

マルチモード GAMMA 可搬式レーダ干渉計 (GPRI) とその応用例

Andreas Wiesmann¹, Charles Werner¹, Tazio Strozzi¹, Andrew Kos^{2,3}, Rafael Caduff^{1,2}, Jessica Papke^{1,4}, and Urs Wegmüller¹

¹ GAMMA Remote Sensing AG, Gümligen, Switzerland, email: gamma@gamma-rs.ch

² ETH Zürich, Institute for Geotechnical Engineering, Switzerland

³ Terrasense Switzerland AG, Werdenberg, Switzerland

⁴ Dept. of Geography, University of Leicester, UK

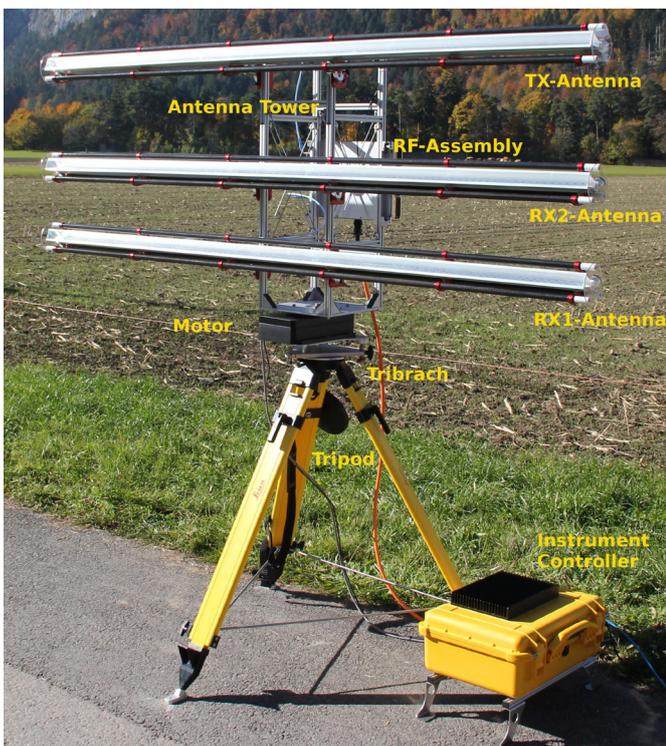
GPRI プロジェクト

人工衛星の合成開口レーダ (SAR) は土地利用のマッピングや地盤変動の観測に広く使用され、成果を上げてきました。従来の SAR センサは L バンドや C バンドで動作しますが、最近のセンサは X バンドで動作します。CoReH20 ミッションは X バンドや Ku バンドで動作するよう設計されています。そのため、Ku バンドを使った地上目標物の観測において電波と目標物の相互作用をもっとよく理解したいというニーズがあります。

全く新しい可搬式レーダ干渉計 (GPRI) の開発はスイス宇宙局の支援で実現しました。完全にコヒーレントな実開口レーダは Ku バンドで動作し、新しいアプリケーションの可能性をもたらします。既存の機器と比較すると GPRI の利点は以下の点にあります：

- 可搬性 (ほとんどどんな場所でも設置可能です)
- 迅速な画像取得 (秒オーダー)
- 移動する目標物を撮像するときでもピンぼけになりにくい
- 設置・分解時間の低減
- 観測範囲の広さ

いくつかの観測活動が氷河、岩石氷河、不安定な岩石傾斜、橋の振動、河川の流れ、コーナーリフレクタの変位などの様々な種類の観測対象に対して行われ、成功を収めてきました。いくつかの観測対象については、Cosmo、TerraSAR-X、Radarsat-2 などの衛星データが FP7 プロジェクト DORIS より入手できました。GPRI を使って得られた観測結果および開発された処理技術により、GPRI がメートル/秒からミリメートル/年といった幅広い変位速度の計測において非常に高い潜在能力を有することが示されました。



