

① SARデータ（スラントレンジ変化）

SARとは

SAR (Synthetic Aperture Radar: 合成開口レーダー) はマイクロ波の送受信を繰り返し行い、合成開口処理を行うことによって、高空間分解能の地表画像を得るアクティブレーダーセンサーです。このため、SARは太陽光を必要としないので、昼夜を問わず地表を観測することが可能です。またSARが用いるマイクロ波は雲を透過するため、天候に左右されずに地表を観測可能という長所も有しています。火山観測においては、SARを用いることによって、噴火が発生した火口内の様子を噴煙を透過してみる事ができ、火山活動把握における重要なツールとして役立てられています。さらに、地表から反射してきたマイクロ波の位相の情報を用いて、地表変動の検出にも用いられています。この手法はSAR干渉法 (Interferometric SAR: InSAR) と呼ばれ、異なる時期に観測された位相の差から衛星-地表間の距離変化 (スラントレンジ変化) を捉えます (図1)。スラントレンジ変化は地殻変動ベクトルとマイクロ波入射方位ベクトルの内積値に相当します (図2)。そのような地殻変動情報をメートルレベルの空間分解能で面的に検出することができるので、現場観測では検出することが困難な、局所的な地殻変動も検出することが可能です。また火山性地殻変動の観測においては、火山活動の活発化に伴う入山規制により現場への立ち入りが困難な場合においても観測を継続することができる点は、SARを用いることの大きな長所のひとつです。JVDNシステムでは地図上にInSAR画像の結果を表示させることができ、複数のInSAR画像を足し合わせた結果を表示することもできます。

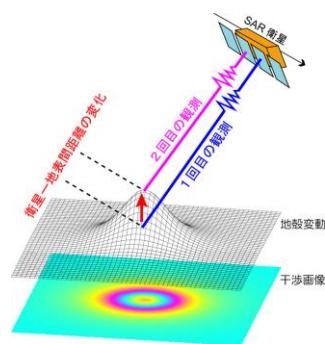


図1 SARによる地殻変動観測の概念図

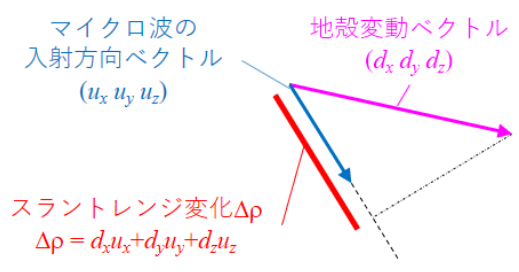


図2 InSARにより得られる地殻変動

JVDNにアーカイブされているSARデータ

JVDNには、時系列解析結果 (JVDNでは「スラントレンジ変化」と表示) と臨時解析結果 (JVDNでは「イベント時ファイル」と表示) の2種類のSARデータがアーカイブされます。時系列解析結果は、次世代火山研究推進事業課題Bサブテーマ2で構築した自動解析システムから得られる地殻変動情報 (スラントレンジ変化) であり、火山活動が静穏な時期も含めて、SARの観測毎の地殻変動情報がアーカイブされます (図3の $\Delta\rho_i$)。ユーザーが必要とする期間の地殻変動は、JVDN上で、その間のスラントレンジ変化を足し合わせるによって求めることができます。臨時解析結果は、火山活動の活発化が観測された場合等に、臨時的に解析した結果をアーカイブします。臨時解析結果は、時系列解析結果とは異なり、JVDN上で別の期間のデータとの足し合わせはできません。これらのデータには、スラントレンジ変化データの解析に必要なマイクロ波の入射方向ベクトルのデータも含まれます。これらについての詳細は、後述の「JVDNシステムからダウンロードできるファイル」で述べます。

