



ASTER

ユーザーズガイド

第3編

DEM Products (L4A01)

Ver.1.1

2005年7月

ERSDAC

財団法人 資源・環境観測解析センター

ASTER ユーザーズガイド 第3編
DEM Products (L4A01)
Ver.1.1

目次

1. はじめに	1
2. ステレオシステム構成	3
3. DEM 生成アルゴリズム	4
3.1. アルゴリズムフロー.....	4
3.2. 画像合わせ法.....	6
4. プロダクト説明	8
4.1. 内容概要.....	8
4.2. DEM Z データ (標高データ).....	9
4.3. 第1 QA データプレーン (FIRST QA DATA PLANE).....	10
4.4. 第2 QA データプレーン (SECOND QA DATA PLANE).....	11
4.5. 相関係数 (CORRELATION DATA).....	12
4.6. 局所最大傾斜データ (LOCAL MAXIMUM SLOPE DATA).....	12
4.7. メタデータ.....	13
4.8. サプリメントデータ (SUPPLEMENT DATA).....	14
5. 品質情報	15
5.1. 高精度 GCP との比較評価.....	15
5.2. DEM データベースとの比較評価.....	16
5.3. 品質情報要約.....	19

1. はじめに

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer)は1999年12月にTerra衛星に搭載されて打ち上げられた高度多チャンネルイメージャであり、高い空間、波長、輝度分解能をもち、可視から熱赤外の広い波長範囲を14バンドでカバーしている。この広い波長範囲は、空間分解能15mで3つのバンドを持つ可視近赤外放射計(VNIR)、30mの空間分解能で6つのバンドを持つ短波長赤外放射計(SWIR)、90mの空間分解能で5つのバンドを持つ熱赤外放射計(TIR)の3つの望遠鏡でカバーしている。さらに、このユーザーズガイドの主目的であるステレオ機能のための後方視望遠鏡が、近赤外スペクトルバンド(バンド3B)に設けられている。スペクトルパスバンドの詳細は表1-1に示されている。Terra衛星は今、高度705mを円形のほぼ極軌道で飛行し続けている。赤道通過の地方時10時30分、16日の回帰周期を持つ太陽同期の軌道である。軌道パラメータは地方時を除けばLandsat-7と同じである。

ASTER センサはレベル1Aとレベル1Bの2種類のタイプのデータプロダクトを持っている。レベル1Aはフル分解能で、レベル1処理で生成された種々の係数が画像に適用されず、単に添付されているプロダクトとして定義されたものである。この定義に従えば、ASTER レベル1データは画像データ、輝度係数、幾何係数、その他の補助係数から構成されている。レベル1データが最もセンサの性能を高度に維持したプロダクトになる。レベル1Bデータはこれらの係数を輝度補正、幾何的リサンプリングのために適用して生成されたプロダクトである。DEMデータの作成には、種々のセンサ情報だけでなく、位置、姿勢、時間等の高精度のDEM作成に有用な衛星の情報も含んでいるために、元データとしてはレベル1Aデータプロダクトが用いられる。これらのパラメータは個々のシーンに対して地表参照点(GCP: Ground Control Point)なしに高度のDEMを作成するために活用される。

視線ベクトル、ポインティング軸ベクトルなどのセンサの幾何的パラメータは、多くのGCPを用いた検証活動を通して正確に調整されている。これによって、優れた精度を持つDEMデータがシステムパラメータだけの処理で実現されていることも実証されている。

表 1-1 スペクトル特性

Subsystem	Band No.	Spectral Range	Spatial Resolution
VNIR	1	0.52 – 0.60	15 m
	2	0.63 – 0.69	
	3N	0.78 – 0.86	
	3B	0.78 – 0.86	
SWIR	4	1.600 – 1.700	30 m
	5	2.145 – 2.185	
	6	2.185 – 2.225	
	7	2.235 – 2.285	
	8	2.295 – 2.365	
	9	2.360 – 2.430	
TIR	10	8.125 – 8.475	90 m
	11	8.475 – 8.825	
	12	8.925 – 9.275	
	13	10.25 – 10.95	
	14	10.95 – 11.65	

2. ステレオシステム構成

図 2-1 に示したように、VNIR サブシステムは 2 つの望遠鏡、直下視と後方視、を持っている。この 2 望遠鏡方式は、最小の重量で同一軌道ステレオ機能と 0.6 の B/H (base-to-height)比を実現するために採用された。JERS/OPS に採用された 1 本望遠鏡方式は小さな B/H 比にのみ採用可能である。直下視と後方視の組み合わせは性能と必要なリソースのトレードオフの結果である。

図 2-2 はステレオ構成を示す。B/H 比と視差角度 α の関係は $B/H = \tan \alpha$ である。ここで α は地表の観測点での直下視と後方視の角度である。B/H 比 0.6 に相当する角度 α は 30.96 度になる。地球の球としてのわん曲と考慮すると直下視望遠鏡と後方視望遠鏡の設定角度は 27.60 度になる。

隣接軌道間隔が 172km であるのに対して、ASTER の刈幅は 60 km であるために、軌道直交方向を全部カバーするためのポイントング機能を持っている。直下視と後方視望遠鏡の光学軸が軌道直交方向に傾けられるようになっている。

