

PRISM/AVNIR-2 Level 1B2 RPC データセット

RPC データ作成方式及び精度検証報告書

2009/09

EORC/RESTEC 開発

—目次—

1.	はじめに.....	1
2.	RPC データ作成方式.....	1
2.1	RPC データ説明.....	1
2.2	RPC データ作成方式.....	1
2.3	L1B1 と L1B2 の RPC の違いについて.....	2
3.	サンプルシーン及びパラメータ.....	3
3.1	サンプルシーン.....	3
3.2	本検証における L1B2 画像の投影パラメータ.....	4
4.	RPC データ検証方式及び結果.....	4
4.1	モデリング精度.....	4
4.2	幾何精度.....	8
4.3	標定方式及び精度.....	9
4.4	オルソ精度.....	11
4.5	PRISM 空中三角測量精度.....	13
4.6	PRISM-DSM 精度.....	14
4.6.1	L1B2-RPC による DSM の絶対精度.....	14
4.6.2	DSM 作成におけるモデルの違いについて.....	17
5.	まとめ.....	20
6.	参考文献/資料.....	21

1. はじめに

本文書は、PRISM 及び AVNIR-2 に対する「Level 1B2 (L1B2)に相当する幾何補正済み画像データと RPC のセット(L1B2-RPC-Set)」についての RPC データ作成方式について記述する。また、これらの幾何精度検証項目、方式、結果について記述する。

2. RPC データ作成方式

2.1 RPC データ説明

RPC は、任意の地上の三次元座標に対して画像座標を与える有理多項式であり、センサ三次元投影の近似モデルとして用いられる[1]。RPC は、以下の式により定義される。

$$\begin{aligned} y_n &= \frac{y - y_o}{y_s}, & x_n &= \frac{x - x_o}{x_s} \\ \varphi_n &= \frac{\varphi - \varphi_o}{\varphi_s}, & \lambda_n &= \frac{\lambda - \lambda_o}{\lambda_s}, & h_n &= \frac{h - h_o}{h_s} \end{aligned} \quad (1)$$

$$y_n = \frac{f_1(\varphi_n, \lambda_n, h_n)}{f_2(\varphi_n, \lambda_n, h_n)}, \quad x_n = \frac{f_3(\varphi_n, \lambda_n, h_n)}{f_4(\varphi_n, \lambda_n, h_n)} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} f(\varphi_n, \lambda_n, Z_n) &= c_1 + c_2 \lambda_n + c_3 \varphi_n + c_4 h_n + c_5 \varphi_n \lambda_n + c_6 \lambda_n h_n + c_7 h_n \varphi_n \\ &+ c_8 \lambda_n^2 + c_9 \varphi_n^2 + c_{10} h_n^2 + c_{11} \varphi_n \lambda_n h_n + c_{12} \lambda_n^3 + c_{13} \varphi_n^2 \lambda_n + c_{14} h_n^2 \lambda_n \\ &+ c_{15} \lambda_n^2 \varphi_n + c_{16} \varphi_n^3 + c_{17} h_n^2 \varphi_n + c_{18} \lambda_n^2 h_n + c_{19} \varphi_n^2 h_n + c_{20} h_n^3 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 (x, y) は画像座標のカラム、ライン、 (φ, λ, h) は三次元座標の緯度、経度、楕円体高である。また、 $(x_o, y_o, \varphi_o, \lambda_o, h_o)$ 、 $(x_s, y_s, \varphi_s, \lambda_s, h_s)$ は、各パラメータの正規化のためのオフセット及びスケールである。RPC として与えられるのは、 f_{1-4} の各係数(c_{1-20})及び正規化オフセット及びスケールである。各係数の次数としては、分子(f_1, f_3)及び分母(f_2, f_4)とも3次までとなっているが、PRISM-L1B1のRPC作成方式[2]と同様に、分子は c_{1-20} すべてを使用した3次、分母は c_{1-10} の2次までとする。すなわち f_2, f_4 については、 $c_{11-20}=0$ となる。また、分母についてはカラムとラインで共通($f_2 = f_4$)とする。

2.2 RPC データ作成方式

f_{1-4} の各係数(c_{1-20})は、画像座標のカラム、ライン (x, y) と三次元座標の緯度、経度、楕円体高 (φ, λ, h) の組についてある一定間隔の画像グリッド及び楕円体高レイヤ上に作成し、これらを Control Point (CP)とした最小二乗法により算出される[1]。正規化オフセット及びスケールはこれら CP の各パラメータの最大/最小値に基づいて各係数(c_{1-20})の算出に先立ち決定される。

CP の画像グリッド数及び楕円体高レイヤ数等のパラメータについては、既存の PRISM-L1B1 のRPC作成方式[2]と同様とする。すなわち、画像グリッドは、L1B2 画像全体に対して等間隔の $10 \times 10 = 100$ グリッド、楕円体高レイヤについては、0~6000m を5分割したレイヤ(0m, 1500m, 3000m, 4500m, 6000m)とする。結果として、RPC の各係数の決定に使用される CP は $10 \times 10 \times 5 = 500$ 点となる。

各 CP の (x, y) に対応する (φ, λ, h) も既存の PRISM-L1B1 に対する RPC の作成と同様に、セット

となる L1B2 画像の幾何投影に用いた PRISM / AVNIR-2 センサモデル及び衛星の軌道姿勢データ(以下システムモデル)を用いて算出する。なお、PRISM のセンサモデルは、L1B1-RPC 同様、一部(センサアライメントトレンドモデル)について標準処理のモデル[3]ではなく EORC 高次プロダクトで使用しているモデル[4]を採用している。AVNIR-2 については、標準処理のモデル[3]と同一のモデルを使用している。

2.3 L1B1 と L1B2 の RPC の違いについて

L1B1 の場合、画像座標(x, y)について幾何的に未補正であるため、システムモデルに表現された歪が補正されずに含まれている。RPC で画像座標と三次元座標の関係をモデル化する際は、衛星の軌道については十分に安定なため問題になることは無いが、衛星の姿勢による歪が RPC で表現される 3 次多項式の次数を超えるオーダーで画像に含まれている場合にはモデル近似誤差として残ってしまうことになる。またセンサモデルについては、PRISM の各 CCD の焦点面上のアライメント歪はそれぞれ 2 次のオーダーまでで表現されているため、CCD 毎に RPC を作成する場合(L1B1-RPC (Each))は特に問題にならないが、シーンに含まれる複数の CCD をまとめて 1 つの RPC (L1B1-RPC (Whole))とした場合は、各 CCD の歪や CCD 境界の不連続性(図 1)が表現できずに比較的大きなモデル近似誤差となる。また、AVNIR-2 の L1B1 画像におけるスタガ歪についても 1 つの RPC でのモデル化は不可である。

一方 L1B2 では、画像座標(x, y)についてシステムモデルに表現された歪は補正されていることから、これらに起因した L1B1 の場合のような RPC のモデル近似誤差はほとんど無視できると考えられる。なお、L1B2 では画像座標について地図座標(UTM/PS)に投影されていることから新たに地図投影歪が加わるが、これらは RPC のオーダーで十分表現可能である。

図 2 に RPC 算出のための画像グリッド及び三次元楕円体高レイヤの概念図を示す。

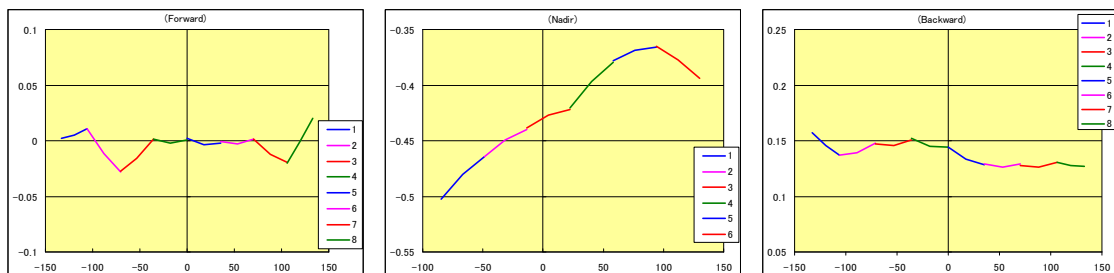


図 1 CCD ユニットの配置概要図

(焦点距離 2,000mm のピンホールカメラの焦点面で表現, EORC 橋本氏作成)

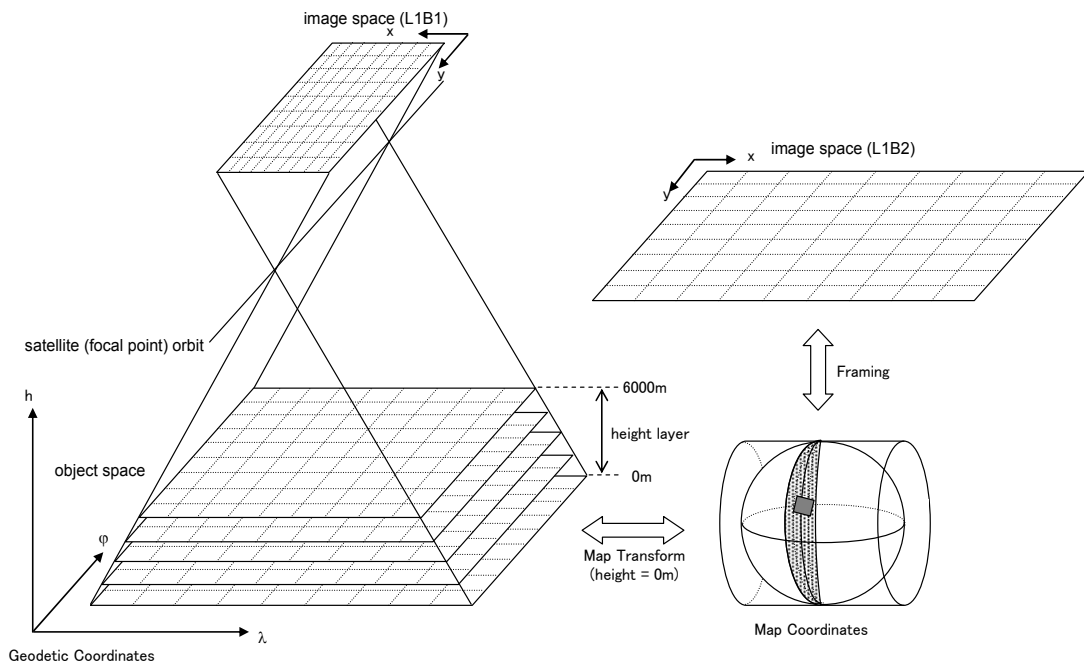


図2 RPC算出のための画像グリッド及び三次元楕円体高レイヤの概念図
各CPの三次元アドレス(object space)はシステムモデルデータを用いて算出される。

