

ASTER GDEM Readme ファイル-ASTER GDEM バージョン 1

I. 概要

ASTER (高性能マルチバンド光学センサ) 全球標高データ (GDEM) は、経済産業省 (METI) および米国航空宇宙局 (NASA) により共同開発された。ASTER GDEM は経済産業省および NASA の全球地球観測システム (GEOSS) への貢献のために作成されたものであり、(財) 資源・環境観測解析センター (ERSDAC) および NASA/LP DAAC の配付サイトから無償でユーザに提供される。

ASTER は、経済産業省によって開発され、1999 年 12 月に NASA の地球観測衛星 Terra に搭載され打ち上げられた。ASTER の可視近赤外域スペクトルバンドセンサー (VNIR) のバンド 3 直下視と後方視の望遠鏡をもち、バンド 3 のペアデータを使用することによって、同一軌道からの立体視観測が可能となる。この立体視観測データから、基線 - 高度比を 0.6 とする立体画像を作成できる。VNIR の水平面空間分解能は 15m である。直下視の VNIR 1 シーンは 4200 x 4100 画素からなり、約 60km x 60km の地表面積に相当する。

ASTER GDEM は、これまで観測された全データ (150 万シーン超) を用いて、以下に記述する自動化された手法で作成された。立体視観測を行った 1,264,118 シーンそれぞれに対して、立体視画像の相関により DEM (シーン DEM) を作成し、自動雲判定にて雲のあるピクセルを除外し (雲マスキング)、全シーン DEM を重合する。続いて、残留異常値および不良値を除外して、平均的な標高値を算出した。最後に、残留異常を補正した後、等緯経度で 1 度 x 1 度ユニットとしたデータ (タイル) に分割した。以上の完全に自動化された方法にて、約 1 年間をかけて ASTER GDEM の β バージョンの作成を完了した。バージョン 1 は β バージョンとほんのわずかに異なるだけであり、特記すべき違いは、北緯 60 度以北のユーラシア大陸で検知される異常値を補正するために、残留雲により引き起こされる標高異常値を -9999 という値に置換したという点である。

II. ASTER GDEM の特徴

ASTER GDEM の特徴とその表現に関する情報は、ユーザが ASTER GDEM を利用する場合に極めて重要である。以下に概要を記す。

A. GDEM の基本的特徴

ASTER GDEM は、対象地表面範囲を北緯 83 度から南緯 83 度とし、22,600 のタイルから成る。各タイルは少なくとも 0.01% の地表面積を含む。ASTER GDEM は GeoTIFF フォーマットで提供され、等緯度経度座標および 1 arc-second (約 30m) のグリッドの標高値データとなっている。また、測地系は WGS84、参照ジオイドは EGM96 である。表 1 に ASTER GDEM の特徴を示す。この GDEM の試作段階における概算精度 (無保証) は、垂直データでは 95% の信頼度で 20m、水平データでは 95% の信頼度で 30m であった。

表 1. ASTER GDEM の特徴

Tile Size	3601 x 3601 (1°-by-1°)
Posting interval	1 arc-second
Geographic coordinates	Geographic latitude and longitude
DEM output format	GeoTIFF, signed 16 bits, and 1m/DN Referenced to the WGS84/EGM96 geoid
Special DN values	-9999 for void pixels, and 0 for sea water body
Coverage	North 83° to south 83°, 22,600 tiles for Version 1

B. GDEM パッケージ

ASTER GDEM のデータユニットは、1 度×1 度の範囲のデータであり、タイルと呼称する。各 GDEM タイルパッケージには 2 つの zip 圧縮ファイル、つまり DEM ファイルと品質評価 (QA) ファイルが収められている。両ファイルとも、1 度×1 度の範囲に相当する 3601×3601 画素を持つ。各タイルパッケージは、最大で 5 度×5 度のエリアのタイルパッケージまで収容できるユニットディレクトリの一部分であり、それぞれが zip 圧縮 DEM ファイルおよび QA ファイルを含んでいる。よって、一つのユニットディレクトリに収容できる最大タイル数は、25 である。しかし、ASTER GDEM のタイルをオーダーしても、ユーザには全体の GDEM ディレクトリ構造は見えない。むしろ、現在のデータシステムでは、DEM と QA ファイルが収められている個々の圧縮タイルパッケージをユーザは選択することになる (図 1)。

