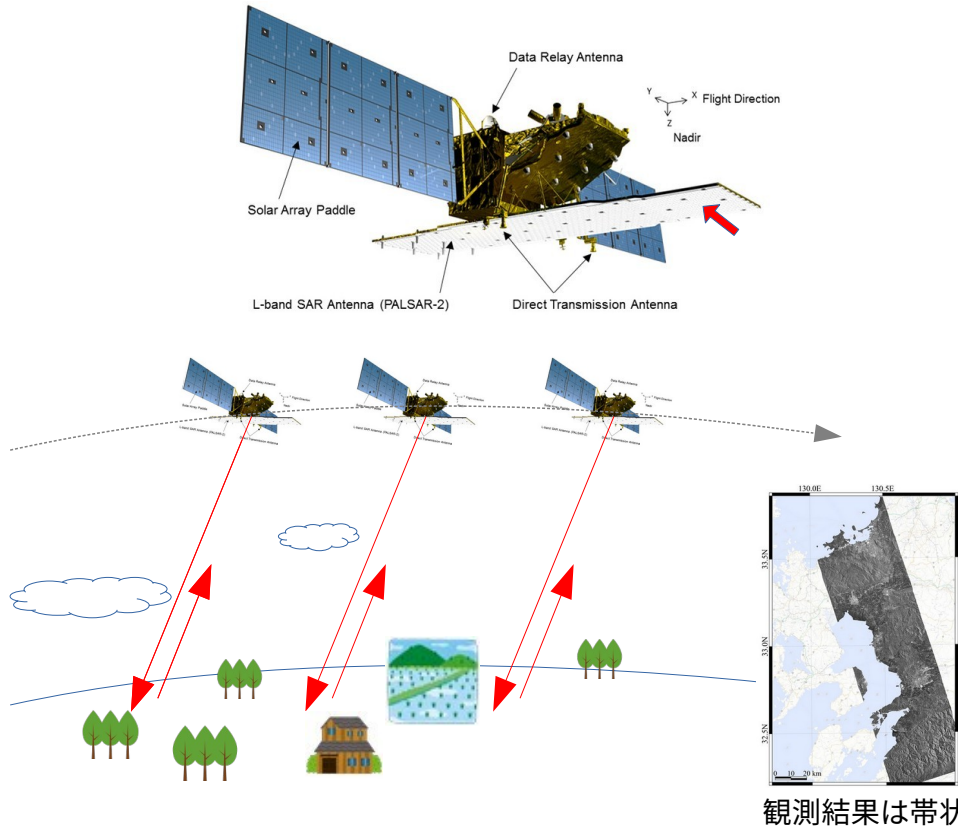


このスノーボードみたいなのがSARのアンテナ
どう見ても回りそうにない（事実、**回らない**）。

演習問題: なぜ回らないのでしょうか？ 回らなくて困らないのでしょうか？

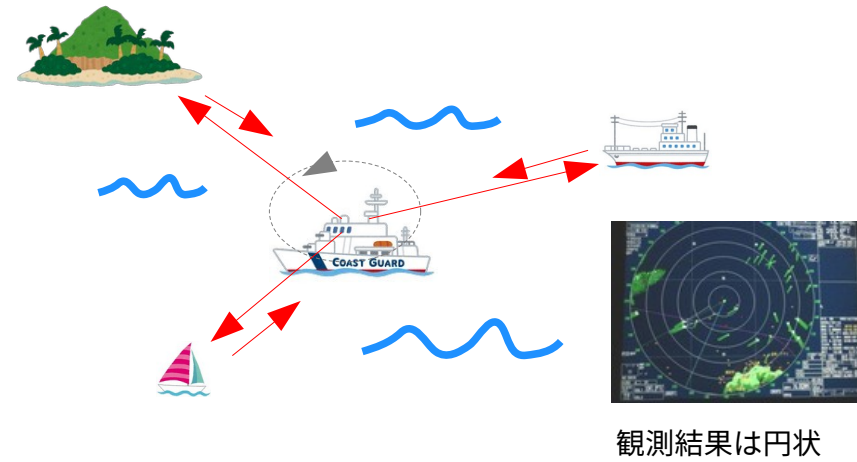
リモートセンシングの原理 「合成開口レーダー（SAR）の原理」

だいち2号 PALSAR-2: 回らない



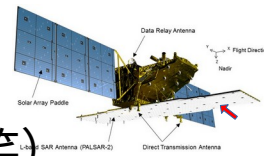
同じ方向（横向き）に電波を出しながら自分が動く。
→ 地表を線状にスキャンしていく。

船舶レーダー: 回る



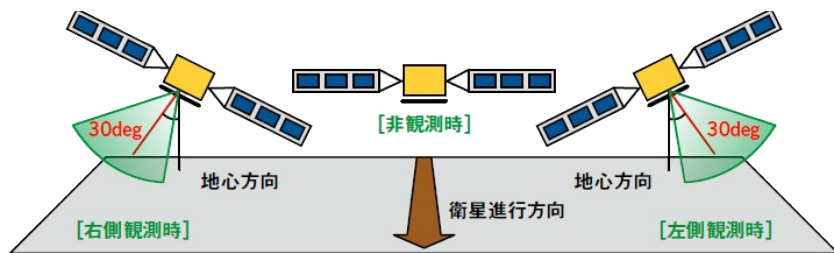
アンテナを回して電波を出す方向を変える。
→ 海上を円形にスキャンしていく。

リモートセンシングの原理「合成開口レーダー（SAR）の原理」



だいち2号 PALSAR-2のアンテナは回らない。けど、**観測方向を多少は変えたい**ときもある（笑）

衛星本体の姿勢を変えてアンテナの向きを変える

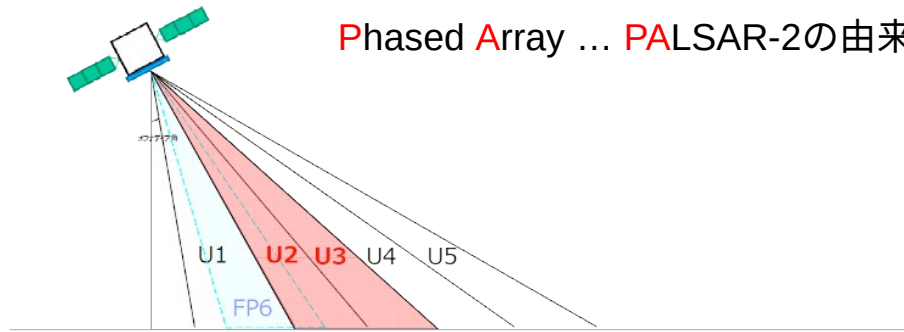


👍 **いいね!**
柔軟な観測範囲設定
→ 緊急観測に向く。

😞 **残念!**
他のセンサーが
載っていると葛藤

アンテナの向きは変えず、**フェイズドアレイ**でビームの向きを変える

Phased Array ... PALSAR-2の由来



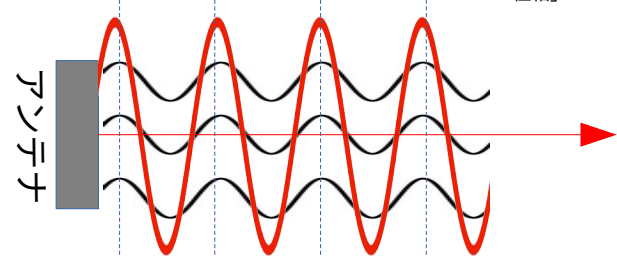
通常観測範囲（災害時使用にも適した範囲）

ビーム区分	U1					U2					U3					U4					U5				
ビーム番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
オフナディア角 (°)	9.6	13.9	18.0	21.9	25.6	29.1	32.4	35.4	38.2	40.6	42.7	44.7	46.4	48.0	49.5	50.9	52.1	53.3	54.3	55.3	56.2	57.0	57.7	58.4	

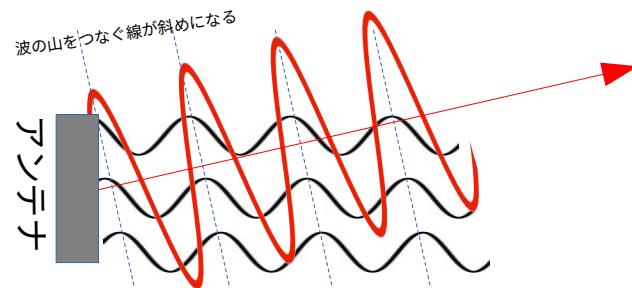
フェイズドアレイの原理

（波の干渉）

フェイズ=phase
=「位相」



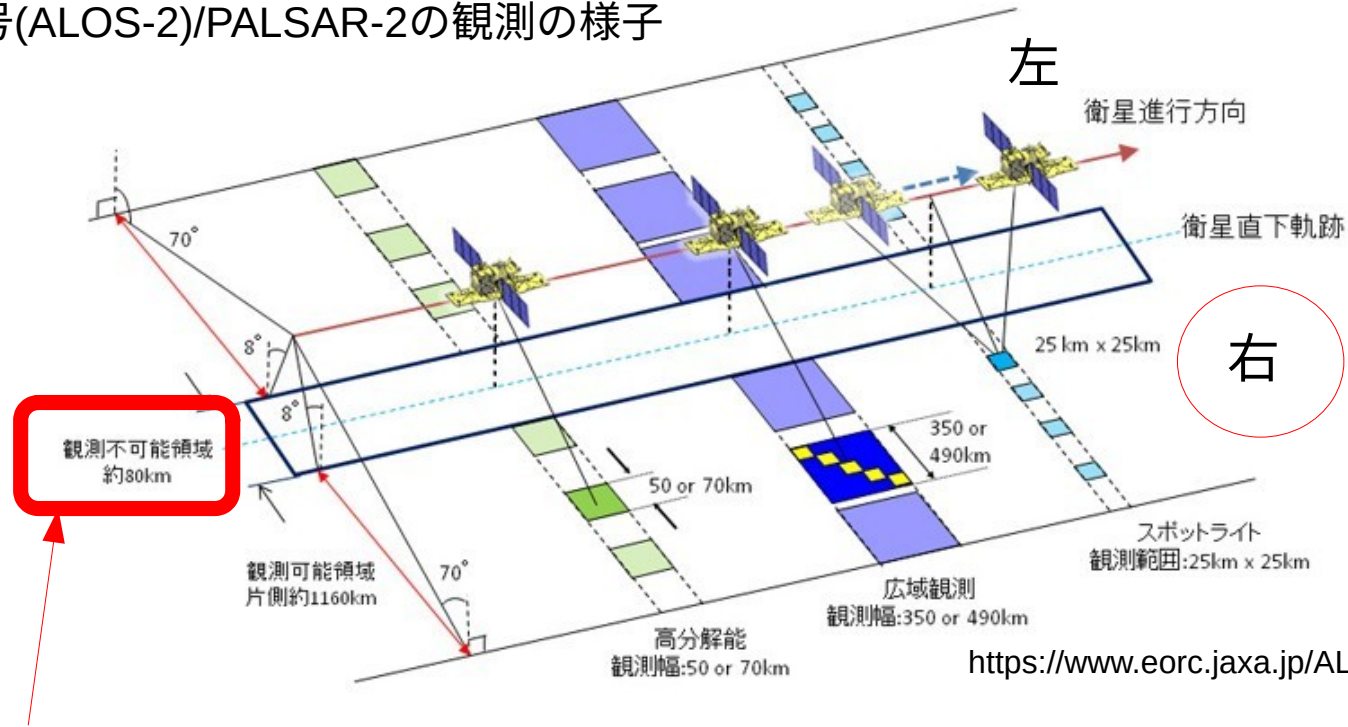
アンテナ全体で発振のタイミング（位相）
を揃える→ビームは正面に飛ぶ!