3. サンプルシーン及びパラメータ

3.1 サンプルシーン

本検証に使用した PRISM 及び AVNIR-2 のシーンについてそれぞれ表 1, 表 2 に整理する。なお, L1B2-RPC-Set は全て L1B1 を入力として作成される。PRISM については 35km モード 3 方向視ステレオ(OB1)を 2 セット及び 70km+35km モード 2 方向視ステレオ(OB2)を 1 セットの計 8 シーン, AVNIR-2 については, ポインティング角 $-41.5 \sim +41.5$ 度の 8 シーンである。

表 1 PRISM サンプルシーン

No.	Scene						GCP			
	Stereo Mode	ID	Date	RSP path	Pointing [deg]	RSP frame	Site	Num.	Height Max [m]	Height Min [m]
1	OB1	ALPSMF067682820	2007/05/03	69	+1.2	2820	Saitama	62	237.2	41.7
		ALPSMN067682875				2875				
		ALPSMB067682930				2930				
2	OB1	ALPSMF129092660	2008/06/27	64	-1.2	2660	Saroma	29	275.8	30.2
		ALPSMN129092715				2715				
		ALPSMB129092770				2770				
3	OB2	ALPSMW152432870	2008/12/04	68	+1.2	2870	Tsukuba	35	96.2	48.7
		ALPSMB152432925				2925				

表2 AVNIR-2 サンプルシーン

No.	Scene					GCP			
	ID	Date	RSP path	Pointing [deg]	RSP frame	Site	Num.	Height Max [m]	Height Min [m]
1	ALAV2A041572960	2006/11/05	72	-34.3	2960	Aso	42	973.1	31.9
2	ALAV2A096182720	2007/11/14	324	0.0	2720	LaCraw	16	113.2	51.2
3	ALAV2A142072880	2008/09/24	53	-41.5	2880	Tochigi	13	806.9	204.9
4	ALAV2A161324260	2009/02/03	31	+41.5	4260	Sydney	6	11.6	1.3
5	ALAV2A162932900	2009/02/14	56	-41.5	2900	Saitama	12	151.8	44.1
6	ALAV2A167162890	2009/03/15	55	-41.5	2890	Saitama	20	385.6	51.0
7	ALAV2A168042900	2009/03/21	77	0.0	2900	Himeji	25	291.4	43.7
8	ALAV2A171392890	2009/04/13	54	-41.5	2890	Tsukuba	55	830.6	51.6

3.2 本検証における L1B2 画像の投影パラメータ

L1B2-RPC-SetのL1B2画像の投影オプションは基本的に標準処理と同様に選択可能[5]であるが、地図図法や地図上の画像フレームの向き等の違いは、RPCのモデル精度にはほぼ影響しないと考えられる。本検証では標準的な設定である表3のパラメータにて投影処理を行い、対応するRPCデータを作成して各検証に使用する。

表3 本検証における L1B2 画像の投影パラメータ

項目	設定
地図図法	UTM
リサンプリング法	CC
UTMゾーン番号	シーン中心に対応
地図上の画像カラム方向の向き	Geo-reference(軌道方向)
ピクセルスペーシング	2.5m/PRISM, 10m/AVNIR-2

4. RPC データ検証方式及び結果

RPC データ検証としては、RPC 自身の CP に対する近似精度であるモデリング精度、GCP に対する幾何精度、及び RPC の標定方式及びその精度、について評価を行う。また標定済みの RPC について、既存の DEM(SRTM-3)を用いてオルソ画像を作成した際の幾何精度、PRISM のステレオ視についての空中三角測量精度、及び同マッチングによる DSM 精度、について評価を行う。以下、各評価の方式の概要及び結果について記述する。

4.1 モデリング精度

RPC のモデリング精度について、CP に対する残差及び独立評価点(Check Point: CKP)に対する誤差を評価する。すなわち式(1)~(3)による変換を $(x, y)^t = RPC(\varphi, \lambda, h)$ と定義すると、CP 残差 (x_r, y_r) 及び CKP 誤差 (x_e, y_e) はそれぞれ

$$\begin{aligned} (x_r, y_r)^t &= RPC(\varphi_{CP}, \lambda_{CP}, h_{CP}) - (x_{CP}, y_{CP})^t \\ (x_e, y_e)^t &= RPC(\varphi_{CKP}, \lambda_{CKP}, h_{CKP}) - (x_{CKP}, y_{CKP})^t \end{aligned} \quad (4)$$

となる。ここで $(\varphi_{CP}, \lambda_{CP}, h_{CP})$, (x_{CP}, y_{CP}) は CP のそれぞれ画像、三次元アドレス、 $(\varphi_{CKP}, \lambda_{CKP}, h_{CKP})$, (x_{CKP}, y_{CKP}) は CP 同様にシステムモデルを用いて作成された CKP のそれぞれ画像、三次元アドレスである。なお、CKP の画像グリッド及び楕円体高レイヤについては、それぞれ CP と重複しな

い等間隔の 20 x 20 = 400 グリッド及び 0~6000m を 10 分割したレイヤとする。結果として CKP の点数は、20 x 20 x 10 = 4000 点となる。

PRISM の各サンプルについての残差及び誤差の統計値(平均”Bias”, 標準偏差”Std. dev.”, 最大最小”Max”/”Min”)についてそれぞれ表 4, 表 5 に示す。AVNIR-2 の各サンプルについての残差及び誤差の統計値についてそれぞれ表 6, 表 7 に示す。また, 比較のために LIB1 の RPC による残差の統計値を PRISM のサンプル No.1 のみについて表 8 に示す。

表 4 PRISM サンプルの L1B2-RPC における CP 残差統計値 (単位: pixel)

No.	ID	Num. of CP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
			x _r	y _r	x _r	y _r	x _r	y _r	x _r	y _r
1	ALPSMF067682820	500	0.000	0.000	0.004	0.007	0.009	0.025	-0.010	-0.018
	ALPSMN067682875	500	0.000	0.000	0.004	0.005	0.009	0.018	-0.009	-0.012
	ALPSMB067682930	500	0.000	0.000	0.004	0.004	0.009	0.011	-0.010	-0.013
2	ALPSMF129092660	500	0.000	0.000	0.003	0.004	0.008	0.010	-0.010	-0.015
	ALPSMN129092715	500	0.000	0.000	0.003	0.004	0.008	0.015	-0.006	-0.009
	ALPSMB129092770	500	0.000	0.000	0.003	0.004	0.008	0.011	-0.008	-0.013
3	ALPSMW152432870	500	0.000	0.000	0.005	0.005	0.015	0.016	-0.012	-0.014
	ALPSMB152432925	500	0.000	0.000	0.003	0.003	0.008	0.010	-0.009	-0.009

表 5 PRISM サンプルの L1B2-RPC における CKP 誤差統計値 (単位: pixel)

No.	ID	Num. of CKP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
			x _e	y _e	x _e	y _e	x _e	y _e	x _e	y _e
1	ALPSMF067682820	4000	0.000	0.000	0.004	0.007	0.010	0.028	-0.014	-0.022
	ALPSMN067682875	4000	0.000	0.000	0.004	0.005	0.013	0.017	-0.012	-0.014
	ALPSMB067682930	4000	0.000	0.000	0.003	0.004	0.010	0.014	-0.010	-0.015
2	ALPSMF129092660	4000	0.000	0.000	0.003	0.004	0.008	0.013	-0.012	-0.017
	ALPSMN129092715	4000	0.000	0.001	0.003	0.004	0.010	0.017	-0.008	-0.013
	ALPSMB129092770	4000	0.000	0.000	0.003	0.004	0.010	0.013	-0.011	-0.011
3	ALPSMW152432870	4000	0.000	0.000	0.005	0.006	0.018	0.023	-0.017	-0.020
	ALPSMB152432925	4000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.010	0.011	-0.010	-0.014

表 6 AVNIR-2 サンプルの L1B2-RPC における CP 残差統計値 (単位: pixel)

No.	ID	Num. of CP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
			x _r	y _r	x _r	y _r	x _r	y _r	x _r	y _r
1	ALAV2A041572960	500	0.000	0.000	0.003	0.003	0.009	0.005	-0.008	-0.006
2	ALAV2A096182720	500	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.006	-0.006	-0.006
3	ALAV2A142072880	500	0.000	0.000	0.004	0.003	0.010	0.007	-0.011	-0.006
4	ALAV2A161324260	500	0.000	0.000	0.004	0.003	0.013	0.006	-0.013	-0.007
5	ALAV2A162932900	500	0.000	0.000	0.004	0.003	0.012	0.006	-0.011	-0.007
6	ALAV2A167162890	500	0.000	0.000	0.004	0.003	0.014	0.006	-0.013	-0.007
7	ALAV2A168042900	500	0.000	0.000	0.003	0.003	0.006	0.006	-0.006	-0.006
8	ALAV2A171392890	500	0.000	0.000	0.004	0.003	0.015	0.007	-0.010	-0.006

表7 AVNIR-2 サンプルの L1B2-RPC における CKP 誤差統計値 (単位: pixel)