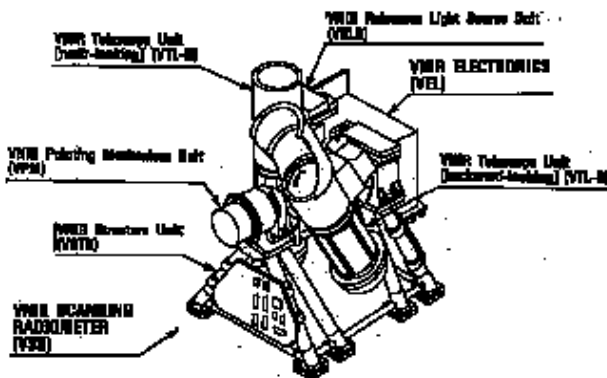


図 2-1 VNIR 構成

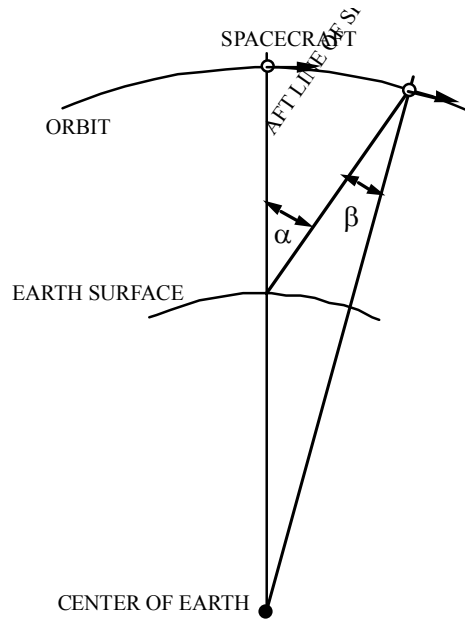


図 2-2 ステレオ構成

3. DEM 生成アルゴリズム

開発されたステレオデータ処理アルゴリズムの基本コンセプトは、個々のシーンに対して GCP を参照することなく、センサと衛星のエフェメリスパラメータだけでステレオデータを生成することである。

3.1. アルゴリズムフロー

図 3-1 に DEM データ生成のアルゴリズムフローを示す。このプロセスは以下のように実行される。

- 1) レベル 1A データの入力
- 2) 粗い DEM(GTOPO030)データベースの入力をする。
- 3) 画像データに輝度補正係数を適用する。
- 4) 粗い画素合わせのための 2 種類の縮小画像の生成。縮小率は 1/2 と 1/4 である。
- 5) 各相関窓の画像合わせの可能性の評価とフラッグのセットを行う。雲、水面領域、不完全なシーンお端は画像合わせの対象から除かれる。
- 6) 6) 1/4 縮小画像による第 1 段階の画像合わせに実行とパララックスの解析をする。
- 7) 7) 1/2 縮小画像並びに第 1 段階の画像合わせデータによる第 2 段階の画像合わせの実行とパララックスの解析をする。
- 8) フル分解能画像と第 2 段階の画像合わせデータによる第 3 段階の画像合わせを実行する。画像合わせに先立って、相関を改善するために倒れ込み誤差の補正をする。
- 9) 9) 2 ピクセル毎 (即ち、30 m 毎) に地表観測点の x, y, z を解析する。このプロセスは、ECR 座標系によるバンド 3N とバンド 3B の検出素子の視線ベクトル (LOS ベクトル) の作成と 2 本の視線ベクトルの延長線上での交点の算出を含む。
- 10) ECR 座標系での X, Y, Z データを出力する。
- 11) X, Y, Z データから回転楕円体 (WGS-84) ベースの標高 (高さデータ) を生成する。
- 12) 選択された地図投影に応じて高さデータをリサンプリングする。
- 13) 地図投影された高さデータ (Z データ) を出力する。

ここで解析されるのは WGS-84 回転楕円体ベースの標高である。公式の標高は WGS-84 回転楕円体に基づくものでなく、ジオイドベースである。ジオイド高の補正はジオイドデータベースから得られるジオイド高を減じることによりなされる。