発振のタイミング（位相）をアンテナ内で
ずらす。→ビームは斜めに飛ぶ

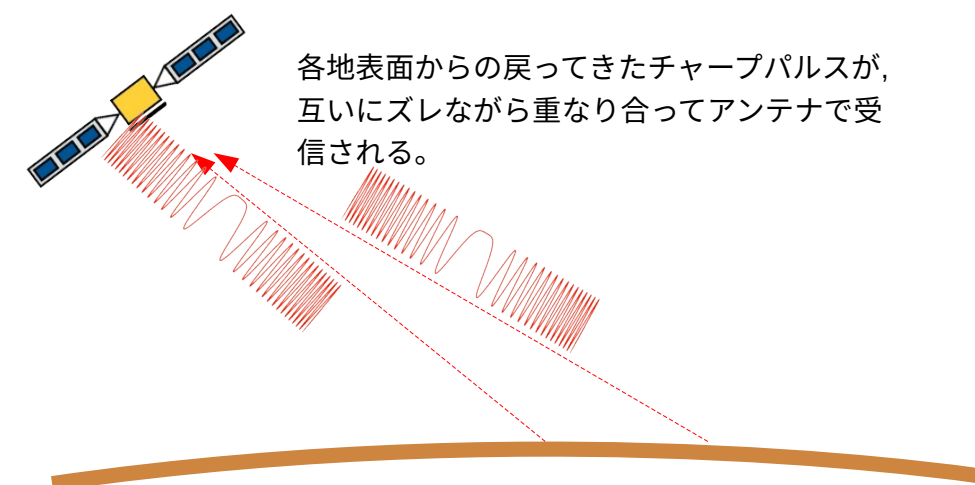
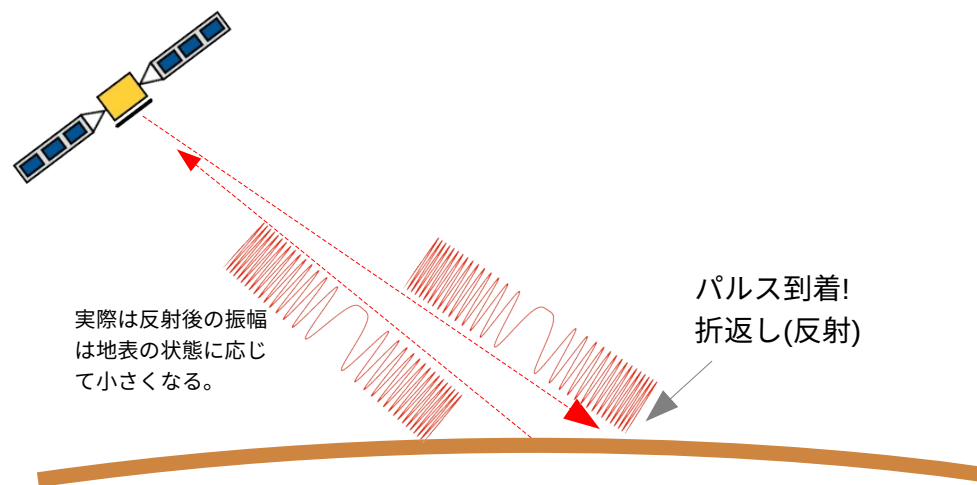
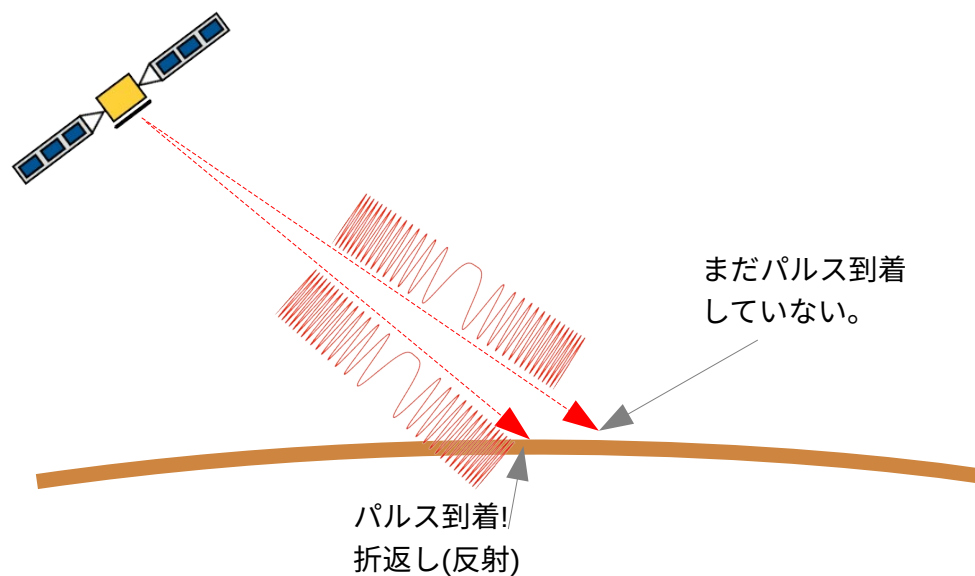
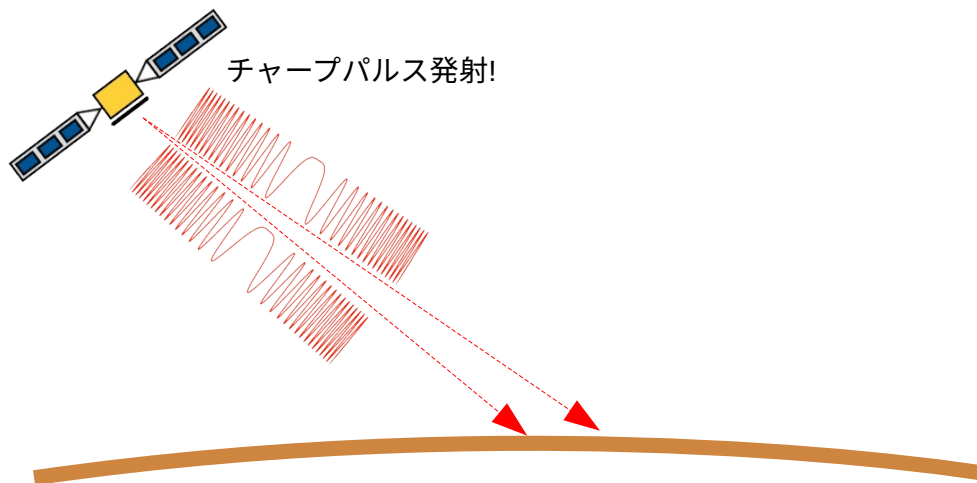
リモートセンシングの原理 「合成開口レーダー (SAR) の原理」

だいち2号(ALOS-2)/PALSAR-2の観測の様子



SARは衛星軌道の真下付近は観測できない!! (なぜでしょう? → 演習問題)
一方, 光学センサーは真下を好んで観測する (なぜでしょう? → 演習問題)
つまり, 光学センサーとSARは見る向きが違う。→ 同一衛星に積むと葛藤が... (泣)

合成開口レーダーの分解能を上げる仕組み1: レンジ圧縮



合成開口レーダーの分解能を上げる仕組み1: レンジ圧縮



A: 早く返ってきたパルス
(近い地表からの反射)



B: 遅く返ってきたパルス
(遠い地表からの反射)

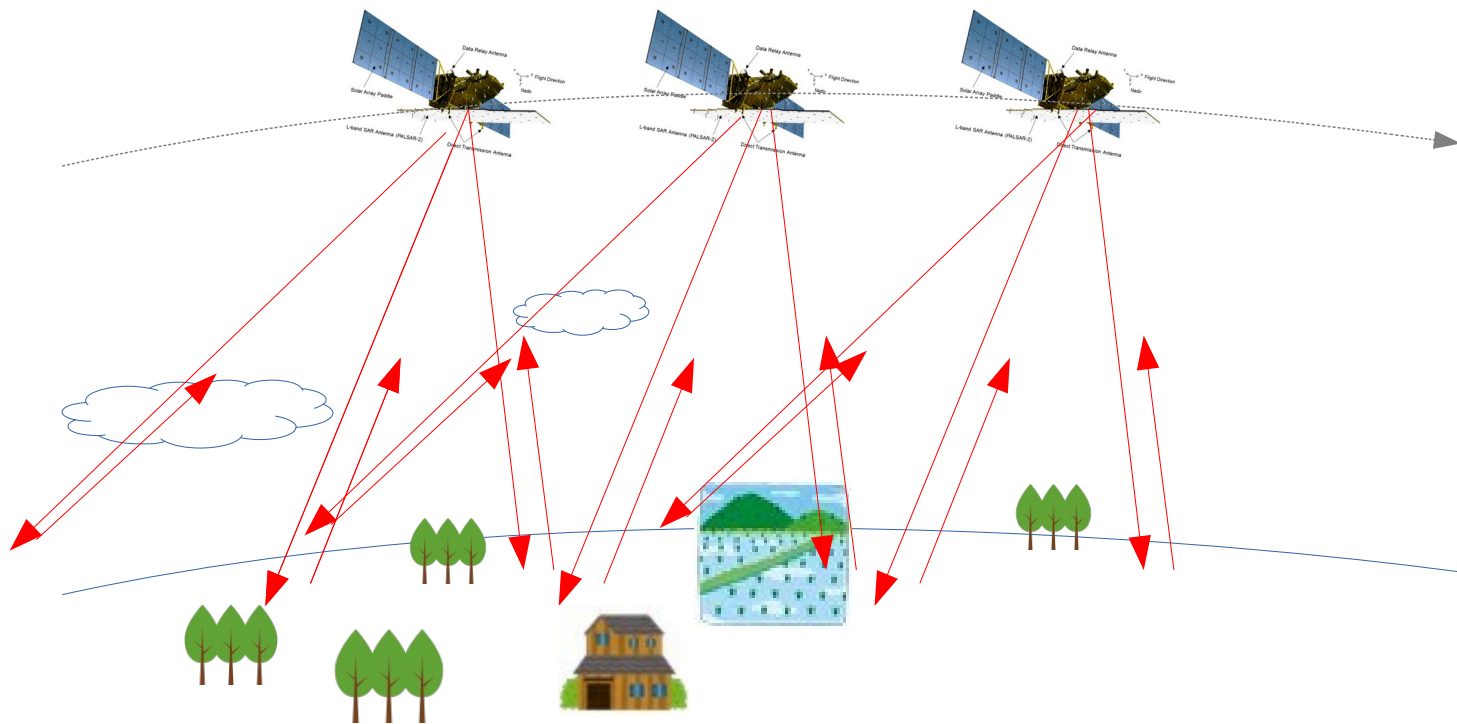


C: ↑それらの重ね合わせ
= 衛星が観測する信号



送信パルスと同じ波形を少し
ずつずらしながらCに掛けて
足す (畳み込み積分)
→ A, Bの地点での反射強度
がわかる。

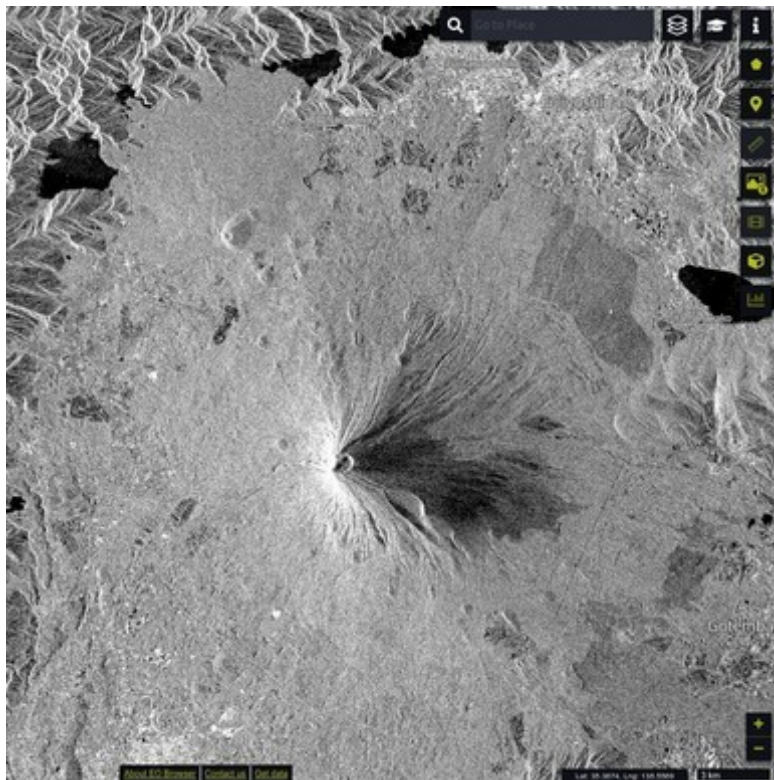
合成開口レーダーの分解能を上げる仕組み2: アジマス圧縮



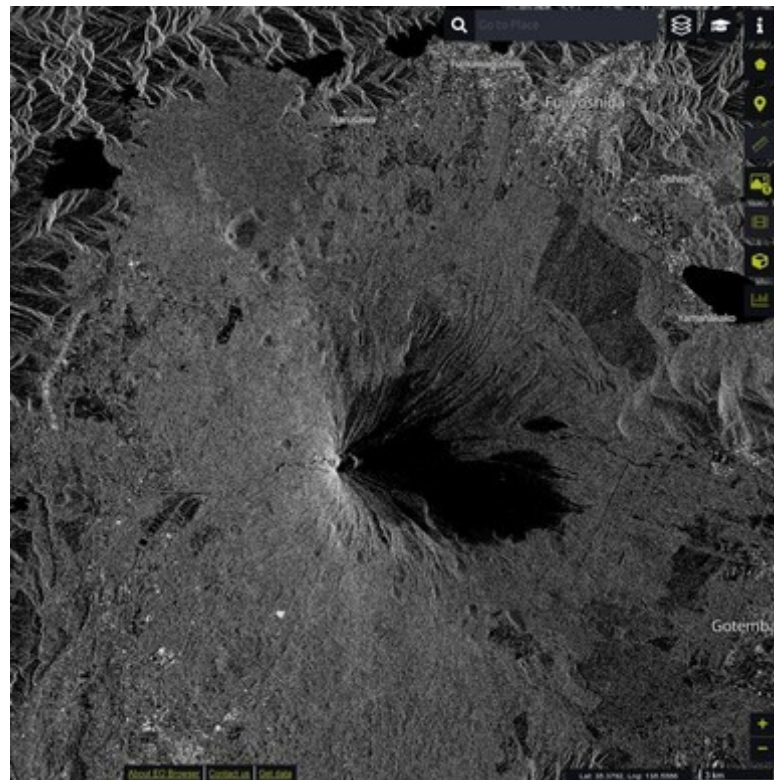
衛星の移動方向も、ビームは広がっている（隣どおしの観測が重なり合っている）
しかもビームには衛星の移動によるドップラー効果が入っている。
→レンジ方向のチャープ信号と同じことが移動方向でも勝手に置いている。
→レンジ圧縮と同様の畳み込み積分によって、移動方向の分解能も向上!!

SARの「強度画像」

2021/09/19 Sentinel-1 C-SAR



VV (V偏波で送信, V偏波で受信)



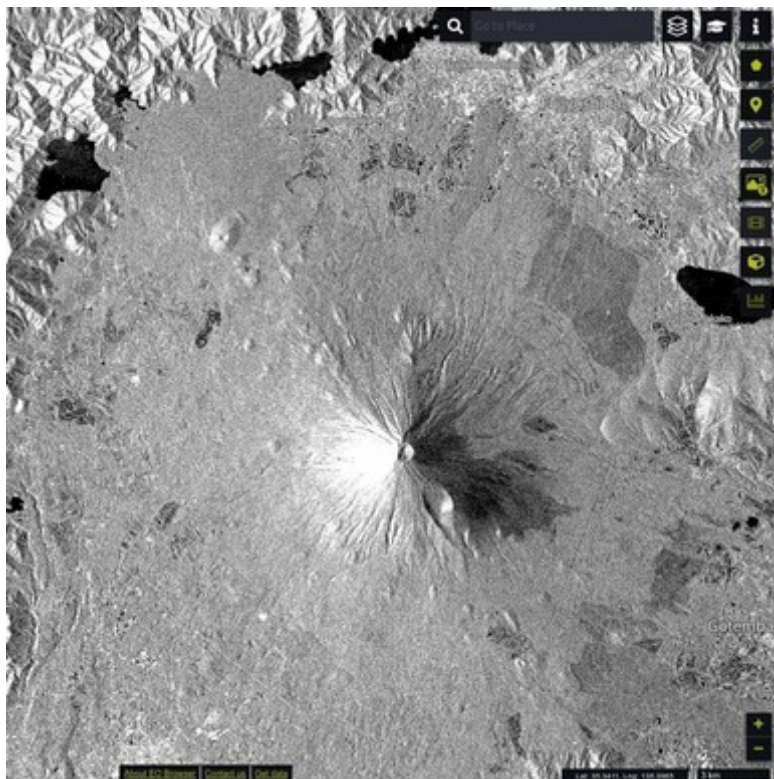
VH (V偏波で送信, H偏波で受信)



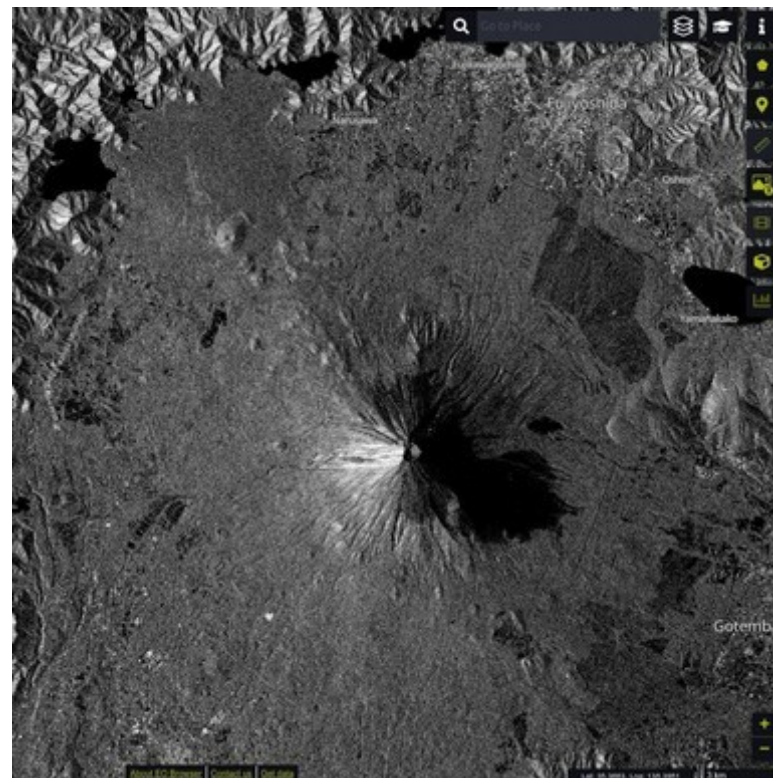
山が左に倒れ込んでいる!! 左(西)向き斜面が明るく, 右(東)向き斜面が暗い!!