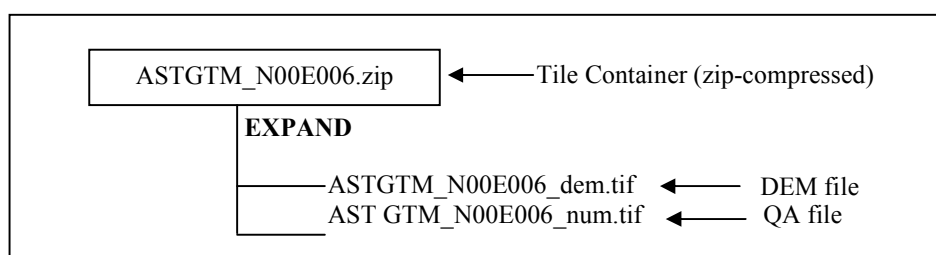


図 1. GDEM ファイル構造

各データタイル名は左下隅 (南西) ピクセルの中心の緯度経度を示す。例えば、タイル ASTGTM_N00E006 の左下隅の座標は北緯 0 度、東経 6 度である。ASTGTM_N00E006_dem と ASTGTM_N00E006_num ファイルはそれぞれ DEM と QA データを格納している。各タイルは隣接するタイルと、南北両端の row、東西両端の column で重なり合っている。

C. QA ファイルの内容

パッケージに収容されている QA ファイルは 2 つの基本情報を有する。1) 各 30m ピクセルの最終 GDEM 値を算出するのに使用されたシーンベース DEM の数 (スタック数)、あるいは、2) ASTER GDEM 内の異常値を置換するのに使用したソースデータセットである。各 QA ファイルピクセルには、これら 2 つの情報のうち、いずれか一つしか格納されていない。

スタッキングするデータを選択するのに使用された自動雲マスキングおよび統計的手段は完全に効果的であるとは限らず、特にスタック数が 2 以下の GDEM には異常がみられることがある。既存の DEM (参照 DEM) が利用可能な場合、既存の DEM は ASTER GDEM と参照 DEM の値の差の調整を含め、異常 GDEM 値を置換するのに使用された。ASTER GDEM 異常を置換するのに使用された参照データセットについては、表 2 で示すとおりである。

QA プレーン値の大部分は正の値で、スタッキングに使用した ASTER シーン DEM の数に直接対応している。DEM ファイルの各ピクセルに対応するそれらのシーンの標高値は最終 DEM 値を算出するのに使用された。負の値は、ASTER GDEM の不良値を置換するのに使用された特定の参照データセットを示す。参照データセット及びそれに対応する DN 値は表 3 に示す通りである。

表 2. ASTER GDEM バージョン 1 の異常 DEM 値に置換に使用された参照 DEM

SRTM3 V3 (Void-filled version)	Posting: 3 arc seconds Coverage: north 60° to south 56° Only about 90 % tiles of SRTM V3 are void filled
SRTM3 V2	Posting: 3 arc seconds Coverage: north 60° to south 56°
NED (U. S. National Elevation Data)	Posting: 1 arc second Coverage: Conterminous U. S.
CDED (Canada DEM)	Posting: 3 arc seconds for latitude; 3, 6 and 12 arc seconds for longitude, depending on latitude Coverage: all Canada territory
Alaska DEM	Posting: 2 arc seconds Coverage: all Alaska territory

表 3. QA ファイル参照データと DN 値

SRTM3 V3	-1
SRTM3 V2	-2
NED	-5
CDED	-6
Alaska DEM	-11

III. ASTER GDEM 検証結果の要約

ASTER GDEM は、広大な領域の地球の地表面をカバーする非常に大きなプロダクトである。完全な検証および特徴分析は、グローバル・ユーザ・コミュニティによる検証がなされ、完成したものである。ASTER GDEM の配付開始決定前に、NASA と経済産業省は米国地質調査所 (USGS)、ERSDAC、その他の協力者と共同で ASTER GDEM に対する大掛かりな検証および特徴の分析作業を行った。これらの調査結果はこれ以降に簡潔に要約されている。これらおよび更なる GDEM の精度や特徴分析の結果に関する考察については、以下に示す URL にアクセスして、「ASTER Global DEM 検証要約報告書」をダウンロードされたい。

<http://www.ersdac.or.jp/GDEM/J/3.html>,

<https://lpdaac.usgs.gov/>

A. 精度評価

アメリカ本土 (CONUS) を構成する 934 の ASTER GDEM タイルを、1,300 以上の地上基準点 (GCP) を使って USGS NED データと比較した。NED データと比べるにあたり、平均誤差、誤差の標準偏差、RMSE が GDEM の各タイル、および全 CONUS に対して算出され、また土地被覆データ (NLCD) の分類、地形、スタック数によっても計算された。NLCD の水、3つの土地被覆分類グループ (都市、森林、空地)、および水や氷雪以外というカテゴリに対して、ASTER GDEM と NED を比べた結果が表 4 に示されている。