No.	ID	Num. of CKP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
			x_e	y_e	x_e	y_e	x_e	y_e	x_e	y_e
1	ALAV2A041572960	4000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.009	0.007	-0.011	-0.008
2	ALAV2A096182720	4000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.006	0.007	-0.006	-0.009
3	ALAV2A142072880	4000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.017	0.008	-0.011	-0.011
4	ALAV2A161324260	4000	0.001	0.000	0.004	0.003	0.014	0.010	-0.021	-0.008
5	ALAV2A162932900	4000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.015	0.008	-0.015	-0.009
6	ALAV2A167162890	4000	0.001	0.000	0.004	0.003	0.019	0.009	-0.016	-0.009
7	ALAV2A168042900	4000	0.000	0.001	0.003	0.003	0.008	0.008	-0.006	-0.007
8	ALAV2A171392890	4000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.020	0.008	-0.014	-0.008

表8 PRISM サンプル No.1 の L1B1-RPC における CKP 誤差統計値 (単位: pixel)

ID	CCD	Num. of CKP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
			x_e	y_e	x_e	y_e	x_e	y_e	x_e	y_e
ALPSMF067682820	Whole	4000	-0.101	-0.018	0.647	0.629	2.368	1.324	-2.319	-1.573
	5	4000	-0.113	-0.040	0.218	0.155	0.261	0.217	-0.528	-0.347
	6	4000	-0.113	-0.040	0.219	0.156	0.261	0.217	-0.529	-0.349
	7	4000	-0.114	-0.040	0.219	0.156	0.260	0.213	-0.532	-0.352
	8	4000	-0.114	-0.040	0.220	0.155	0.259	0.212	-0.533	-0.351
ALPSMN067682875	Whole	4000	-0.006	0.002	0.285	0.324	0.750	0.627	-0.746	-0.878
	3	4000	-0.012	0.007	0.259	0.105	0.441	0.217	-0.542	-0.179
	4	4000	-0.012	0.007	0.259	0.106	0.443	0.218	-0.546	-0.183
	5	4000	-0.012	0.007	0.260	0.109	0.441	0.224	-0.550	-0.185
	6	4000	-0.012	0.006	0.260	0.109	0.445	0.223	-0.553	-0.189
ALPSMB067682930	Whole	4000	0.057	-0.008	0.345	0.288	0.805	0.635	-0.914	-0.723
	3	4000	0.061	-0.009	0.319	0.161	0.560	0.205	-0.682	-0.308
	4	4000	0.061	-0.010	0.319	0.162	0.561	0.206	-0.685	-0.304
	5	4000	0.061	-0.011	0.319	0.163	0.561	0.206	-0.687	-0.303
	6	4000	0.061	-0.012	0.320	0.164	0.563	0.201	-0.688	-0.304

表8によると、PRISM の L1B1-RPC は、複数の CCD をまとめて1つの RPC とした場合(Whole)に、画像座標における絶対誤差の最大が 2.4pixel 程度となる点があることが示されている。また、CCD 毎の RPC とした場合(Each)においても、同最大で 0.7pixel 程度の誤差を持つことが示されている。一方、表5によると、L1B2-RPC は、同最大でもそれぞれ 0.03pixel 以内という高い精度でシステムモデルの投影が近似できていることが確認できる。残差及び誤差の標準偏差においても L1B2-RPC では L1B1-RPC に比較して大きく改善された結果となっている。また、表7によると AVNIR-2 においても、画像座標における絶対誤差の最大は 0.02pixel 以内という高い精度となっている。

L1B1-RPC (Whole), L1B1-RPC (Each), 及び L1B2-RPC のそれぞれ PRISM サンプル No.1 前方視における楕円体高 0m レイヤー 20 x 20 グリッドの画像座標上 CKP 誤差分布について、図3, 図4, 図5に示す。図3の x 方向に依存したバラつきは CCD アライメントによる画像歪の近似誤差、及び図3, 図4の y 方向に依存したバラつきは衛星の姿勢変動による画像歪の近似誤差と考えられる。これらの誤差は図5では改善されている。

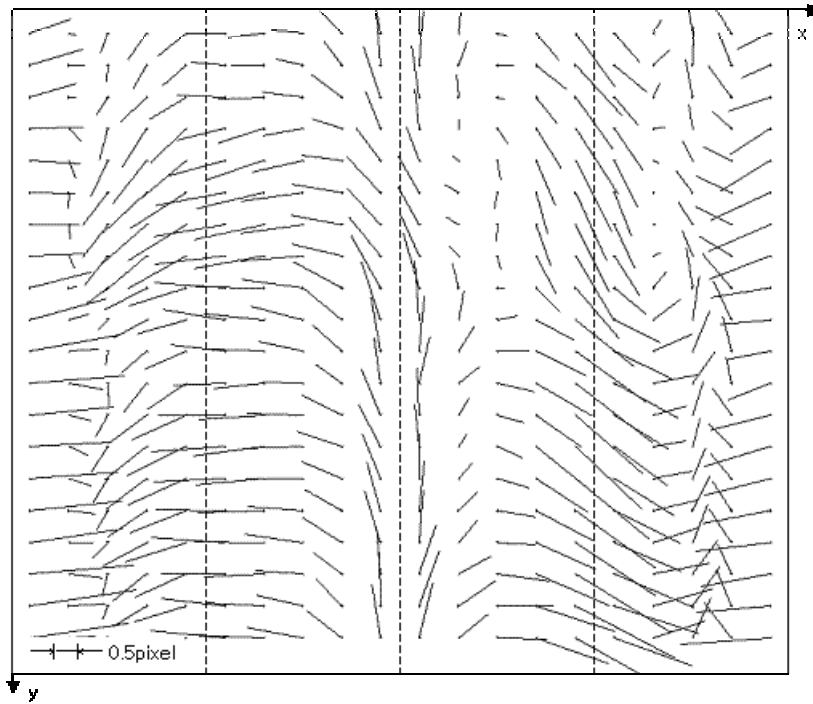


図3 PRISM サンプル No.1 前方視の L1B1-RPC (Whole)の CKP 誤差分布
楕円体高 0m レイヤにおける 20 x 20 グリッド, 点線=CCD 境界

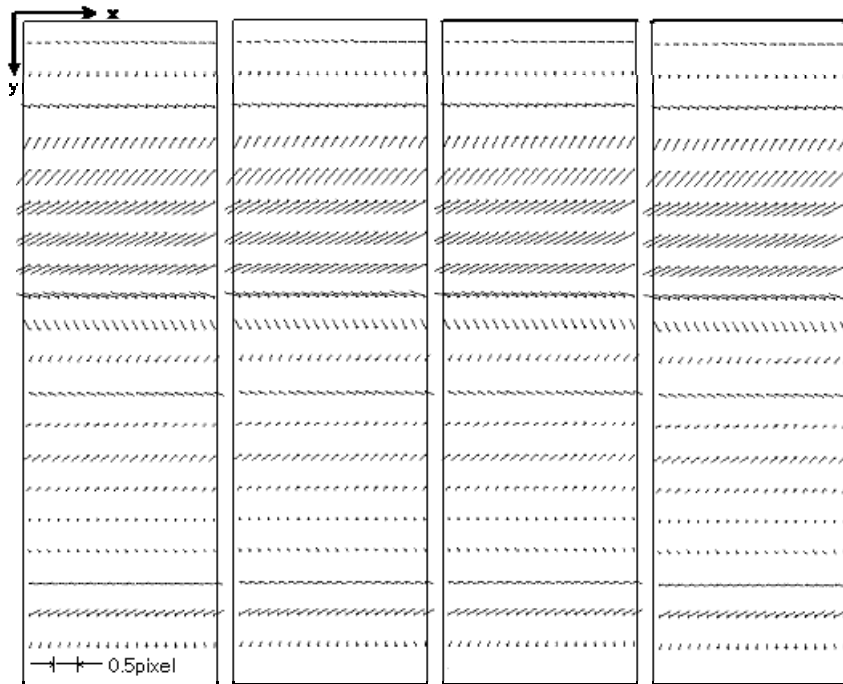


図4 PRISM サンプル No.1 前方視の L1B1-RPC (Each)の CKP 誤差分布
楕円体高 0m レイヤにおける 20 x 20 グリッド, 左から CCD-5, 6, 7, 8

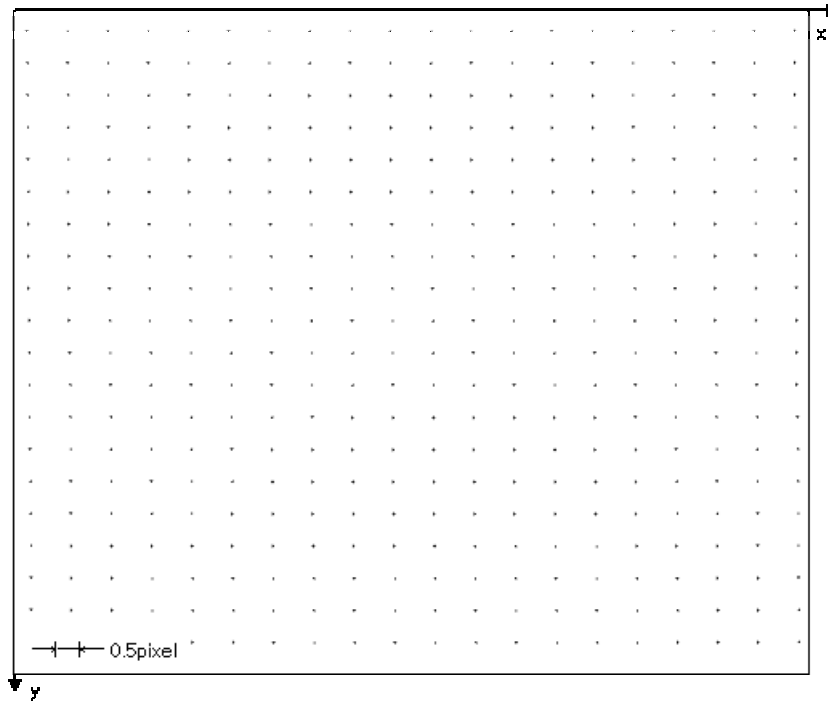


図5 PRISM サンプル No.1 前方視の L1B2-RPC の CKP 誤差分布
楕円体高 0m レイヤにおける 20 x 20 グリッド

4.2 幾何精度

RPC の幾何精度について GCP を用いた検証を行い、システムモデル自身の幾何精度検証結果に対して矛盾がないかどうかを確認する。すなわち GCP 誤差 (x_{eg}, y_{eg}) は

$$(x_{eg}, y_{eg})^t = RPC(\varphi_{GCP}, \lambda_{GCP}, h_{CKP}) - (x_{GCP}, y_{GCP})^t \quad (5)$$

