

5. 差分干渉 SAR による解析

5.1 解析の流れ

差分干渉 SAR の解析処理のフローを以下に示す。また、解析には、スイスのガンマ社が開発したソフトウェアである「GAMMA SAR」を使用した。

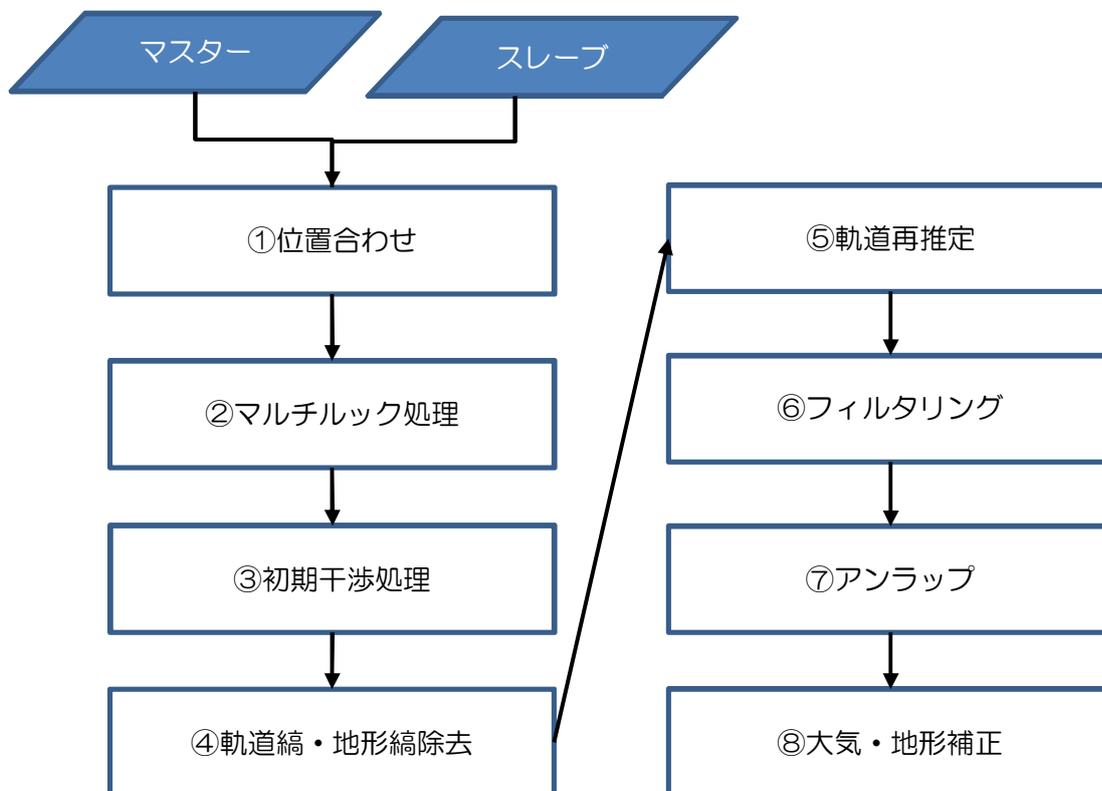


図 5.1 差分干渉 SAR の処理フロー

① 位置合わせ

SAR により取得された 2 時期のデータは、画像上で同じ位置になっていない。これは軌道が少しずつれていることに起因している。干渉処理では、画像の同じピクセルを処理するため、取得したデータが同一のピクセルにある必要がある。このため位置合わせを実施する。

位置合わせは、サブピクセルオーダーで実施され、2 時期の画像の相互相関を計算し、最も相関が高い時の位置をもとに位置合わせを行う。

② マルチルック処理

SAR 画像はそのままの解像度では、スペックルノイズなどのノイズが多い。そのため、マルチルック処理をして、空間的に平均化処理を実施し、干渉性を高くする。本業務では、レンジ方向に 4、アジマス方向に 4 のマルチルック処理を実施し、ノイズを低減させた。

③ 初期干渉処理

初期干渉処理では、マルチルック画像の各ピクセルの位相差及びコヒーレンスを計算し、干渉画像を作成する。このとき作成される画像を初期干渉縞という。初期干渉縞には、人工衛星の軌道による縞（図 5.2 の斜めの縞）と地形による縞（図 5.2 の歪んで見える縞）及び大気や電離層などのノイズによる縞が含まれている。