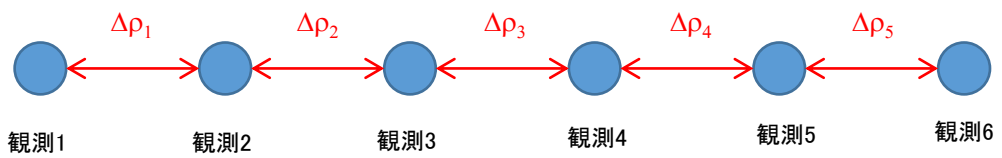


図3 時系列解析結果の概要図

JVDNシステムでの表示方法

SAR

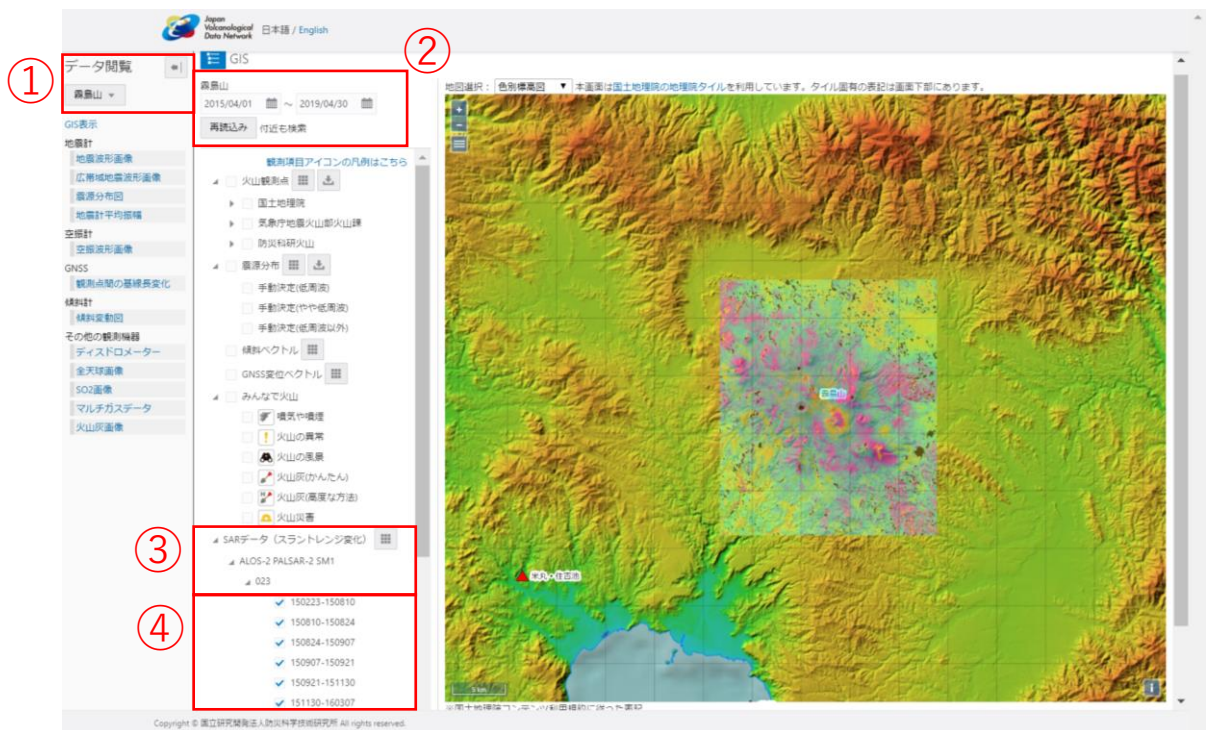


図4 JVDNシステム表示画面

- ①データ閲覧画面の左上にあるプルダウンメニューから火山を選択してください。
- ②表示させる日時の範囲を指定し、「再読み込み」をクリックする。
- ③「SARデータ (スラントレンジ変化)」→「(SAR衛星名) (SARセンサー名) (観測モード)」→「(軌道番号)」下にデータが格納されています。例えばSAR衛星名には "ALOS2", SARセンサー名には "PALSAR-2", 観測モードには "SM1", 軌道番号は "023" と記載されています。
- ④表示させたい画像ペアにチェックを入れることで干渉画像がGIS上に自動で表示されます [注意点1]。画像ペアの日付は "yymmdd" 形式で表示しています。複数の画像ペアにチェックを入れた場合には、複数の干渉画像から求まる位相差を重ね合わせた結果を表示します。