SARの「強度画像」→ オルソ補正

2021/09/19 Sentinel-1 C-SAR



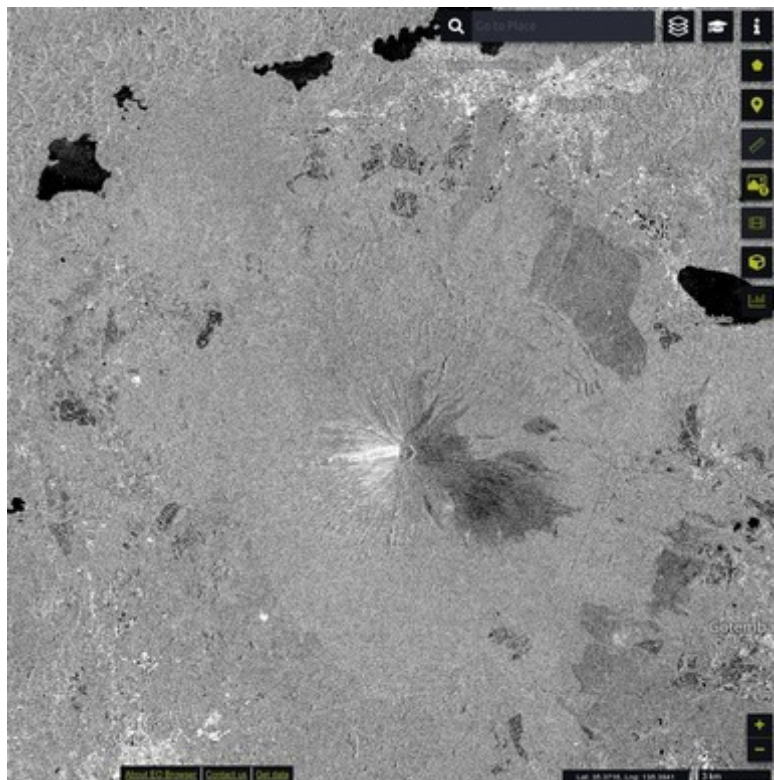
VV (V偏波で送信, V偏波で受信)



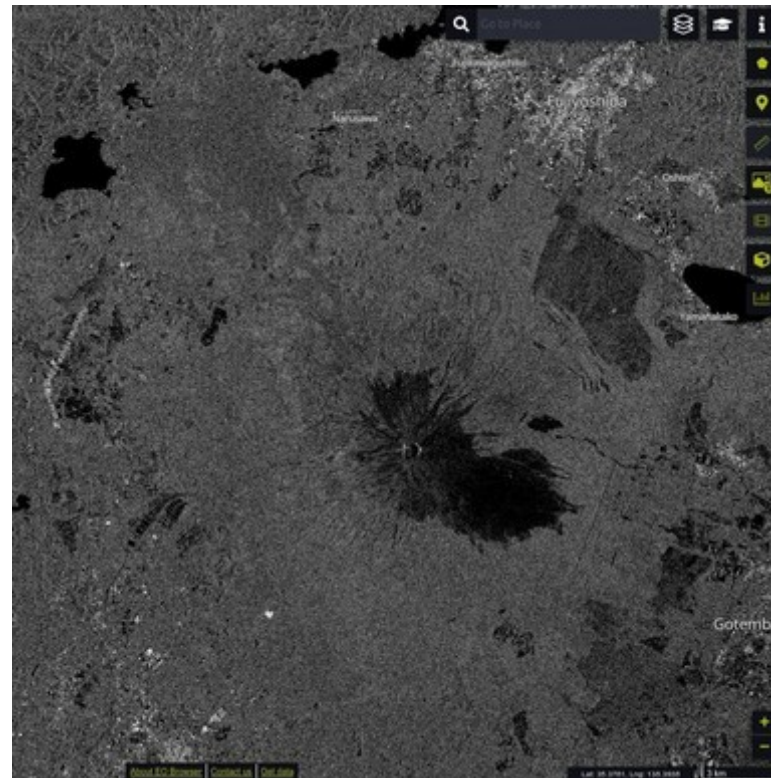
VH (V偏波で送信, H偏波で受信)

SARの「強度画像」→ オルソ補正 → 地形放射量補正

2021/09/19 Sentinel-1 C-SAR



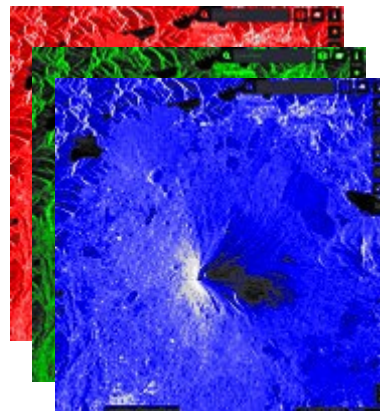
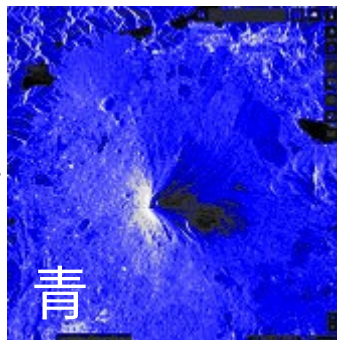
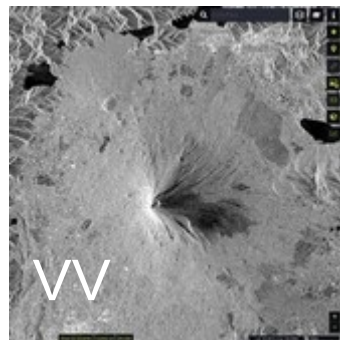
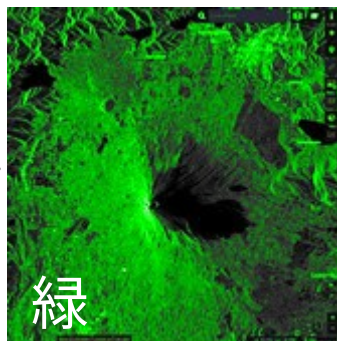
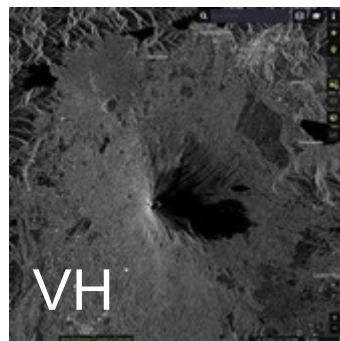
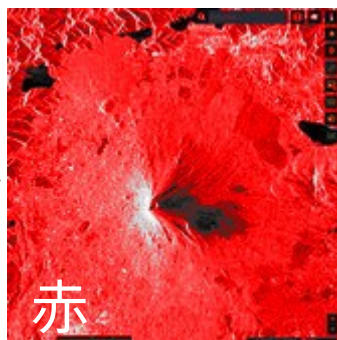
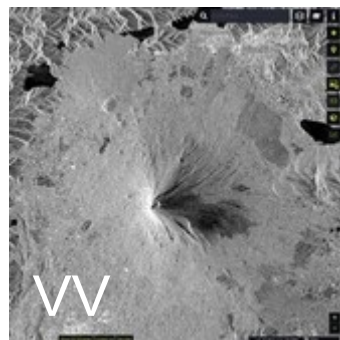
VV (V偏波で送信, V偏波で受信)



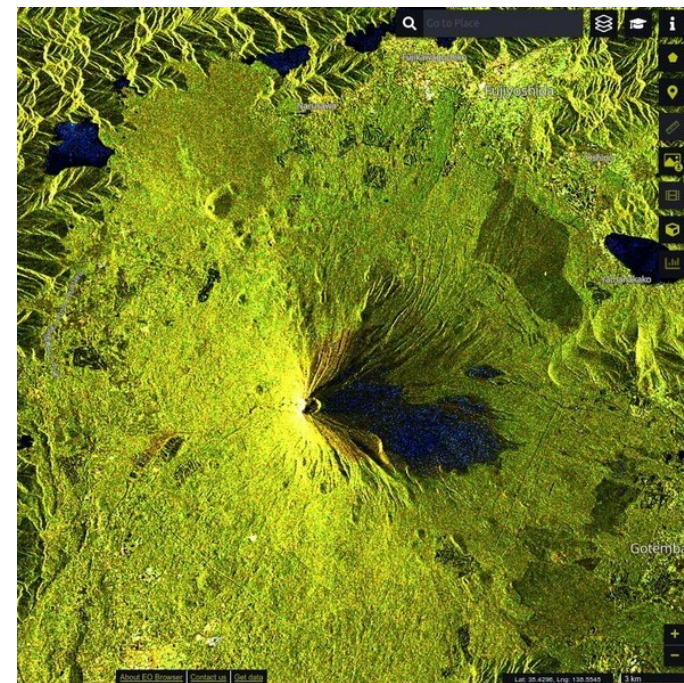
VH (V偏波で送信, H偏波で受信)

疑似カラー合成 … 本来は白黒のSAR画像を、偏波ごとに原色を与えてカラー画像にする!

→ 多少見やすくわかりやすい (という気になれる)



2021/09/19 Sentinel-1 C-SAR



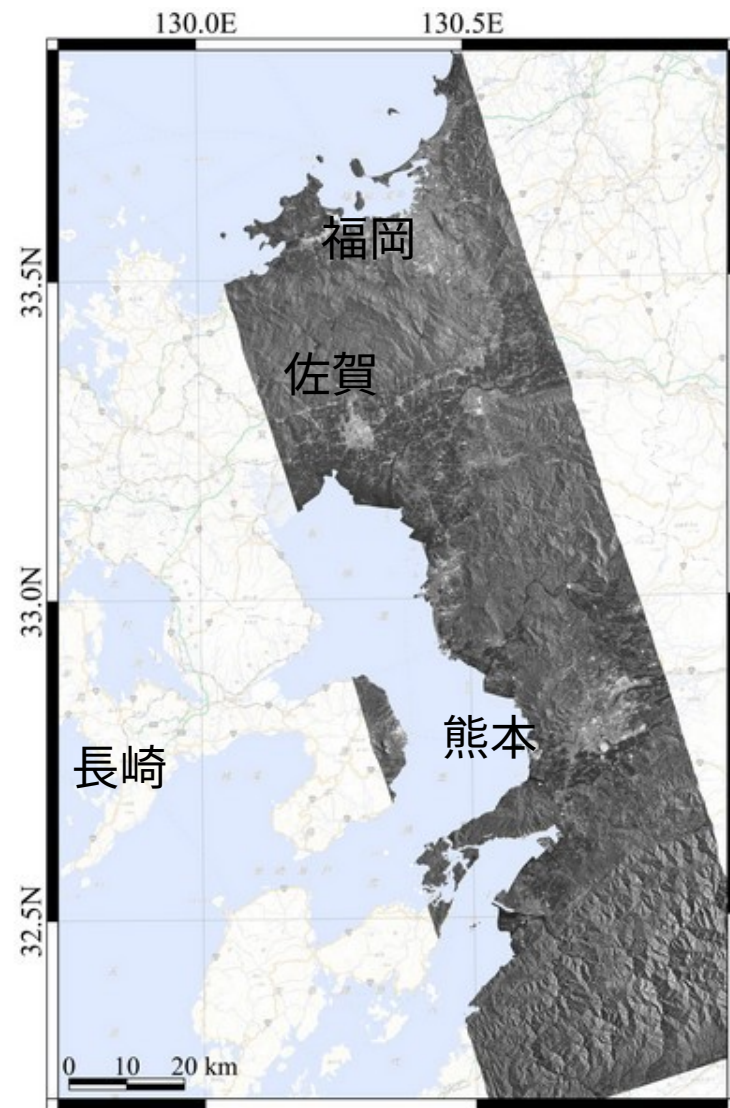
- 色の対応はこうじゃなきゃダメというものではない。
- 赤と青が同じ画像(VV)になっているが、これは2種類しか画像が無いから (泣)

