

ジオインフォマティクス Geoinformatics

— 観測データから、地球の今と未来を読み解く —
Turning Earth Observation into a Safer and Brighter Future.



衛星地球観測
Satellite Remote Sensing



航空機地上観測
Aerial Surveying



ドローン高分解能観測
UAV / Drone Mapping



空間データ解析
Geospatial Data Analysis



都市・インフラ
Urban & Infrastructure



環境・森林
Environment & Forest



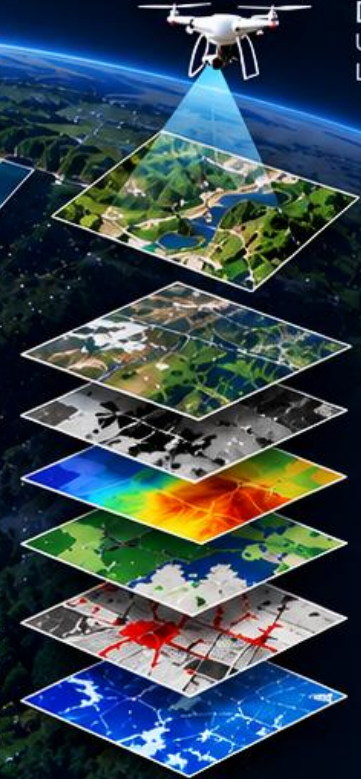
防災・減災
Disaster Mitigation

SATELLITE
Global Observation
Wide Area Coverage

AIRCRAFT
Regional Survey
High Flexibility

DATA
SCIENCE
FOR A SAFER
TOMORROW

DRONE
Ultra High Resolution
Local Monitoring



Optical

SAR

DEM / DSM

Land Cover

Change Detection

Analysis / AI



データ処理
Data Processing



解析・AI
Analysis & AI



地理空間情報
Geospatial Information



社会課題の解決
Solving Social Challenges



安心できる未来へ
A Safer Tomorrow

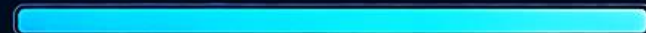
デジタル空中写真測量システム

Digital aerial photogrammetry system

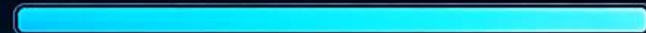


進捗 >

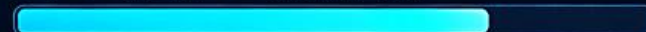
入力・写真準備



対応点生成・調整



ステレオ処理・三次元点生成



座標整合・DSM格子生成



DSM品質確認・成果生成



処理 7 / 17

出力 >

product_DSM.tif

処理開始

処理終了

DSM成果確認・出力

システム終了

デジタル空中写真測量システム

Digital aerial photogrammetry system

+

-

↑
N

標高 (m)

1867



-35

マウス位置 X: 000000.000 m Y: 000000.000 m 標高: 0000.000 m

DSM成果情報

product_DSM.tif

格子間隔 1.00 m

座標基準 JGD2011

標高基準 T.P.

最低標高 -35.20 m

最高標高 1867.35 m

品質確認情報

有効格子数 24,512,896

NoData格子数 128,764

品質確認結果 良好

表示初期化

成果出力

表紙へ戻る

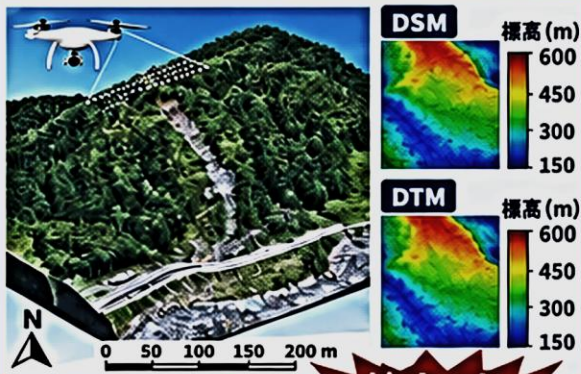
システム終了

三次元地形差分解析 (DoD)