注意点 1

SARデータの読み込み・表示には時間を要します。重ね合わせる干渉画像のデータ数が多いほど表示のための処理に時間を要します。

図示方法の変更

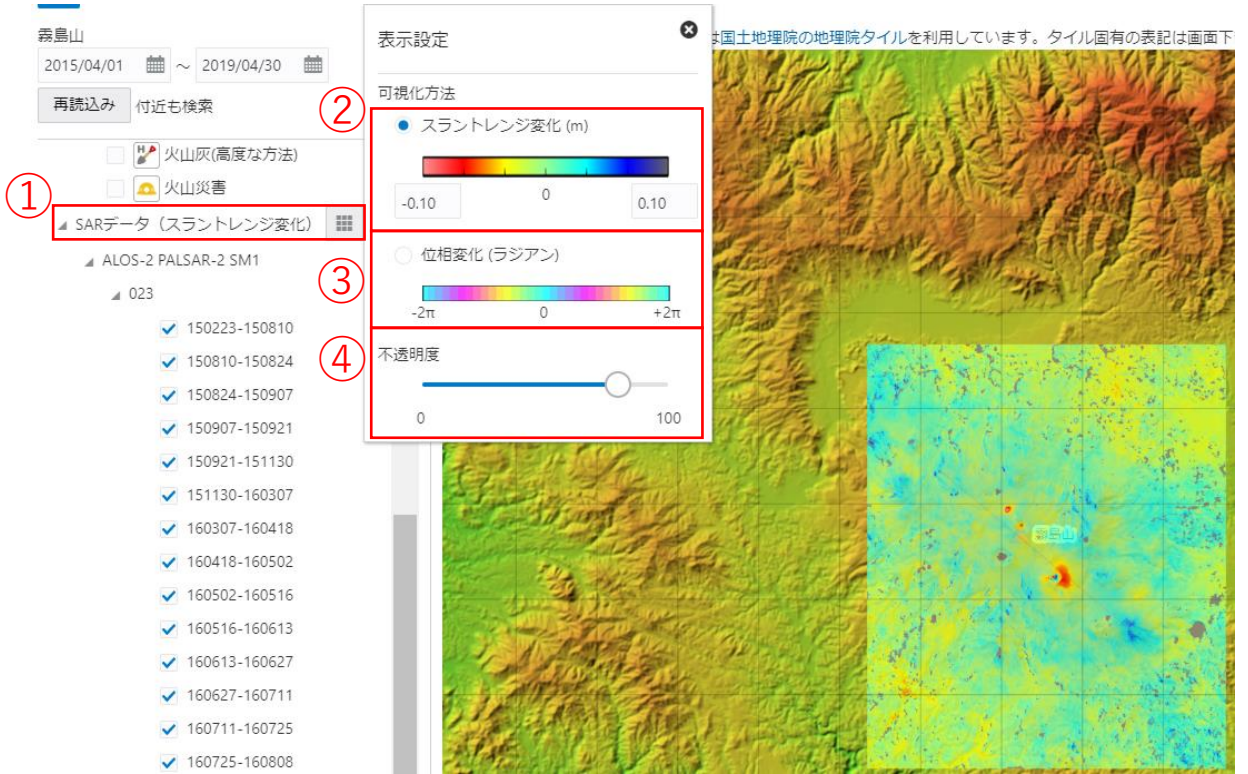


図5 色調調整画面

GIS上での位相変化の色調 (時系列データのみ) と透明度を調整することができます。

- ① 「SARデータ (スラントレンジ変化)」右横の四角ボタンを押すと、色調調整画面が表示されます。
- ② 色調を (メートル) で表示します。カラーマップの最大値と最小値は任意の値を使用できます (図6)。
- ③ 位相変化をradian表記で周期的なカラーマップで表示します。マイクロ波の位相と対応しています (図7)。
- ④ 不透明度を調整できます。値を大きくするほど干渉画像の透明度を小さくできます。

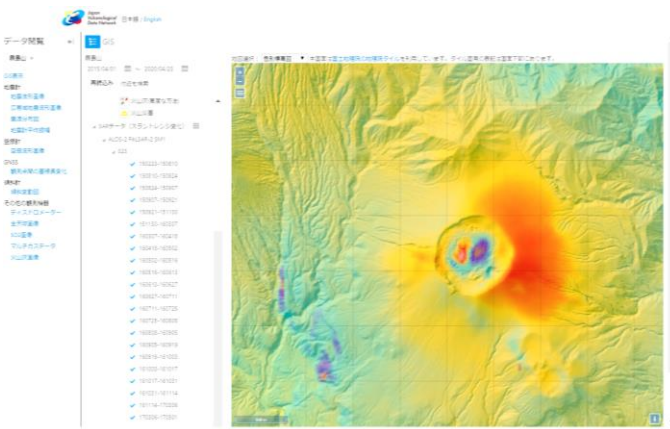


図6 スラントレンジ変化表示例 [新燃岳]