(JAXAホームページ)

https://www.jaxa.jp/projects/sat/alos2/index_j.html

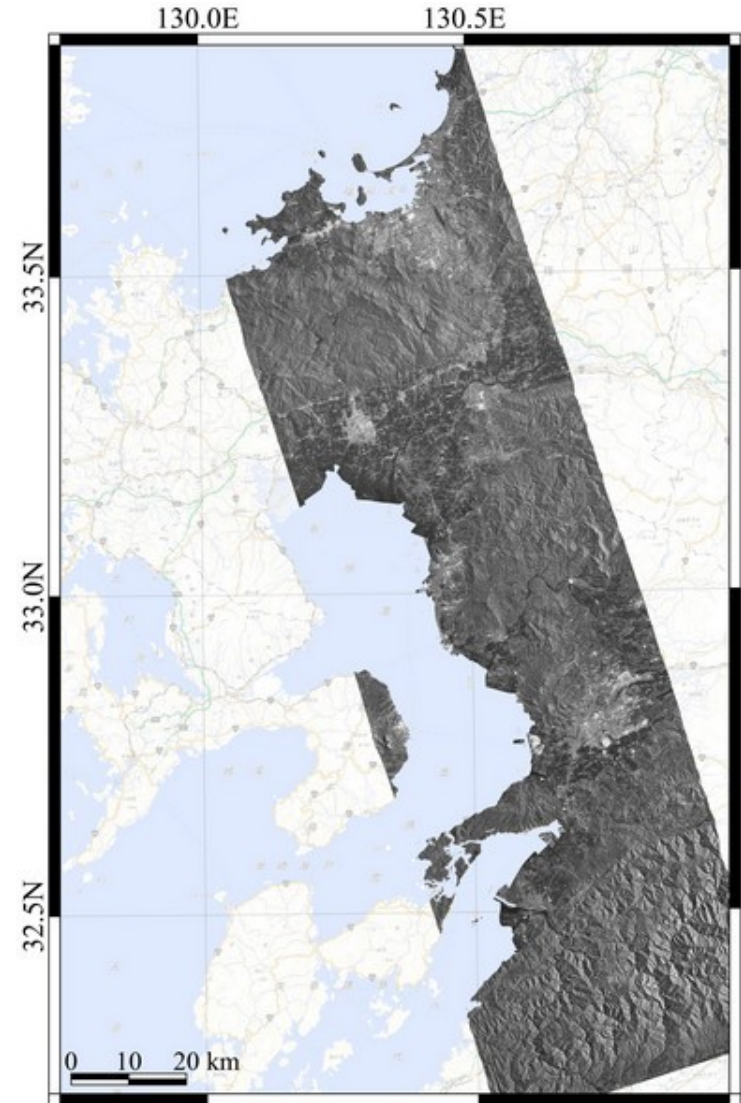
「だいち2号」による2021年8月の豪雨の緊急観測結果について
今回の災害で被害にあわれた全ての方々に心よりお見舞い申し上げます。

2021年8月12日から季節外れの梅雨前線が日本の東西を広く覆う形で形成された大規模な線状降水帯により続いた豪雨によって、西日本を中心に各地で河川の氾濫による浸水などの被害が発生しました。JAXAは、**国土交通省からの要請に基づき**、8月12日から15日にかけて**「だいち2号」(ALOS-2)**搭載のLバンド**合成開口レーダ**「パルサー2」(PALSAR-2)による緊急観測を行い、データを防災関係機関等に提供しました。



演習問題 1 :

右の図は,「だいち2号」衛星が撮った画像です。このとき,衛星はどちらからどちらに向けて移動していたのでしょうか？

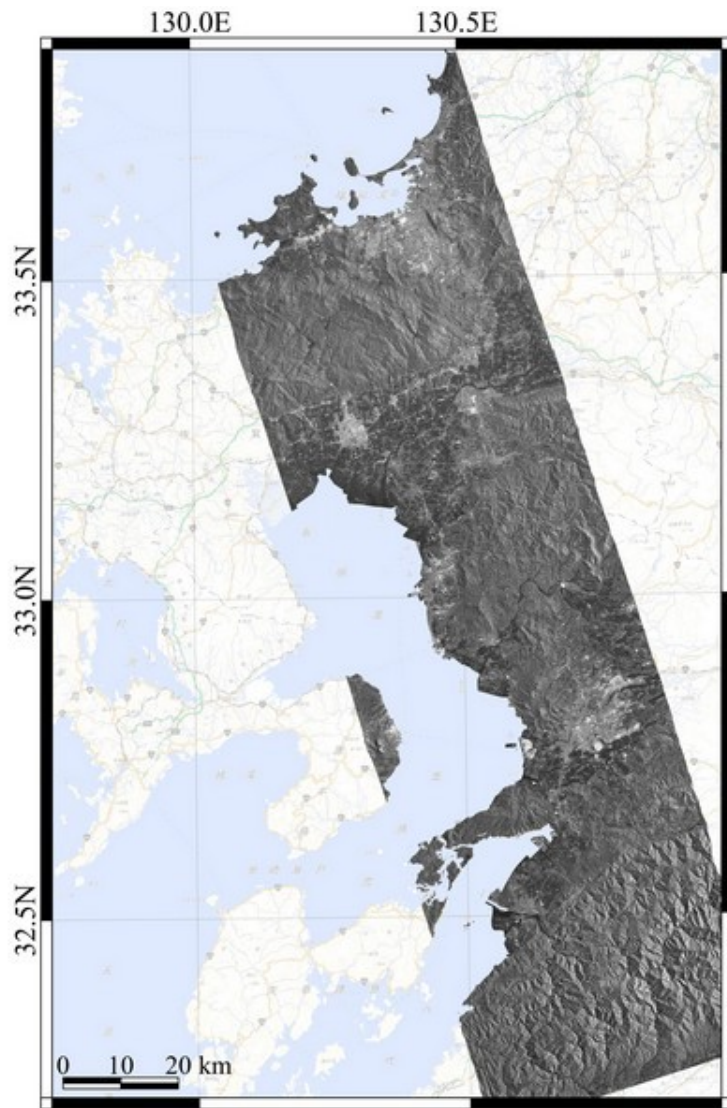


演習問題 1 :

右の図は,「だいち2号」衛星が撮った画像です。このとき,衛星はどちらからどちらに向けて移動していたのでしょうか？

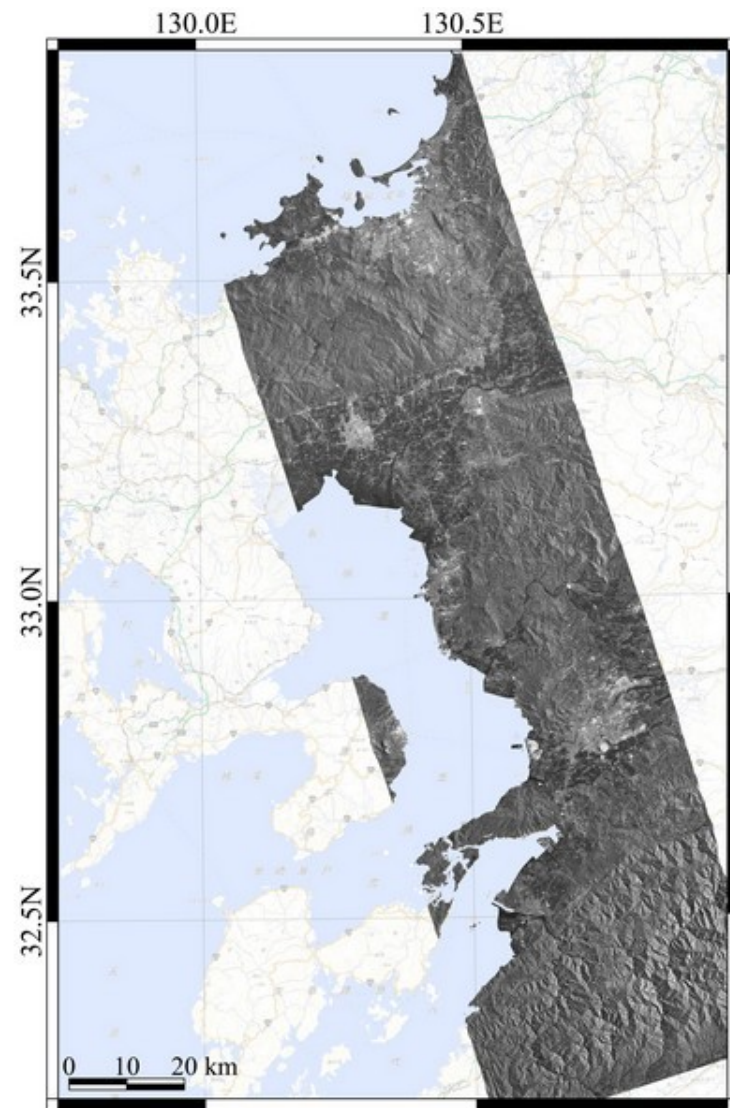
左に傾いてるから昇交パス。

回答: 南南東から北北西に向かって移動していたはず。



演習問題 2 :

では, この画像は何時頃に撮られた
ものでしょうか？



← → ↺ 🏠 🔍 <https://ja.wikipedia.org/> 120% ☆ 📖 ⬇️ 🔍 ascending → 🏠 📖 ⬆️ ⏪ ⏩ ☰



ウィキペディア
フリー百科事典

メインページ
コミュニティ・ポータル
最近の出来事
新しいページ
最近の更新
おまかせ表示
練習用ページ
アップロード (ウィキメディア・コモンズ)

ヘルプ

ヘルプ
井戸端
お知らせ
バグの報告
寄付
ウィキペディアに関するお問い合わせ

ツール

リンク元
関連ページの更新状況
ファイルをアップロード
特別ページ
この版への固定リンク
ページ情報
このページを引用
ウィキデータ項目
短縮URL

印刷/書き出し
ブックの新規作成
PDF形式でダウンロード
印刷用バージョン

だいち2号

出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』

だいち2号 (陸域観測技術衛星2号、ALOS-2, Advanced Land Observing Satellite、エイロス2) は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が、地図作成、地域観測、災害状況把握、資源調査などへの貢献を目的として開発した「だいち」の後継の地球観測衛星。三菱電機株式会社がプライムメーカーとして設計、製造を担当した。高度628kmの太陽同期準回帰軌道を14日で回帰し (だいち46日)、フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダーPALSAR-2により地表を観測するレーダー衛星である。2014年5月24日^[2]にH-IIAロケット24号機によって打ち上げられた。

目次 [非表示]

- 1 開発経緯
- 2 運用
- 3 特長・仕様
 - 3.1 特長
 - 3.2 仕様
- 4 後継機
- 5 脚注
- 6 関連項目
- 7 外部サイト

開発経緯 [編集]

陸域観測では継続的に観測を行いデータを蓄積していくことが重要である。しかし、先代の「だいち」は、光学センサー、マルチスペクトルセンサー、SARセンサー (合成開口レーダー) を同時に搭載する大型衛星であったため、開発や製作に時間を要し、打ち上げ失敗や故障時に全ての観測が不可能になり、開発と運用両面でのリスクが高かつ

陸域観測技術衛星2号「だいち2号」 (ALOS-2)

所属	JAXA
主製造業者	三菱電機
公式ページ	陸域観測技術衛星2号「だいち2号」 (ALOS-2) 🔗
国際標準番号	2014-029A 🔗
カタログ番号	39766
状態	運用中
目的	地球観測
設計寿命	5年 (目標7年)
打上げ場所	種子島宇宙センター
打上げ機	H-IIAロケット24号機
打上げ日時	2014年5月24日 12時5分14秒 (JST)
軌道投入日	2014年5月24日

軌道要素

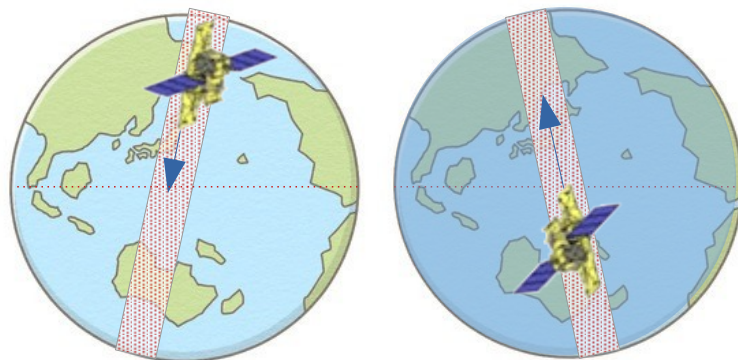
周回対象	地球
軌道	太陽同期準回帰軌道
高度 (h)	628km
近点高度 (h_p)	629.8km
遠点高度 (h_a)	647.4km
軌道傾斜角 (i)	97.9度
軌道周期 (P)	97.5分
回帰日数	14日
降交点通過	12時 (正午)
地方時	

搭載機器

PALSAR-2 ^[1]	フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダー
-------------------------	------------------------

「降交点通過 12時 (正午)」

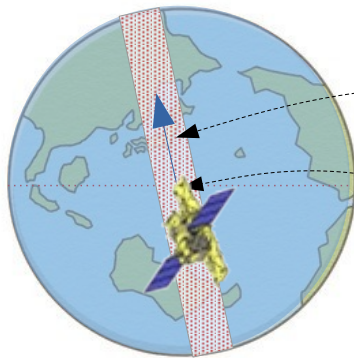
つまり、「だいち2号」は、
降交パスで地球の昼の面を、
昇交パスで地球の夜の面を
それぞれ観測する。



(言い忘れましたが、極軌道衛星は
100分間ほどで地球を1周します)

演習問題 2 :

では, この画像はだいたい何時に
撮られたものでしょうか?