となる。ここで $(\varphi_{GCP}, \lambda_{GCP}, h_{GCP})$ は GCP の地上位置座標値、 (x_{GCP}, y_{GCP}) は GCP の画像上に計測した座標値である。PRISM 及び AVNIR-2 の各サンプルについての GCP 誤差の統計値(平均”Bias”, 標準偏差”Std. dev.”, 最大最小”Max”/”Min”)についてそれぞれ表 9, 表 10 に示す。

表 9 PRISM サンプルの L1B2-RPC における GCP 誤差統計値 (単位: pixel)

No.	ID	Num. of GCP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
			x_{eg}	y_{eg}	x_{eg}	y_{eg}	x_{eg}	y_{eg}	x_{eg}	y_{eg}
1	ALPSMF067682820	62	0.610	0.365	0.473	0.434	1.938	1.229	-0.637	-0.378
	ALPSMN067682875		1.327	0.967	0.426	0.494	1.988	2.214	0.451	0.102
	ALPSMB067682930		0.594	1.192	0.458	0.532	1.384	2.808	-0.641	0.191
2	ALPSMF129092660	29	0.253	-1.036	0.516	0.507	1.204	0.084	-0.536	-1.816
	ALPSMN129092715		0.982	2.330	0.486	0.490	1.811	3.279	0.000	1.234
	ALPSMB129092770		0.589	-2.460	0.483	0.467	1.662	-1.792	-0.211	-3.551
3	ALPSMW152432870	35	0.005	-0.422	0.376	0.418	0.896	0.577	-0.582	-1.420
	ALPSMB152432925		0.723	1.255	0.481	0.472	1.473	2.408	0.051	0.261

表 10 AVNIR-2 サンプルの L1B2-RPC における GCP 誤差統計値 (単位: pixel)

No.	ID	Pointing [deg]	Num. of GCP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
				x_{eg}	y_{eg}	x_{eg}	y_{eg}	x_{eg}	y_{eg}	x_{eg}	y_{eg}
1	ALAV2A041572960	-34.3	42	17.981	3.438	0.558	0.500	18.977	4.690	17.051	2.508
2	ALAV2A096182720	0.0	16	10.981	-0.144	0.292	0.310	11.382	0.452	10.345	-0.564
3	ALAV2A142072880	-41.5	13	-12.649	6.736	0.577	0.544	-11.836	7.868	-13.669	5.655
4	ALAV2A161324260	41.5	6	-12.444	1.847	0.773	0.486	-11.734	2.658	-13.941	1.044
5	ALAV2A162932900	-41.5	12	-2.491	8.411	0.738	0.554	-1.364	9.340	-4.195	7.611
6	ALAV2A167162890	-41.5	20	-8.292	8.374	0.814	0.476	-6.233	9.115	-9.453	7.625
7	ALAV2A168042900	0.0	25	6.638	0.776	0.368	0.413	7.204	1.609	5.643	-0.248
8	ALAV2A171392890	-41.5	55	-0.218	9.217	0.915	0.596	1.172	10.596	-2.169	8.384

PRISM の L1B2-RPC の絶対バイアス誤差は、表 9 によると最大で x/y 方向それぞれ 1.3pixel/2.5pixel 程度となっており、ピクセルスペーシングの 2.5m/pixel で換算するとそれぞれ 3.3m/6.3m 程度となる。これは、システムモデルの検証結果[4]に示された絶対バイアス精度の目安となるアライメントモデルフィッティング残差(σ)の値(x 方向 = 3~6m / y 方向 = 4~9m)にほぼ当てはまる。また、L1B2-RPC のシーン内相対誤差については、表 9 によると標準偏差にて x/y 方向それぞれ 0.4~0.5pixel 程度あり、システムモデルの検証結果[4]の CCD アライメント相対精度(= 0.7pixel 以下)に当てはまる。

AVNIR-2 の L1B2-RPC の絶対バイアス誤差は、表 10 によるとポインティング 0 度の場合に最大で x/y 方向それぞれ 11.0pixel/0.8pixel 程度でありピクセルスペーシングの 10m/pixel で換算するとそれぞれ 110m/8m, ポインティング +/-41.5 度の場合に同 18.0pixel/9.2pixel で同それぞれ 180m/92m であった。一方、同じシステムモデルを使用した標準処理の検証結果[6]は、ポインティング 0 度で 71.1m/7.5m (RMS; x/y), 同 +/-41.5 度で 60.9m/96.6 m (RMS; x/y)と示されている。すなわち、L1B2-RPC の絶対精度は、同じシステムモデルを使用しているにもかかわらず特に x 方向について検証結果[6]より悪い値を示している。原因については不明であるが、サンプルの偏り等が可能性の一つと考えられる。シーン内相対の標準偏差については x/y 方向それぞれ 0.3~0.9pixel/ 0.3~0.6pixel すなわち 3~9m/3~6m 程度であった。 y 方向は検証結果[6]に示されたシーン内標準偏差の 7.7m に十分に当てはまるが、 x 方向は同 3.4m より悪い値を示している。 x 方向の相対精度は、ポインティング角が大きい場合に、 x 方向の画像解像度低下に伴って低下することが考えられ、表 10 の結果もほぼそれに従っている。一方、検証結果[6]は、ポインティング角に対する区分けは無く x 方向は y 方向よりも優れた数値(y 方向の 1/2 以下)となっている。よって、この相対精度の本検証と検証結果[6]の乖離についても原因はサンプルの偏り等と考えられる。

4.3 標定方式及び精度

RPC はシステムモデルの近似モデルであるため、4.2 に示したとおりの絶対位置誤差を含んでおり利用目的によっては GCP による標定計算が必須である。RPC の標定方式としては、画像座標でのアフィンモデルによる方式[7]を検証する。すなわち式(1)~(3)による変換を $x = \text{RPC}_x(\varphi, \lambda, h)$, $y = \text{RPC}_y(\varphi, \lambda, h)$ と定義すると、標定モデルはそれぞれ

$$\begin{aligned} x + \Delta x &= x + a_0 + a_1x + a_2y = \text{RPC}_x(\varphi, \lambda, h) \\ y + \Delta y &= y + b_0 + b_1x + b_2y = \text{RPC}_y(\varphi, \lambda, h) \end{aligned} \quad (6)$$

で表される。ここで a_{0-2}, b_{0-2} はそれぞれ x, y についてのアフィンパラメータであり、 a_0, b_0 は誤差のオフセット成分、 a_{1-2}, b_{1-2} は誤差の主にドリフト成分を示している。これら式(6)のアフィンパラメータは、画像上に指定した GCP を用いて最小二乗法(パラメータ数より GCP 数が多い場合)により算出される。

検証としてはまず式(6)について、オフセット成分(a_0, b_0)のみをパラメータとした場合(モデル rpc1)とドリフト成分まですべて(a_{0-2}, b_{0-2})を含んだパラメータとした場合(モデル rpc2)のそれぞれについて評価を行う。なおオフセット成分のみをパラメータとしたときの a_0, b_0 は、GCP の画像上誤差の平均値に他ならない。PRISM, AVNIR-2 の各サンプルについて、GCP 全点を CP として用いた rpc1, rpc2 によるそれぞれ残差統計値の比較を表 11, 表 12 に示す。

表 11 PRISM サンプルの標定残差の比較(rpc1/rpc2) (単位: pixel)

No.	ID	Num. of GCP	Model	Std. dev.		Max		Min	
				x	y	x	y	x	y
1	ALPSMF067682820	62	rpc1	0.473	0.434	1.247	0.744	-1.328	-0.863
			rpc2	0.359	0.421	0.833	0.913	-0.834	-0.959
	ALPSMN067682875	62	rpc1	0.426	0.494	0.877	0.865	-0.661	-1.247
			rpc2	0.392	0.457	0.950	0.850	-0.826	-1.056
	ALPSMB067682930	62	rpc1	0.458	0.532	1.235	1.001	-0.790	-1.616
			rpc2	0.381	0.510	0.969	0.878	-0.816	-1.469
2	ALPSMF129092660	29	rpc1	0.516	0.507	0.789	0.780	-0.950	-1.120
			rpc2	0.510	0.459	0.775	0.697	-0.944	-1.041
	ALPSMN129092715	29	rpc1	0.486	0.490	0.981	1.097	-0.830	-0.949
			rpc2	0.451	0.477	0.891	1.034	-0.797	-1.038
	ALPSMB129092770	29	rpc1	0.483	0.467	0.800	1.091	-1.073	-0.668
			rpc2	0.458	0.441	0.792	1.007	-1.071	-0.648
3	ALPSMW152432870	35	rpc1	0.376	0.418	0.587	0.998	-0.892	-0.999
			rpc2	0.341	0.417	0.615	0.970	-0.677	-1.043
	ALPSMB152432925	35	rpc1	0.481	0.472	0.672	0.994	-0.751	-1.153
			rpc2	0.479	0.469	0.683	0.953	-0.798	-1.069

表 12 AVNIR-2 サンプルの標定残差の比較(rpc1/rpc2) (単位: pixel)