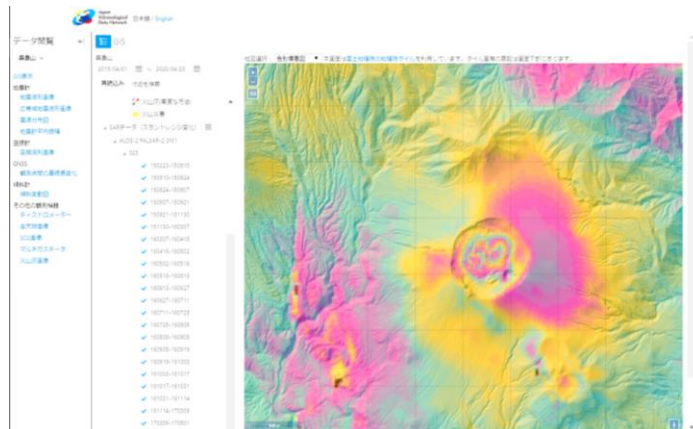


図7 位相変化表示例 [新燃岳]

火山活動に関する変化の例

2015年桜島ダイク貫入イベントを例に

火山性地殻変動は一般的に振幅が小さいため、後述の誤差との分離が不可欠である。特に対流圏伝搬遅延による誤差は地形に相関して現れる傾向にあり、山体直下で（例えばマグマ供給源の圧力変化に伴って）同心円状に地殻変動が生じる場合には注意が必要である。JVNDNシステムでは複数のInSARの結果を足し合わせる機能があり、対流圏伝搬遅延による誤差を低減させた結果を表示させることができる。

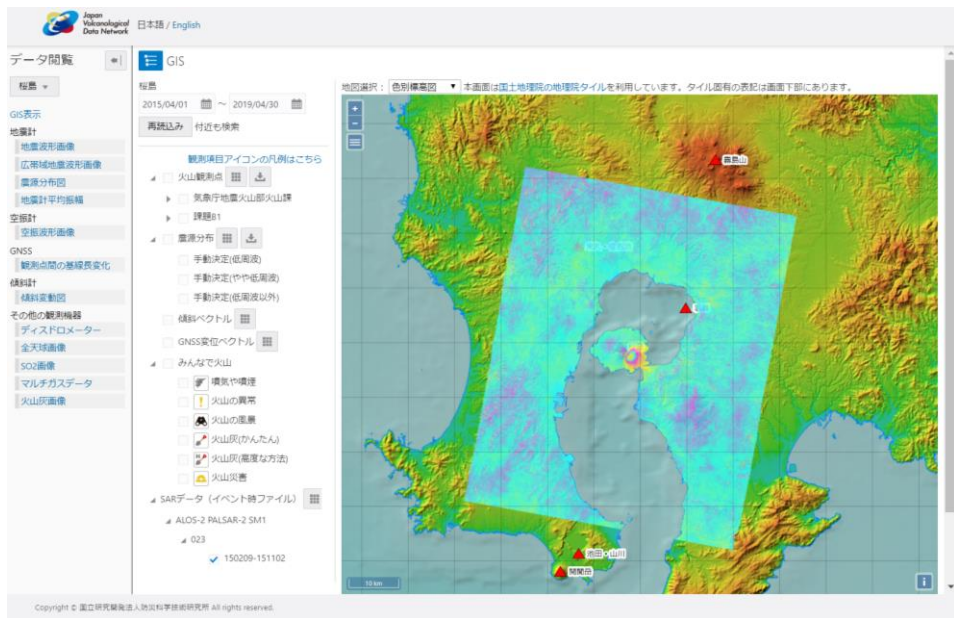


図8 2015年桜島ダイク貫入イベントを対象とした干渉画像

火山活動に直接関係ない誤差の例

非干渉領域

散乱特性が大きく変化した場合には干渉性が低下するため、干渉画像が示す位相差の信頼性も下がります。干渉性が低下した領域（非干渉領域）は位相がばらつくために、ざらざらと砂をまいた模様が表されます（図9）。散乱特性が大きく変化する例として、植生の生育や積雪、土砂崩れ、降灰が地表を被覆した場合などが挙げられます。またもともとマイクロ波が散乱しにくい領域においても非干渉領域になります。例えば地表面が平坦な滑走路や水面などが挙げられます。