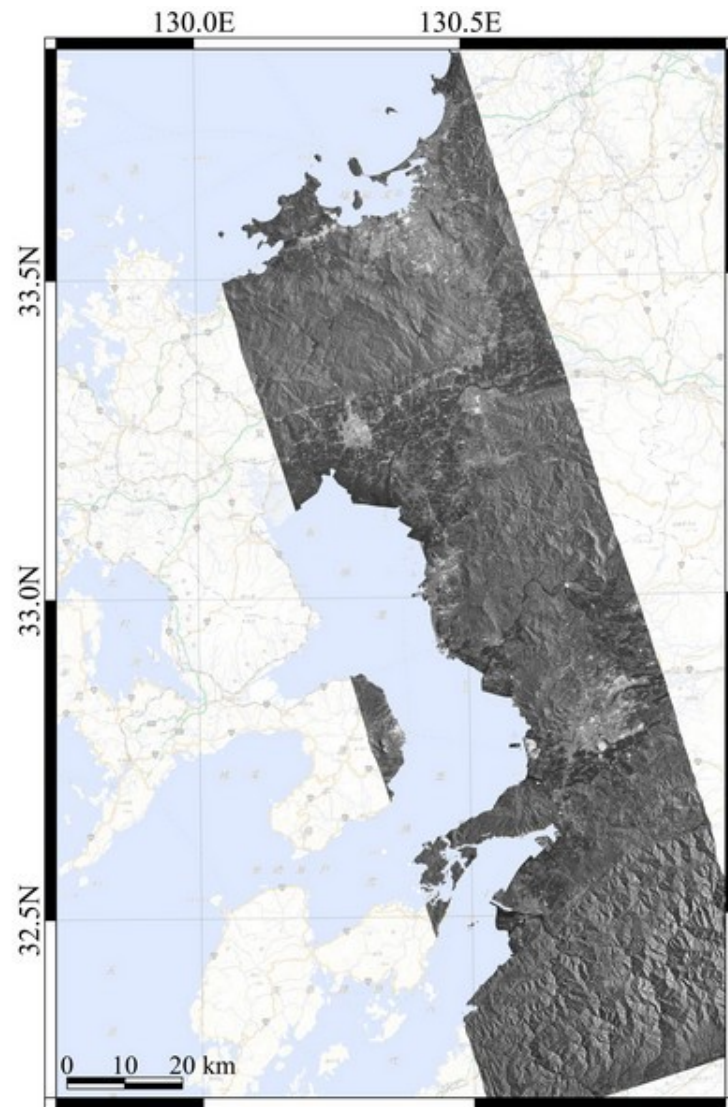


赤道から日本へはすぐ到達。
緯度差約30度 $\approx$ 地球一周の1/12。
衛星は約100分で地球一周するので、
その1/12は10分以内。

深夜0時 (地方時)
に赤道通過

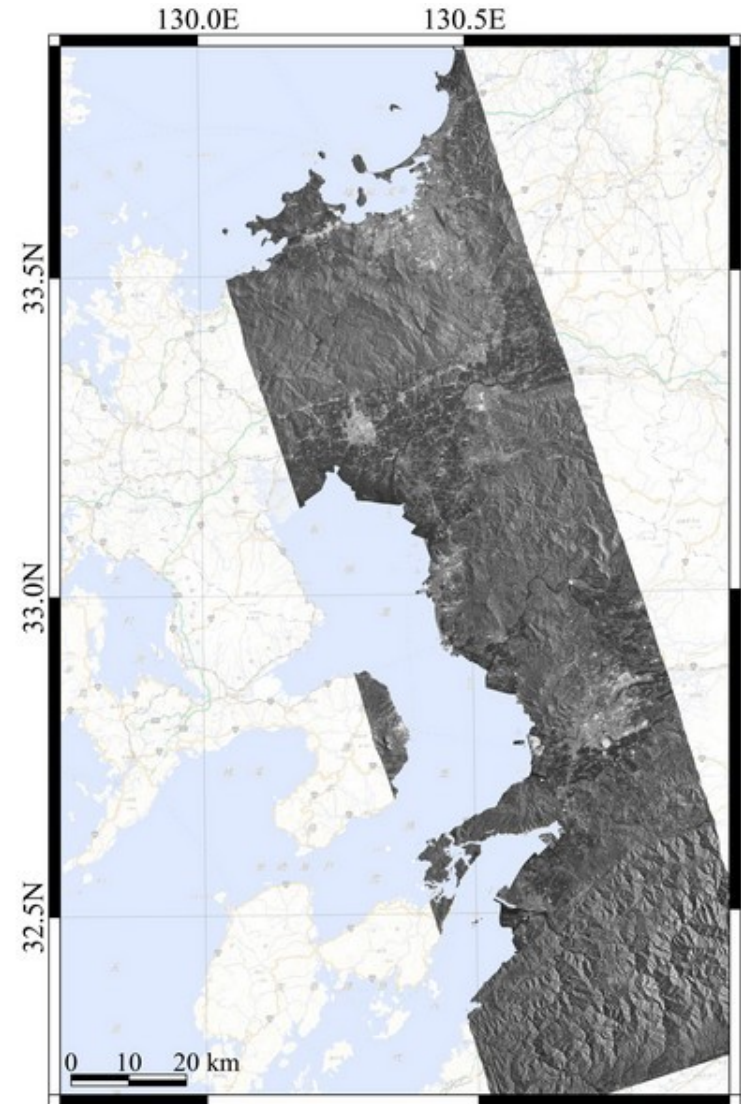
地方標準時 (日本標
準時など) ではない!

回答: ほぼ深夜0時
(正解は2021年8月12日23時23分頃の観測)



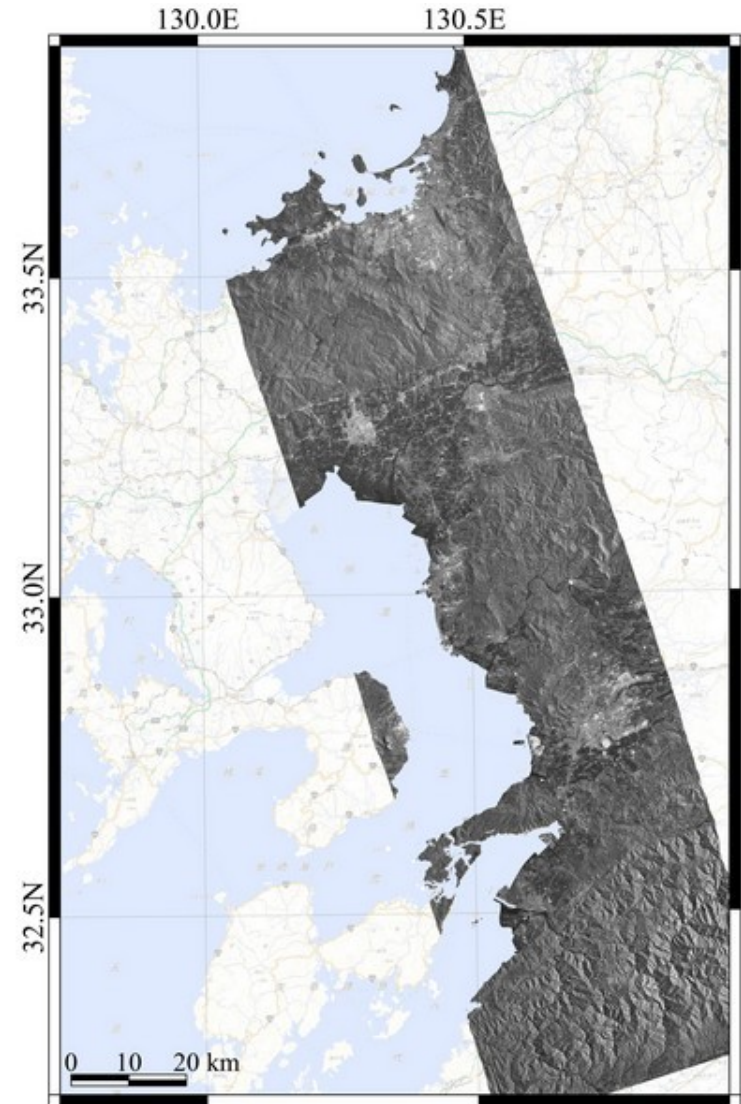
演習問題3：

この画像は深夜に撮られたものの
なのに、なぜ真っ暗でなく、地上
が見えているのでしょうか？



演習問題3：

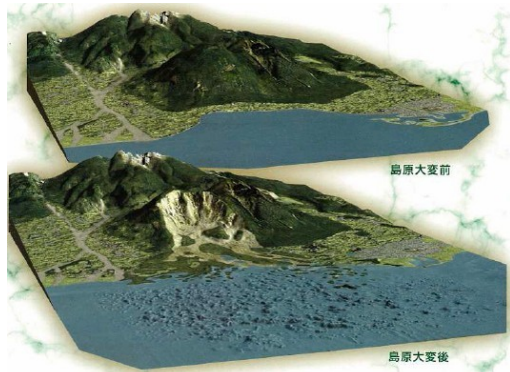
この画像は深夜に撮られたものの
なのに、なぜ真っ暗でなく、地上
が見えているのでしょうか？



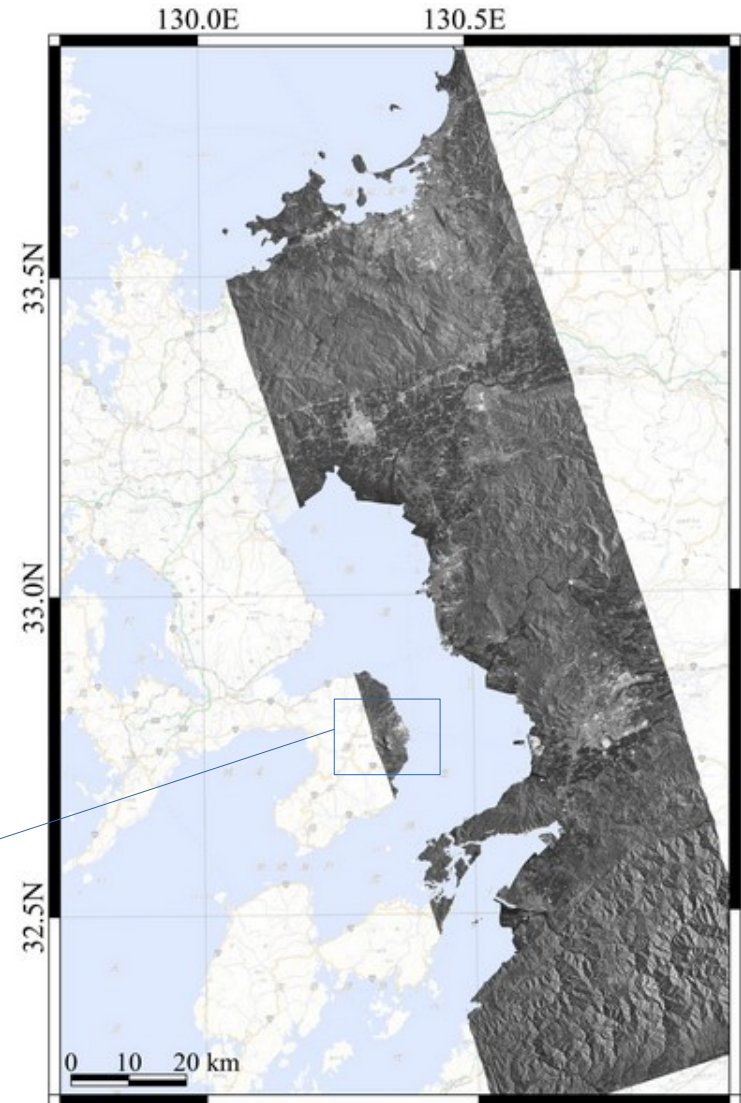
演習問題4：

この画像を撮ったとき、だいち2号衛星はどのあたりを飛んでいたでしょう？ 画像の真上ではありません。

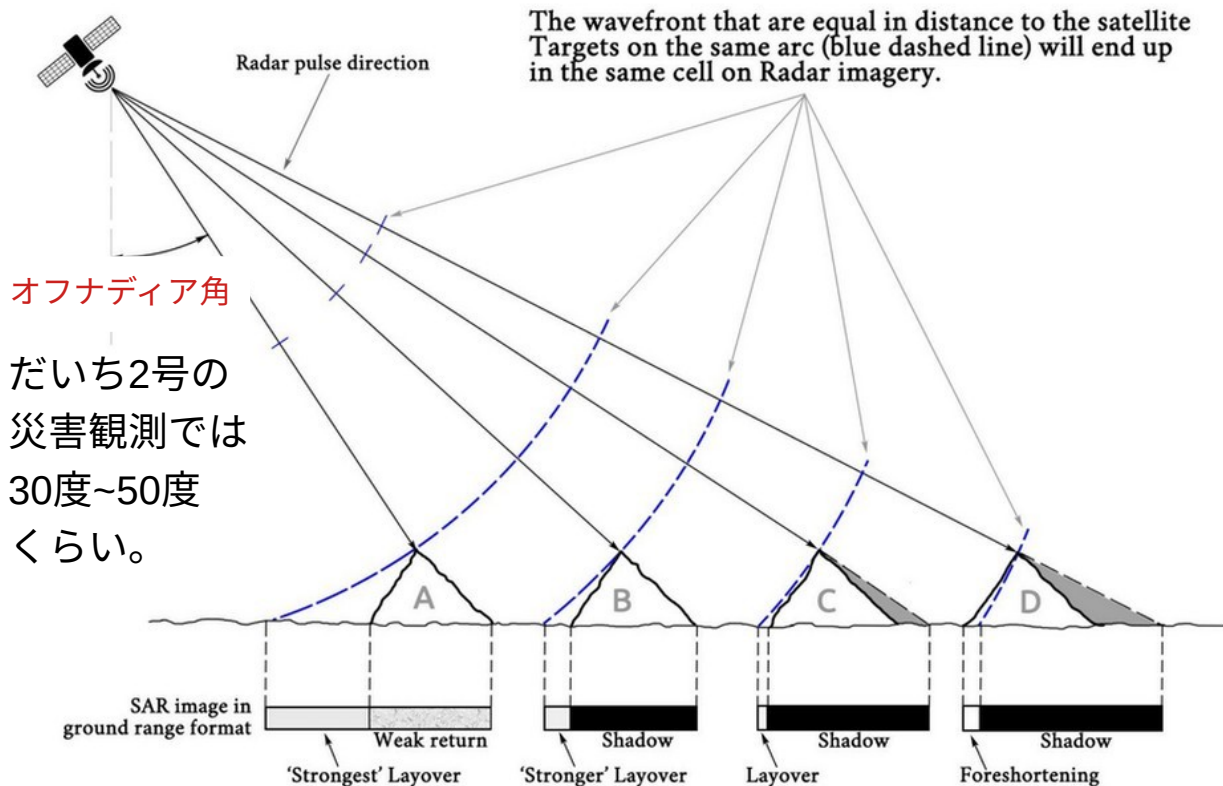
ヒント：雲仙普賢岳の
東斜面と眉山が見えますね



雲仙復興工事事務所「島原大変」より

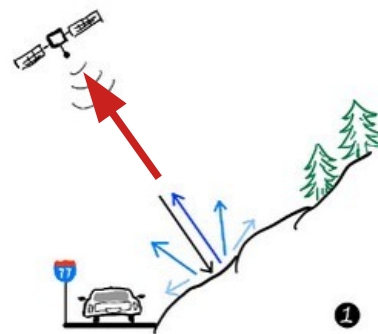


「合成開口レーダー」 (だいち2号もそのひとつ) は「斜め上」から撮る！



Qin Y et al. (2020) Slope Hazard Monitoring Using High-Resolution Satellite Remote Sensing: Lessons Learned From a Case Study. International Journal of Geo-Information 9(2):131