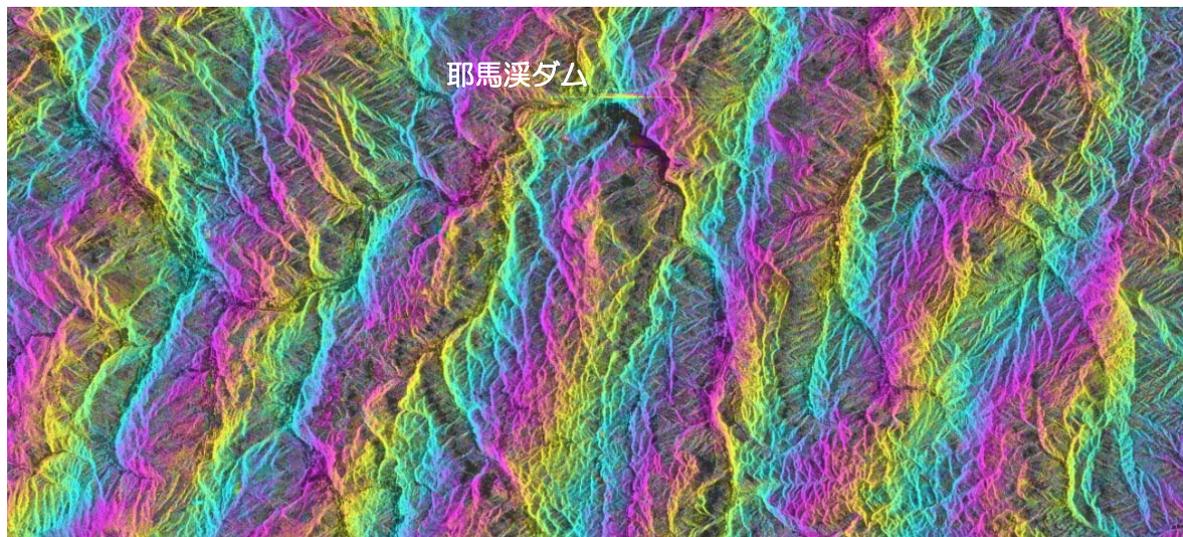


図 5.2 耶馬溪周辺の初期干渉縞

④ 軌道縞と地形縞の除去

取得したデータの軌道情報と参照する DEM（ここでは、ジオイドを考慮した国土地理院の数値標高モデル 10m）を用いて、図 5.3 に示すように軌道の違いに起因する軌道縞と地形に起因する軌道縞をシミュレートする。図 5.4 及び図 5.5 は、図 5.3 を軌道縞と地形縞に分けたものである。初期干渉縞から、作成した軌道縞・地形縞のシミュレーション画像を差し引くことで、初期干渉縞から軌道縞と地形縞を取り除く。この画像を地盤変化に起因する変動縞という（図 5.6）。ただし、この時点の変動縞には、大気や電離層などのノイズも含まれる。