No.	ID	Num. of GCP	Model	Std. dev.		Max		Min	
				x	y	x	y	x	y
1	ALAV2A041572960	42	rpc1	0.558	0.500	0.930	0.929	-0.996	-1.252
			rpc2	0.530	0.488	1.094	0.967	-0.913	-1.152
2	ALAV2A096182720	16	rpc1	0.292	0.310	0.637	0.419	-0.401	-0.596
			rpc2	0.237	0.266	0.417	0.348	-0.514	-0.469
3	ALAV2A142072880	13	rpc1	0.577	0.544	1.020	1.080	-0.813	-1.132
			rpc2	0.553	0.519	0.763	0.910	-0.871	-0.882
4	ALAV2A161324260	6	rpc1	0.773	0.486	1.497	0.803	-0.710	-0.811
			rpc2	0.674	0.247	0.962	0.314	-1.108	-0.271
5	ALAV2A162932900	12	rpc1	0.738	0.554	1.703	0.801	-1.126	-0.928
			rpc2	0.708	0.480	1.571	0.857	-1.217	-0.788
6	ALAV2A167162890	20	rpc1	0.814	0.476	1.161	0.750	-2.058	-0.740
			rpc2	0.583	0.415	1.041	1.050	-1.339	-0.769
7	ALAV2A168042900	25	rpc1	0.368	0.413	0.995	1.023	-0.566	-0.834
			rpc2	0.335	0.390	0.972	0.952	-0.647	-0.664
8	ALAV2A171392890	55	rpc1	0.915	0.596	1.952	0.833	-1.391	-1.379
			rpc2	0.820	0.530	1.562	0.962	-1.485	-1.158

表 11, 表 12 によると、rpc1 と rpc2 とでは僅かに rpc2 が良い当てはまりを示したが、その差は残差標準偏差にてほぼ 0.1 画素に満たないレベルであり実用上ほとんど違いは無いと言える。すなわち、LIB2-RPC の標定としては、そのバイアス成分のみの補正で十分である。

次に GCP を 1 点或いは 4 点使用して求めた rpc1 の精度について、残りの GCP を独立評価点 (Independent Check Point: ICP)として用い評価する。表 13, 表 14 に PRISM, AVNIR-2 の各サンプルの ICP の誤差統計値を示す。

表 13 PRISM サンプルの標定誤差の比較(GCP=1/GCP=4:rpc1) (単位: pixel)

No.	ID	Num. of GCP	Num. of ICP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
				x	y	x	y	x	y	x	y
1	ALPSMF067682820	1	61	-0.228	0.555	0.476	0.431	1.023	1.290	-1.552	-0.317
		4	58	-0.173	-0.234	0.446	0.435	0.915	0.525	-1.490	-1.082
	ALPSMN067682875	1	61	-0.236	0.143	0.428	0.497	0.644	1.005	-0.893	-1.106
		4	58	-0.016	-0.168	0.422	0.481	0.862	0.688	-0.676	-1.405
	ALPSMB067682930	1	61	-0.146	-0.138	0.462	0.536	1.091	0.866	-0.933	-1.752
		4	58	-0.453	-0.146	0.431	0.507	0.811	0.864	-1.214	-1.753
2	ALPSMF129092660	1	28	0.621	0.045	0.512	0.516	1.389	0.823	-0.351	-1.076
		4	25	-0.477	0.158	0.510	0.458	0.367	0.916	-1.361	-0.967
	ALPSMN129092715	1	28	0.418	0.128	0.488	0.498	1.385	1.220	-0.426	-0.825
		4	25	0.078	0.418	0.509	0.456	1.048	1.457	-0.762	-0.346
	ALPSMB129092770	1	28	-0.019	0.395	0.492	0.470	0.782	1.472	-1.091	-0.287
		4	25	0.154	0.14	0.494	0.467	0.933	1.211	-0.941	-0.515
3	ALPSMW152432870	1	34	-0.256	0.602	0.380	0.411	0.338	1.582	-1.141	-0.414
		4	31	-0.132	-0.17	0.348	0.414	0.404	0.848	-1.008	-1.149
	ALPSMB152432925	1	34	-0.284	0.312	0.485	0.476	0.396	1.297	-1.027	-0.850
		4	31	0.254	0.232	0.477	0.491	0.897	1.200	-0.525	-0.947

表 14 AVNIR-2 サンプルの標定誤差の比較(GCP=1/GCP=4:rpc1) (単位: pixel)

No.	ID	Num. of GCP	Num. of ICP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
				x	y	x	y	x	y	x	y
1	ALAV2A041572960	1	41	-0.228	0.555	0.476	0.431	1.023	1.290	-1.552	-0.317
		4	38	-0.173	-0.234	0.446	0.435	0.915	0.525	-1.490	-1.082
2	ALAV2A096182720	1	15	-0.236	0.143	0.428	0.497	0.644	1.005	-0.893	-1.106
		4	12	-0.016	-0.168	0.422	0.481	0.862	0.688	-0.676	-1.405
3	ALAV2A142072880	1	12	-0.146	-0.138	0.462	0.536	1.091	0.866	-0.933	-1.752
		4	9	-0.453	-0.146	0.431	0.507	0.811	0.864	-1.214	-1.753
4	ALAV2A161324260	1	5	0.621	0.045	0.512	0.516	1.389	0.823	-0.351	-1.076
		4	2	-0.477	0.158	0.510	0.458	0.367	0.916	-1.361	-0.967
5	ALAV2A162932900	1	11	0.418	0.128	0.488	0.498	1.385	1.220	-0.426	-0.825
		4	8	0.078	0.418	0.509	0.456	1.048	1.457	-0.762	-0.346
6	ALAV2A167162890	1	19	-0.019	0.395	0.492	0.470	0.782	1.472	-1.091	-0.287
		4	16	0.154	0.14	0.494	0.467	0.933	1.211	-0.941	-0.515
7	ALAV2A168042900	1	24	-0.256	0.602	0.380	0.411	0.338	1.582	-1.141	-0.414
		4	21	-0.132	-0.17	0.348	0.414	0.404	0.848	-1.008	-1.149
8	ALAV2A171392890	1	54	-0.284	0.312	0.485	0.476	0.396	1.297	-1.027	-0.850
		4	51	0.254	0.232	0.477	0.491	0.897	1.200	-0.525	-0.947

表 13, 表 14 によると, rpc1 の GCP が 1 点の場合と 4 点の場合とでは, ICP 誤差の標準偏差に関してはほとんど差が出ない結果となっているが, ICP 誤差のバイアスに関して GCP が 1 点の場合に 0.5pixel を超える場合が見受けられた。GCP が 1 点のみの場合は, 使用した GCP の画像上計測誤差或いは GCP 地上アドレスの誤差がそのままバイアス誤差としてモデルに反映されてしまっていることが予想される。このような GCP 自身の誤差の影響を緩和するためには, 出来るだけ複数の GCP を広範囲で取得することが望まれる。なお本検証では, GCP が 4 点の場合はバイアス誤差がすべて 0.5pixel 以内に収まっている。

4.4 オルソ精度

4.3 による標定済みの RPC を用いて, 既存の DEM データを用いたオルソ画像を作成しその位

置精度を GCP により評価する。なお、RPC の標定モデルは rpc1, GCP は全点を用いている。オルソ画像の投影パラメータは、元の L1B2 画像と同一(表 3)とする。DEM データとしては、SRTM-3 (90m メッシュ)を使用する。精度評価について、オルソ画像上の誤差(x_{ori}, y_{ori})はそれぞれ

$$(x_{ori}, y_{ori})^t = (x_t, y_t)^t - (x_m, y_m)^t \quad (7)$$

となる。ここで(x_m, y_m)は GCP のオルソ画像上計測位置である。また、(x_t, y_t)はオルソ画像上の GCP 理論位置であり、オルソ画像フレーム四隅の地図座標値から求めたバイリニア変換式により算出する。すなわち

$$\begin{aligned} x_t &= \alpha_0 + \alpha_1 X_{GCP} + \alpha_2 Y_{GCP} + \alpha_3 X_{GCP} Y_{GCP} \\ y_t &= \beta_0 + \beta_1 X_{GCP} + \beta_2 Y_{GCP} + \beta_3 X_{GCP} Y_{GCP} \end{aligned} \quad (8)$$

であり、ここで(X_{GCP}, Y_{GCP})は、GCP の地図座標値(UTM), $\alpha_{0-3}, \beta_{0-3}$ はオルソ画像フレーム四隅の画像アドレス(x, y)及び対応する地図座標値(X, Y)の組から算出したバイリニア変換係数である。PRISM 及び AVNIR-2 の各サンプルについてのオルソ画像 GCP 誤差の統計値(平均”Bias”, 標準偏差”Std. dev.”, 最大最小”Max”/”Min”)についてそれぞれ表 15, 表 16 に示す。

表 15 PRISM サンプルの SRTM-3 によるオルソ画像 GCP 誤差統計値 (単位: pixel)

No.	ID	Num. of GCP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
			x_{ori}	y_{ori}	x_{ori}	y_{ori}	x_{ori}	y_{ori}	x_{ori}	y_{ori}
1	ALPSMF067682820	62	-0.058	-0.105	0.436	0.640	1.2	2.3	-0.8	-1.6
	ALPSMN067682875		-0.116	-0.095	0.338	0.442	0.9	0.9	-1.1	-1.3
	ALPSMB067682930		0.008	-0.148	0.389	0.635	1.0	1.8	-1.0	-1.5
2	ALPSMF129092660	29	-0.076	0.328	0.503	0.500	0.8	1.2	-1.2	-0.7
	ALPSMN129092715		-0.097	-0.083	0.332	0.324	0.6	0.4	-0.7	-0.8
	ALPSMB129092770		-0.117	-0.100	0.356	0.481	0.7	1.2	-1.0	-1.0
3	ALPSMW152432870	35	0.106	0.169	0.433	0.453	1.0	1.5	-0.7	-0.9
	ALPSMB152432925		0.091	0.114	0.306	0.303	0.5	0.6	-0.5	-0.5

表 16 AVNIR-2 サンプルの SRTM-3 によるオルソ画像 GCP 誤差統計値 (単位: pixel)