多時期DSM・DTMによる侵食・堆積・地形変化の定量化

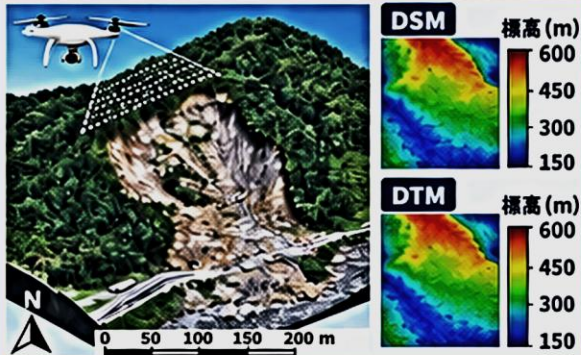


時期1: DSM/DTM $Z_1(x, y)$

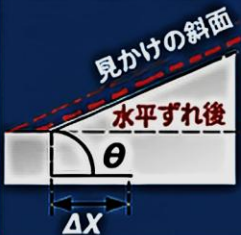


地すべり
崩壊発生

時期2: DSM/DTM $Z_2(x, y)$



急斜面の見かけ差



$$\Delta Z_{\text{false}} \approx \Delta X \tan \theta$$

水平ずれが斜面勾配により
標高差へ増幅

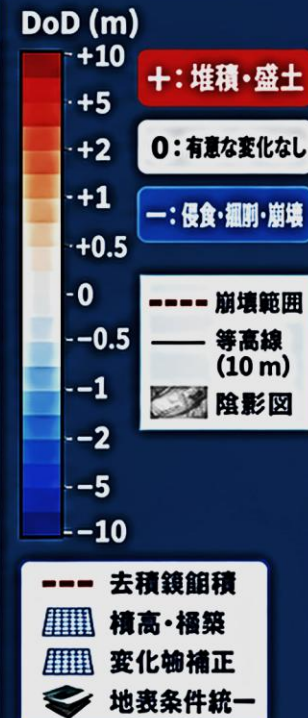
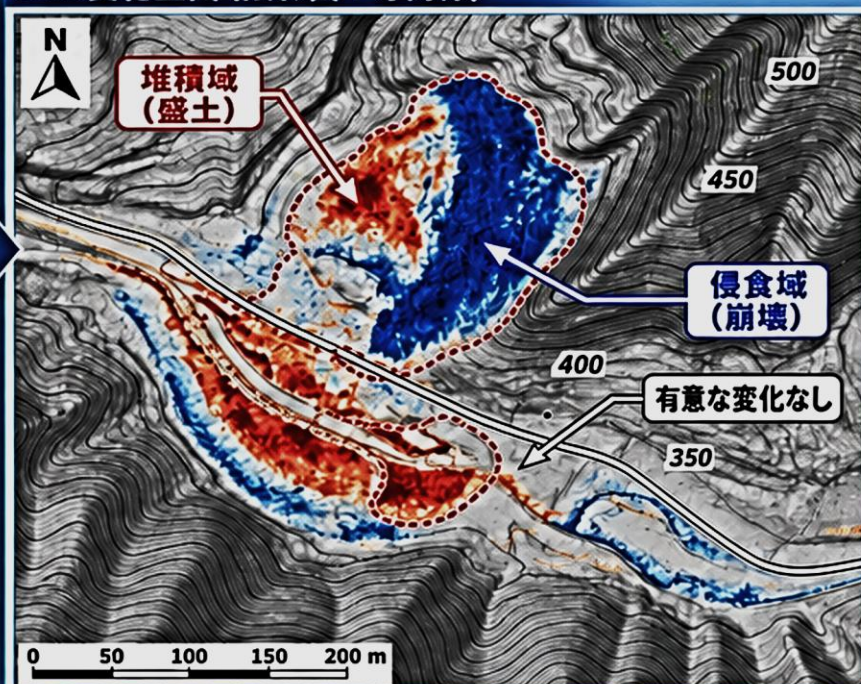
位置合わせ・地形変化抽出の流れ

- 1 三次元位置合わせ**
XY移動・回転・縮尺/Zオフセット
安定地形を基準、崩壊・堆積域は除外
- 2 比較グリッド整合**
座標系・標高基準・GSD・格子原点
同種モデル: DSM $\leftrightarrow$ DSM/DTM $\leftrightarrow$ DTM
- 3 標高差計算**
 $\Delta Z(x, y) = Z_{\text{post}}(x, y) - Z_{\text{pre}}(x, y)$
+: 堆積 -: 侵食・崩壊
- 4 LoD判定**
 $\text{LoD}_{95} = 1.96 \sqrt{(\sigma_{\text{pre}}^2 + \sigma_{\text{post}}^2 + \sigma_{\text{align}}^2)}$
 $|\Delta Z| \leq \text{LoD}$: 有意な変化なし
- 5 地形変化領域抽出**
正負セルを連結し、変化領域を形成
孤立ノイズ・最小面積未滿を除外
- 6 変化量集計**
変化面積・最大/平均標高差・体積
 $V_{\text{dep}} = \sum \Delta Z \cdot A$ $V_{\text{ero}} = \sum |\Delta Z| \cdot A$

DoD差分解析

$$\text{DoD}(x, y) = Z_{2, \text{corr}}(x, y) - Z_{1, \text{corr}}(x, y)$$

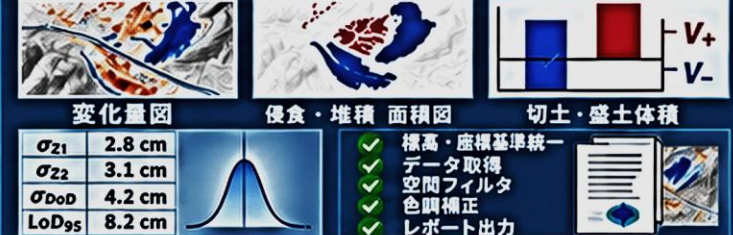
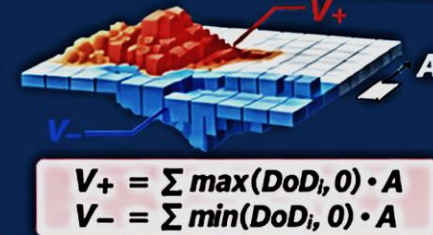
DoD変化量図 (陰影図+等高線)



