

国立研究開発法人連携講座
フロンティア宇宙工学研究拠点（地球観測センサ科学研究拠点）
第三回 ワークショップ

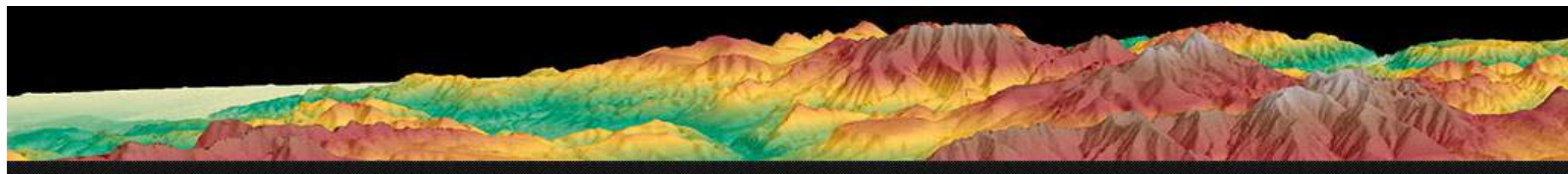
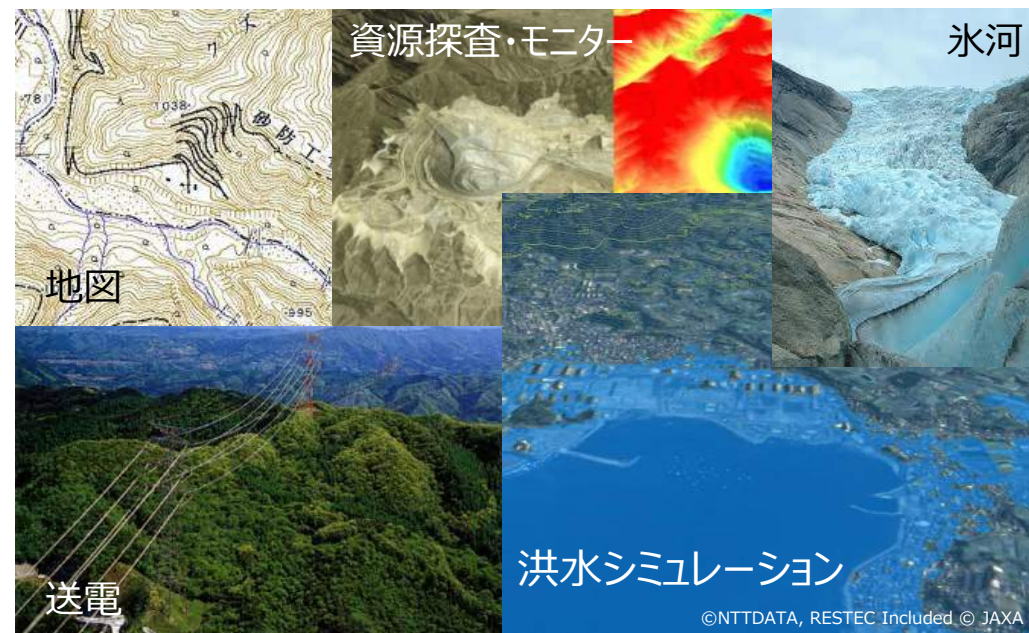
多様な衛星を利用した標高モデル
～AW3Dを例に～

高久 淳一
RESTEC
2023/1/25



標高モデルとは

- 地形を表現したデジタルデータ (DEM: Digital Elevation Model)
- 様々な用途を持つGIS基盤データの一つ
 - 地図作成・更新
 - 国土・インフラ計画 (交通、電波、送電、ダム)
 - 災害監視 (洪水、土砂崩れ)
 - 環境監視 (森林体積、氷河融解、掘削)
 - 資源探査 (オイル、水)
 - シミュレーション (フライト、地上輸送、風況)