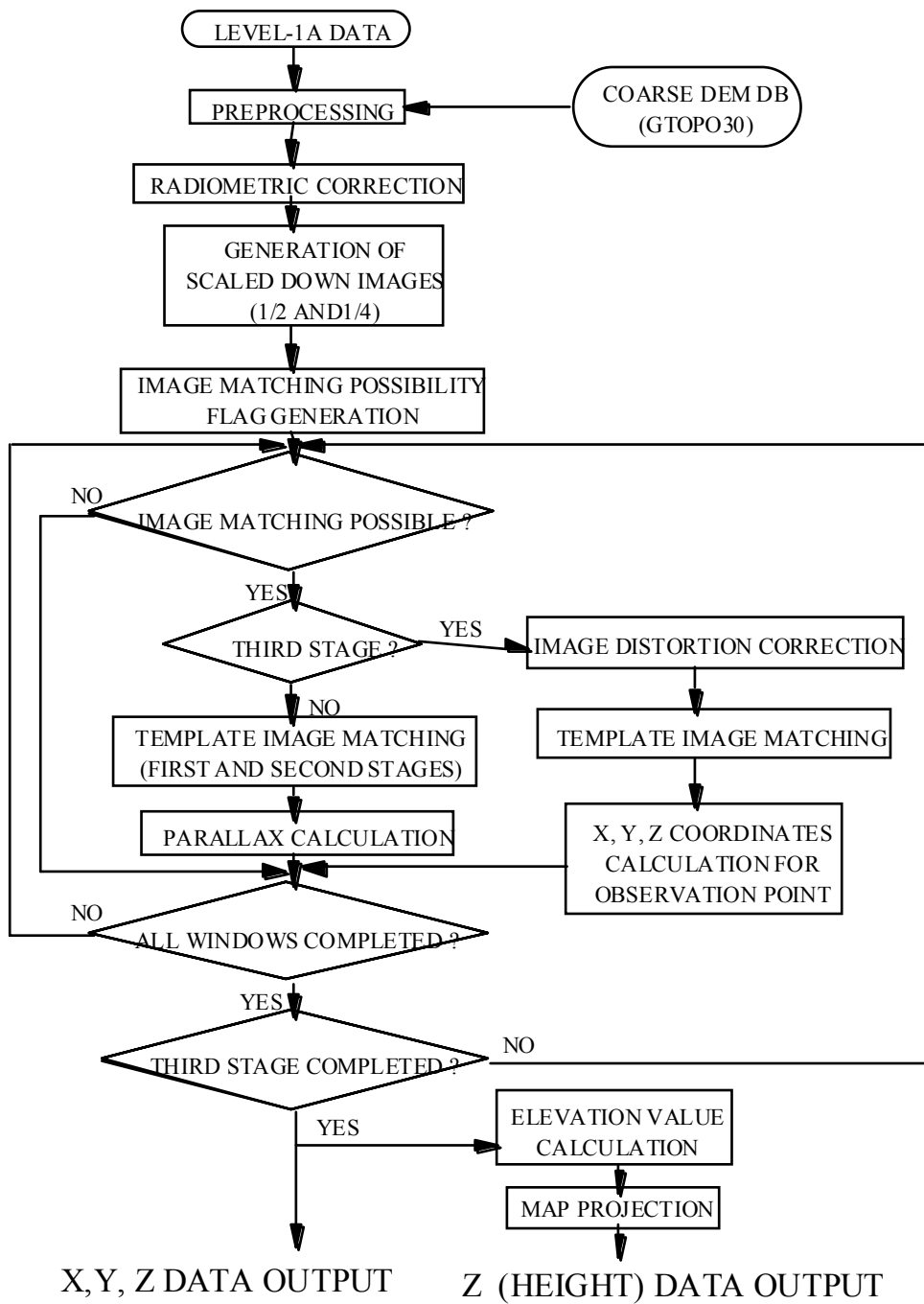


図 3-1 DEM 生成アルゴリズムフロー

3.2. 画像合わせ法

一組のステレオデータ画像（バンド 3N とバンド 3B 画像）からトポグラフィックな特徴を抽出するためには、まず、2つの画像の対応点を探索する画像合わせ技術が必要である。相関係数を用いた対応点探索にはテンプレートマッチング技術が用いられる。テンプレートマッチング技術は2つの画像（バンド 3N とバンド 3B 画像）の間の最良の対応点を見つける手法である。図 3-2 に示したように、バンド 3N 画像は画像サイズ $N \times N$ 画素を持つテンプレート画像であり、バンド 3B 画像はバンド 3N よりも大きなサイズの探索画像である。相関係数が最良マッチングの指標として用いられる。

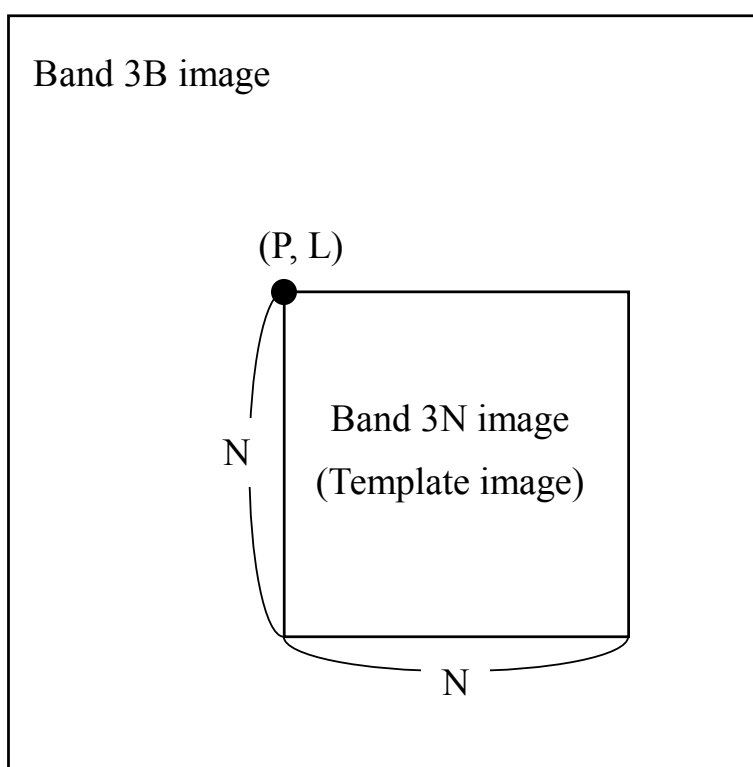


図 3-2 バンド 3N 画像 バンド 3 B 画像による
テンプレートマッチング法.

衛星の位置とバンド 3N とバンド 3B の視線ベクトルが、対応点の一組の座標から格子点での値から内挿される。格子点でのそれらの値はレベル 1A データプロダクトの中に含まれている。図 3-3 に示したように、バンド 3N とバンド 3B の 2 本の視線ベクトルの交点(P1)が地上観測点になる。2 本の視線ベクトルの交点からトポグラフィックな特徴を抽出するこの方法はバンドル法と呼ばれている。

公称のパララックス (B/H比) は 0.6 であるが、この値は現実には一定値ではなく、ピクセル位置やポインティング角度等によりわずかに依存する。そのため、バンドル法はピクセル位置やポインティング角度に関係なく高さ情報を含む観測点を解析するのに有用な方法である。