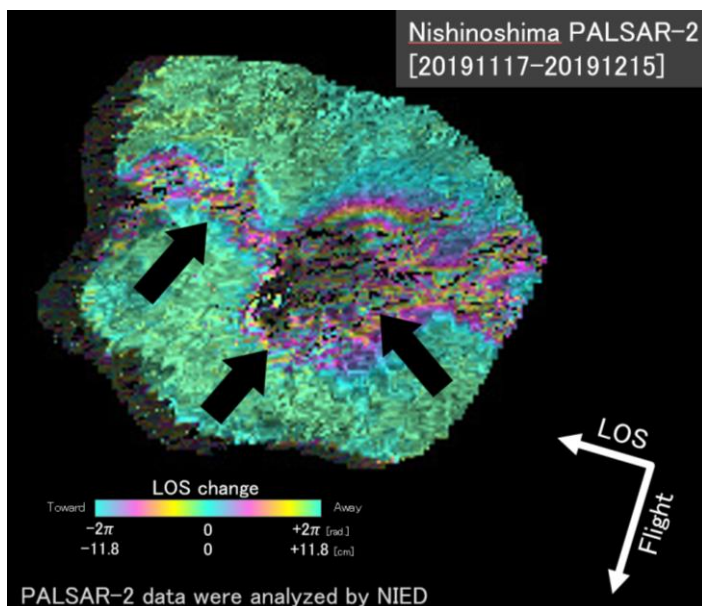


図9 非干渉領域が現れる例 [西之島]。黒矢印で溶岩流の被覆による散乱特性の変化により非干渉領域となった。

対流圏伝搬遅延

干渉画像には大気中の水蒸気。一般的には地形に相関した位相差が現れる場合がありますが、積乱雲が発達していた場合には、その分布を反映してしまう場合があります。対流圏伝搬遅延による誤差の振幅是水蒸気量に応じて大きくなりますが、おおむね最大5cm程度の誤差が現れる場合があります。対流圏伝搬遅延による誤差はカオス的に現れると仮定すると、重ね合わせる画像の数が多いほど対流圏伝搬遅延に由来する誤差を低減させることができる場合があります（図10, 11）。JVDNシステムではGIS上でInSARの結果を足し合わせた結果を表示することができます。

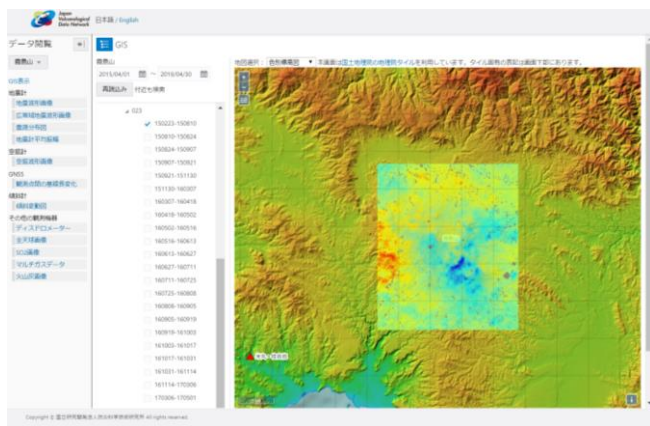


図10 単一干渉画像の例 (150223-150810)

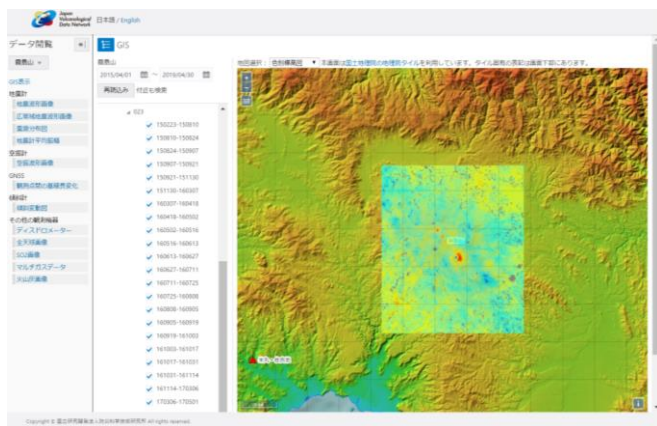


図11 26枚の干渉画像を足し合わせた結果の例

JVDNシステムからダウンロードできるファイル

ダウンロードできるファイルの概要

JVDNシステムからSARデータをダウンロードする際には干渉画像のほかにGISの表示に便利なファイルが格納されています。ダウンロードする際に含まれる以下のファイルが含まれます。時系列データ (TS) とイベントデータ (EVENT) で含まれるファイルが異なります。