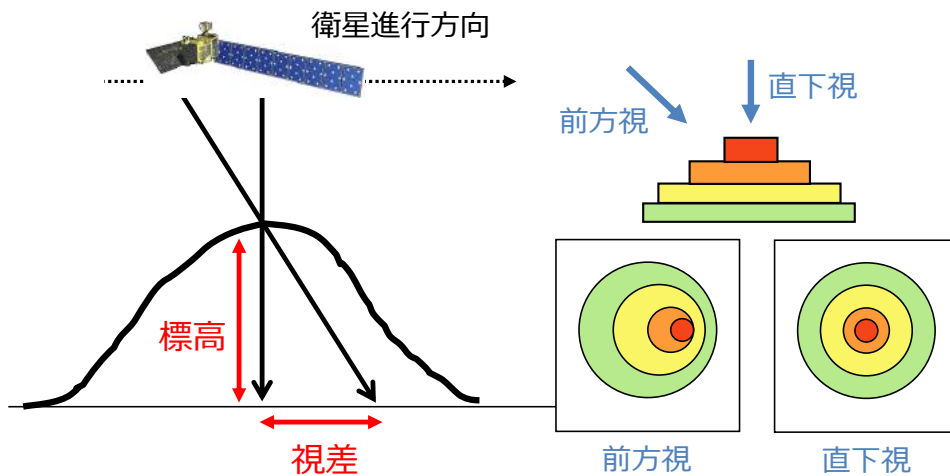


衛星による標高モデルの計測

- 広域データ整備には衛星観測が必須
- 計測方式は光学ステレオと干渉SARに二分

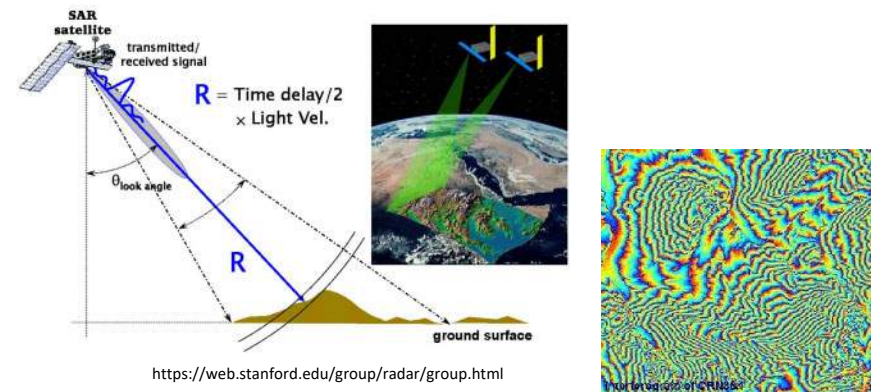
光学ステレオ方式

- 伝統的な航空写真測量がベース
- ステレオ画像間の視差を画像マッチングで計測して標高変換
- 良好なステレオ画像と幾何精度が必要



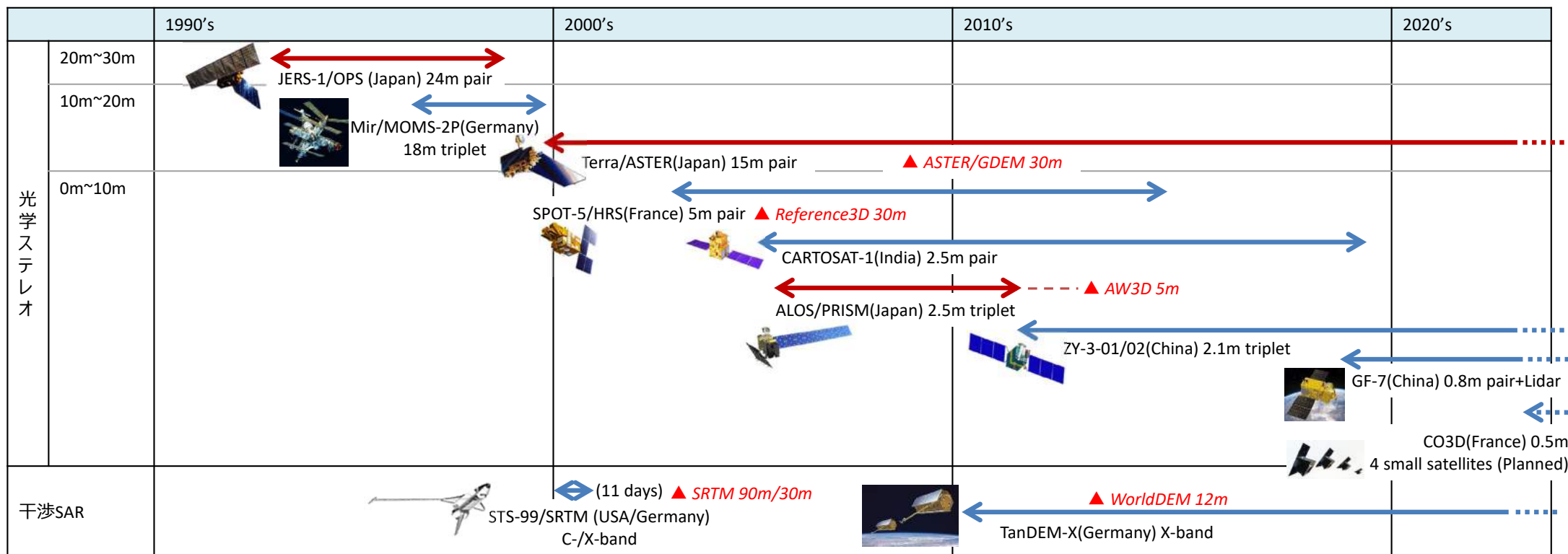
干渉SAR方式

- 2つのアンテナで受信したSAR画像で干渉処理
- 地形に沿って現れる位相差の変化(干渉縞)を標高変換
- 良好なコヒーレンスと基線長(アンテナ間距離)が必要



標高モデルを主とした衛星ミッション

- 日本は光学ステレオ方式をリードしてきた(JERS-1/OPS、ASTER、ALOS/PRISM)