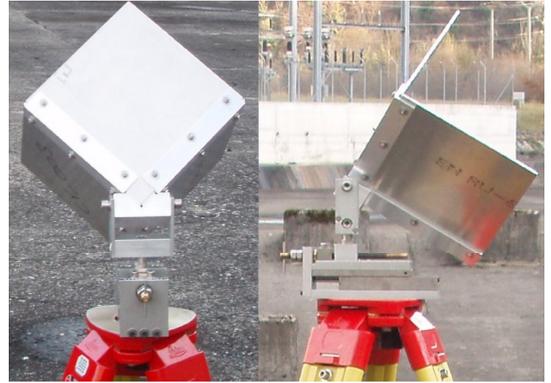
装置仕様

周波数帯域	17.1 ~ 17.3 GHz
アンテナパターン	アジマス方向ビーム幅 0.5度 3dB 高さ方向ビーム幅 35度 3dB ピークサイドローブ: -15dB サイドローブ (1-way)
レーダタイプ	周波数変調連続波 (FM-CW) 方式、 チャープ時間 0.2 ~ 16 ms
レーダ観測距離	50 m ~ 10 km
システムクロック	100 MHz 水晶発振器 (低位相ノイズ、 温度制御)
アンテナ送信電力	100 mW 未満 (+20 dBm)
チャープ帯域幅	最大 200 MHz (プログラム可能)
レンジ分解能	1.0m (200 MHz のチャープ信号と カイザーウィンドウ重み付け)
アジマス解像度 (-3 dB)	8m @ 1 km, スラントレンジに比例
AD 変換	14 ビット, デュアルチャンネル, 6.25 MHz サンプルクロック
推定消費電力	最大: 65W, 110 ~ 220VAC, もしくは 24 VDC
コントローラ	Dual-Core CPU の mITX コンピュータ Linux OS (オンザフライでの データ解析が可能)
アジマススキャン時間	20 秒未満で 180 度の走査
レーダ重量	45kg 未満
レーダ寸法	高さ約 220cm

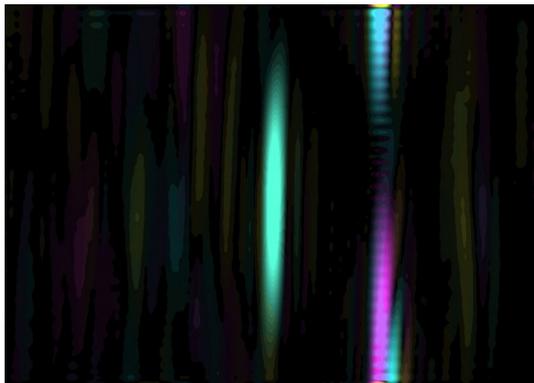
測定モード

後方散乱画像

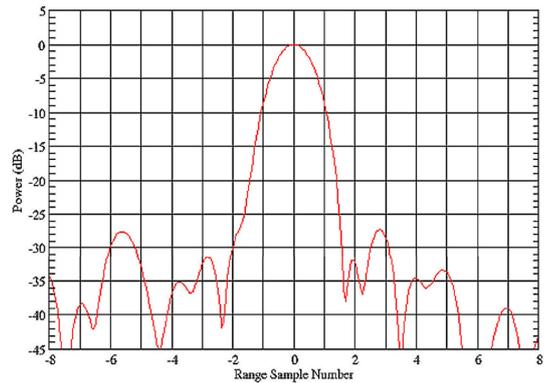
GPRI を放射シグネチャの研究に利用する場合は (例えば CoReH20)、レーダの後方散乱画像の校正が重要です。絶対的および相対的ラジオメトリック校正によって異なる位置や時間に得られたレーダの後方散乱の比較が可能です。これらのデータは、モデルやシミュレーションからのレーダ散乱断面積の推定値と比較することができます。最終的には、校正されたレーダ画像のシグネチャは観測やモデルと組み合わせて様々な地球物理学的パラメータの推定に利用できます。



放射校正用の方形3面コーナリフレクタ (20x20x20 cm / アルミ製)