誤差伝播と最小検出限界



面積・体積算定



DoDの信頼性は、位置合わせ精度・標高基準・安定地補正・地表条件統一・LoD評価で決まる

実務適合型の仮想DTM生成モデル

仮想鍋蓋による閉空間計測 — 災害前DTMが存在しない崩壊現場への適用

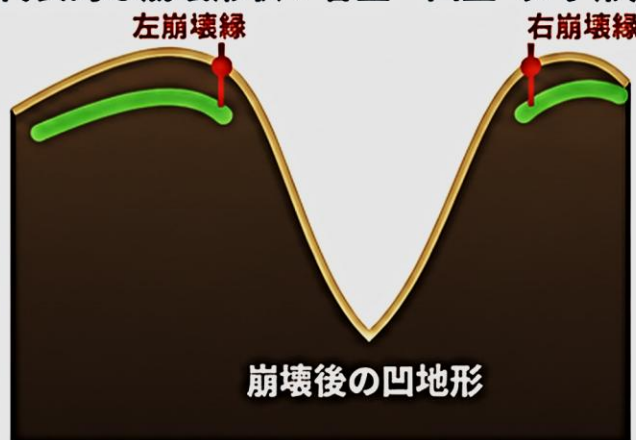
地上モデルは1つ
災害後DTMのみを使用



① 災害後DTMを生成

生成面：災害後DTM (唯一の地上モデル)

代表的な崩壊形状：谷型・凹型 (V字形)

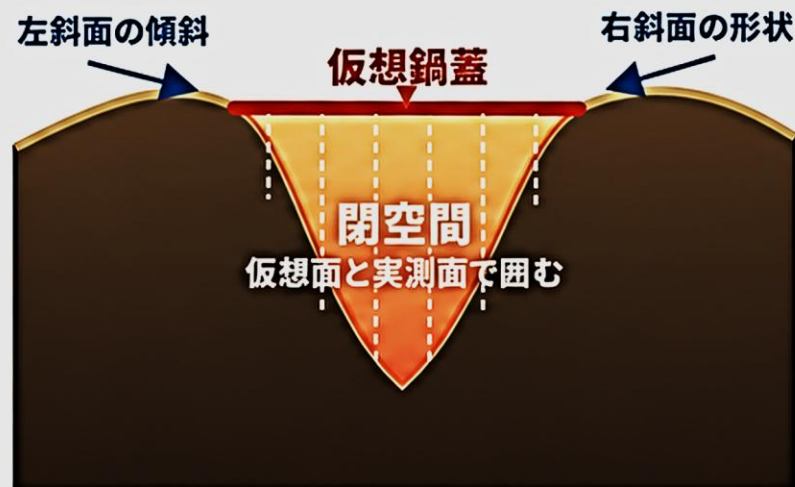


形状判読

崩壊縁・斜面方向・傾斜・地形連続性

② 仮想鍋蓋を生成

平面蓋＝仮想鍋蓋 (計算基準面)



閉空間＝災害前仮想DTMモデル

厳密な地形復元ではなく、実務的な仮想地形を構成

③ 閉空間を計測

二時期の差分解析ではない
前後2つの実測DTMは存在しない

垂直深度を計算

$$H(x,y) = Z_{\text{lid}}(x,y) - Z_{\text{post}}(x,y)$$

仮想鍋蓋から災害後地表までの距離

閉空間体積を計算

$$V_{\text{closed}} = \sum H_i \cdot A_{\text{cell}}$$

セルごとの垂直深度 × セル面積

出力

- 崩壊前仮想DTMモデル
- 垂直深度分布
- 閉空間体積＝推定崩壊土量

処理プロセス

災害後DTM
唯一の実測モデル

崩壊形状判読
V型・逆V型・その他

仮想鍋蓋生成
形状・傾斜を参照

閉空間形成
災害前仮想DTM

垂直深度・体積算定
閉空間の幾何計測

◆ 差分解析ではなく、仮想面と実測面による「閉空間」の幾何計測

多時期オルソ画像による二次元変化解析プロセス

1 入力→9 成果出力
三段構成／航空機・UAVオルソモザイク



第Ⅰ段 入力・基準化



1 各日時のオルソ画像入力
同一地域の生成済みオルソモザイクを時系列で入力
 $\rho_b, t(x, y), t = 1 \dots n$



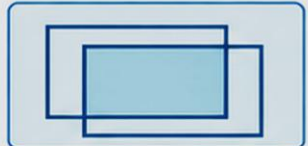

入力：GeoTIFF / COG RGB・Green・Red・Red Edge・NIR
必須メタデータ：ACQ TIME・CRS・GSD・RSR・Scale/Offset・QA

2 入力品質・処理レベル確認

- 処理レベル：DN/TOA/BOA/正規化値
- CRS・datum・GSD・画素定義・範囲
- band・RSR・量子化・Scale/Offset
- SNR・飽和・NoData・seamline・欠測
- 雲・影・霞・glint・blur・QAフラグ

QUALITY GATE 1
比較不能な画像・バンド・画素は除外又は再処理

3 共通解析基準・AOI設定
基準時期と解析対象領域を決定



- reference epoch
- common AOI/analysis mask
- CRS・datum・単位
- pixel-is-area/grid origin
- band対応表・解析対象指数