図 5.3 シミュレートした軌道縞と地形縞

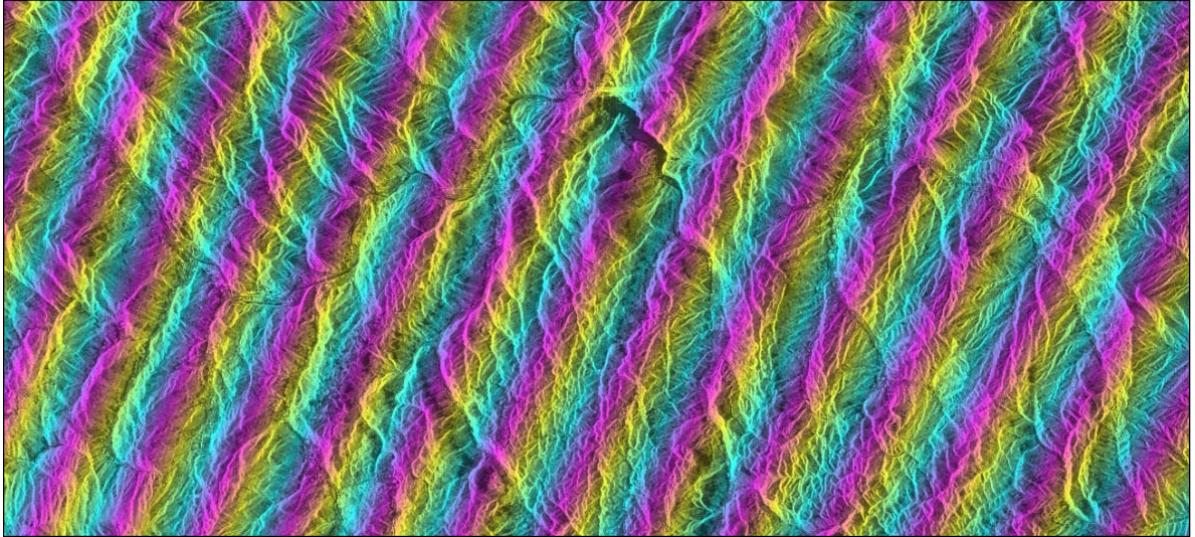


図 5.4 シミュレートした軌道縞

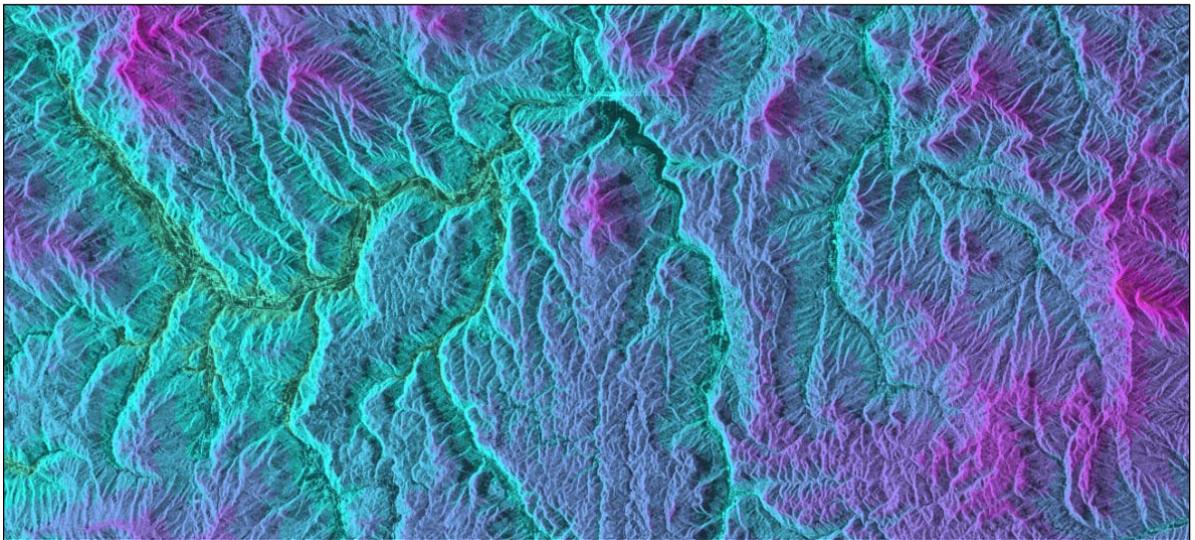


図 5.5 シミュレートした地形縞

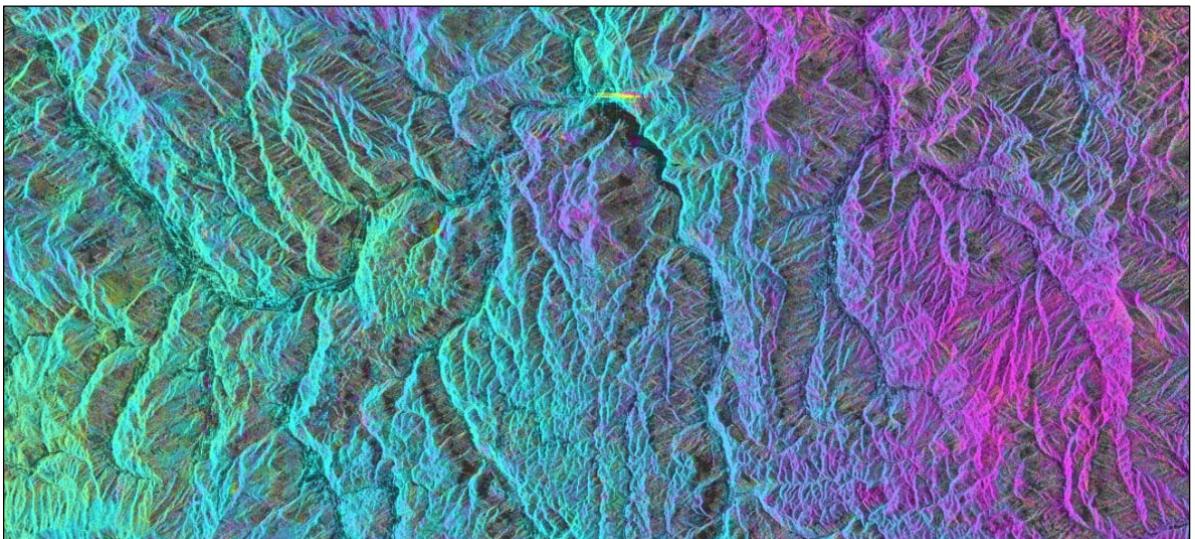


図 5.6 変動縞の画像（差分干渉画像）

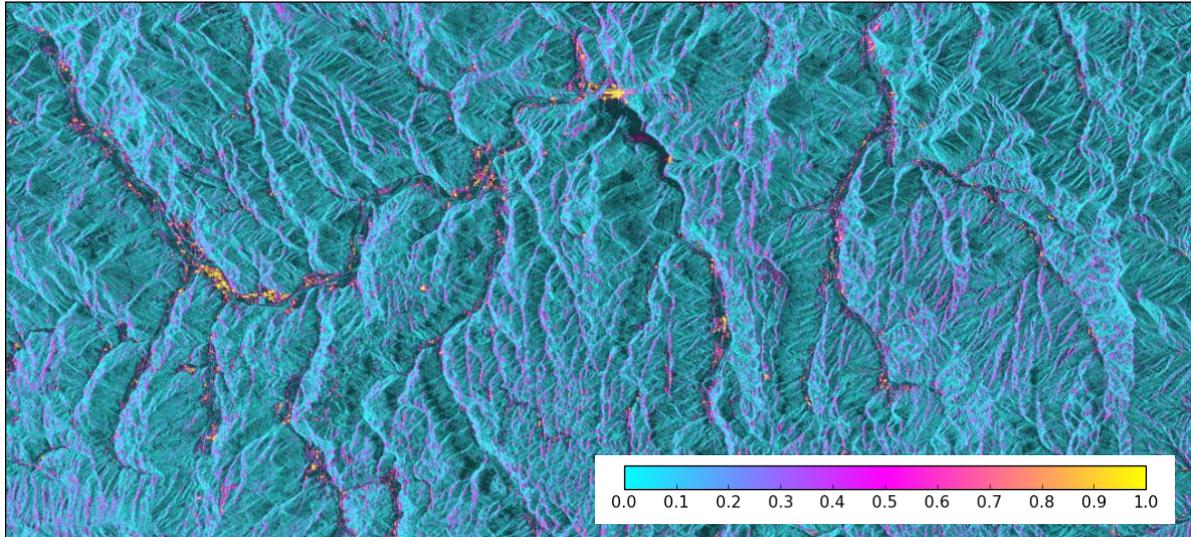


図 5.7 コヒーレンス画像

⑤ 軌道再推定

④で作成した変動縞から、軌道を再推定することで、初期干渉縞作成時に推定した軌道を補正することができるため、より高精度に軌道を推定する。

⑥ フィルタリング処理

④で作成した変動縞を見ると、コヒーレンスが低いことに起因するノイズ（さまざまな色で構成されてザラザラしているところ）が見られる。変動縞から変位量を算出するためには、なるべくノイズが少ないことが望ましいことから、平滑化フィルタを適用する。このフィルタには、Goldstein and Werner のフィルタ処理を適用した。フィルタ係数は 1.0 で、ウィンドウサイズは 32 とした。