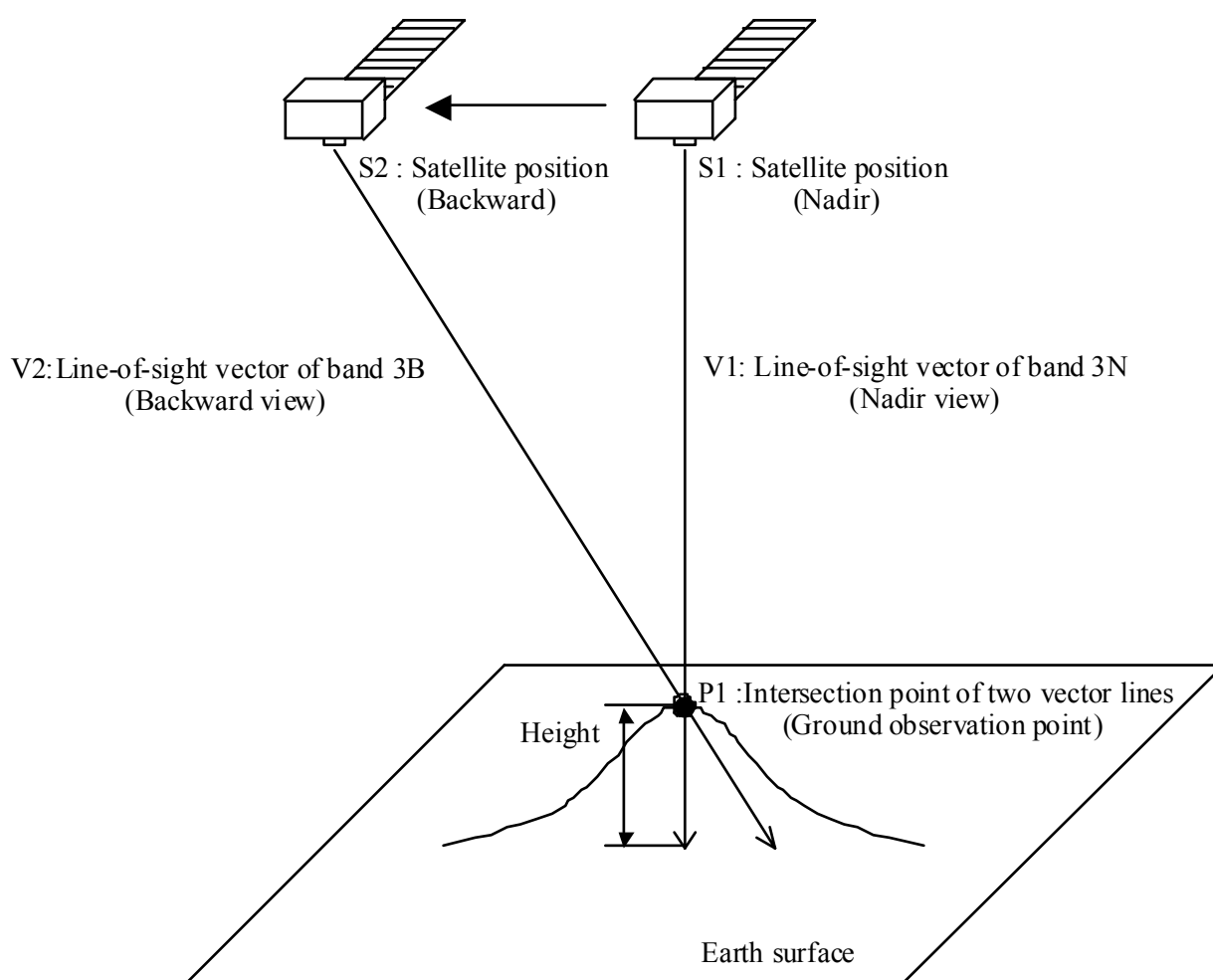


図 3-3 バンドル法による地表観測点測定

4. プロダクト説明

4.1. 内容概要

現時点では、DEM Z データのみが一般配布されている。図 4-1 に DEM Z データプロダクトの概要を示す。

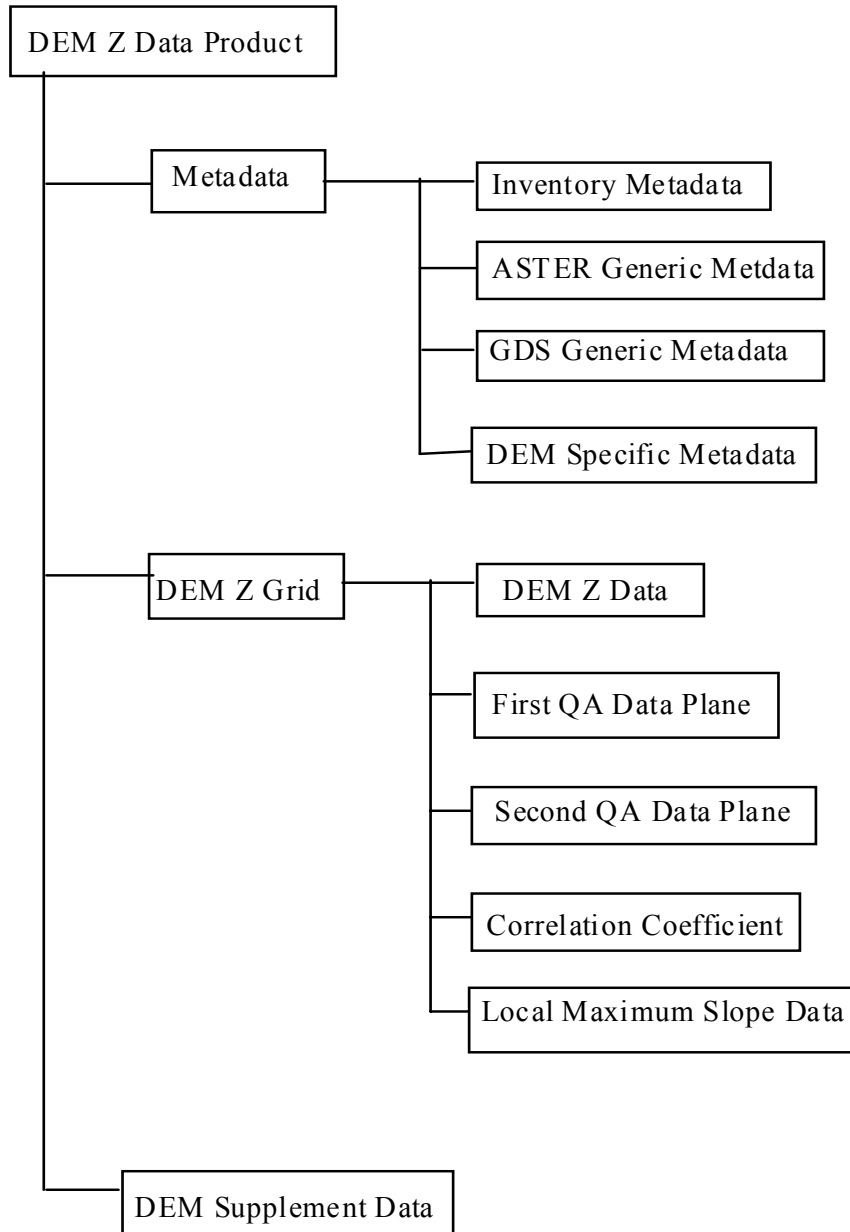


図 4-1 DEM-Z データプロダクト概要

4.2. DEM Z データ（標高データ）

DEM Z データは地図投影された標高データである。以下の地図投影が利用可能である。

- 等緯経度座標（デフォルト座標）
- Universal Transverse Mercator
- Polar Stereographic
- Lambert Conformal Conic
- Mercator.