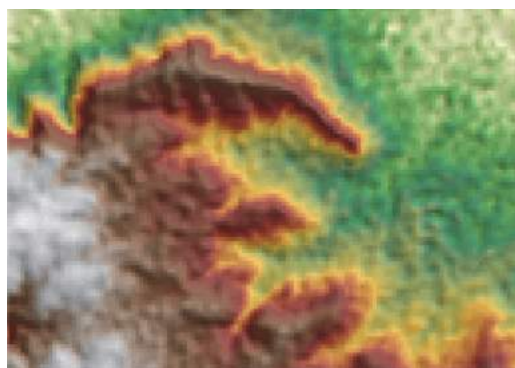


衛星による標高モデルの解像度・精度

- 衛星DEM - 解像度はセンサ、データ処理技術向上に伴い近年で著しく向上
 - 高さ精度は源泉画像データの解像度に依存

空間解像度(グリッド間隔)の向上

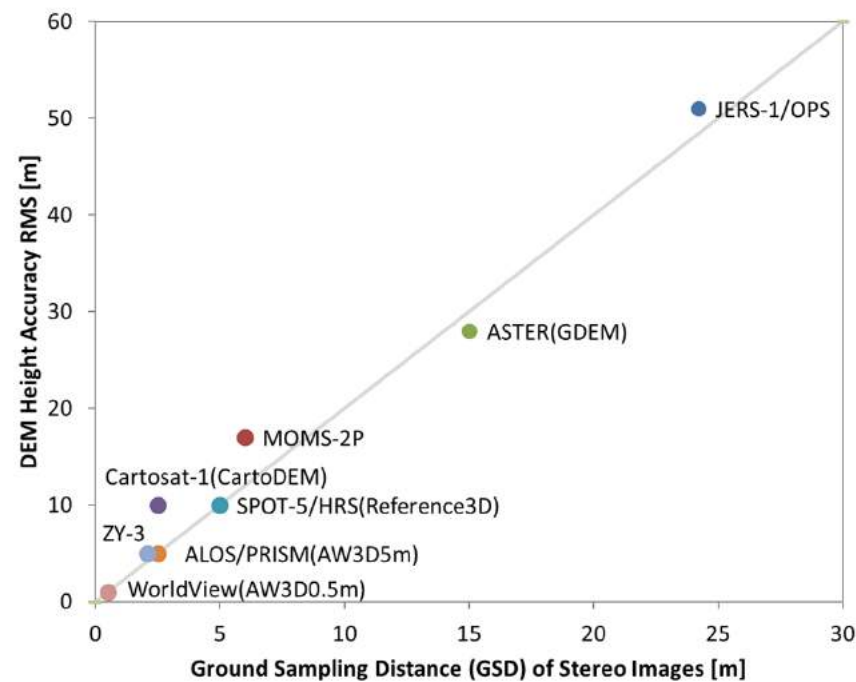
1990年代	1km
2003年 SRTM	90m
2009年 ASTER GDEM	30m
2014年 ALOS AW3D	5m
現在 Maxar AW3D	0.5m



SRTM (90m解像度)



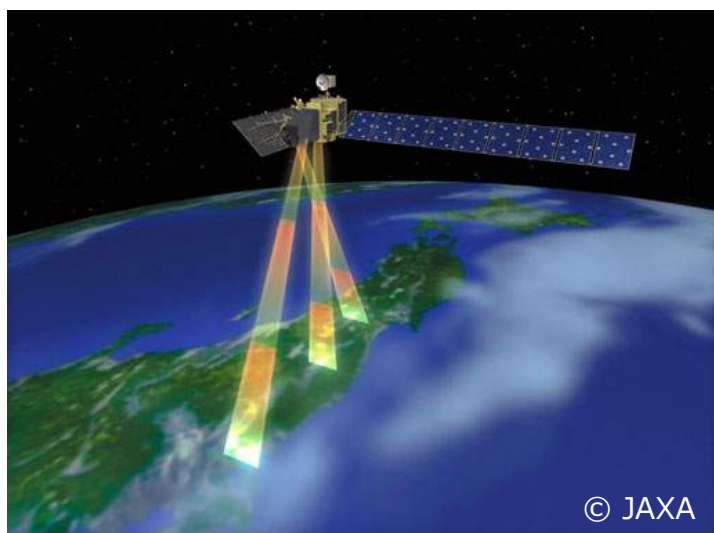
AW3D (5m解像度)



DEMの源泉画像解像度に対する高さ精度

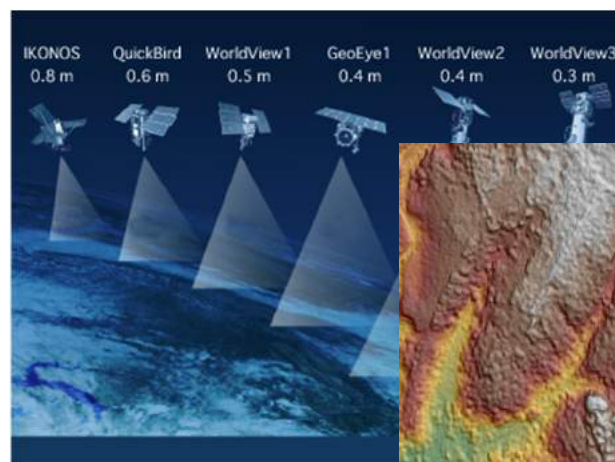
AW3D(ALOS World 3D)とは

- JAXAのALOS/PRISM 3方向視ステレオ画像(分解能2.5m)から全球のDEMを整備
- DEMの解像度は全球データとしては世界最高水準の5m (後に2.5mに更新)
- JAXA/RESTEC/NTTデータ 官民連携プロジェクト
衛星技術(J)、アルゴリズム(R)、データ整備(N)、市場調査開拓・商業化(R&N)
- 民間(NTTデータ)主体で海外(Maxar)高解像度衛星群によるオンデマンド高精細版に発展

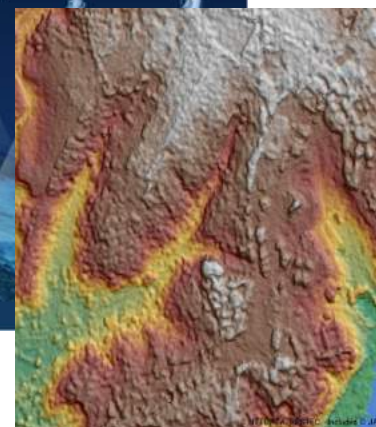


ALOS/PRISM

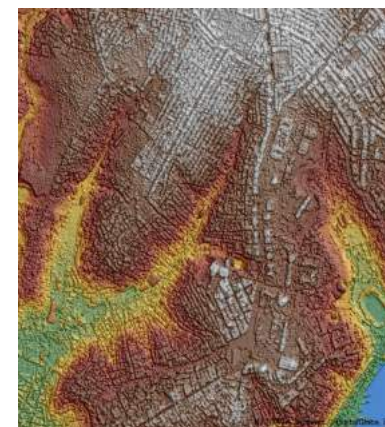
© JAXA



Maxar衛星群



全球標準版DEM (5m)