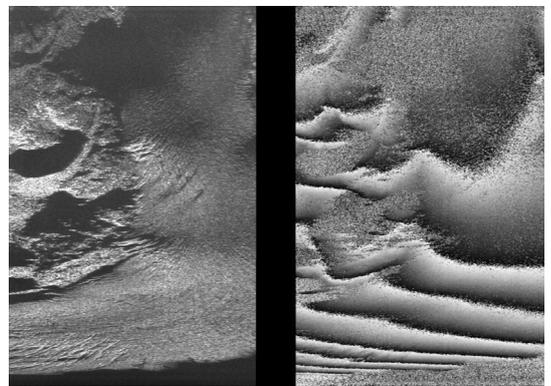
位相画像の拡大図。ポイントターゲット (水色) の応答は位相が一樣なことを示しています。



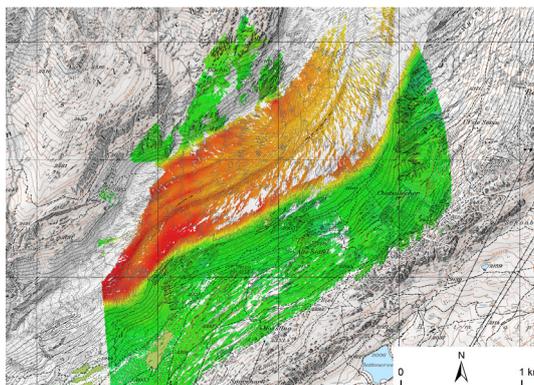
人工的なポイントターゲットによるレンジ方向のプロファイル

地形 / 体積の推定

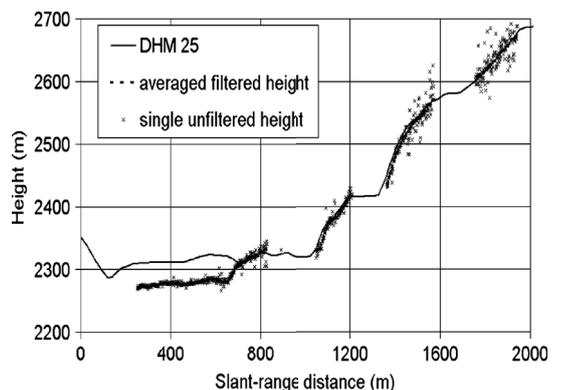
地球規模でなくても、地球観測用のレーダ干渉計を使ってレーダ照射域の地形を求めることができます。カバーする範囲が部分的であっても迅速に地形の把握が可能です。例えば、メートル規模の地滑りや気温上昇のために世界中の多くの山岳地域で増加している氷河災害の識別に使われます。地形情報が別途入手可能であれば、地上レーダ画像の正確な位置の同定が可能です。



レーダ座標での強度画像 (左) とシングルパス干渉画像 (右)。2007年9月6日ルホーネ氷河 (スイス)



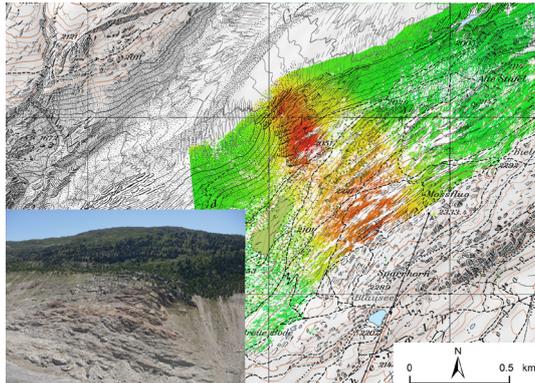
アレッチ氷河 (スイス) の 2011.06.27 ~ 2011.08.10 の間の体積変化。GPRI-II で測定。カラースケール: 赤 -5m