測位地図投影は WGS-84 に基づいている。データの画素間隔は 30 m（等緯経度座標の場合は 1 秒）である。標高データには 16 ビットが割り当てられており、1DN が 1 m の相当している。標高データは WGS-84 回転楕円体ベースで算出されている。公式のジオイドベースに変換するにはジオイド高を減じる必要がある。

水面などの標高値が算出できなかったか又は適切に内挿出来なかった画素については-9999 が割り当てられている。内挿によって求められた画素は第 1 又は第 2 QA プレーンフラッグから知ることが出来る。地図投影パラメータは（地図投影の種類、最左上の画素の緯度/経度、画素間隔など）はサプリメントデータとして収納されている。

表 4-1 標高データ要約

Item	Description
Data Size	Variable (value in each product is described in DEM Specific Metadata)
Pixel Spacing	30 m (1 arcsec for lat/long coordinates)
Data Type	2 dimensional data array 16 bits integer (signed)
Unit Conversion Factor	1 m/DN
Reference Elevation	WGS-84 ellipsoid
Dummy Area Data	-9999
Abnormal Data	-9999

4.3. 第1 QA データプレーン (First QA Data Plane)

第1 QA データプレーンは画素レベルでの品質評価情報である。このプレーンでは各画素の標高データが良好、悪い、疑わしい、ダミー等の状態を示している。

表 4-2 First QA Plane のフォーマット

Item	Description
Data Size	Variable (same as DEM Z data) (value in each product is described in DEM Specific Metadata)
Data Type	2 dimensional data array 8 bits integer (only lower 4 bits are used)

表 4-3 First QA Plane の内容

Category	Binary Code	Description
Bad	0001	Abnormal value pixel of the DEM data.
Suspect	0010	Bad, overflow, underflow, sea or lake pixel of the Level 1A VNIR 3N image, or interpolated pixel of DEM.
Dummy	0100	Blank (dummy) pixel
Good	0000	Good pixel

4.4. 第2 QA データプレーン (Second QA Data Plane)

第2 QA データプレーンは8ビットフラグでもってDEMデータの良否、オーバフロー/アンダフロー、湖/池、雲、異常値、ブランク画素の状態を各画素に対して示している。下位の5ビットはバンド3Nの画像の状態を示し、DEMデータの生成に利用される。さらに、上位の3ビットはDEMの状態を示す。

表 4-4 Second QA Plane のフォーマット

Item	Description
Data Size	Variable (same as DEM Z data) (value in each product is described in DEM Specific Metadata)
Data Type	2 dimensional data array 8 bits integer

表 4-5. Second QA Data Plane.の構造

DEM Status			VNIR Status				
8	7	6	5	4	3	2	1

- 1: Bad / Suspect
- 2: Overflow / Underflow
- 3: Sea
- 4: Lake / Pond
- 5: Cloud
- 6: Abnormal Value
- 7: Blank Pixel
- 8: Interpolated Pixel

海、湖、池、雲のフラグは輝度の敷居値を設定して、バンド3N画像から抽出した結果である。標高値の状態を見るには、第6ビットの異常値のフラグを参照するのがよい。異常値は低相関係数又は標高値が急激に変化している所を示している。殆どすべての海と雲領域は異常値として示されている。

4.5. 相関係数 (Correlation Data)

相関係数はステレオマッチングの課程で測定した値である。相関値 0 から 1.0 の値は、8 ビットの全範囲である 0 から 255 にスケールされて示されている。

表 4-6 相関係数データのフォーマット

Item	Description
Data Size	Variable (same as DEM Z data) (value in each product is described in DEM Specific Metadata)
Data Type	2 dimensional data array 8 bits integer

4.6. 局所最大傾斜データ (Local Maximum Slope Data)

局所最大傾斜データは各画素の最大傾斜角である。角度は 0 から 90 度で示されている。

表 4-7 局所最大傾斜データのフォーマット

Item	Description
Data Size	Variable (same as DEM Z data) (value in each product is described in DEM Specific Metadata)
Data Type	2 dimensional data array 8 bits integer

4.7. メタデータ

DEM Z メタデータは以下に示す 4 つのグループからなっている。

- (1) Inventory Metadata
- (2) ASTER Generic Metadata
- (3) GDS Generic Metadata
- (4) DEM Specific Metadata Z

「メタデータ」はプロダクト又はデータセットに関わる情報を記述したものである。これには、源泉データ、品質、その他の状態を知るための情報が含まれている。メタデータとしてデータの解釈、デコードしたり処理したりするのに必要な情報が供給されている。また、データを生成するために用いたソフトウェアに関する項目も含まれている。メタデータはオブジェクト記述言語とクラスシステムで記述されている。詳細は“ASTER Level-4A01 Data Products Specification”を参照されたい。

メタデータと HDF 属性名の関係は表 4-8 に示されている。

表 4-8 メタデータと HDF 属性名の関係

Metadata	HDF Attribute Name
Inventory Metadata	coremetadata.0
ASTER Generic Metadata	productmetadata.0
GDS Generic Metadata	productmetadata.1
DEM Specific Metadata Z	productmetadata.z

4.8. サプリメントデータ (Supplement Data)

DEM サプリメントデータは DEM 処理パラメータを含んでいる。

表 4-9 DEM サプリメントデータの内容とフォーマット

Field Name	Order	Variable Type	Description
Ellipsoidal_Parameters	5	DOUBLE	Ellipsoidal parameters (Semi-Major Axis, 1/Flattening, dx, dy, dz)
Map_Projection	8	CHAR	Map projection 'UTM', 'PS', 'LATLON', 'LCC', 'MERCATOR' (The size of Map_Projection field is fixed (8 bytes). When the length of the data (map projection name) is less than 8 bytes, blanks are added to it.)
UTM_Zone	1	UINT16	UTM zone 1~60
Base_Long	1	DOUBLE	Base longitude line of map projection Longitude: -180.0E~180.0E Use for PS
Base_Lat	2	DOUBLE	Base latitude line of map projection Latitude: -90.0N~90.0N Use for LCC
Interpolation_Mode	4	UINT16	Interpolation mode for Sea pixel, Lake pixel, Cloud pixel and Abnormal value pixel. 0: No interpolation 1: Constant value 2: Interpolation (weighted mean method)
Spatial_Resolution	2	DOUBLE	Spatial resolution X direction and Y direction
Window_size	1	UINT16	Window size of interpolation 1~99
Weight_Coeff	1	DOUBLE	Coefficient of weight for interpolation 1.0~4.0
Start_LonLat	2	DOUBLE	Start east longitude and north latitude
Output_Pixel_Size	2	UINT16	Output pixel size X size, Y size
Supplement_Value	5	INT16	Supplement value for Sea pixel, Lake pixel, Cloud pixel, Abnormal value pixel and blank pixel (sea, lake, cloud, abnormal value, blank)