$\Omega = \text{intersection}(\Omega_t)$
出力：AnalysisSpecification+入力時系列カタログ

第Ⅱ段 補正・共通化



4 精密共登録
安定地物・PIFを用い、時期間の局所位置ずれを補正
 $Tt : (x, y)t \rightarrow (x, y)_{ref}$




phase correlation/feature+RANSAC/local warp
検証：独立check pointで RMSEreg < 0.3-0.5 pixel (目標)

5 放射・照明条件正規化
時期ごとの観測条件差を除去し、反射率系列を整合

$\rho'_b, t = a_b, t \cdot \rho_b, t + b_b, t$

- BOA反射率化・センサ係数適用
- PIF/IR-MADによる相対正規化
- BRDF・太陽天頂角・地形照明補正
- haze・色調残差・バンド別偏り確認

PIF残差・バンド別回帰残差を保存し、oradへ伝播

6 画素・応答・品質マスク共通化

- GSD・grid origin・extent・resampling kernel
- band coregistration・RSR対応・MTF/PSF整合
- cloud・shadow・haze・glint・saturation
- blur・NoData・seamline・moving object



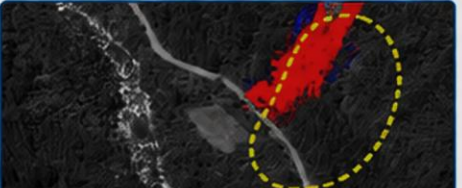
Analysis-ready
 $C(x, y, t, b)$

QUALITY GATE 2：共登録RMSE・PIF残差・有効画素率を承認

第Ⅲ段 変化解析・成果出力



7 変化特徴量の算出
 $\Delta\rho_b = \rho'_b, t_2(T(x, y)) - \rho'_b, t_1(x, y)$





band差分・ratio・log-ratio CVA・MAD・IR-MAD
ΔNDVI・NDRE・NBR・NDWI post-classification・OBIA・AI

出力：変化量ラスタ方式別特徴量+画素別不確かさ

8 有意変化判定・種類判読

$\sigma_{\Delta\rho}^2 = \sigma_{t_1}^2 + \sigma_{t_2}^2 + \sigma_{reg}^2 + \sigma_{rad}^2$
 $LoD95 = 1.96\sigma_{\Delta\rho} \quad |\Delta\rho| > LoD95$

空間連結・最小面積・オブジェクト境界を適用



- 植生消失・裸地化
- 土砂堆積・浸食
- 建物出現・消失
- 水域増減・土地被覆遷移
- UNKNOWN/要判読

change object i

QUALITY GATE 3：LoD超過+空間整合+分類確信度

9 変化成果の定量化・出力

変化領域
geometry/boundary/mask

面積
 $A_i = \sum_j 1_j \cdot A_{px}$

変化種類
class/transition/UNKNOWN

信頼度
registration・radiometry・LoD・QA・classifier

Confidence $j = f(\text{RMSEreg}, \text{PIF residual}, \text{LoD ratio}, \text{QA coverage}, \text{Pclass})$
単一の分類確率ではなく、幾何・放射・検出・分類品質を統合

- COG GeoTIFF：変化量・LoD・信頼度ラスタ
- GeoPackage/GeoJSON：領域・種類・面積・確信度
- CSV・STAC metadata・QA/uncertainty report