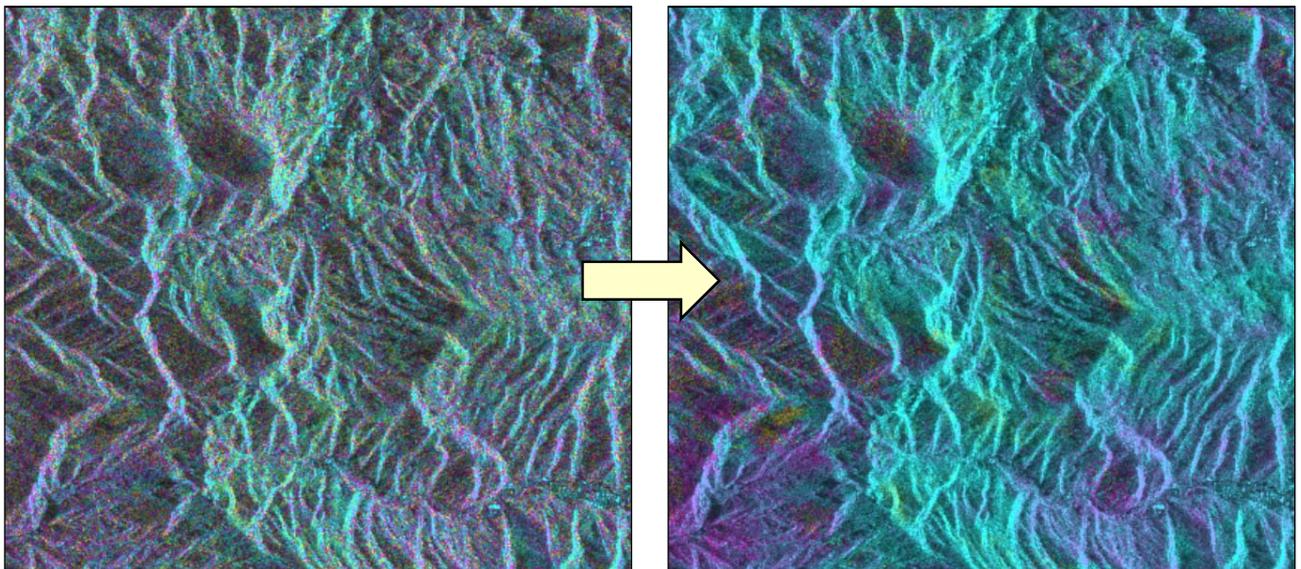


図 5.8 軌道再推定→フィルタリング処理後の変動縞

変動縞は、斜面変位が生じている場所において、周囲と比較して色が変わって見えるため、このような場所を判読する。

⑦ アンラップ

変動縞は $-\pi \sim \pi$ の値の繰り返し（ラップされている）で表現されているため、ある任意の不動点を基準として、不動点からの値にアンラップする必要がある。アンラップの手法にはブランチカット法やMCF（Minimum Cost Flow）などがあるが、本業務ではMCF法を採用した。