5. 品質情報

ASTER DEM プロダクトは水平値（画素位置）と垂直値（標高）の両方に関して総括的に評価された。精度評価には以下の2種類の方法が用いられた。

- 1) ASTER DEM XYX データと高精度 GCP との比較
- 2) ASTER DEM データとより正確な既存の DEM データベース(1/25,000 トポグラフィック地図)から引き出された値との比較

高精度の GCP は標高約 3000 メートルの山岳地帯を含む多くの検証サイトで用意された。水平、垂直値は高精度な作動型 GPS で測定された。

高精度 GCP の精度を以下に示す。

水平：±3.5m 以上の精度

垂直：±1m 以上の精度

精度とポインティング角度との関係を知るために同じ検証サイトを異なったポインティング角度でカバーしている。

5.1. 高精度 GCP との比較評価

表 5-1 に高精度 GCP との比較により評価した結果を示す。ハヶ岳のみが標高 3000 メートル近い山岳地帯である。水平方向の画素位置精度は報告されている衛星の位置精度 50m (3 シグマ) とほぼ同じである。標高精度はセンサのシステムパラメータの精度とほぼ同一である。ごく大雑把に言って、最大地表画素位置誤差と最大標高誤差は、それぞれ、50 m と 15 m 以下である。最大誤差は概略「平均+3」として評価できる。

表 5-1 DEM の精度

Site Name	Number of GCPs	Pointing Angle (deg)	Average error (m)			σm		
			Longitude	Latitude	Elevation	Longitude	Latitude	Elevation
Tsukuba	20	0.02	-21.0	5.1	5.1	5.1	6.6	3.5
Yatsugatake	12	8.59	-19.8	12.9	-0.7	12.1	9.0	3.3
Saga 1	7	0.02	-4.3	10.0	-3.2	5.1	5.4	4.8
Saga 2	5	0.02	-13.2	6.8	3.0	8.1	4.6	3.2
Saga 3	11	-5.69	45.8	-3.7	-8.0	6.5	5.1	2.1

地表画素位置精度については、レベル1処理における地球章動補正等の不具合に伴う誤差の増大が報告されている。詳細はユーザーズガイド「ASTER レベル1プロダクト」編の「データ品質情報」を参照のこと。

5.2. DEM データベースとの比較評価

図 5-1、5-2, 5-3 に作成された日本における 3 つのフル画像の標高とそれぞれの標高プロファイルの例を示す。標高誤差の一例はそれぞれの図の中で示されている。