信頼性を決める五つの管理要素

精密共登録・RMSEreg

BOA/PIF放射正規化

MTF/PSF・椅子整合

QAマスク・有効画素率

誤差伝播・LoD・信頼度の追跡

高レベル衛星画像による固定資産変化解析

超高分解能衛星プロダクトの
精密共登録／建物異動判読／固定資産候補化

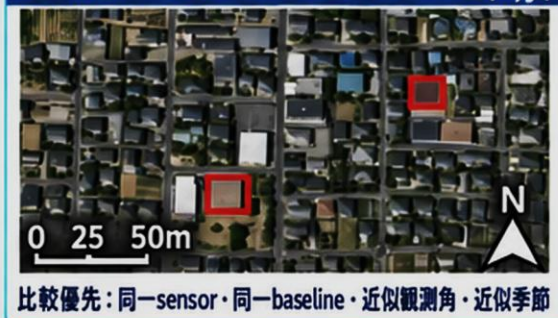
多時期・高レベル衛星画像入力

時期1：高レベルプロダクト $B_1(x,y)$



建物異動発生

時期2：高レベルプロダクト $B_2(x,y)$



残存誤差補正・解析データ化

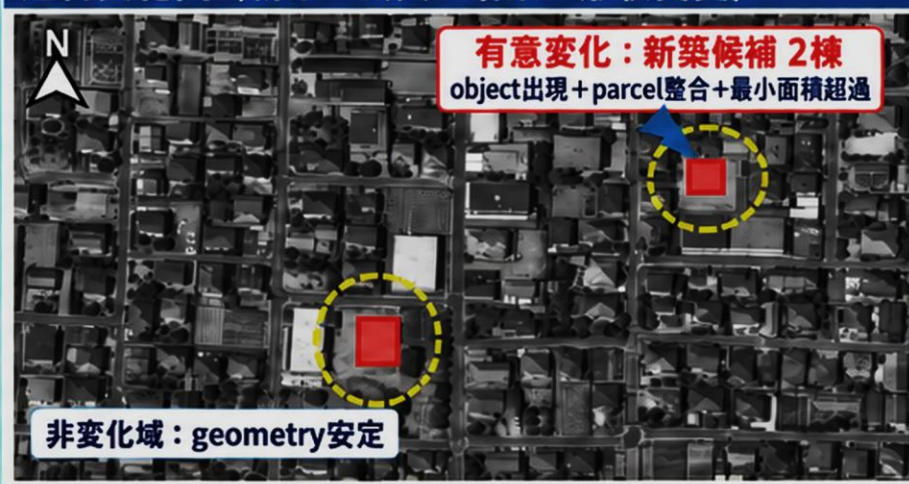
- 製品・品質メタデータ検査**
処理level・baseline・GSD・RSR・MTF
使用DEM・RPC・QA・雲量・観測角を検査
 - 測地基準・共通AOI**
CRS・datum・grid origin・extent・単位
地番界・家屋台帳の基準時期とIDを固定
 - 精密共登録・建物倒れ評価**
phase correlation／feature+RANSAC
安定地物RMSE・局所残差・ $\Delta x \approx h \tan \theta$ を評価
 - 放射・観測条件共通化**
Surface Reflectance・PIF/IR-MAD正規化
BRDF・季節・太陽高度・影・異種sensor
 $p_{1,t} = a_{0,t} p_{p,t} + b_{0,t}$
 - 共通格子・PAN/MS整合**
GSD・origin・resampling・band coreg.
pan-sharpening方針・MTF/PSF整合を固定
 - QAマスク・建物object化**
cloud・terrain/building shadow・NoDataを除外
PAN/MS・既存家屋・地番界を共通IDで時系列化
- 出力：asset-ready cube+parcel/building layer

建物異動判読・固定資産候補化

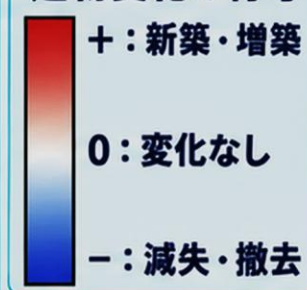
$$B_{\text{new}} = B_2 \setminus B_1 \quad / \quad B_{\text{lost}} = B_1 \setminus B_2 \quad / \quad \Delta A = A_2 - A_1$$

B = 建物object A = 投影面積 比較単位 = building ID / parcel ID

建物変化図（新築・減失・増築・形状変更）



建物変化の符号



判読・解析方式

- 画像差分 / ratio
- object-based change
- post-classification
- roof spectral / texture
- Siamese / Transformer

赤：新築・増築候補
青：減失・撤去候補
緑：形状変更候補

object比較量

- iou / boundary distance
- ΔA / 周長 / compactness
- 屋根spectral / texture差
- 地番・家屋IDとの対応率

異動候補class

- 新築 ● 減失 ● 増築
- 一部撤去 ● 建替え
- 屋根形状・用途変化候補
- UNKNOWN / 要確認

候補信頼度

$C_j = f(\text{RMSE}_{\text{reg}}, \theta, \text{shadow}, \text{QA}, \text{Pclass})$
● 観測角・季節・影・遮蔽を反映
● AI検出と品質geoを分類
● 確定前に机上／現地確認

建物倒れ・位置ずれによる偽差分

$\Delta x_{\text{building}} \approx h \tan \theta$
標準orthoでは屋根傾斜が残る

- 高層域：True Ortho / DSMを優先
- 非近似観測角sceneは除外または重み化
- 共登録点は地表の安定地物から選定

誤差伝播・最小検出可能変化

$\sigma_{\text{reg}} \rightarrow \sigma_{\text{seg}} \rightarrow \text{LoD}$

$$\sigma^2 \Delta A = \sigma^2_{\text{reg}} + \sigma^2_{\text{seg}} + \sigma^2_{\text{view}}$$
$$|\Delta A| > \kappa \sigma \Delta A \quad \text{かつ} \quad \Delta i > \Delta_{\text{min}}$$

地番・家屋台帳への空間関連付け

- ① change geometryとparcelを交差
- ② building ID・家屋番号を引当て
- ③ 面積差・重複率・境界距離を算出
- ④ 予備候補はUNKNOWN / 要確認
- ⑤ 時系列継続性で誤検出を抑制