ファイル名	時系列データ	イベントデータ	説明
(軌道番号)-elev.grd	○	○	標高データ (grid)
(軌道番号)-lose.grd	○	○	入射方向単位ベクトル東西成分 (grid)
(軌道番号)-losn.grd	○	○	入射方向単位ベクトル南北成分 (grid)
(軌道番号)-losu.grd	○	○	入射方向単位ベクトル上下成分 (grid)
(軌道番号).par	○	○	パラメータファイル (ascii)
(観測日1)-(観測日2)-dslnt.grd	○	○	スラントレンジ変化 (grid)
(観測日1)-(観測日2)-filelist.txt	○		足し合わせた干渉画像一覧 (ascii)
(観測日1)-(観測日2)-int.kmz		○	干渉画像 (kmz)
(観測日1)-pwr.kmz		○	観測日1の散乱強度画像 (kmz)
(観測日2)-pwr.kmz		○	観測日2の散乱強度画像 (kmz)
term-of-use.txt	○	○	利用規約 (ascii)
sensor.txt	○	○	SARセンサーに関する情報ファイル (ascii)

補足情報

- 観測日はいずれも“yymmdd”形式で表記されています。
- パラメータファイル (*.par) には観測に関する情報 (マイクロ波波長や電波入射角度、衛星飛行方位など) が含まれます。
- 時系列データにおけるスラントレンジ変化ファイル (*dslnt.grd) はGIS上に表示した複数の干渉画像の足し合わせによって求めたスラントレンジ変化のgridファイルが含まれます。足し合わせた干渉画像の一覧は*-filelist.txtに含まれます。
- 利用規約 (term-of-use.txt) にはSARデータ利用に関する規約が含まれます。利用に際して「その他 (SARデータを利用する際の注意点: 謝辞の記載)」も確認してください。
- センサー情報ファイル (sensor.txt) にはセンサーに関する情報 (衛星名など) が含まれます。

Generic Mapping Toolbox (GMT) による描画例

JVDNシステムからダウンロードしたデータはGeneric Mapping Toolbox (GMT) による描画に便利なgridファイルとして配布しています。GMT (ver4.X) (bash環境) による描画例を以下に示します (図12)。(例として観測日1: 161114, 観測日2: 170918, パス番号: 023とします。)

```
## ファイル名指定
$ losf=161114-170918-dslInt.grd # 表示させるgridファイル (入力)
$ elevf=023-elev.grd # 標高gridファイル (入力)
$ elevg=023-elev-grad.grd # 標高陰影gridファイル (出力)
$ outf=SARImage.ps # 出力ファイル名 (出力)
$ ccpt=colormap.cpt # スラントレンジ変化用cptファイル名 (出力)
$ gcpt=graymap.cpt # 標高データ用cptファイル名 (出力)
## 変数設定
$ mscale=1:1000000 # 地図縮尺
$ crange=-0.15/0.15/0.02 # カラーパレット最小・最大・間隔。スラントレンジ変化 [m]
$ grange=0/2500/200 # カラーパレット最小・最大・間隔。標高 [m]

$ xmin=`grdinfo ${losf}| grep x_min| awk '{print $3}'` #描画範囲抽出 (xmin)
$ xmax=`grdinfo ${losf}| grep x_max| awk '{print $5}'` #描画範囲抽出 (xmax)
$ ymin=`grdinfo ${losf}| grep y_min| awk '{print $3}'` #描画範囲抽出 (ymin)
$ ymax=`grdinfo ${losf}| grep y_max| awk '{print $5}'` #描画範囲抽出 (ymax)

## カラーパレット作成
$ gmtset D_FORMAT %.0lf # 有効数字設定
$ makecpt -Cjet -T${crange} -Z > ${ccpt} # スラントレンジ変化表示用cptファイル作成
$ makecpt -Cgray -T${grange} -Z > ${gcpt} # 標高データ用cptファイル作成
## 地形陰影図作成
$ grdgradient ${elev} -G${elevg} -A30 -Ne0.6
## 描画
$ grdimage -Jm${mscale} -R${xmin}/${xmax}/${ymin}/${ymax} -C${gcpt} ${elevf} -I${elevg} -K > ${outf}
$ grdimage -J -R -C${ccpt} ${losf} -I${elevg} -Q -O >> ${outf}
```

gridファイルからasciiファイルへの変換

JVDNシステムからダウンロードしたgridデータは以下のコマンドでasciiファイルへ変換することができます (図13)

```
$ grd2xyz -S 161114-170918-dslInt.grd > t1 #スラントレンジ変化
$ grd2xyz -S 023-lose.grd > t2 # 東西成分
$ grd2xyz -S 023-losn.grd > t3 # 南北成分
$ grd2xyz -S 023-losu.grd > t4 # 上下成分
$ paste t1 t2 t3 t4 | awk '{print $1,$2,$3,$6,$9,$12}' > SARlos023_161114_170918.dat #経度, 緯度, 変化量, LOS (東西), LOS (南北), LOS (上下)
```