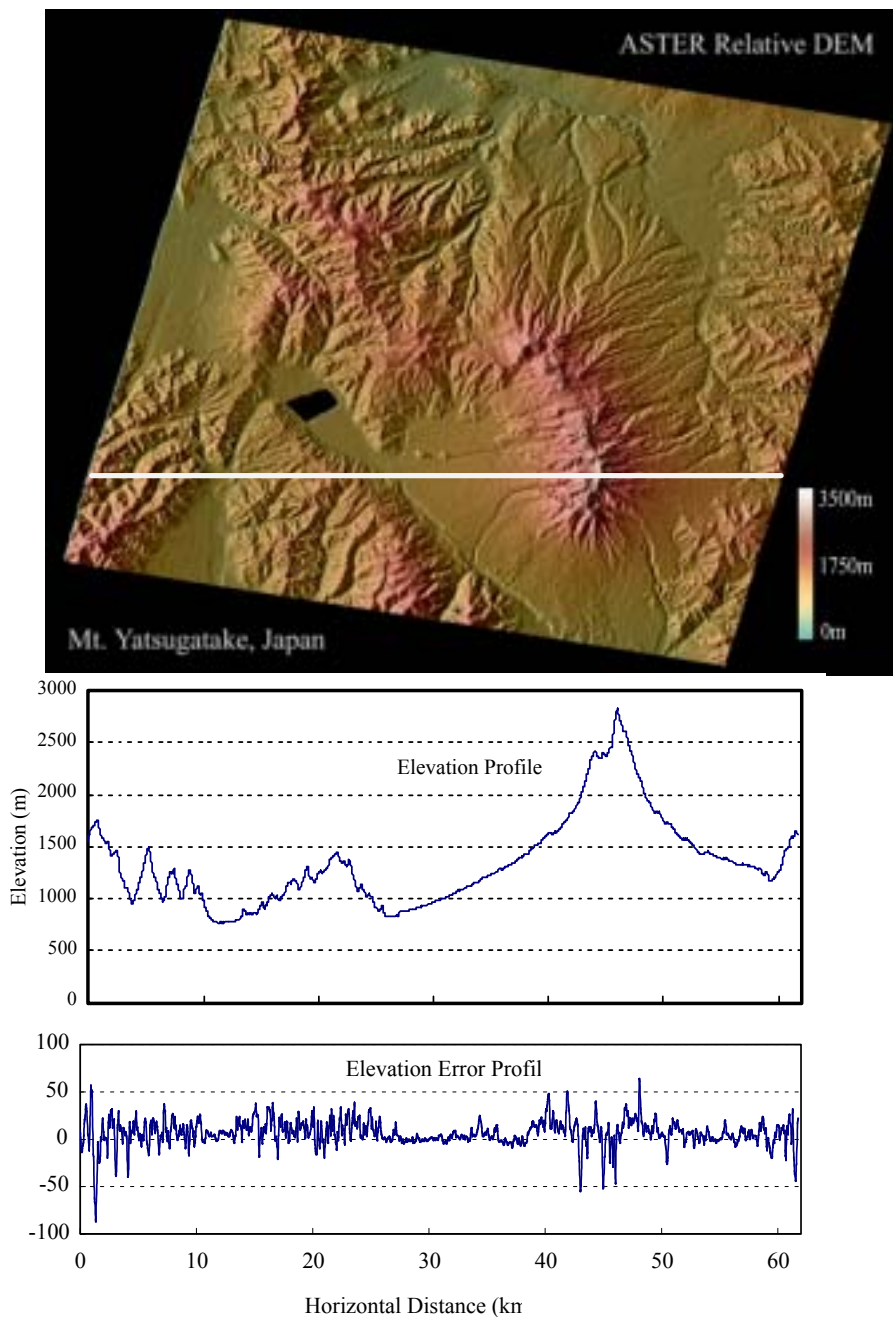


図 5-1 ハヶ岳の DEM データ。 プロファイルは画像中の白線に沿った値

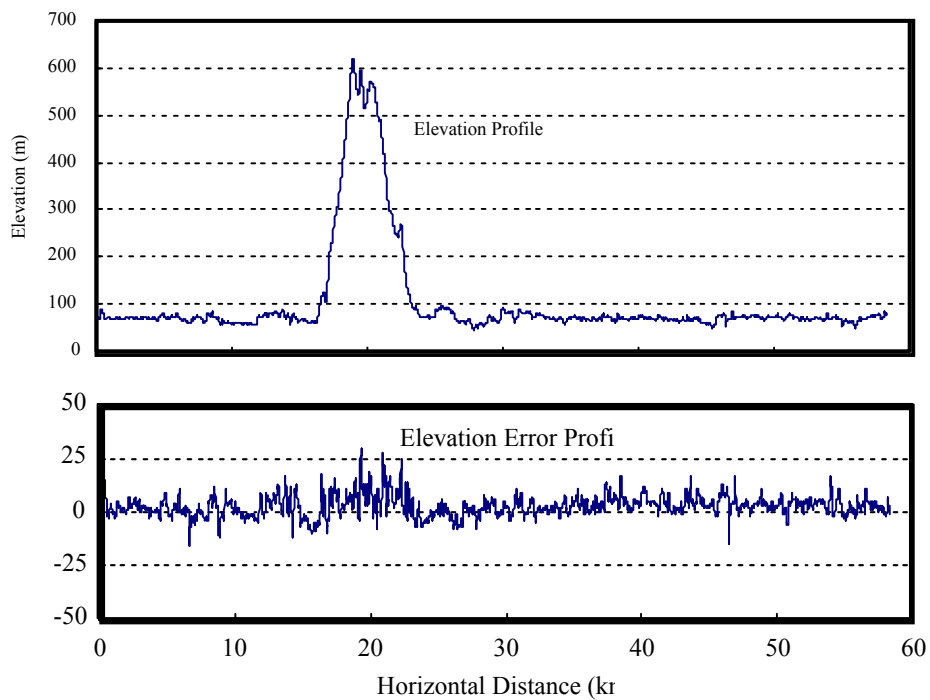
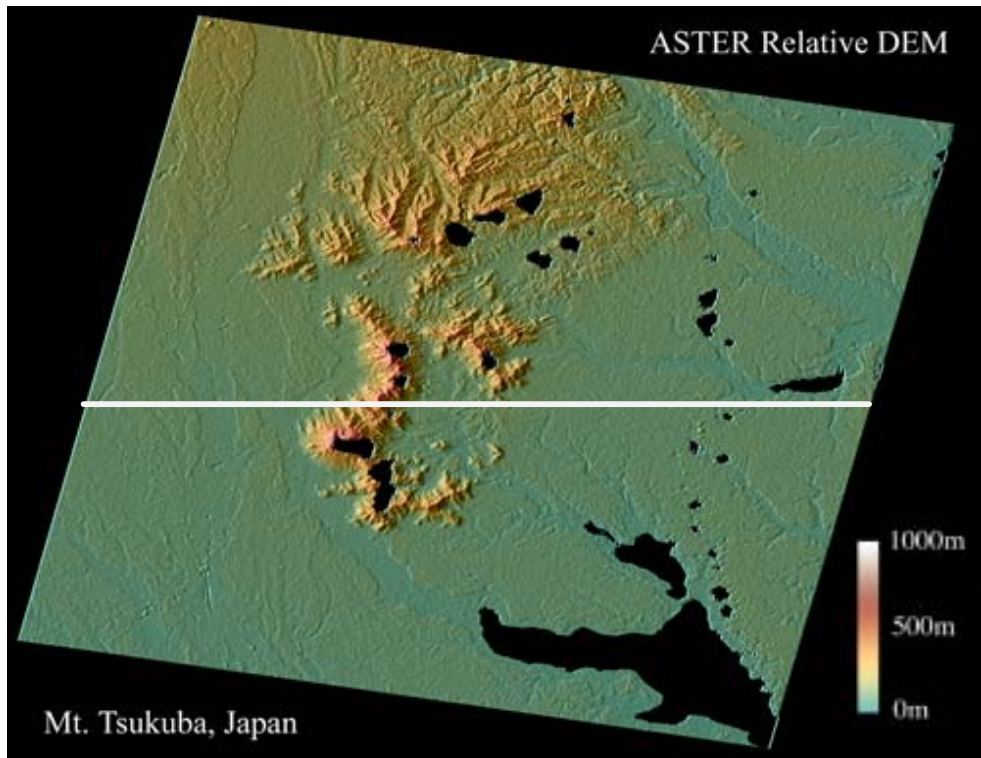