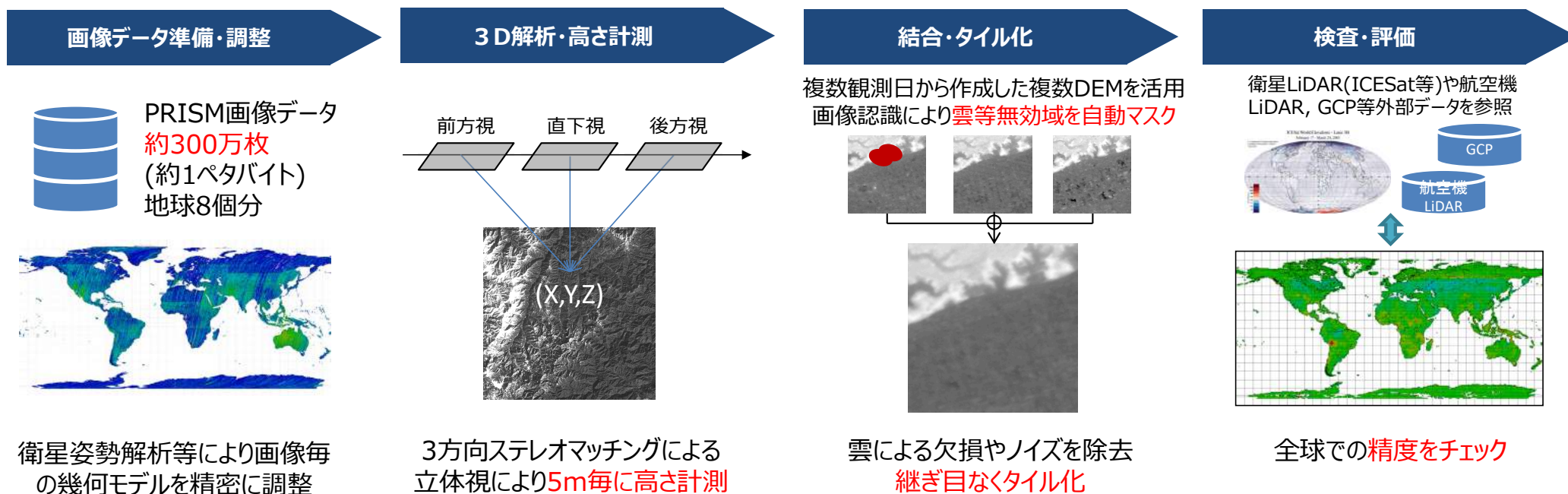
高精細版DEM (0.5m)

AW3D(全球標準版)の処理

- 専用の全自動処理アルゴリズムを研究開発
- 600以上のCPUによる並列処理計算機に実装
- 一日あたり約2TBの画像処理により約2年で全球処理を完了
- 目標とした5m(RMS)以下の高さ精度を確認

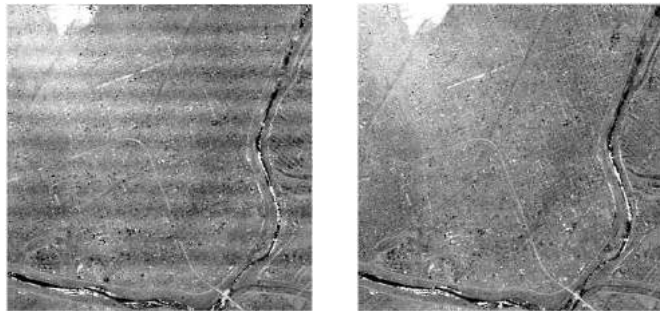
要素技術:

- ✓ 幾何モデル調整 (衛星姿勢解析等)
- ✓ ステレオマッチング・画像認識
- ✓ 外部データ融合 (衛星LiDAR、水域マスク等)
- ✓ ビッグデータ・統計処理 (フィルタ等)



AW3D(全球標準版)処理の技術課題

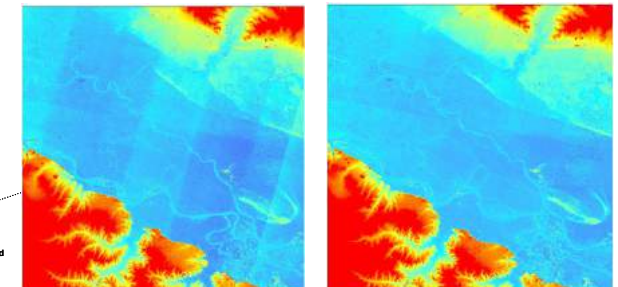
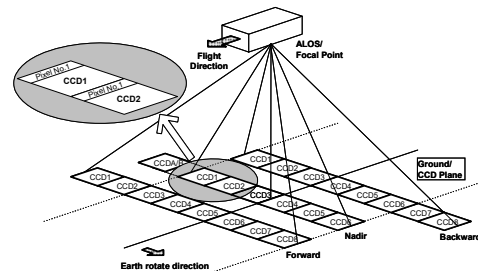
衛星姿勢のジッタ(微小振動)によりDEMに現れた周期誤差
 →技術試験用の加速度センサデータ適用+専用フィルタ開発で解消