ルホーネ氷河先端の横断面の標高。DHM25 と GPRI の観測データ。氷河本体はスラントレンジ距離で 100 ~ 700m の位置

ゆっくりとした動き： 年間 mm から cm レベル

地滑りや落石に関連する大規模な質量移動は高山地域でよく発生します。速度の変化や新たな地滑りの引き金となる出来事であればインフラや地域社会への深刻な危険の原因となります。そのような場所の変動パターンの時系列は、短い時間スケールで変動する局在「ホットスポット」の識別や変位速度の迅速な決定を可能にします。これらのパラメータに関する知識は斜面崩壊のメカニズムを理解する鍵となり、効果的な災害軽減対策において極めて重要です。



モースフルー（スイス）の不安定な岩盤斜面。氷河後退の影響か？ジオコード済み変位マップ。
カラースケール：赤がセンサーに向かって3cm。



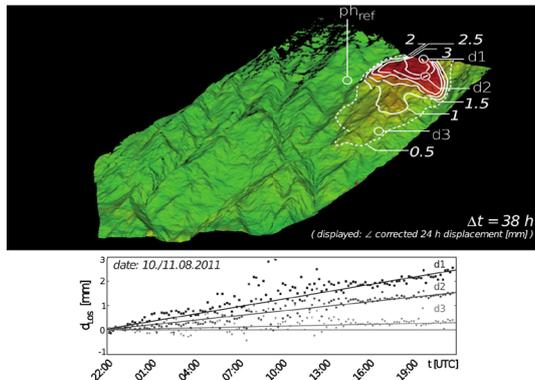
測定にはレーダ座標系での正確な再配置が必要です。長期間の観測には岩の上（左）や、コンクリート柱（右）の上に設置します。



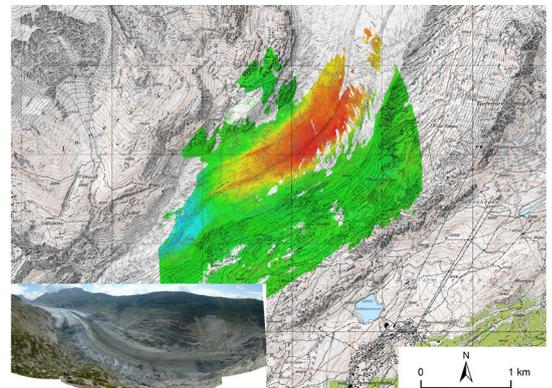
ツァーヴライラ（スイス）の岩崩れ。変位マップを地上写真にレンダリング。時間ベースライン 49 日。

速い動き： 1 日当たり mm から m レベル

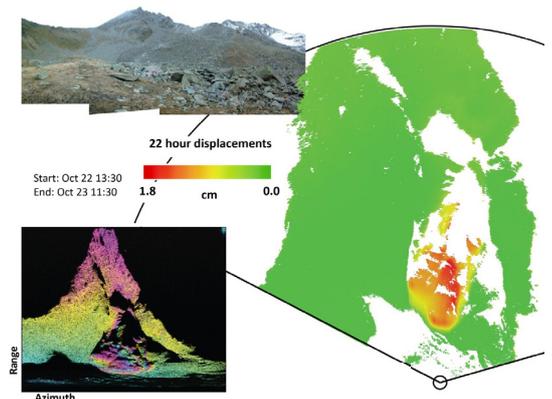
速い速度で変形する地表面は氷河や周氷河環境では一般的です。地滑りの加速局面や落石の前後では、1日当たり数メートルの地表面の変動が観測されます。GPRI-II は 1 分以内で 1 周 360°の高速シーンサンプリングが可能です。これにより、無相関とシーンの位相ロスを防ぎつつ、高密度な時系列における速い動きの検出と定量化が可能です。高速のサンプリングレートは日単位や季節単位での短時間の変動レートに関して重要なデータを提供します。