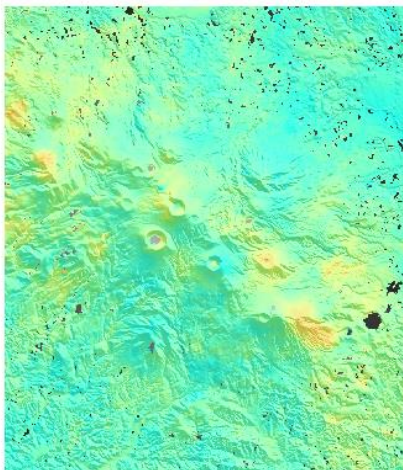


図12 GMTによる161114-170918.dslInt.grdの描画例 [新燃岳]

```
130.76694444 32.03305556 -0.00005621 -0.58182065 0.10648455 -0.80689287
130.76722222 32.03305556 -0.00482315 -0.58100140 0.10648219 -0.80690688
130.76750000 32.03305556 -0.00426715 -0.58097857 0.10647954 -0.80692369
130.76777778 32.03305556 -0.00640446 -0.58096063 0.10647772 -0.80693698
130.76805556 32.03305556 -0.00533770 -0.58094645 0.10647629 -0.80694785
130.76833333 32.03305556 -0.00502063 -0.58092582 0.10647427 -0.80696255
130.76861111 32.03305556 -0.00295989 -0.58089560 0.10647041 -0.80698040
130.76888889 32.03305556 -0.00399080 -0.58088318 0.10646612 -0.80700050
130.76916667 32.03305556 -0.00172738 -0.58085326 0.10646223 -0.80703092
130.76944444 32.03305556 -0.00030225 -0.58080798 0.10645899 -0.80704921
130.76972222 32.03305556 -0.00222078 -0.58077329 0.10645448 -0.80707473
130.77000000 32.03305556 -0.00342651 -0.58074772 0.10645116 -0.80709268
130.77027778 32.03305556 -0.00230652 -0.58071947 0.10644765 -0.80711448
130.77055556 32.03305556 -0.00366233 -0.58069783 0.10644516 -0.80713834
130.77083333 32.03305556 -0.01063042 -0.58067775 0.10644304 -0.80714512
130.77111111 32.03305556 -0.01093065 -0.58066320 0.10644039 -0.80716163
130.77138889 32.03305556 -0.00855622 -0.58063608 0.10643749 -0.80717987
130.77166667 32.03305556 -0.00829996 -0.58060420 0.10643435 -0.80719930
130.77194444 32.03305556 -0.00077757 -0.58058393 0.10643214 -0.80721444
130.77222222 32.03305556 -0.00063618 -0.58056891 0.10643061 -0.80724983
130.77250000 32.03305556 -0.00177041 -0.58055443 0.10642949 -0.80723568
130.77277778 32.03305556 -0.00138819 -0.58052278 0.10642543 -0.80725902
130.77305556 32.03305556 -0.00000700 -0.58049655 0.10642199 -0.80727834
130.77333333 32.03305556 -0.00021527 -0.58046550 0.10641807 -0.80730116
130.77361111 32.03305556 -0.00033960 -0.58044106 0.10641493 -0.80731910
130.77388889 32.03305556 -0.00186246 -0.58041304 0.10641146 -0.80733967
130.77416667 32.03305556 -0.00229490 -0.58038151 0.10640749 -0.80736291
130.77444444 32.03305556 -0.00185504 -0.58035201 0.10640364 -0.80738473
130.77472222 32.03305556 -0.00068313 -0.58032966 0.10640004 -0.80740082
130.77500000 32.03305556 -0.00201320 -0.58030516 0.10639607 -0.80741870
130.77527778 32.03305556 -0.00476311 -0.58028091 0.10639197 -0.80743894
130.77555556 32.03305556 -0.00275843 -0.58026320 0.10639332 -0.80744976
130.77583333 32.03305556 -0.00373997 -0.58024216 0.10639100 -0.80746520
130.77611111 32.03305556 -0.00233082 -0.58021659 0.10638802 -0.80748131
130.77638889 32.03305556 -0.00687590 -0.58019602 0.10638577 -0.80749899
130.77666667 32.03305556 -0.00136204 -0.58017208 0.10638286 -0.80751669
130.77694444 32.03305556 -0.00339669 -0.58014321 0.10637923 -0.80753785
130.77722222 32.03305556 -0.00286673 -0.58012033 0.10637623 -0.80754572
130.77750000 32.03305556 -0.00475052 -0.58008856 0.10637224 -0.80757791
130.77777778 32.03305556 -0.00395110 -0.58005929 0.10636853 -0.80759960
130.77805556 32.03305556 -0.00292000 -0.58003384 0.10636539 -0.80761808
```