DEMオリジナル

DEM対策後

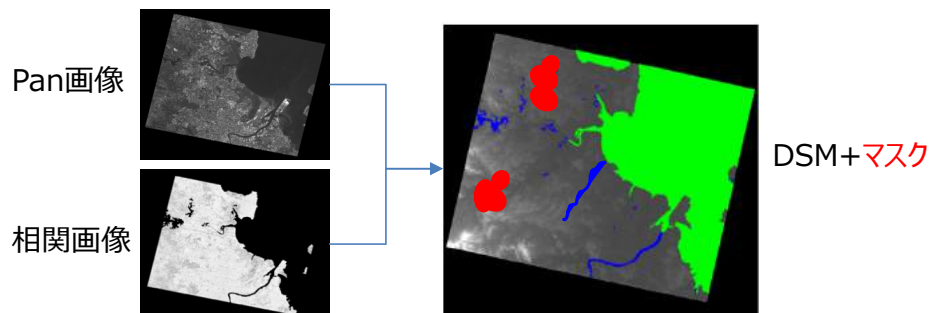
センサ光学系の微小歪により軌道に沿ってDEMに現れたストライプ誤差
 →光学系に対しDEMの誤差をフィードバックする校正方式を開発して解消



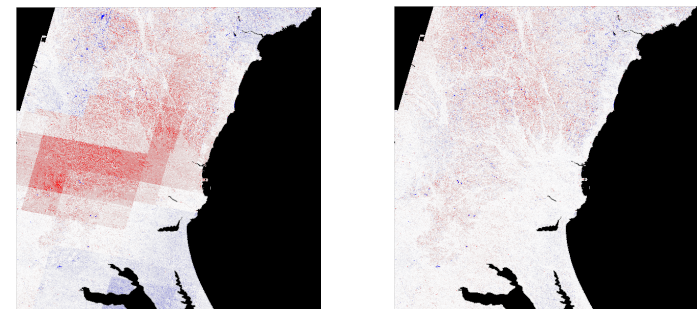
DEMオリジナル

DEM校正後

雲や雪等の無効マスクについてPan画像のみでは分類・検知が困難
 →マッチング相関画像と組み合わせて検知する手法を開発して解消



画像毎の絶対精度のばらつきによりDEMに現れた画像間のギャップ
 →外部データ(ICESat, SRTM等)により調整する方式を開発して解消



DEM誤差マップオリジナル

DEM誤差分布対策後

AW3Dの利用状況

低解像度版AW3D30の無償公開（サイエンス貢献）

- 全球標準版2.5m/5mを30m解像度に低解像度化
- JAXA-Web公開 – 世界数十万のユーザが総計で全球約2,000個分以上のデータをダウンロード
- クラウドベースのGIS解析プラットフォームGoogle Earth Engineに採用され世界中で利用
- 他の全球DEMデータセットで品質向上のための相互補完に適用
 - NASADEM(米)、CopernicusDEM(欧)、MERIT/DEM(日)などで適用されている

標準版のJAXA・関連機関内部利用

- 他衛星のオルソ・地表面反射率補正やSAR干渉処理などに使用する基盤データとして横断的に利用

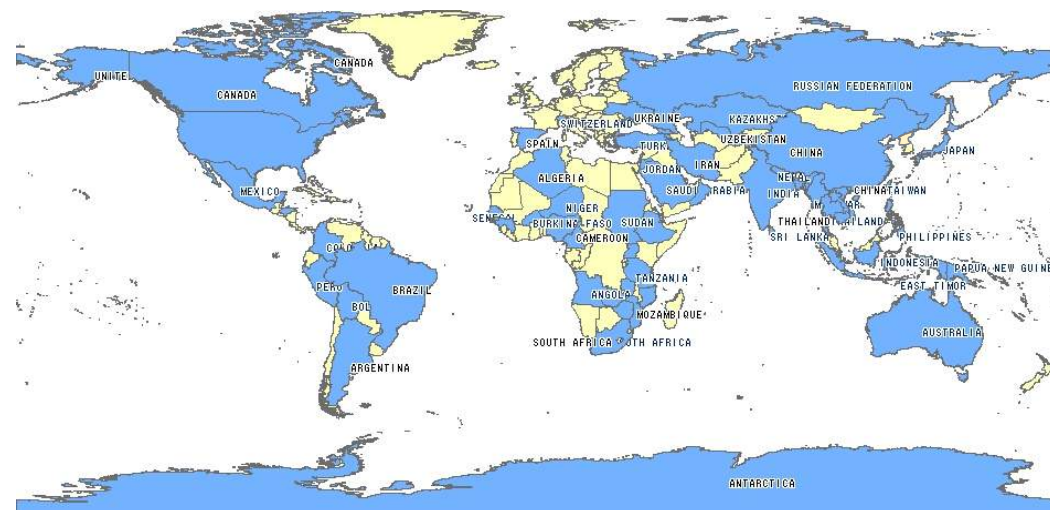


AW3Dのビジネス展開

- 全球標準版2.5m/5m、オンデマンド高精細版0.5m/1m/2mを製品化・販売
- 民間(NTTデータ)主体で派生製品開発(DTM, オルソ, 3Dベクトルデータ, 等)
- 市場調査開拓により様々な分野の2,500を超えるプロジェクトで利用
交通インフラ、環境管理、農村開発、エネルギー開発、災害、水資源、5G網整備、ドローン運行、自動運転、再生可能エネルギー、I-Construction、VR/AR/MR
- 海外販売代理店網を構築し世界130カ国以上で利用実績



AW3D有償販のHP



AW3D販売データエリアの国(青)