No.	ID	Num. of GCP	Bias		Std. dev.		Max		Min	
			x_{ori}	y_{ori}	x_{ori}	y_{ori}	x_{ori}	y_{ori}	x_{ori}	y_{ori}
1	ALAV2A041572960	42	-0.305	-0.174	0.364	0.392	0.6	0.8	-0.9	-1.1
2	ALAV2A096182720	16	0.075	0.044	0.299	0.218	0.6	0.5	-0.4	-0.5
3	ALAV2A142072880	13	-0.269	0.023	0.663	0.291	1.2	0.7	-1.9	-0.4
4	ALAV2A161324260	6	-0.150	-0.167	0.411	0.386	0.4	0.6	-0.7	-0.5
5	ALAV2A162932900	12	-0.050	-0.025	0.287	0.309	0.5	0.4	-0.5	-0.8
6	ALAV2A167162890	20	-0.120	-0.090	0.546	0.358	1.1	0.4	-0.9	-0.9
7	ALAV2A168042900	25	-0.200	-0.108	0.258	0.315	0.2	0.9	-0.9	-0.6
8	ALAV2A171392890	55	-0.120	0.156	0.392	0.390	0.7	1.0	-0.8	-0.6

表 15, 表 16 によると PRISM/AVNIR-2 とともにほぼセンサのオフナディア角及び評価した GCP 高さの範囲に関係なくほぼ 1pixel 以内の高い精度を保持していることが確認できる。

GCP の高さオルソ補正精度との相関を見るために、比較的オフナディア角が大きく且つ GCP の高さの範囲が広い AVNIR-2 サンプル No.3 における GCP の高さ SRTM-3 オルソの誤差の関係を図 6 に示す。図 6 によると、GCP の最も高い点、最も低い点にそれぞれ x 誤差の外れ値のよう

な値が見られる他はほぼ GCP の高さ と位置誤差に相関はないことが確認できる。外れ値は GCP の画像上計測誤差が主要因と考えられる。

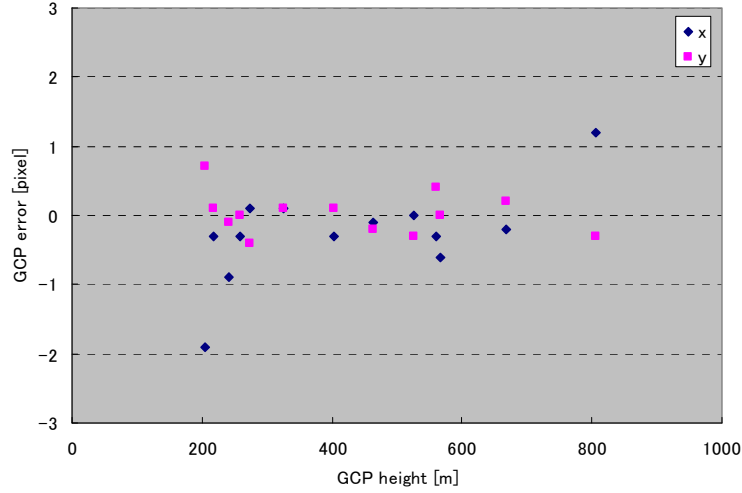


図6 AVNIR-2 サンプル No.3 の SRTM-3 オルソにおける GCP 位置精度と高さの関係

4.5 PRISM 空中三角測量精度

PRISM のステレオ視による空中三角測量精度について標定済みの RPC を用いた評価を行う。標定モデルは 4.3 における `rpc1`, GCP は 4 点の場合を使用する。なお, 標定計算用のステレオ画像間のタイポイントはここでは用いていない。PRISM のステレオ画像間で計測された各 GCP の画像アドレスに対応する三次元理論位置 (φ, λ, h_i) は, これを未知数としてステレオ画像数分定義した RPC 変換式の組を観測方程式とし, 最小二乗法を用いて算出する。すなわち観測方程式は,

$$\begin{aligned}
 x_F &= RPC_{x_F}(\varphi, \lambda, h_i) \\
 y_F &= RPC_{y_F}(\varphi, \lambda, h_i) \\
 x_N &= RPC_{x_N}(\varphi, \lambda, h_i) \\
 y_N &= RPC_{y_N}(\varphi, \lambda, h_i) \\
 x_B &= RPC_{x_B}(\varphi, \lambda, h_i) \\
 y_B &= RPC_{y_B}(\varphi, \lambda, h_i)
 \end{aligned} \tag{9}$$

となる。ここで $(x_F, y_F), (x_N, y_N), (x_B, y_B)$ は, それぞれ前方視, 直下視, 後方視の GCP に対応する画像アドレス, $(RPC_{x_F}, RPC_{y_F}), (RPC_{x_N}, RPC_{y_N}), (RPC_{x_B}, RPC_{y_B})$ は, それぞれ前方視, 直下視, 後方視の式(1)~(3)による RPC 変換である。なお, OB2 の場合は前方視に関する式は定義されないため残りの 4 つの式を用いる。また RPC は非線形なので, 式(9)の解法としてはテイラー展開による最小二乗法の逐次解法を用いている[8]。GCP の三次元位置の誤差 $(\varphi_e, \lambda_e, h_e)$ は,

$$(\varphi_e, \lambda_e, h_e)^t = (\varphi_t, \lambda_t, h_t)^t - (\varphi_g, \lambda_g, h_g)^t \tag{10}$$

で示す。ここで $(\varphi_g, \lambda_g, h_g)$ は GCP 地上アドレスである。なお精度は, 標定計算に使用しなかった

ICP を用い評価する。表 17 に各サンプルの ICP の誤差統計値を示す。なお表 17 では、 φ_e は 1sec = 30.92m, λ_e は 1sec = $30.92 \times \cos(\varphi_{sc})$ m で単位 sec を m に換算している。ここで φ_{sc} は各サンプル直下視画像のシーンセンタの緯度である。

表 17 PRISM サンプルの空中三角測量 ICP 誤差統計値 (単位: m)

No.	Stereo Mode	Num. of ICP	Bias			Std. dev.			Max			Min		
			φ_e	λ_e	h_e	φ_e	λ_e	h_e	φ_e	λ_e	h_e	φ_e	λ_e	h_e
1	OB1	58	0.57	-0.42	-0.22	1.06	0.86	1.17	3.41	1.39	2.91	-1.34	-2.60	-2.27
2	OB1	25	-0.54	-0.28	0.05	0.89	1.08	1.32	0.91	1.69	2.49	-2.81	-2.49	-3.46
3	OB2	31	0.31	0.47	-1.96	1.06	0.81	2.83	3.03	1.57	4.61	-2.29	-0.80	-8.04

表 17 によると、No.1, No.2 の OB1(3 方向視ステレオ)では、ICP 誤差のバイアス、標準偏差共に約 1m 程度の高い精度を示している。また最大最小も 3.5m を超えない程度となっている。一方 No.3 の OB2 (2 方向視ステレオ)では、高さ方向についてバイアス、標準偏差、最大最小誤差共に OB1 の結果を下回った。この高さ方向の OB1/OB2 での精度の違いは、OB1 による 3 方向視ステレオの優位性によるものと考えられる。

4.6 PRISM-DSM 精度

4.6.1 L1B2-RPC による DSM の絶対精度

PRISM のステレオ視による DSM について標定済みの L1B2-RPC を用いた作成及び評価を行う。標定モデルは 4.3 における rpc1, GCP は全点の場合を使用する。DSM の作成について、画像マッチング等アルゴリズムは PRISM 専用の DSM 作成ソフトである DOGS[4], [9]に準拠するものを用いる。マッチング結果からの 3 次元座標の算出は 4.5 で使用した方式を用いる。絶対精度の検証としては、DSM 参照データである Lidar-DSM[4], [9]が利用できるサンプル No.1, No.3 について評価を行う。作成する DSM のパラメータ等についても、[4], [9]と同様とする。

サンプル No.1 及び No.3 の L1B2-RPC を使用して作成した DSM のグレースケール画像及び参照 Lidar-DSM のエリアについて、それぞれ図 7, 図 8 に示す。参照 Lidar-DSM からの DSM 誤差統計値について、システムモデルを使用して作成した DSM の場合と併せて表 18 に示す。