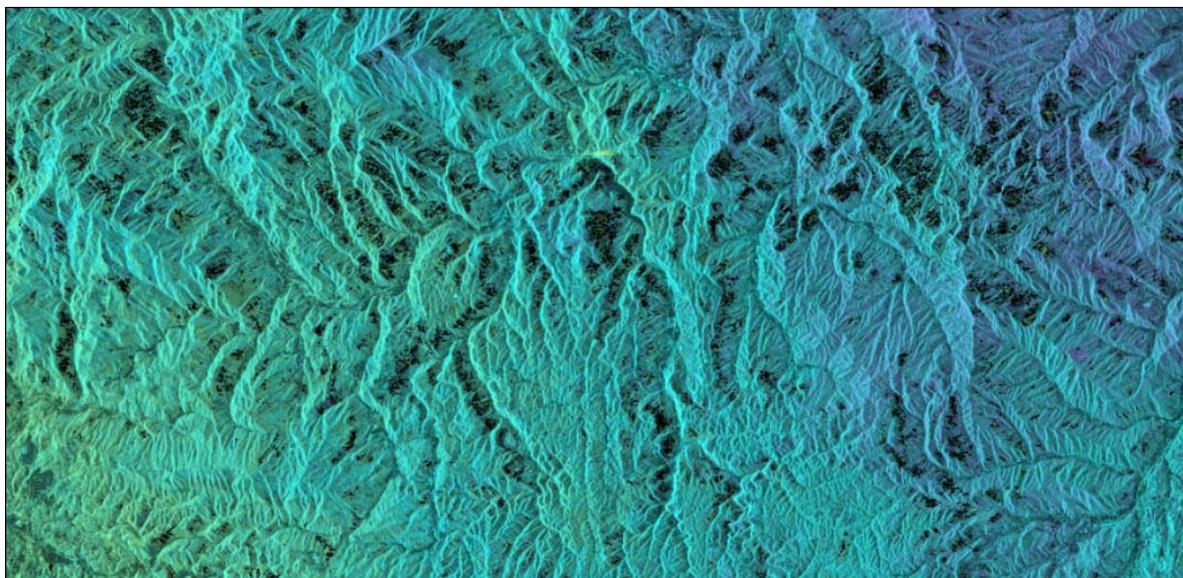


図 5.9 アンラップ後

⑧ 大気地形補正

差分干渉 SAR 解析の結果、得られる変動縞及びアンラップ画像には、観測時の大気状況によるノイズが含まれている。このノイズは地形（標高）に相関した値として現れることが多いため、DEM とアンラップ画像から、地形（標高）相関している位相を算出して、地形（標高）に依存するノイズを除去した。

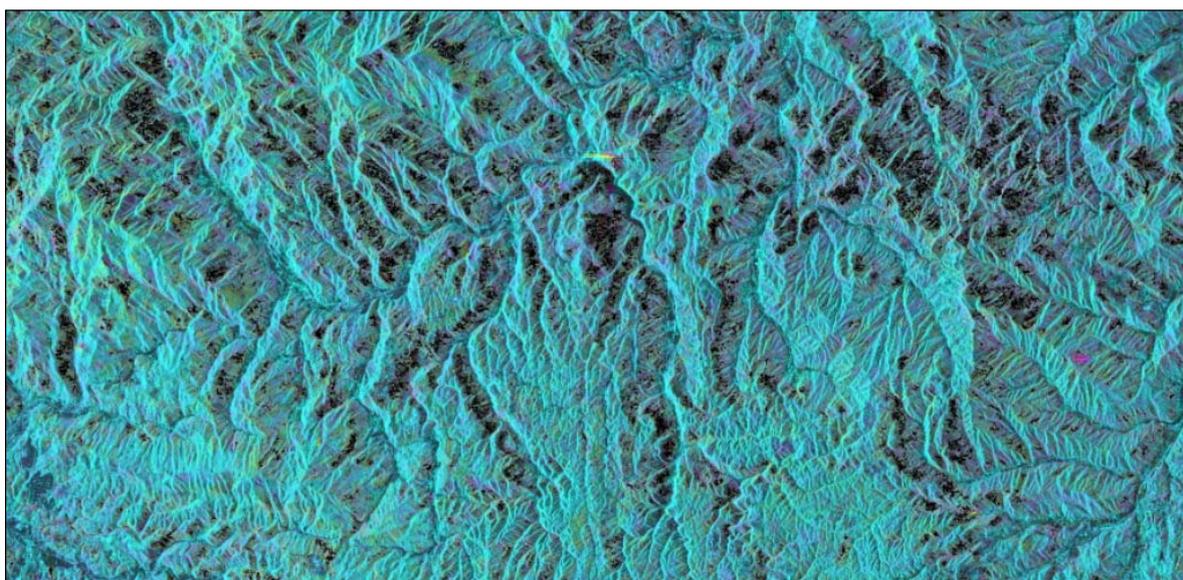


図 5.10 地形相関除去後の変動縞

5.2 標高モデルの作成

合成開口レーダにより取得されるデータは地形による影響を受けているため、5.1 の④のように地形による干渉縞が現れる。特に山地では顕著に表れる。この影響を除去するため、地形のデータが必要となる。この地形データには、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルを利用することとした。ここで数値標高モデル（以下、DEM）の解像度は10mとなっている。このDEMは国土地理院にユーザ登録することにより無償でダウンロードすることができる。