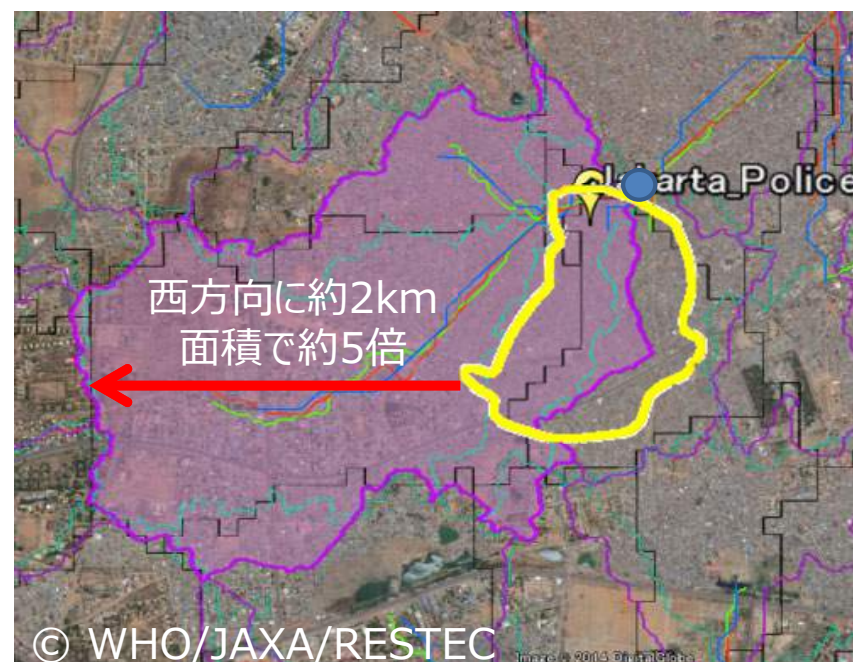
AW3Dの利用事例

WHOによるポリオ疫病対策（ナイジェリア・ニジェール）

- **ポリオ**は詳細地形図が未整備な主にアフリカ中部及び中東に**常在国が存在**
- 感染源となるウィルス調査には**詳細地形データによる下水域特定**が必要
- AW3Dを用いた解析により下水エリアを従来より**正確に把握**



従来の結果 30m解像度

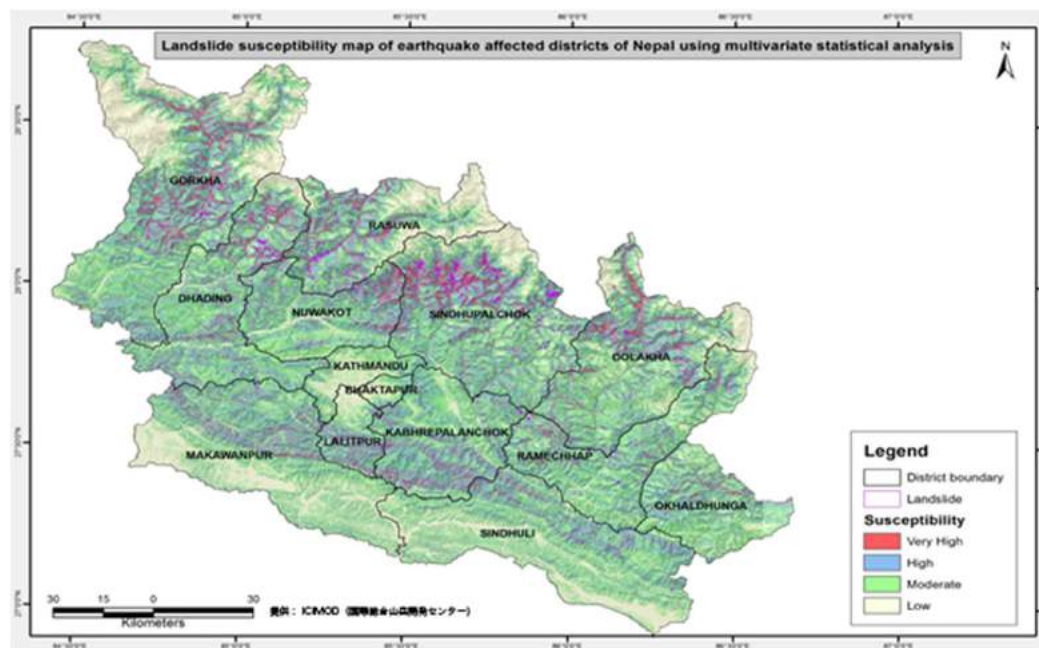


© WHO/JAXA/RESTEC
AW3D 5m解像度により把握されたエリア

AW3Dの利用事例

国際総合山岳開発センター(ICIMOD)によるハザードマップ作成（ネパール）

- ネパール急峻山岳域では2015年の大地震後に土砂災害の危険性が拡大
- AW3Dを用いて地震被害エリアの土砂災害ハザードマップ作成を開始
- 大地震からの長期復興計画や移住計画の基盤情報として活用予定