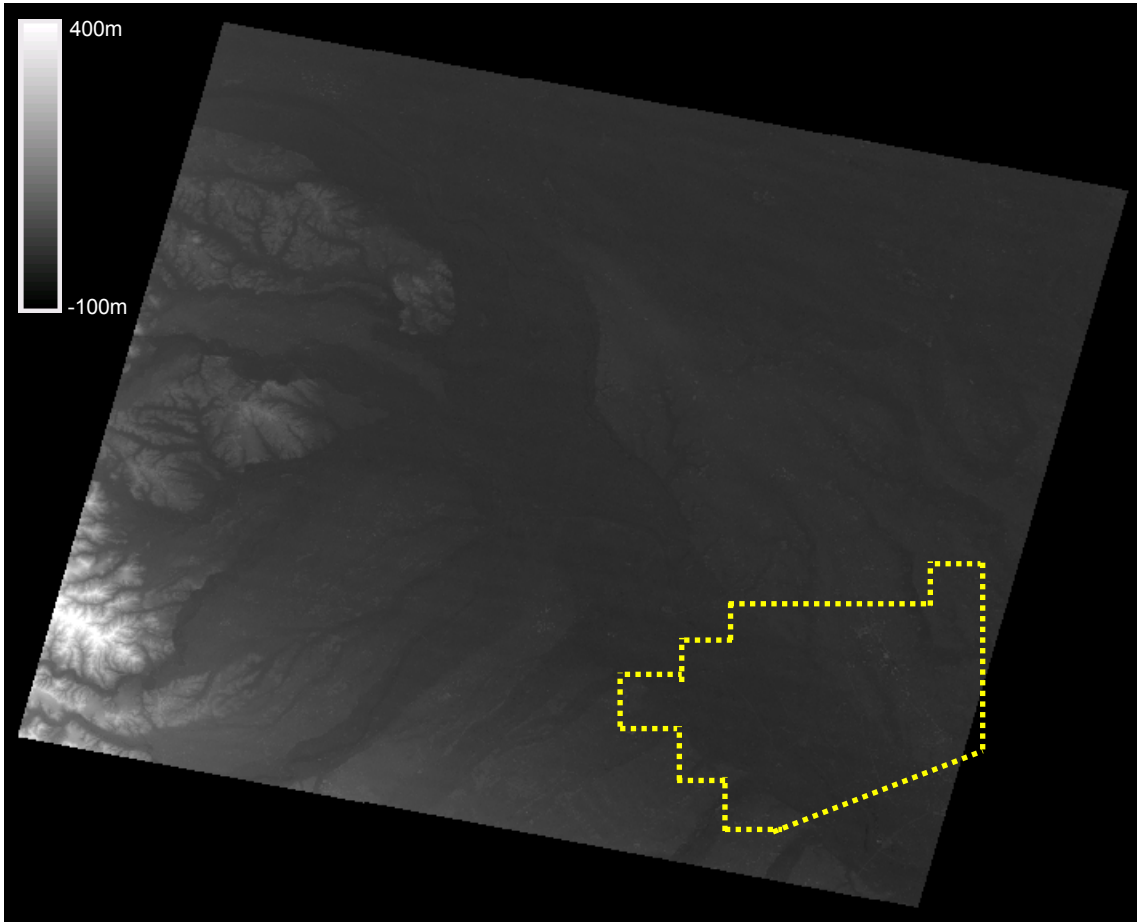


図7 L1B2-RPC-Set による DSM(PRISM サンプル No.1)
黄枠は参照 Lidar-DSM エリア

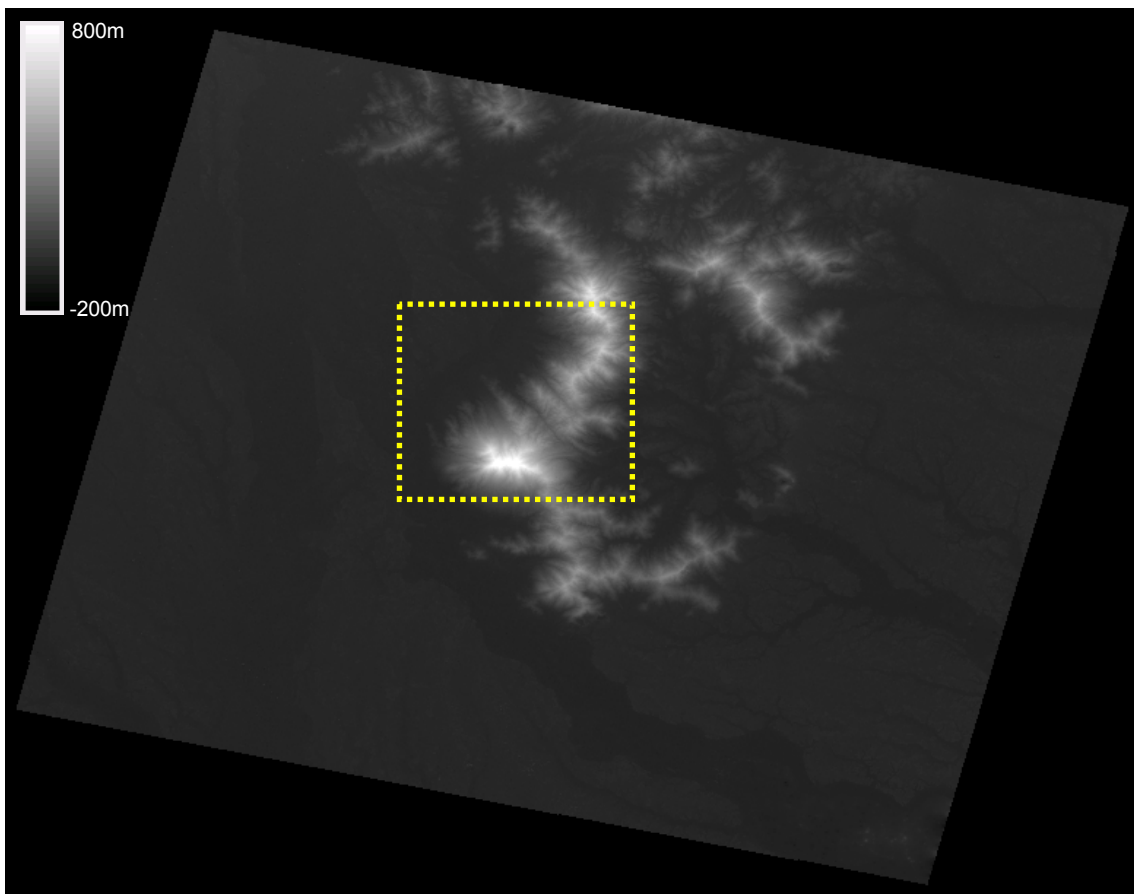


図8 L1B2-RPC-SetによるDSM(PRISMサンプルNo.3)
黄枠は参照 Lidar-DSM エリア

表18 DSM誤差 (PRISM-DSM - Lidar) (単位: m)

No.	Stereo	Model	Points	Bias	Std.dev.	RMSE	Max	Min
1	OB1	L1B2-RPC	1549343	0.95	4.86	4.95	79	-193
		System	1505512	1.47	4.88	5.09	83	-178
3	OB2	L1B2-RPC	1290100	1.96	4.48	4.89	71	-64
		System	1290100	-0.89	4.51	4.60	54	-66

表18によると、L1B2-RPCを使用して作成したDSMの精度はシステムモデルを使用して作成したDSMとほぼ同じレベルを達成していることが確認できる。本検証で用いたDSM作成アルゴリズム[4]では入力画像をエピポーラフレームに幾何投影して画像マッチングを行っているが、L1B2-RPC-Setの画像は一度既にL1B1画像から幾何投影(リサンプリング:本検証ではCC法による)されているため、直接L1B1画像から幾何投影を行ってDSMを作成するシステムモデルの場合と比較してリサンプリングを二重に行うことになる。ここでこの二重リサンプリングによる画質劣化の画像マッチングへの影響が懸念されたが、本結果からはその影響はほとんど無視できることが確認された。

4.6.2 DSM 作成におけるモデルの違いについて

L1B2-RPC で作成した DSM において L1B1-RPC で作成した DSM からの明らかな改善が期待できるのは、特に姿勢データに比較的大きな変動が含まれていた場合になるが、これに当たるサンプル(No.4)を追加しその比較結果を示す。サンプル No.4 の詳細について表 19 に示す。また、サンプル No.4 直下視の姿勢データの Roll 及び Pitch 角のダンプを図 9 に示す。なお、ALOS の姿勢データは衛星座標と慣性座標(ECI)の間のクォータニオンで与えられるが[3]、図 9 に示した Roll 及び Pitch 角はクォータニオンを軌道データにより衛星座標におけるオイラー角に変換している。

表 19 PRISM サンプルシーン(L1B1-RPC/L1B2-RPC による DSM 比較用)

No.	Scene					
	Stereo Mode	ID	Date	RSP path	Pointing [deg]	RSP frame
4	OB1	ALPSMF054262815	2007/01/31	69	+1.2	2815
		ALPSMN054262870				2870
		ALPSMB054262925				2925

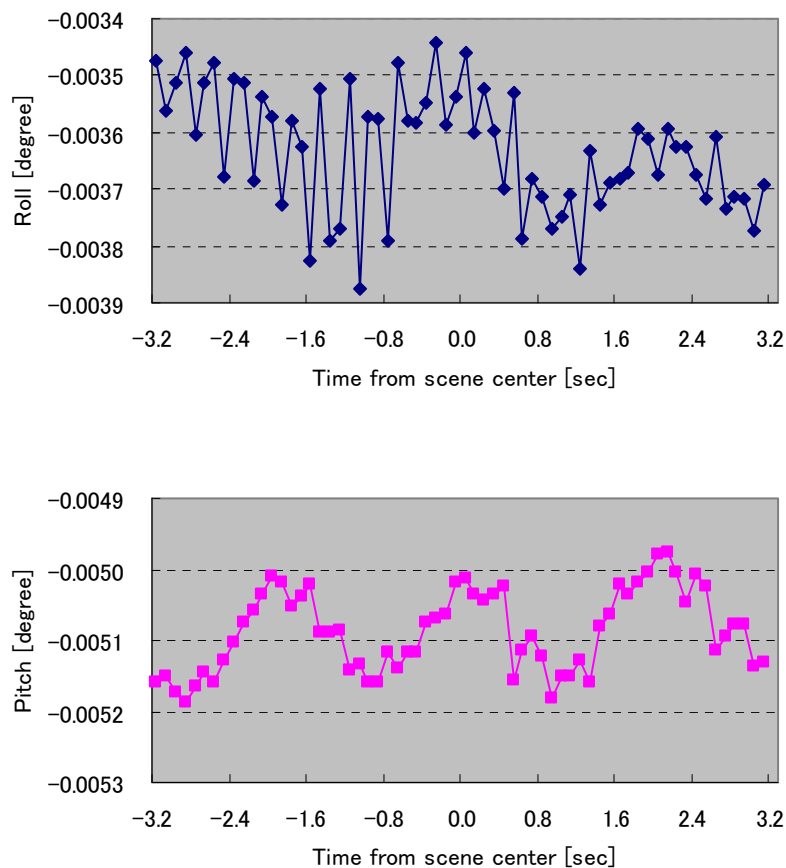


図 9 PRISM サンプル No.4 の姿勢データ Roll 及び Pitch ダンプ (上:Roll, 下:Pitch)
姿勢クォータニオンを軌道データによりオイラー角に変換