図13 出力テキストファイル例 (SARlos023_161114_170918.dat)

SARデータを使用する際の注意点: 謝辞の記載

JVDNシステムより取得したデータを学会発表や論文などで使用する際には、以下の謝辞を記載してください。衛星ごとに記載すべき文章が異なりますので注意してください。

- ALOS/PALSAR: (データ準備中)
日本語: PALSARに関する地殻変動データは次世代火山研究推進議場課題Bサブテーマ2において得られたものであり、Japan Volcanological Data Network (JVDN, <https://jvdm.bosai.go.jp/>) から取得した。PALSARデータはPIXELで共有しているものであり、その所有権は宇宙航空研究開発機構と経済産業省にある。
English: Crustal deformations from PALSAR are results on the Next Generation Volcano Research sub-theme B-2, and they are available on Japan Volcanological Data Network (JVDN) website (<https://jvdm.bosai.go.jp/>). These results are derived from PALSAR data shared in PIXEL. The ownership of PALSAR data belongs to JAXA and METI.
- ALOS-2/PALSAR-2:
日本語: PALSAR-2に関する地殻変動データは次世代火山研究推進議場課題Bサブテーマ2において得られたものであり、Japan Volcanological Data Network (JVDN, <https://jvdm.bosai.go.jp/>) から取得した。PALSAR-2データはPIXELで共有しているものであり、その所有権は宇宙航空研究開発機構にある。
English: Crustal deformations from PALSAR-2 are results on the Next Generation Volcano Research sub-theme B-2, and they are available on Japan Volcanological Data Network (JVDN) website (<https://jvdm.bosai.go.jp/>). These results are derived from PALSAR-2 data shared in PIXEL. The ownership of PALSAR-2 data belongs to JAXA.
- Sentinel-1:
日本語: Sentinel-1に関する地殻変動データは次世代火山研究推進議場課題Bサブテーマ2において得られたものであり、Japan Volcanological Data Network (JVDN, <https://jvdm.bosai.go.jp/>) から取得した。Sentinel-1データはCopernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>)から取得したものであり、その所有権は欧州宇宙機構 (ESA) にある。
English: Crustal deformations from Sentinel-1 are results on the Next Generation Volcano Research sub-theme B-2, and they are available on Japan Volcanological Data Network (JVDN) website (<https://jvdm.bosai.go.jp/>). These results are derived from Sentinel-1 data downloaded from Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>). The ownership of Sentinel-1 data belongs to ESA.

SAR	: 合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar).
InSAR	: SAR干渉法 (Interferometric SAR).
ALOS	: Advanced Land Observing Satellite.
PALSAR	: Phased Array type L-band SAR.
L-band	: マイクロ波の周波数帯のひとつ。ALOS・ALOS-2ではおよそ1.3GHzのマイクロ波が用いられる。
干渉画像	: InSARによる解析結果。空間的に位相差 (radian) を表している。
スラントレンジ変化	: InSARによって求めた位相差 (radian) を距離 (m) に変換したもの。地殻変動ベクトルと電波入射方向ベクトルの内積値。衛星-地表間距離の変化を示す。
散乱強度画像	: 地表で散乱したマイクロ波の振幅を表した画像。

参考になる文献

・地震調査研究推進本部地震調査委員会

「合成開口レーダーによる地震活動に関連する地殻変動観測手法」報告書

<https://www.jishin.go.jp/main/eisei/index.htm>