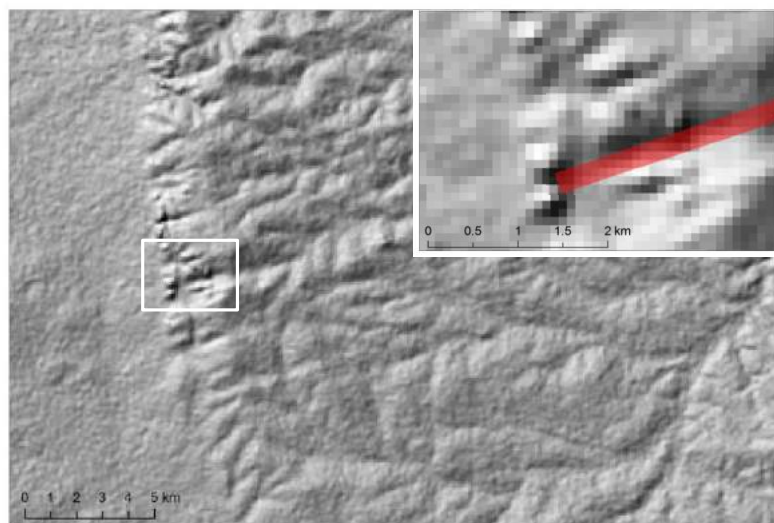
AW3Dを活用した「2015年ネパール大地震被害エリアの土砂災害ハザードマップ」 協力/資料提供/出典: ICIMOD

AW3Dの利用事例

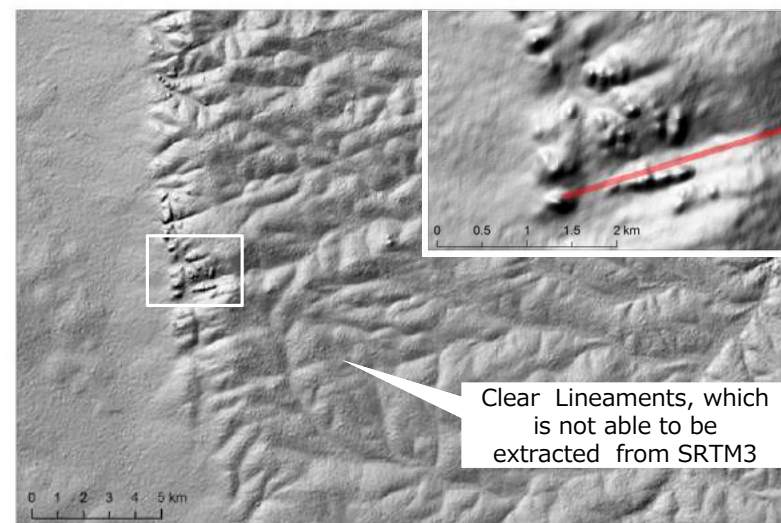
水資源分野の地下水利用計画の効率化（タンザニア）

- 地下水資源の開発と**安定・安全な水供給**はアフリカ諸国における喫緊の課題
- AW3Dにより従来よりも微細な**地下水地形特徴（リニアメント）**を抽出
- 広大な地域から井戸掘削のための地上探査測線を**高精度・高効率で推定**