衛星に向けた斜
面からは強い反
射帰ってくる。



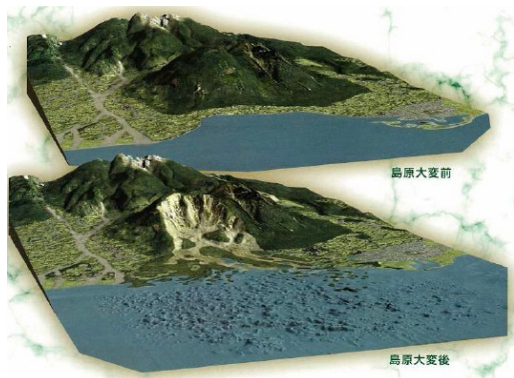
衛星の反対を向
いた斜面からは
あまり反射は
帰って来ない。



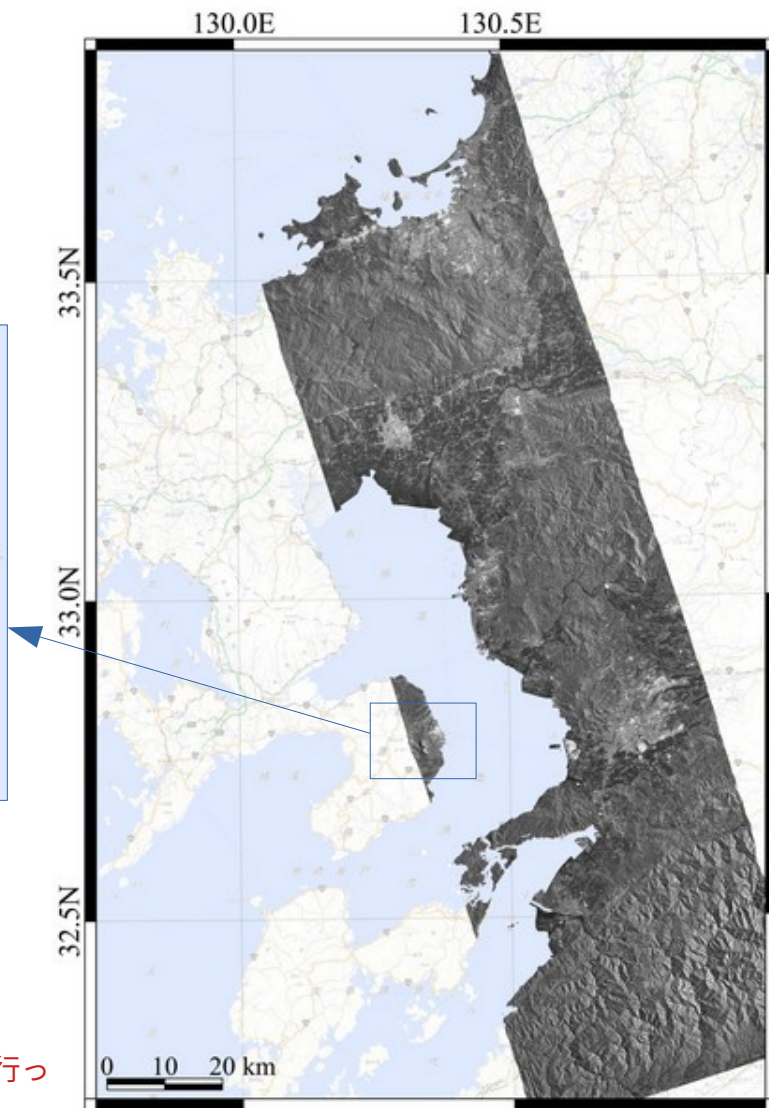
→ 明るい斜面が向いてる方向に
衛星がいる!!

演習問題4：

眉山の崩落崖（海に面した東向きの急斜面）が
明るく写っている。つまりだいち2号はこの画
像を東北東の斜め上から撮った。



雲仙復興工事事務所「島原大変」より



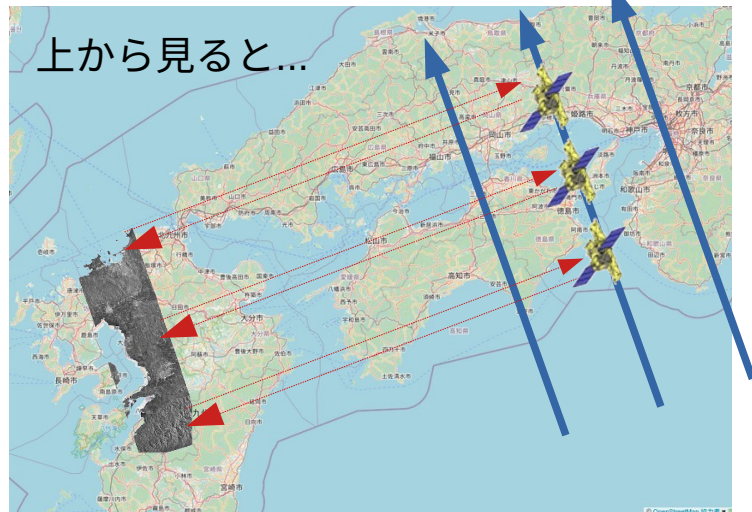
軌道要素	
周回対象	地球
軌道	太陽同期準回帰軌道
高度 (h)	628km
近点高度 (h_p)	629.8km
遠点高度 (h_a)	647.4km
軌道傾斜角 (i)	97.9度

(Wikipedia
「だいち2号」)

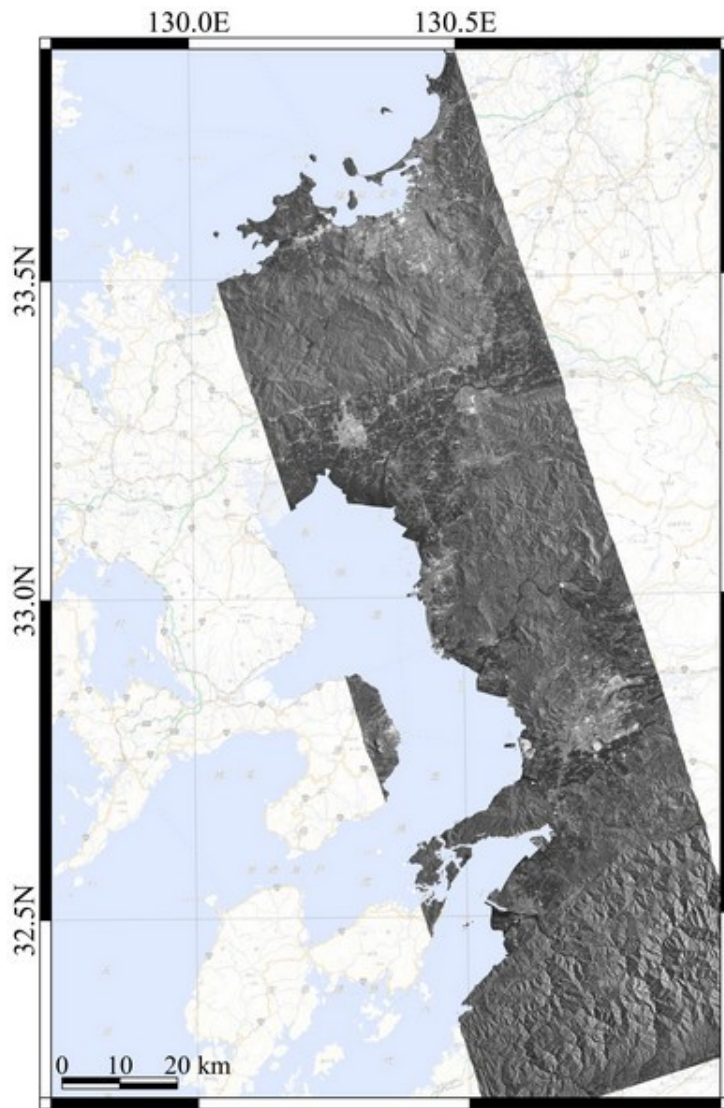
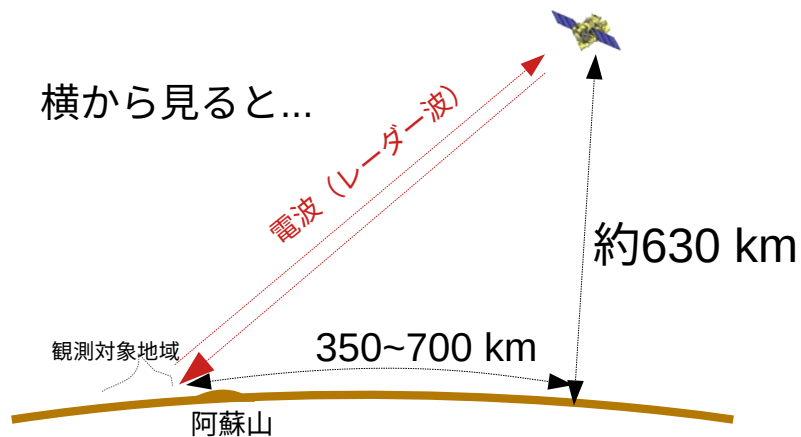
軌道は高度 H =約600 km
オフナディア角 θ =30~50度とすると、
地表での水平距離は $H \tan \theta$
= 350~700 km
つまり九州から東北東に350~700 km行っ
たあたり（岡山～大阪）の上空。

演習問題4：

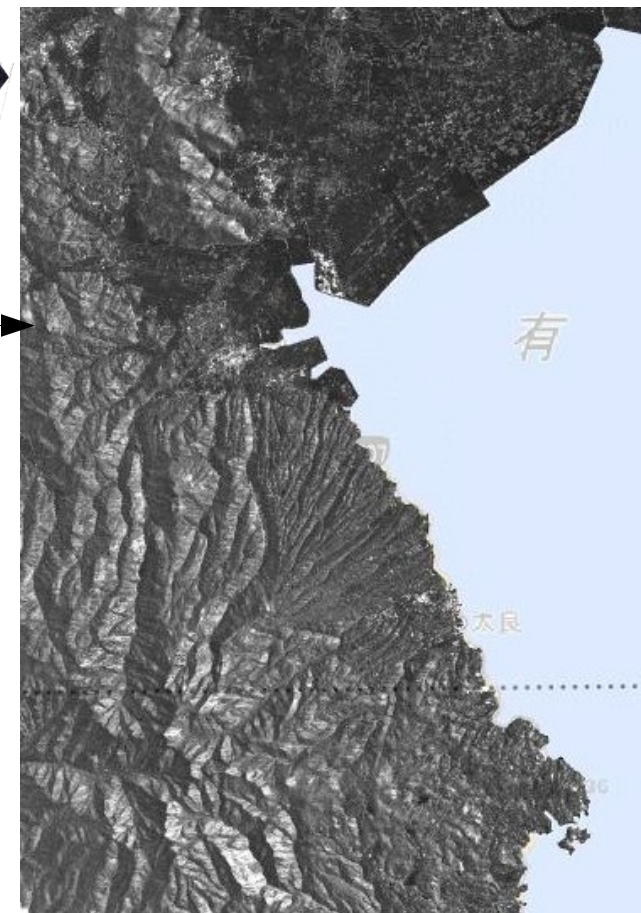
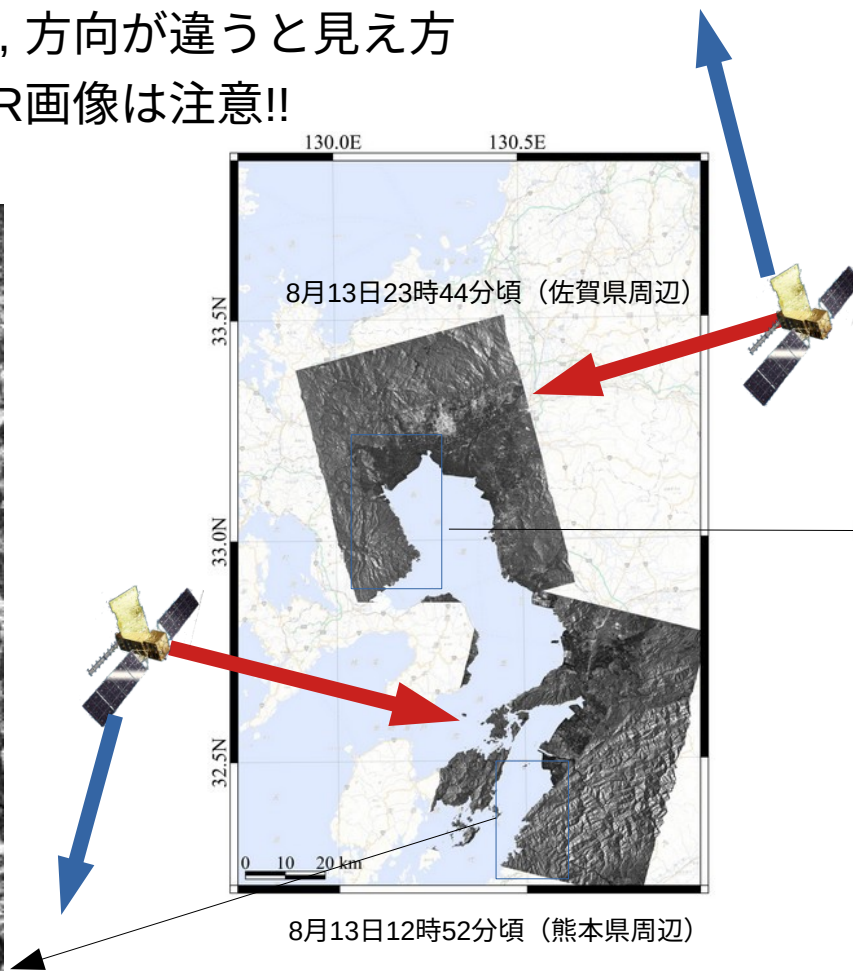
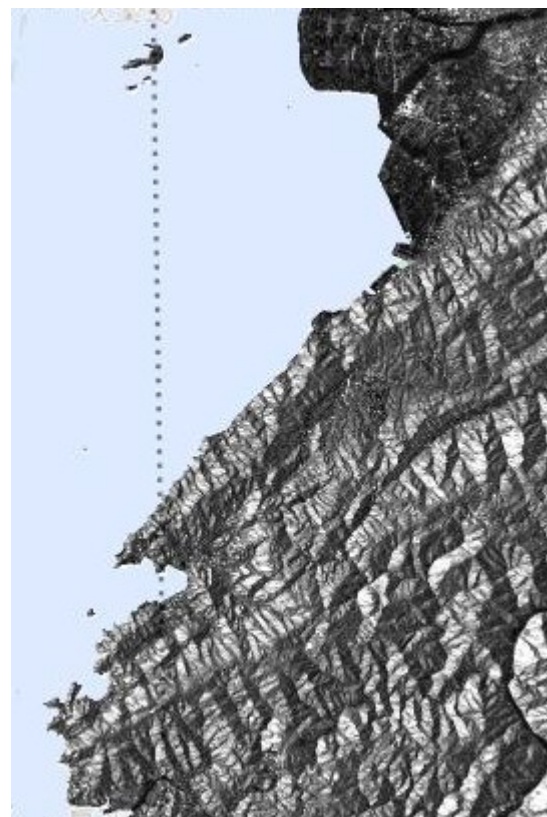
この画像を撮ったとき、だいち2号衛星はどのあたりを飛んでいたでしょうか？



横から見ると...