表 5 には、ASTER GDEM の値を CONUS 全体に分布する 1,300 以上の基準点における GCP と比較した結果を示している。基準点を含むピクセルの標高 (NN) とその周囲のピクセルからの補間により算出された標高 (I) の両方に対して結果が示されている。表 5 の結果はおおむね表 4 の結果と一致している。表 4 で報告されている 10.87 の RMSE 値と表 5 で報告されている 9.35 の RMSE 値はそれぞれ GDEM 試作段階で予測されていた ASTER GDEM の垂直方向に対する 20m の誤差 (95% の信頼度) を少し上回るか、少し下回っている。

表 4. NLCD の水及び 3 つの土地被覆グループの分類を含む CONUS に対するラスタ・ベースの ASTER GDEM の垂直方向の精度検証結果

ASTER GDEM minus NED			
Land Cover			
Type Name	Mean	Std. Dev.	RMSE
All CONUS	-3.64	8.75	10.87
Water	-1.32	15.71	16.53
Urban	-4.06	6.94	9.06
Forest	1.72	9.93	10.93
Open	-6.40	7.31	10.33
Excluding Water and Ice & Snow	-3.77	8.19	10.46

表 5. CONUS に対する絶対基準ベースの ASTER GDEM 垂直精度検証結果

(NN = nearest neighbor; I = interpolated)	Number of Benchmarks	Mean	RMSE	Average Mean	Average RMSE
GDEM minus Benchmark Elevations (NN)	13,193	-3.71	9.33	-3.70	9.35
GDEM minus Benchmark Elevations (I)	13,193	-3.69	9.37		

CONUS の ASTER GDEM タイルの検証から得た詳細精度結果をその他の世界の地域の GDEM タイルに当てはめるため、様々な試みがなされた。参照 DEM と GCP の両方と比較しても、日本の検証チームが日本をカバーする多数のタイルから得た検証結果は CONUS のタイルから得られた検証結果と一致している。ASTER GDEM を実際に測定された位置情報誤差に対して補正すると、結果は CONUS のタイルに対して得られたものよりも良くなった (表 6)。

表 6. 日本の ASTER GDEM タイルの位置情報誤差 (m)

	Fukuoka	Kochi	Kyoto	Noubi	Osaka	Saitama	Tokyo
Geolocation Error E-W (m)	-19.25	-16.55	-23.63	-15.24	-8.33	-17.25	-14.23
Geolocation Error N-S (m)	-5.40	20.68	13.04	13.96	57.05	27.63	17.82

更に、事前検証研究に参加したアメリカと海外の協力者が、全七大陸に位置する約 350 の ASTER GDEM タイルについて、その精度と特徴について評価した。垂直方向の精度は、参照 DEM

と GCP 両方を用いて評価された。SRTM DTED2 (30m)が主要な参照 DEM となり、GCP の多くは ICESat GLAS のポイントから取られた。

精度の検証結果が、報告された研究により様々なのに対して、CONUS 以外の ASTER GDEM タイルの全体的な検証結果は、参照 DEM と GCP 両方と比較しても、CONUS のタイルに対する検証結果と概して一致した。地域によっては様々な要因が ASTER GDEM の精度に影響を与えるので、CONUS 以外の個々のタイルに対する RSME は、CONUS タイルの平均よりはるかに良いものからかなり悪いものまで様々である。しかし、ASTER GDEM 全体の概算精度は、地球規模で見れば、95%の信頼度で 20m と判断できる。

B. DEM の異常値

ASTER GDEM の重要な検証作業として、データセットの全体精度に影響を与える可能性があり、利用分野によってはその利用を妨げると同時に、見映えの悪いものにしてしまう DEM の異常値の確認やデータの特徴についてのデータ分析を行なった。検証作業で、実際にわかったことだが、ASTER GDEM は残留異常や人為構造を含み、それらは全体の精度を低下させ、利用分野によっては GDEM の効果的な活用への障害となり、場合によっては視覚的にも明瞭な欠陥がある印象を与える、異常値が部分的に存在する。

特にスタック数が小さい地域や、常に雲があるような問題のある地域、代替 DEM が無いエリアでは、雲判定の困難さに起因する異常値が存在する。ASTER GDEM β バージョンでは、緯度 60 度より北のユーラシア大陸でこのような異常が最も顕著であったが、これらの異常値の殆どはバージョン 1 では -9999 の値に置き換えられた。

除去しきれなかった雲による標高値異常よりさらに厄介なのは、異なるスタック数のゾーンの境界（線状あるいはカーブ状）に関連した広範囲に見られる、様々な異常標高値である。そのような異常値は pit (穴), bump (突起), mole run (もぐら軌跡), その他のまっすぐな線のような幾何学形状となって出現している。これらに起因する異常標高値は、1m - 2m から 100m 以上にわたっている。図 2 が示すのは、「穴」状異常値と、そのスタック数の関連を示した例である。図 3 が示すのは、「もぐら軌跡」状異常値と、そのスタック数の関連の例である。