不安定な岩盤斜面の速い動き。イルグラバーの上流域（スイス）。地表面モデルに変位マップを被せた。



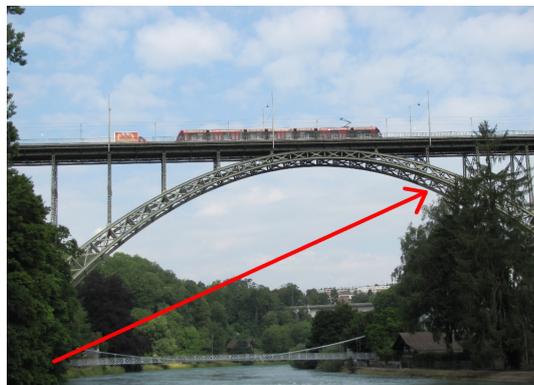
アレッチ氷河（スイス）の氷河の流れ速度の観測。ジオコード済み変位マップ。
カラースケール：青 / 赤 = -100/100 (m / 年)



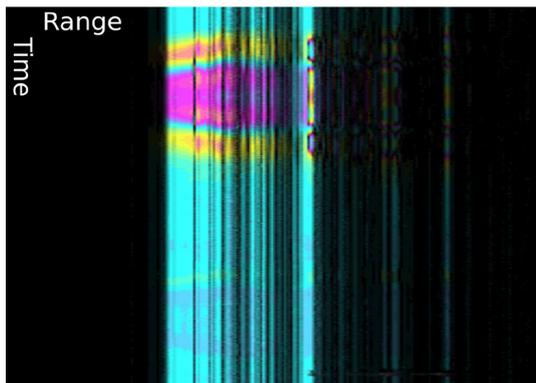
岩石氷河の変位パターン。フルクヴァングホルン（スイス）。

非常に速い動き： 秒速 mm から m レベル

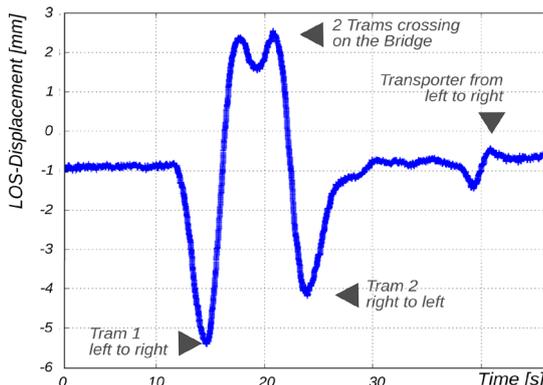
振動のように非常に速い動きの監視は、橋梁、コンクリートダム、パイプライン、建物等のインフラ監視において大きな関心が集まります。動きの測定は短時間での差分干渉をベースに行います。測定される隣接パルス間の干渉位相はインターパルス周期 (IPP) に発生した視線方向に沿った動きに比例します。IPP は 1 ミリ秒のオーダーなので、数百ヘルツまでの動きのパワースペクトルが測定可能です。



コルンハウス橋を横断するトラム。画面の方向が西。赤い矢印はレーダ中心の視線方向を示す。



コルンハウス橋の時間的変形の主要スパン (左図：トラック方向の干渉画像)。観測地点から目標位置までの距離は約 85m。サンプリングレート 2000Hz



GPRI の開発は、スイス教育研究州事務局のスイス宇宙局によって、宇宙活動に関連したスイスの科学的、技術的競争力を育成、促進するため、スイスイニシアティブ政策の支援金を受けています。

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



GAMMA REMOTE SENSING

ガンマリモートセンシング株式会社

Gamma Remote Sensing AG

Urs Wegmüller, Charles Werner, Tazio Strozzi, Andreas Wiesmann
Worbstrasse 225, CH-3073 Gümligen, Switzerland
phone: +41 31 951 70 05, fax: +41 31 951 70 08
gamma@gamma-rs.ch <http://www.gamma-rs.ch/>

ガンマ社日本代理店

株式会社 オープン GIS

〒130-0001 東京都墨田区吾妻橋 1-19-14 紀伊国屋ビル 1F
Tel: (03)3623-2851 Fax: (03)3623-3025
E-mail: sales@opengis.co.jp <http://www.opengis.co.jp/>