同じ日に撮った画像でも、方向が違くと見え方が違う。特に、山地のSAR画像は注意!!

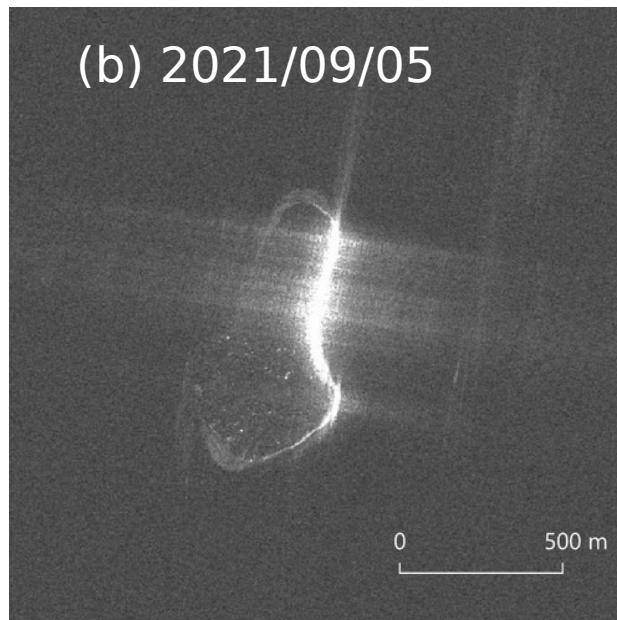
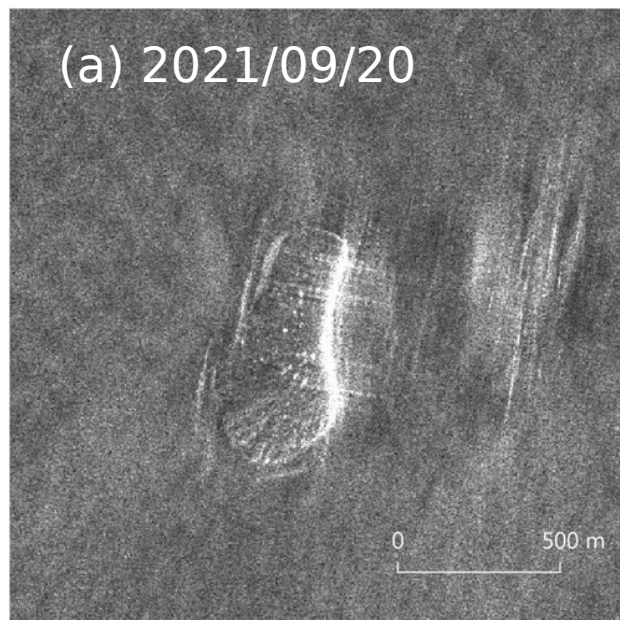
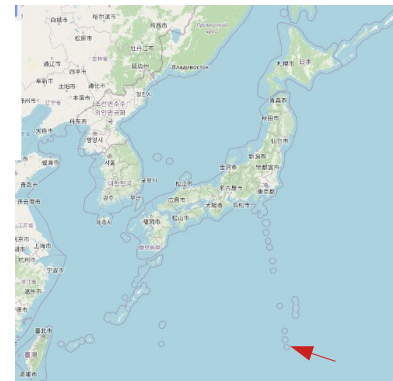


演習問題5：

2021年, 火山噴火によって新しい島が「福德岡ノ場」に出現しました。

↓これらの図は, 「だいち2号」衛星が撮った画像です。

なぜこんなに明るさが違うのでしょうか？



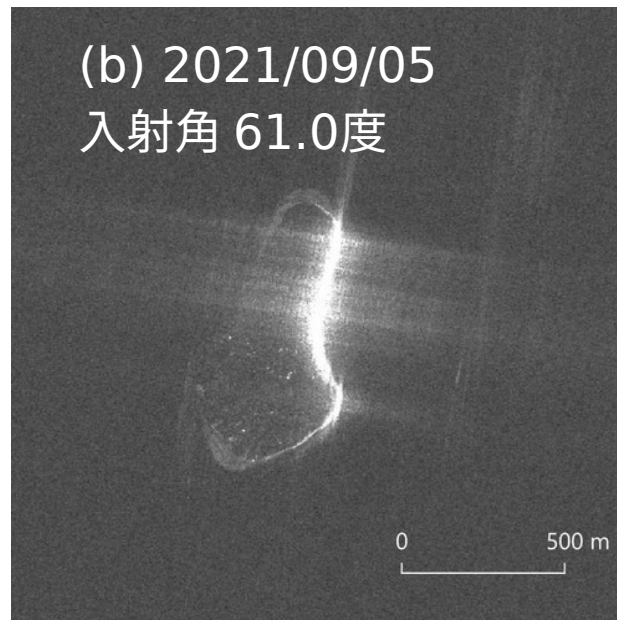
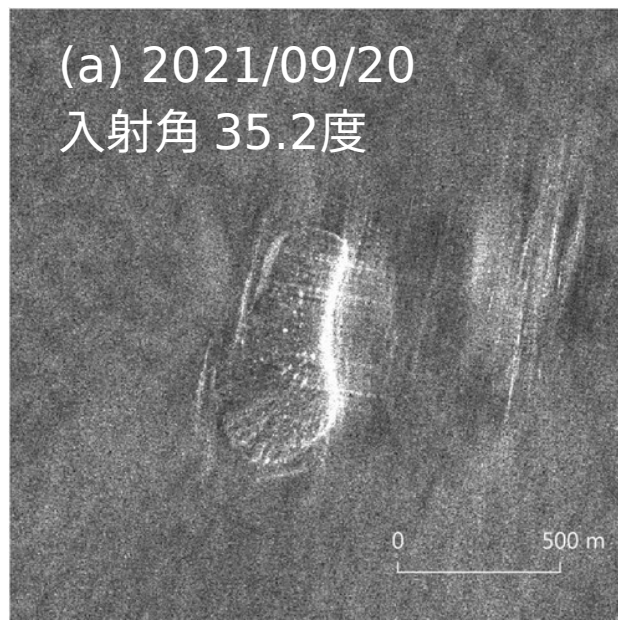
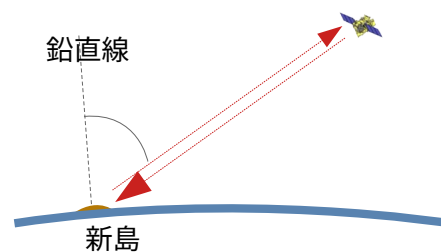
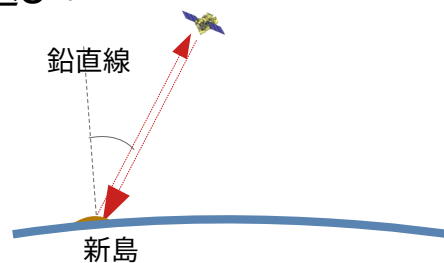
	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2021/09/20 11:32頃	2021/09/05 11:11頃
衛星進行方向	南行	南行
電波照射方向	右(西)	右(西)
観測モード*	S	S
入射角	35.2°	61.0°
偏波	HH	HH

*S：スポットライト (3×1m) モード

令和3年9月21日 国土地理院 「福德岡ノ場のSAR強度画像について」

<https://www.gsi.go.jp/common/000235401.pdf>

演習問題5：



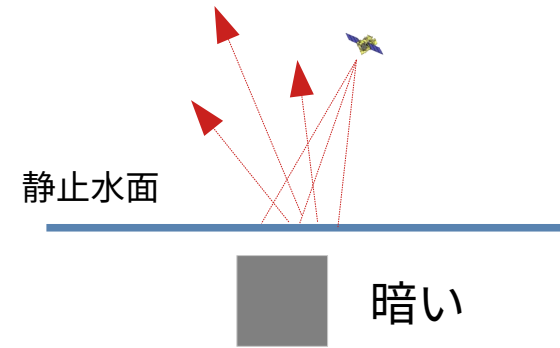
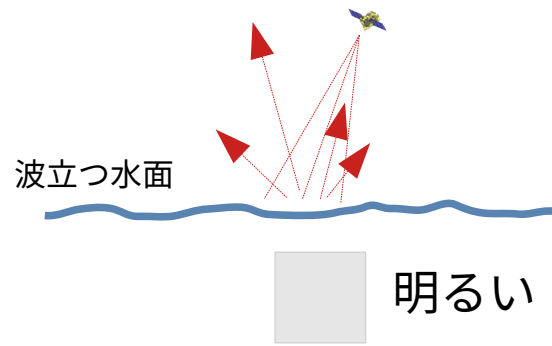
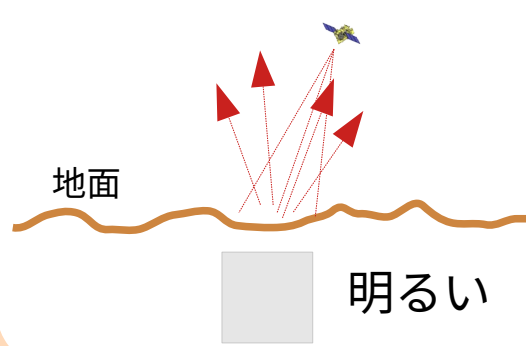
	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2021/09/20 11:32頃	2021/09/05 11:11頃
衛星進行方向	南行	南行
電波照射方向	右(西)	右(西)
観測モード*	S	S
入射角	35.2°	61.0°
偏波	HH	HH

*S：スポットライト (3×1m) モード

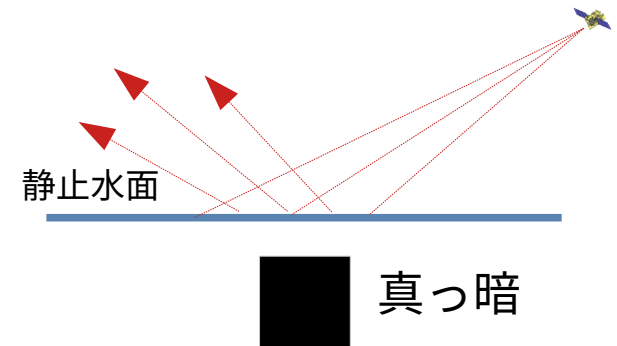
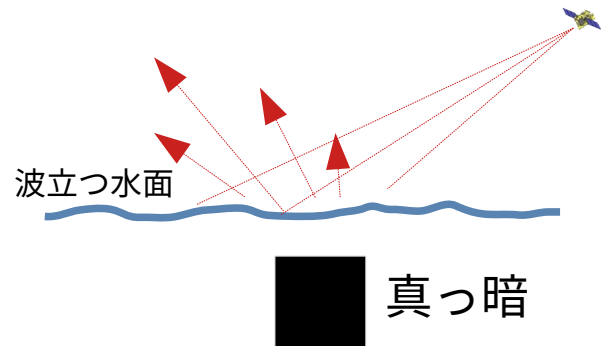
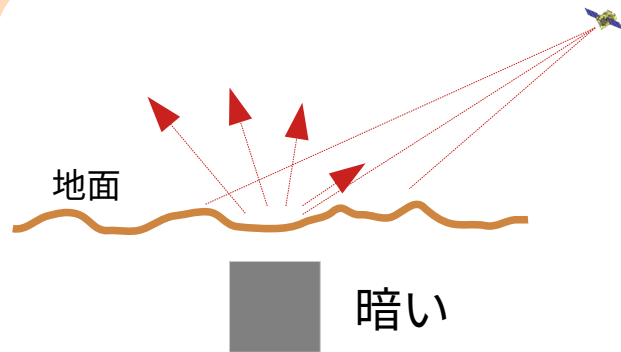
令和3年9月21日 国土地理院 「福徳岡ノ場のSAR強度画像について」

<https://www.gsi.go.jp/common/000235401.pdf>

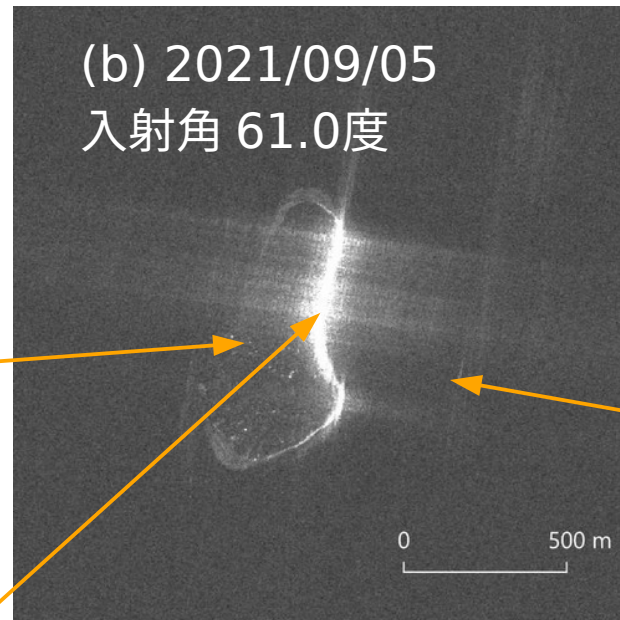
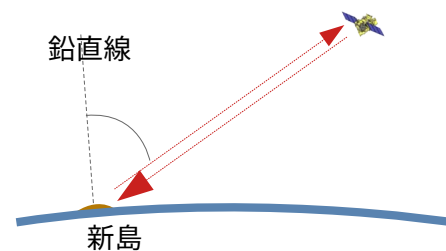
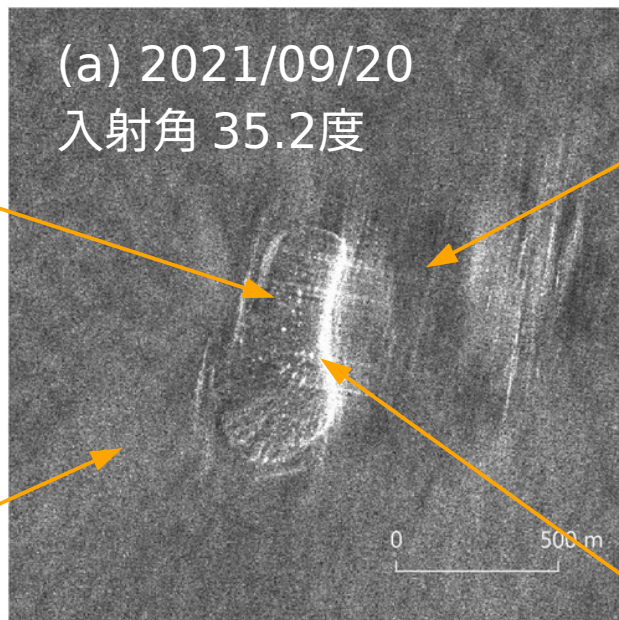
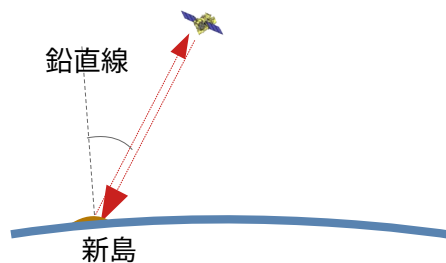
入射角が小さいとき