また、差分干渉SAR解析は解析に楕円体高が必要になるため、作成したDEMに国土地理院のジオイド・モデルである「日本のジオイド2011 Ver2」を加えた。

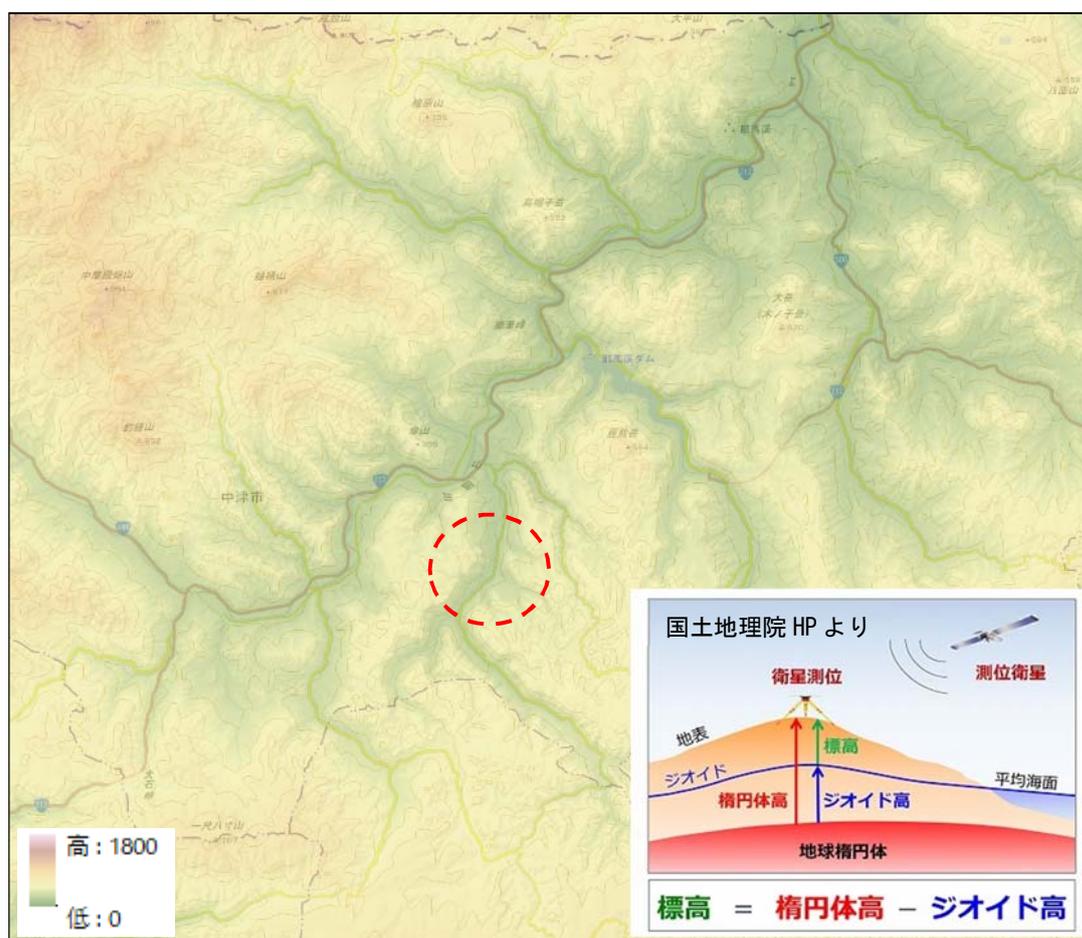


図 5.11 梶ヶ原周辺のDEM

5.3 パラメータの調整

パラメータの調整は、5.1 の①、②、⑥及び⑧で必要となる。ここでは、設定したパラメータを示す。

5.3.1 位置合わせ

SARにより取得された2時期のデータは、画像上で同じ位置になっていない。これは軌道が少しずつれていることに起因している。干渉処理では、取得したデータが同一のピクセルにある必要がある。位置合わせは、サブピクセルオーダーで実施され、2時期の画像の相互相関を計算し、最も相関が高い時の位置をもとに位置合わせを行う。この位置合わせに利用するパラメータは、相互相関を計算するための