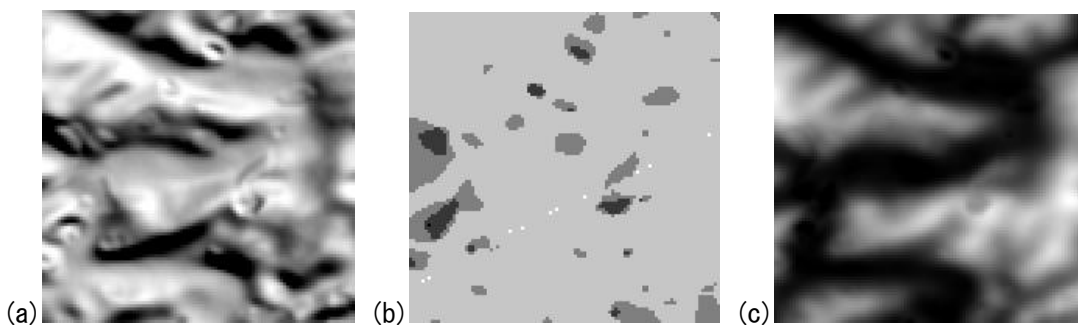


図 2 ASTER GDEM 陰影画像の「穴」状異常の例(a)。スタック数の境界と明らかに関連がある(b)。通常の明度の ASTER GDEM 画像では、「穴」状異常は特に目立たない(c)。

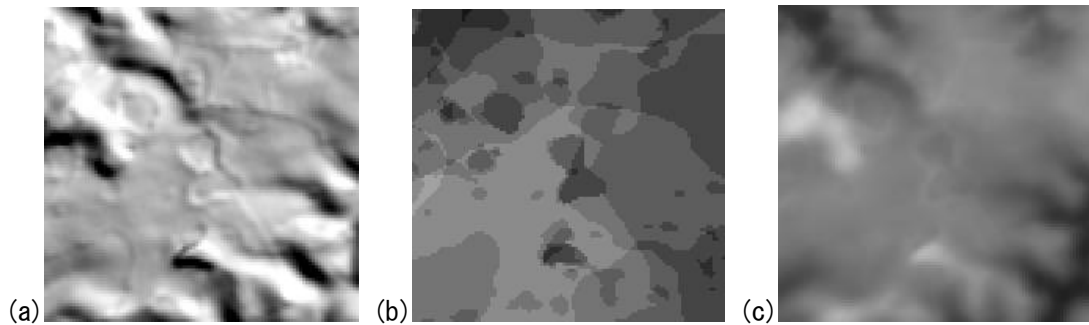


図3 ASTER GDEM 陰影画像の「もぐら軌跡」状異常値の例(a)。スタック数の境界と明らかに
 関連がある (b)。通常の明度の ASTER GDEM 画像ではもぐら軌跡は特に目立たない(c)。

前述の異常値に加え、ASTER GDEM の現在のバージョンのもうひとつの弱点は、内水域に対するマスクが適用されていないという事実である。従って、内水域の大部分の水域で一定の標高値とならない。また、ほとんどの水域の存在が ASTER GDEM ではわからない。更に、ASTER GDEM の標高値のグリッド間隔は 1 arc-second, 約 30m であるのに対し、ASTER GDEM の地形表現力は 100m から 120m の間の値と推定される。

IV. 要約と結論

統計的には、ASTER GDEM は、全世界的に見ても概ね GDEM プロジェクト開始前に予測した 95% のレベルで 20m の垂直精度を満たしている。タイルによっては、20m の精度よりかなり良いし、20m よりかなり悪いものもある。これらのことから、ASTER GDEM は、利用領域によっては利便性を低下させてしまう異常値を含む。しかし、前述したいくつかの弱点にも関わらず ASTER GDEM は Global DEM を必要とする多くの利用分野において非常に役に立つプロダクトとなるだろう。

経済産業省および NASA は、ASTER GDEM バージョン 1 は「実験的」あるいは「研究用」として利用していただきたいと考えている。それでも今回、ASTER GDEM (Version 1) の世界への配付を開始したのは、GDEM の有用性が、その欠点を凌駕すると確信しており、多くのユーザに早く使用されることで、将来の ASTER GDEM の改善につながることを期待しているからである。

ASTER GDEM (Ver. 1) は、データのごく一部に異常値や欠陥を含んでいます。このことをご理解の上、ご利用下さい。また、NASA、経済産業省、及び(財)資源・環境観測解析センターは、ASTER GDEM の利用により生じた損害について、一切責任を負いません。