入射角が大きいとき



演習問題5：



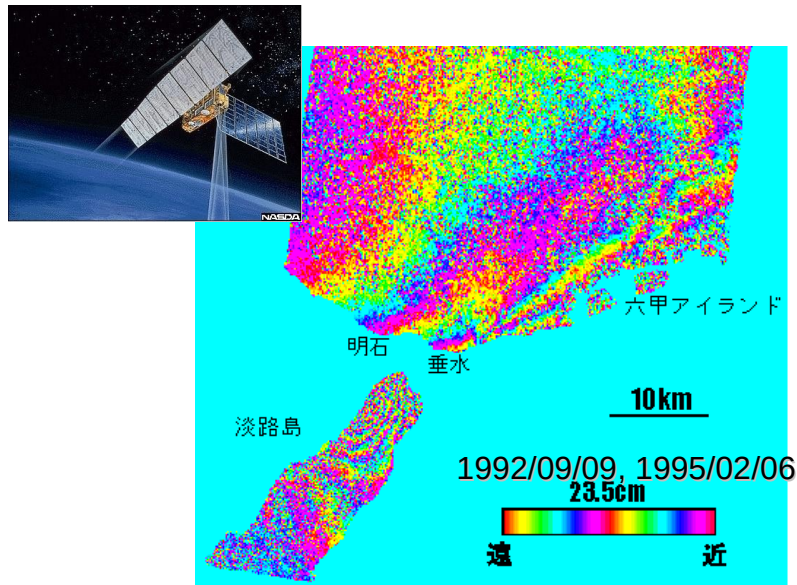
すごく明るい

合成開口レーダーの干渉処理 … interferometric SAR = InSAR (インサー)

兵庫県南部地震(1995)による地表変位

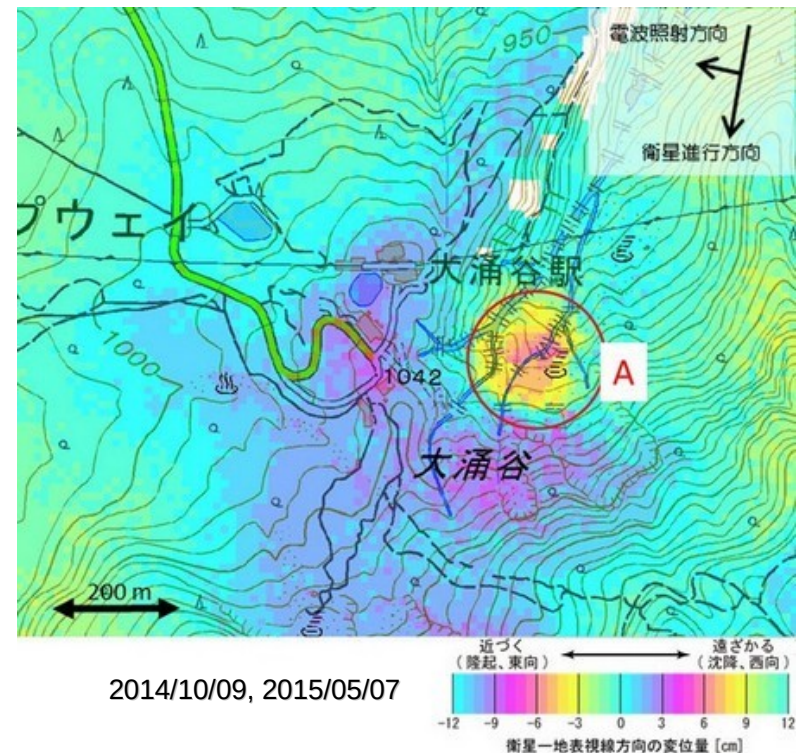
宇宙開発事業団 JERS-1「ふよう」衛星に搭載された合成開口レーダーによる成果 (国土地理院)

村上亮・藤原智・斉藤隆: 干渉合成開口レーダーを使用した平成7年兵庫県南部地震による地殻変動の検出. 国土地理院時報 (1995, 83集)



箱根・大涌谷の火山活動(2015)による地表変位

JAXA ALOS-2「だいち2号」衛星に搭載された合成開口レーダーによる成果 (国土地理院)



Detection of traces of pyroclastic flows and lahars with satellite synthetic aperture radars

照沼 利浩

西田 顕郎

天田 高白

水山 高久

T. TERUNUMA^{*,†}, K. NISHIDA[‡], T. AMADA[‡], T. MIZUYAMA[§], I. SATO[¶]
and M. URAI[¶]

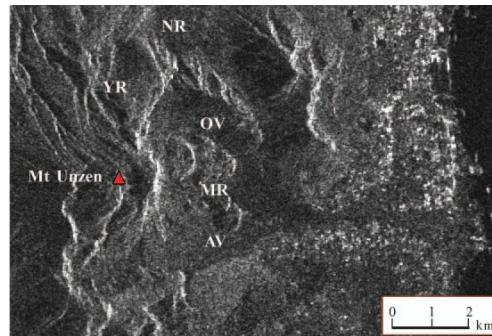
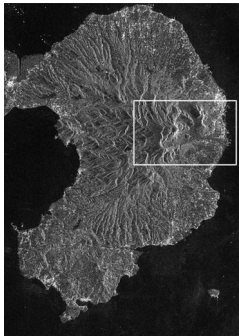
[†]PASCO Inc., 1-1-2 Higashiyama, Meguro-ku, Tokyo, Japan

[‡]Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba, Tsukuba,
Japan

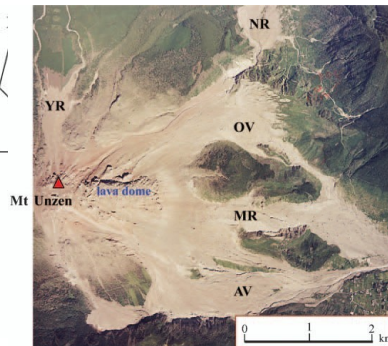
[§]Laboratory of Erosion Control, Graduate School of Agricultural Science, Kyoto
University, Japan

[¶]Geological Survey of Japan, Tsukuba, Japan

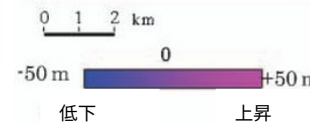
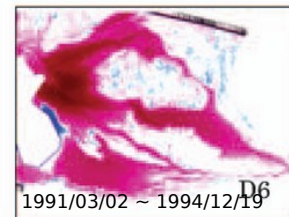
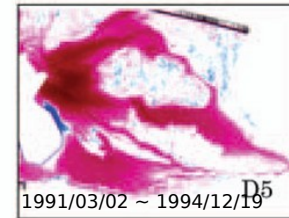
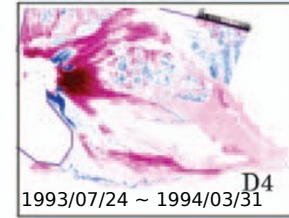
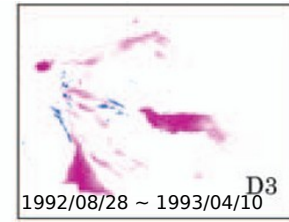
(Received 17 September 2002; in final form 27 August 2004)



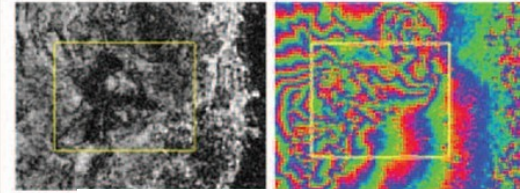
JERS-1/SAR 1992/10/31



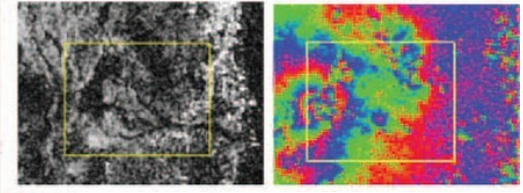
空中写真 1995/09/18



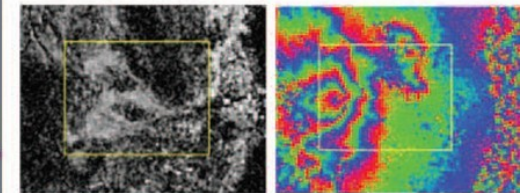
コヒーレンス r



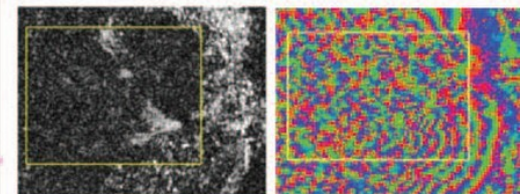
JERS1 1992/10/31 ~ 1993/04/25



JERS1 1993/07/22 ~ 1993/12/01



JERS1 1995/05/13 ~ 1995/06/26



ERS1 1995/09/19 ~ 1995/12/28

$$r = \frac{|\langle C_1 C_2^* \rangle|}{\sqrt{\langle C_1 C_1^* \rangle \langle C_2 C_2^* \rangle}}$$

Article

The Role of Satellite InSAR for Landslide Forecasting: Limitations and Openings

Serena Moretto ^{1,2,*}, Francesca Bozzano ^{1,2} and Paolo Mazzanti ^{1,2}¹ Department of Earth Sciences & CERI Research Center on Geological Risks, Sapienza University of Rome, P.le A. Moro 5, 00185 Rome, Italy; francesca.bozzano@uniroma1.it (F.B.); paolo.mazzanti@uniroma1.it (P.M.)² NHAZCA S.r.l. Startup, Sapienza University of Rome, via V. Bachelet 12, 00185 Rome, Italy

* Correspondence: serena.moretto@nhazca.com

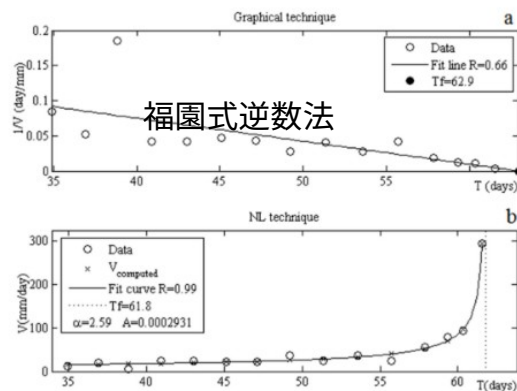
PS-InSARという技術
(PS = permanent scatterer)

Figure 3. Example of INV method and NL technique. T_f represents the computed time of failure (from [39], modified).

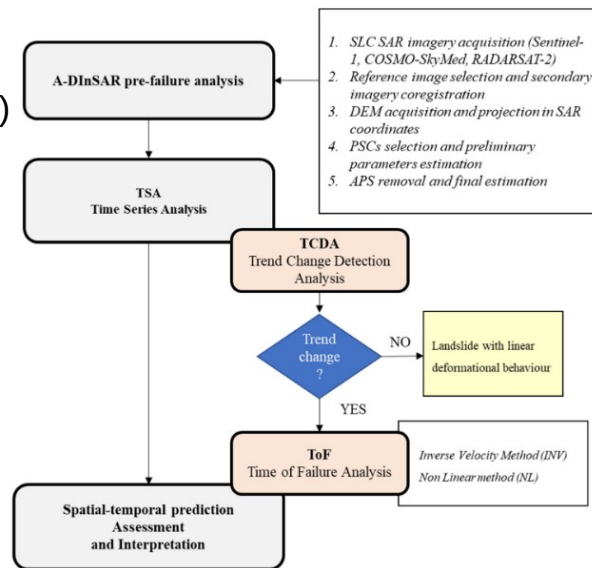


Figure 2. Workflow.

2017/05/17 米国加州Mud Creek地すべり

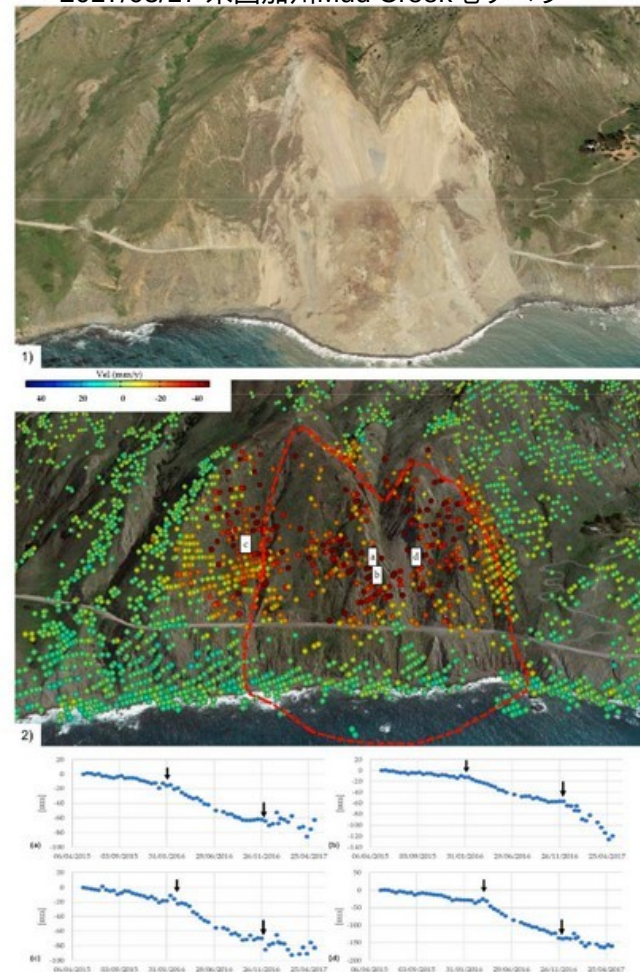


Figure 8. (1) Landslide view from Google Earth. (2) A-DInSAR pre-failure analysis for the Mud Creek landslide area including the average velocity map and the time series of displacement for measurement points (a), (b), (c), (d). The landslide boundary is represented by the red dashed line. (Lat: 35.866303°; Lon: -121.430347°; WGS84).

「観測頻度をどれだけ上げられるかが鍵」

12日間隔, 59ペア (60枚)のInSAR解析 → 地すべり変位の時系列計測 → 崩壊時予測