固定資産候補成果・確認フロー

変化geometry

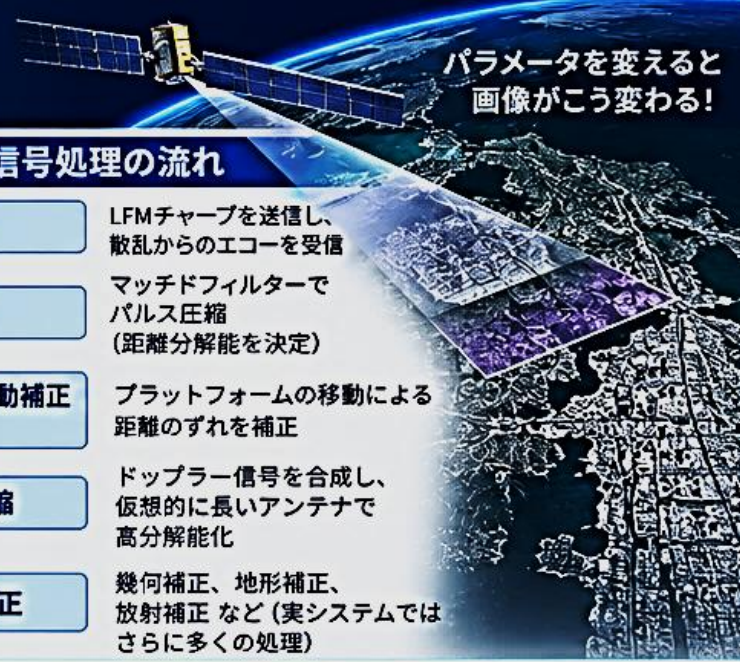
- ✓ COG GeoTIFF / GeoPackage・GeoJSON / CSV
- ✓ QA report：RMSE・観測角・影・分類確率・信頼度
- ✓ 衛星解析は異動候補抽出。課税・台帳更新は確認手続後に確定

ID / 地番
class・ ΔA ・時期

時系列履歴

机上確認 → 現地確認
確定 / 保留 / 棄却
行政確認workflow

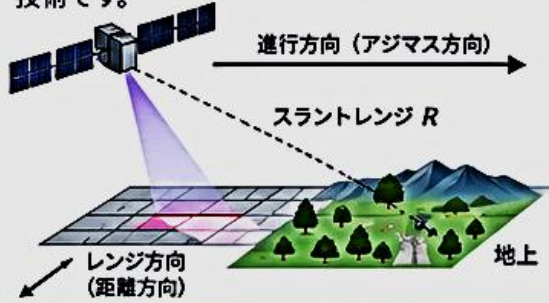
高レベルプロダクトでも残る管理要素： 相対共登録 × 建物倒れ × 観測角・太陽・影 × 空間分解能 × QA × 人手確認



パラメータを変えると
画像がこう変わる!

1. SARとは?

衛星や航空機が移動しながらレーダーを観測し、その間に受信した信号を合成して、実際のアンテナよりも長い仮想的なアンテナ(合成開口)を作り、高分解能の画像を得る技術です。



2. 主要なパラメータと計算式

周波数・波長

$$\text{波長 } \lambda = \frac{c}{f_0}$$

c : 光速 $\approx 3.0 \times 10^8$ m/s
 f_0 : 中心周波数 [Hz]

レンジ分解能 (距離方向)

$$\text{スラントレンジ分解能 } \delta_r = \frac{c}{2B}$$

$$\text{地上レンジ分解能 } \delta_g = \frac{c}{2B \sin \theta}$$

θ : 入射角

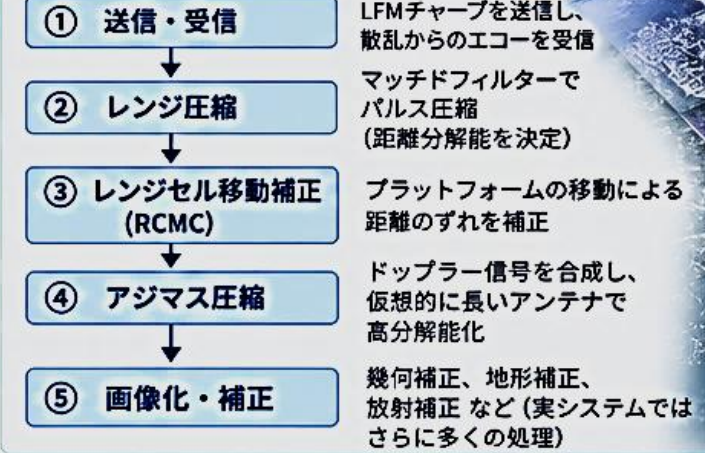
送信波形 (LFMチャープ)

帯域幅 B [Hz]
パルス幅 τ [s]
周波数変調率 $K_r = B/\tau$ [Hz/s]
時間帯域積 $BT = B\tau$ (レンジ圧縮の指標)

アジマス分解能 (方位方向)

アジマスチャープレート $K_a \approx -\frac{2v^2}{\lambda R_0}$
アジマス帯域幅 $B_a \approx |K_a| T_{\text{eff}}$
アジマス分解能 $\delta_a \approx \frac{v}{B_a}$
 v : 速度 R_0 : スラントレンジ T_{eff} : 合成開口時間

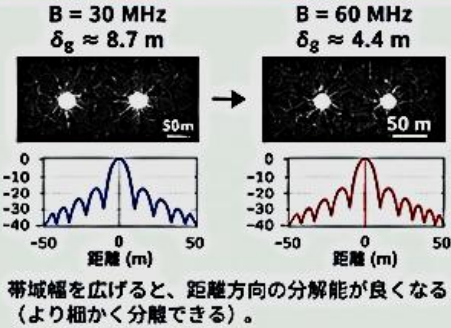
3. SARの主な信号処理の流れ



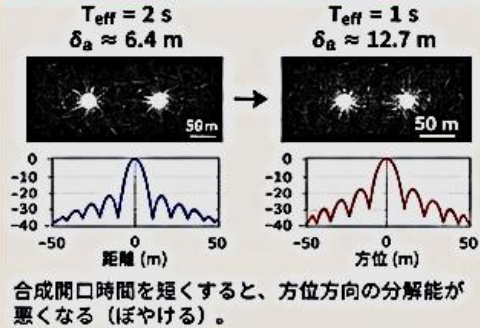
4. パラメータを変えると画像はこう変わる (シミュレーション例)