従来の結果 90m解像度



AW3Dによる解析結果

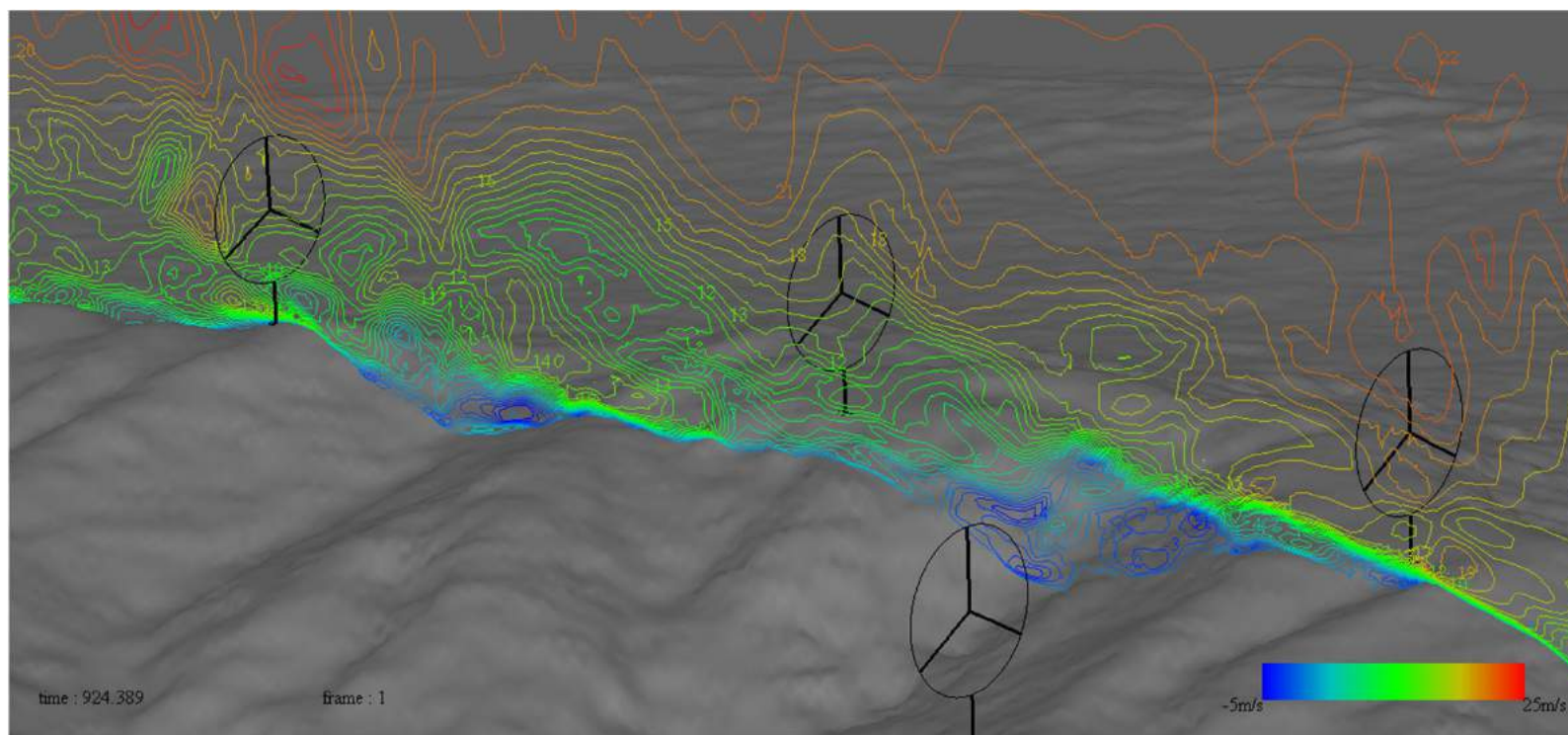


提供：株式会社地球システム科学 (ESS)

AW3Dの利用事例

電力分野の風力発電地点調査の効率化（国内外）

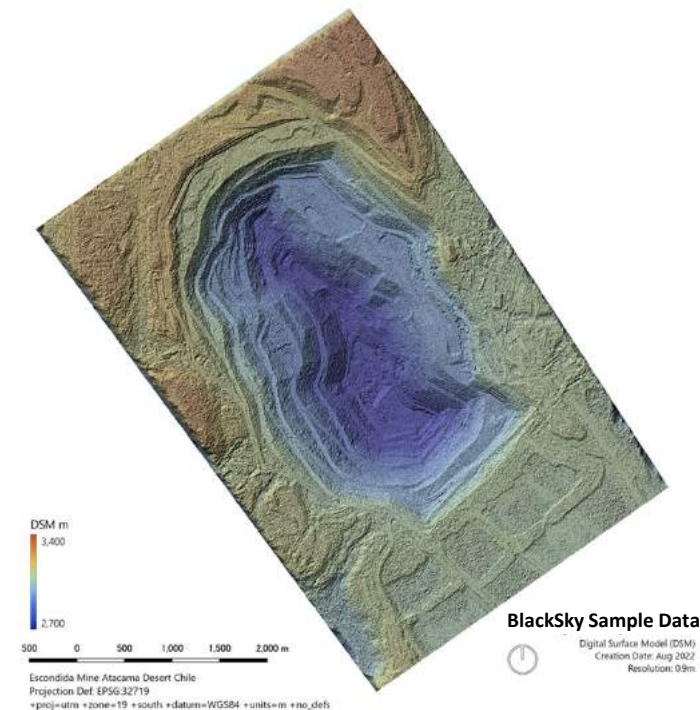
- 風力発電の有望地域をAW3Dと風況解析ソフトウェア（※）で数値解析
- 乱流のリスクを評価して風車の最適な設置候補地点を選定



※ RIAM-COMPACT® <http://www.twd-wind.com>

今後の展望と期待

- DEMの解像度、精度、カバレッジ、頻度の向上
 - 小型衛星コンステレーション → 観測頻度、カバレッジの向上
 - 大型-小型の連携
 - 両者の性能や運用性、開発コストのトレードオフを解消
- DEM付加価値の向上
 - 衛星LiDARとの連携
 - バイオマス推定や氷床モニタなどサイエンス分野への貢献
 - SAR干渉処理との連携 → 地形変動解析の高度化
- DEMの更なる普及
 - 3次元データのフォーマット、解析ツール等標準化
 - 汎用性、使いやすさの向上
 - 地上観測データ(UAV/航空機/MMS)との連携
 - グローバル3Dデジタルツインの実現



小型衛星(BlackSky)ステレオ画像から
作成したDEM

まとめ

- 衛星を利用した標高モデルについての変遷と最新動向を整理した。
- AW3Dを例に衛星標高モデルミッションのプロジェクト概要、技術課題への取り組み、利用状況と商業化を含む社会実装の事例を紹介した。
- 今後への期待と展望を昨今の技術開発のトレンドを踏まえて示した。



RESTEC
Sense your Earth

衛星による標高モデルのデータセット (back-up)

- 解像度30m以上は無償(サイエンス)、以下は有償(ビジネス)という住み分けが基本
- 異なるデータセットの相互補完による高品質化も行われている
- DEMが主要ミッションではない商業衛星(Maxar)の活用が拡大

データ名	データプロバイダー	衛星センサ・源泉	DEM計測手法	対象領域	グリッドサイズ	無償/有償
SRTM/NASADEM	NASA/DLR	STS-99/SRTM	干渉SAR	N60~S56	30m/90m	無償
ASTER GDEM	NASA/JSS	Terra/ASTER	光学ステレオ	Global	30m	無償
AW3D標準版	JAXA/RESTEC/NTTData	ALOS/PRISM	光学ステレオ	Global	2.5m/5m/30m	有償(2.5m/5m) 無償(30m)
AW3D高精細版	RESTEC/NTTData	Maxar satellites	光学ステレオ	On-demand	0.5m/1m/2m	有償
MERIT DEM	東京大学	SRTM, AW3D30mの 系統誤差を除去して合成	合成	Global	90m	無償
WorldDEM	Airbus D&S	TanDEM-X	干渉SAR	Global	12m/5m(Neo)	有償
Copernicus DEM	ESA	WorldDEMを主として AW3D30m等を合成	合成	Global	10m(局所)/30m/90m	無償 (10mは要ライセンス)
CO3D/DSM(予定)	Airbus D&S	CO3D	光学ステレオ	Global	1m	