図 5-2 筑波山の DEM データ. プロファイルは画像中の白線に沿った値

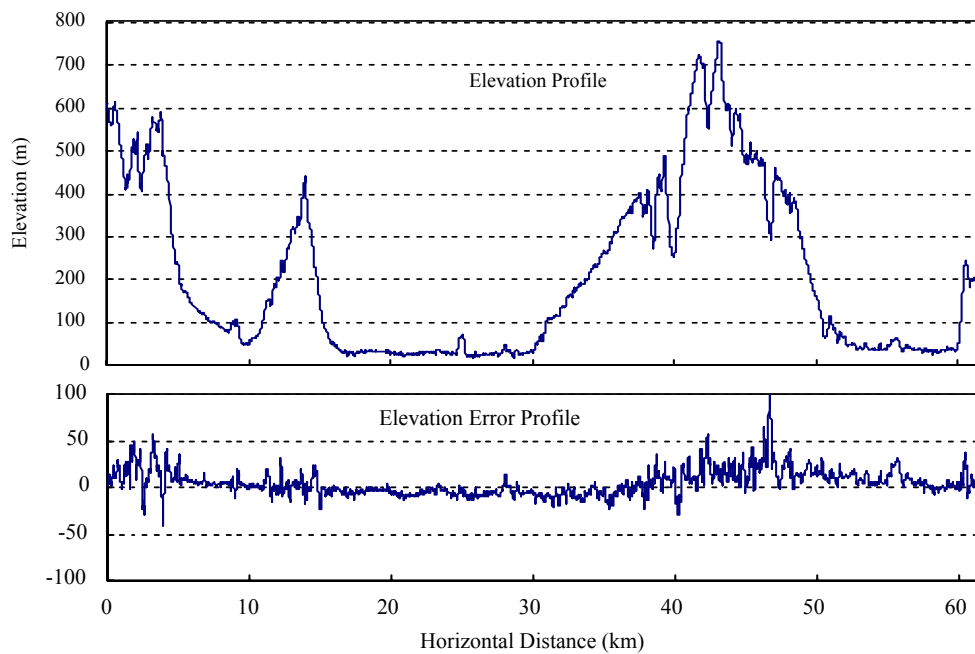
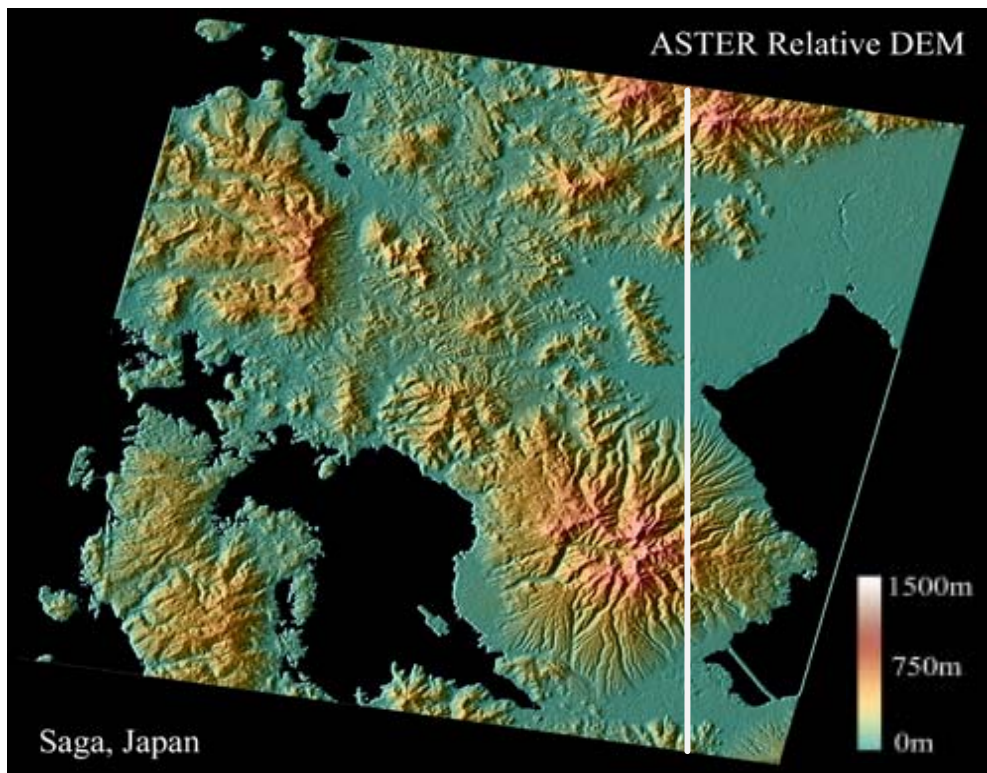


図 5-3 佐賀の DEM データ。 プロファイルは画像中の白線に沿った値

図 5-1、5-2、5-3 の標高値は WGS-84 回転楕円体に基づいている。八ヶ岳、つくば、佐賀地域のジオイド高は、それぞれ、43 m, 40 m, 32 m である。公式のジオイドベースの標高はこれらのジオイド高を差し引くことにより求められる。

標高精度は、山岳地帯での急激な起伏地を除けば、センサのシステムパラメータの精度並びに高精度 GCP の精度とほぼ同じである。

図 5-4 に、八ヶ岳地域のより詳細なデータベースとの比較を示す。

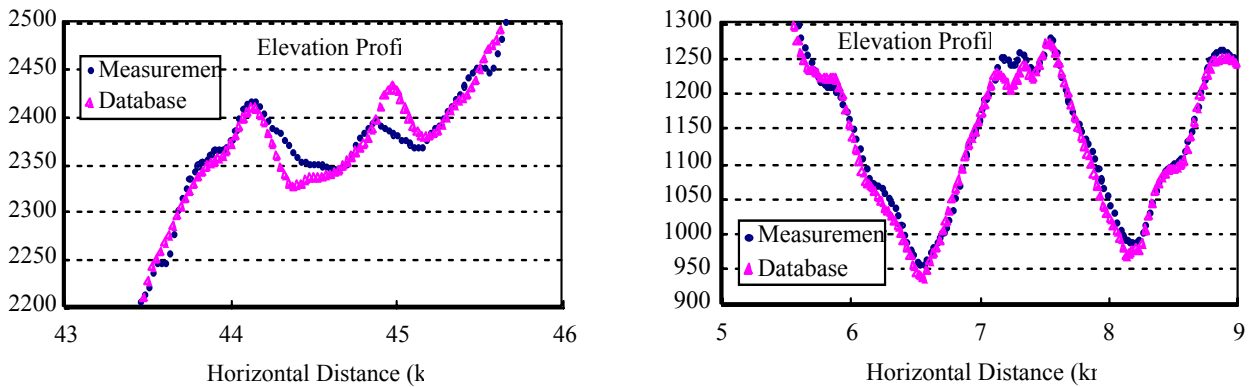


図 5-4 八ヶ岳地区標高データのデータベースとの詳細比較

5.3. 品質情報要約

ASTER レベル 1A から作成されたステレオデータの精度は個々のシーンの GCP 参照なしで 15 m 程度と判断される。DEM データにとって重要な水平方向の地表画素位置精度は 50 m より良い。これは衛星の位置精度に制約されている。