※ いずれも他の条件は同一とした比較です。

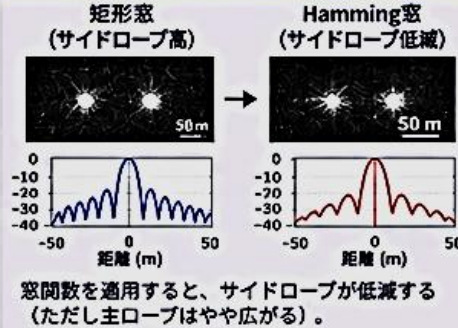
帯域幅 B (レンジ分解能)



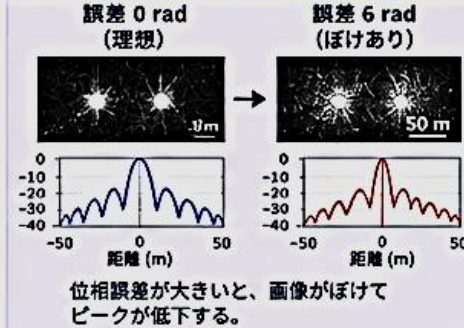
合成開口時間 T_{eff} (アジマス分解能)



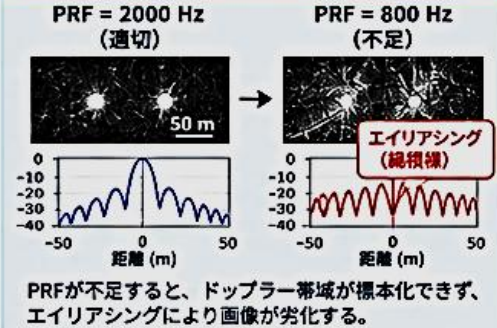
窓関数 (サイドローブ特性)



残留位相誤差 (ぼけの影響)



PRF (ドップラー標準化)



5. 代表的な数値例 (Lバンド・衛星SARの例)

項目	記号	値 (例)	備考
中心周波数	f_0	1.27 GHz	$\lambda = 0.236$ m (Lバンド)
帯域幅	B	30 MHz	レンジ分解能 $\delta_g \approx 8.7$ m ($\theta = 30^\circ$)
パルス幅	τ	20 μ s	$K_r = 1.5 \times 10^{12}$ Hz/s, $BT = 600$
プラットフォーム速度	v	7,500 m/s	低軌道衛星の典型値
スラントレンジ	R_0	700 km	—
合成開口時間	T_{eff}	2 s	アジマス分解能 $\delta_a \approx 6.4$ m
PRF	—	2,000 Hz	必要 $\geq$ ドップラー帯域幅 (例: 1.2 kHz)
標準化周波数	F_s	80 MHz	地上レンジ標準間隔 ≈ 3.3 m
入射角	θ	30°	$\sin \theta = 0.5$

6. パラメータの関係まとめ

帯域幅 B	大きくするとレンジ分解能が向上 (距離方向を細かく分離) ※ パルス幅や標準間隔は、レンジ分解能に直接影響しない (別の役割)。
合成開口時間 T_{eff}	長くするとアジマス分解能が向上 (方位方向を細かく分離) ※ ScanSARでは実効開口時間が短くなり分解能が低下。
窓関数	サイドローブを低減できるが、主ローブはやや広がる (分解能とサイドローブのトレードオフ)。
PRF	ドップラー帯域の2倍以上が必要、不足するとエイリアシングが発生。
標準化周波数 F_s	レンジ標準間隔を決める、分解能ではなく画像のサンプリング間隔に影響
位相精度・運動補正	残留位相誤差があると、画像のぼけ・ピーク低下につながる (高精度な軌道情報・モーション補正が重要)。

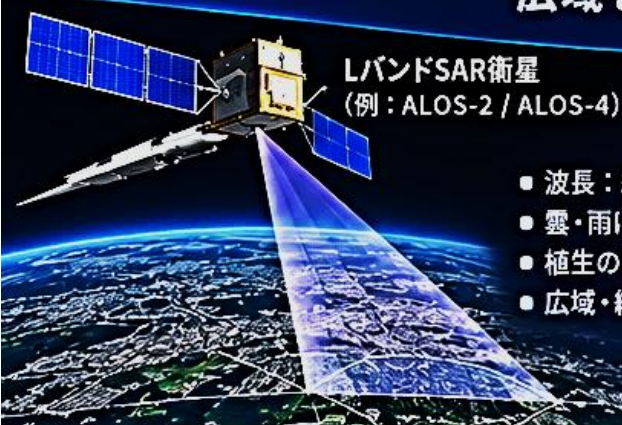
7. 重要なポイントと適用範囲

重要なポイント	① レンジ分解能は主に帯域幅 B で決まる ($\delta_r = c/(2B)$)。 ② アジマス分解能は主に合成開口時間で決まる ($\delta_a \approx v/B_a$)。 ③ パルス幅や標準間隔は、分解能とは別の役割を持つ。 ④ 窓関数、PRF、位相精度は、画像の品質に大きく影響する。 ⑤ これらのパラメータは相互に関係し、ミッション要件に応じて最適化する。
この資料の適用範囲	・ 教育・学習用の簡易モデルに基づく解説です。 ・ 実観測・RAWデータの本格的なSARプロセッサではありません。 ・ RCMC、積算軌道補正、地形補正、放射補正などは含まれません。 ・ 実際のシステムでは、ミッションや観測モードにより条件や処理が異なります。
	パラメータを理解すると、SAR画像がもっとよく見える!

LバンドSARによる水道管漏水候補解析・実務処理プロセス

広域を効率的に調査し、インフラの安全・安心な維持管理に貢献

- ✓ 広域・全天候で観測可能
- ✓ 地表の水分変化に高い感度
- ✓ 道路下の埋設インフラの異常兆候を検出
- ✓ 効率的なスクリーニングで現地調査を支援



LバンドSAR衛星
(例: ALOS-2 / ALOS-4)

- 波長: 約24 cm
- 雲・雨に強い(全天候観測)
- 植生の透過性が高い
- 広域・継続的な監視が可能



LバンドSARが有効な理由

- 1 土壌の水分増加により後方散乱強度が変化
- 2 植生を透過し、地表面の変化を把握可能
- 3 昼夜・悪天候でも安定した観測が可能
- 4 広域を一度に観測し、効率的に候補域を抽出

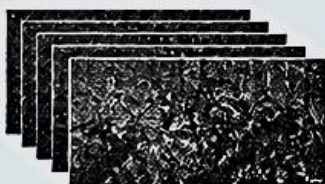
期待される効果

- 💧 漏水の早期発見
- 💰 調査コストの削減
- 🛡️ インフラの安全性向上
- 🌿 水資源の有効利用(持続可能な社会)

実務処理プロセス (SARデータから漏水候補抽出まで)

1 データ取得

LバンドSARデータの取得
(既存アーカイブまたは新規観測)



ALOS-2 / ALOS-4 など
(広域・定期観測)

2 前処理

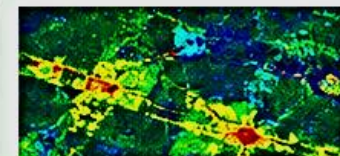
標準的なSAR処理
(放射補正・幾何補正など)



- ▶ 放射補正 (σ^0 変換)
- ▶ 斑点雑音除去 (フィルタ)
- ▶ 地形補正 (オルソ化)
- ▶ マルチ時期データの整備

3 変化検出

時系列解析による
後方散乱の変化抽出



- ▶ 時系列差分解析
- ▶ 変化率マップの作成
- ▶ 統計的しきい値処理

4 漏水候補の抽出

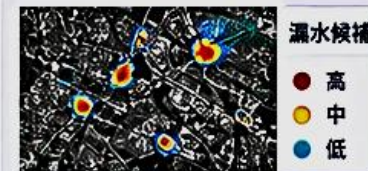
水分増加を示す領域を
漏水候補として抽出



- ▶ 候補領域の自動抽出
- ▶ ノイズ・誤検出の除去
- ▶ 道路・水道管位置との重ね合わせ

5 検証・優先度評価

地図・インフラ情報と統合し
優先度を評価



- ▶ 水道管ネットワークとの照合
- ▶ 過去の漏水履歴との比較
- ▶ 優先度ランク付け

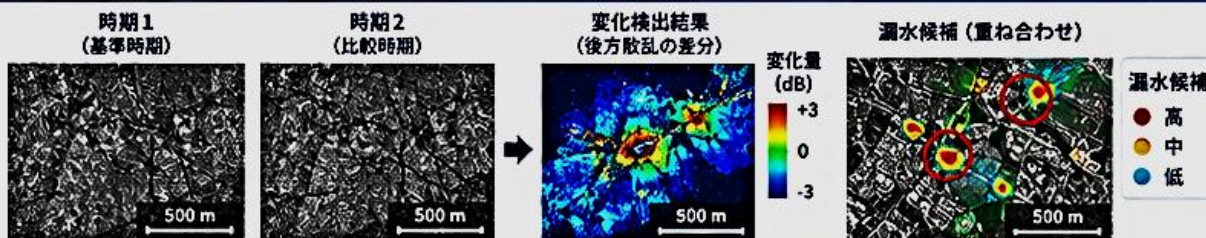
6 現地調査・対応

漏水候補を現地調査し
詳細確認・修繕対応



- ▶ 現地での漏水調査 (音聴・相関等)
- ▶ 貯る誤検出に注意
- ▶ 現場計画・対応の実施
- ▶ 結果のフィードバック (精度向上)

解析結果の例 (実データのイメージ)



断面イメージ (漏水による散乱の変化)



適用範囲と留意点

- 適用範囲**
- ✓ 広域のスクリーニング (数十～数百 km)
 - ✓ 植生域・都市域を含む観測
 - ✓ 定期的なモニタリング
 - ✓ 他の地盤変動解析との併用
- 留意点**
- ⚠️ 漏水以外の要因 (降雨・河川・水田・地質など) による誤検出に注意
 - ⚠️ 現地調査による確認が必須
 - ⚠️ 高精度な管路情報との統合が重要