サンプル No.4 の L1B2-RPC を使用して作成した DSM のグレースケール画像について図 10 に

示す。なお、DSM のフレームは 10m メッシュ UTM の Geo-reference(軌道方向をカラム方向)としている。

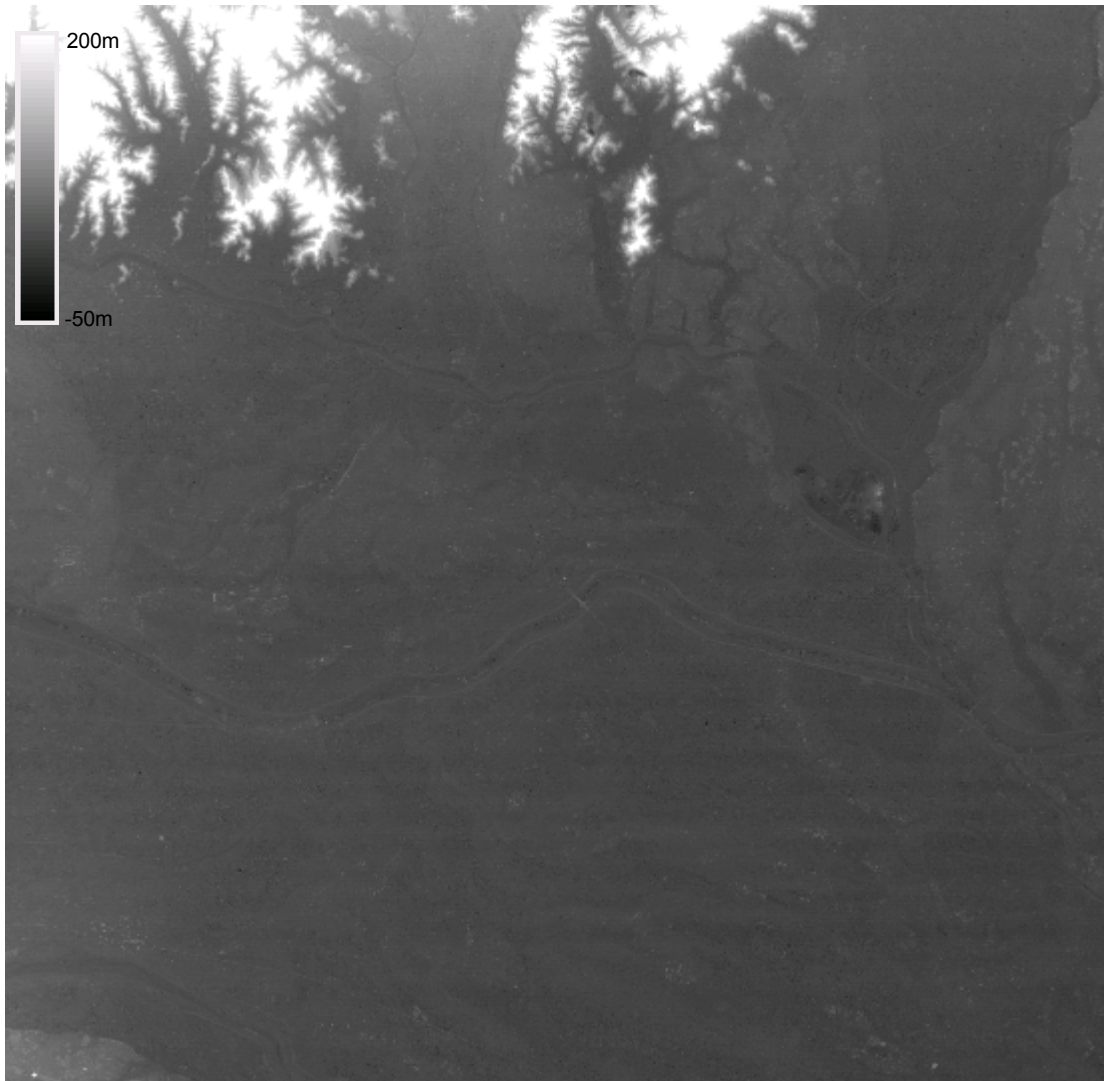


図 10 L1B2-RPC-Set による DSM(PRISM サンプル No.4)

L1B1-RPC, L1B2-RPC 及びシステムモデルにより作成したそれぞれの DSM に発生しているシステムチックな誤差の傾向を確認するため、これらと SRTM-3 との差画像を作成した。結果を図 11 に示す。なお、SRTM-3 は PRISM-DSM に対する参照データとしては地上解像度(90m)及び絶対精度ともに十分ではないが、少なくとも PRISM-DSM の姿勢変動等に伴う歪のようなシステムチックな誤差は含んでいないという仮定の下に上記差画像の参照データとして使用している。

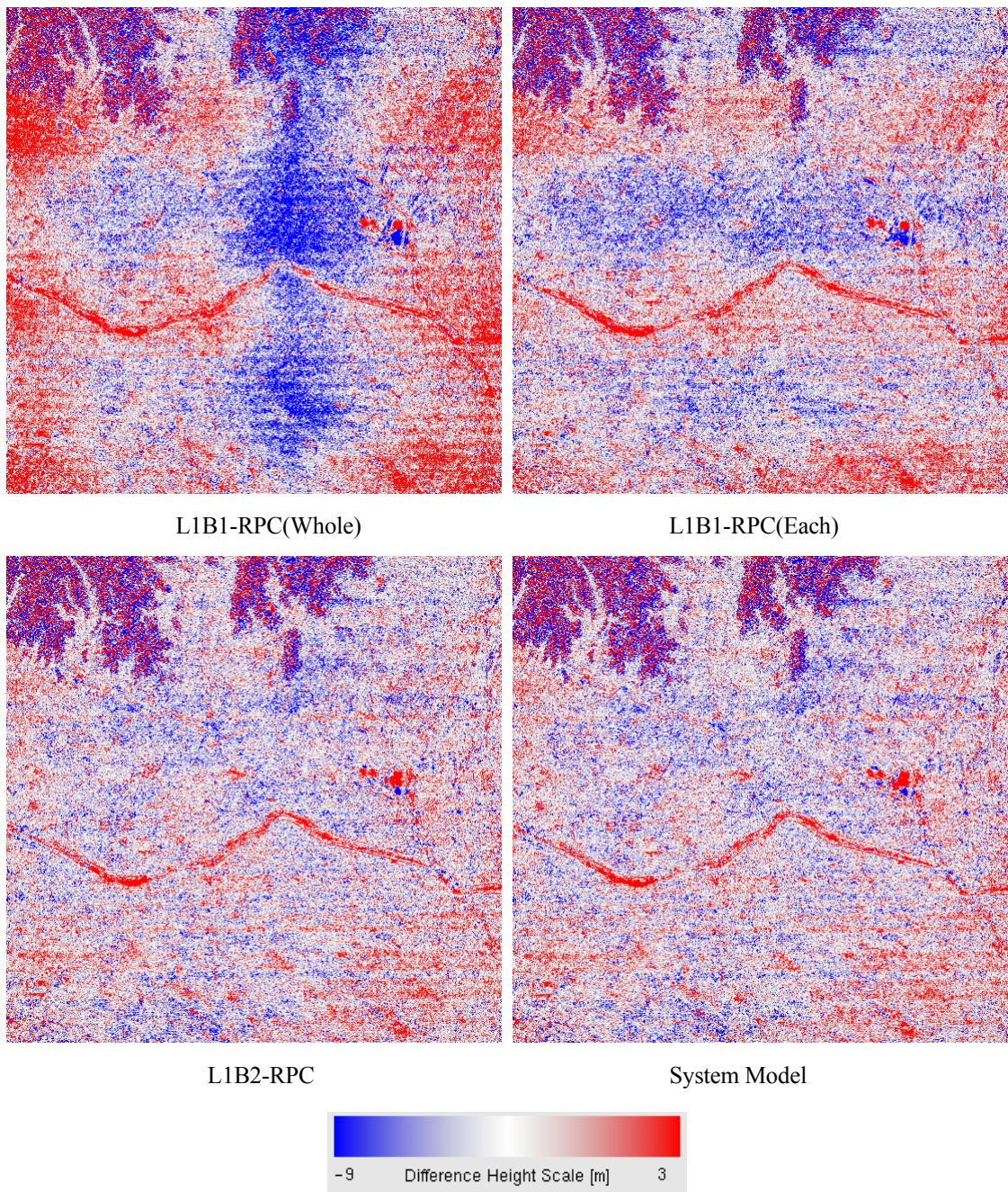


図 11 モデルの違いによる DSM 差画像(PRISM-DSM – SRTM-3)の比較

図 11 によると、L1B1-RPC で作成した DSM には明らかなシステムチック誤差が含まれていることが確認できる。図 3、図 4 で示したのと同様に、L1B1-RPC (Whole)による DSM の x 方向に依存したシステムチックな誤差傾向は CCD アライメントの RPC 近似誤差によるものであり、L1B1-RPC の Whole と Each 双方の DSM の y 方向に依存した周期的な誤差傾向は、図 9 の Pitch 角変動ともほぼ同期していることから衛星の姿勢データ変動の RPC 近似誤差によるものと考えられる。一方、L1B2-RPC による DSM では、これら L1B1-RPC による DSM で発生していたシステムチックな誤差は存在せず、システムモデルで作成した DSM とほぼ同じ結果になることが確認できる。なお、L1B2-RPC 及びシステムモデルによる DSM でも若干の周期ノイズ(上記の

L1B1-RPC で指摘したノイズより高周波なものが確認できるが、これは衛星の姿勢データそのものの計測誤差によるものであると考えられる。

5. まとめ

本文書は、PRISM/AVNIR-2 の L1B2-RPC-Set の作成方式及び検証結果について記述した。L1B2-RPC 検証結果の要点を以下にまとめる。

PRISM

- ・ モデリング精度について、L1B1-RPC での CKP の最大誤差(Whole/Each でそれぞれ 2.4/0.7 pixel)が大きく改善される(0.03 pixel)ことが確認された。
- ・ 幾何精度について、システムモデルの誤差と同等であることを確認した。
- ・ 標定方式について、GCP 4 点程度によるオフセット補正で十分であることを確認した。
- ・ オルソ画像について、上記標定計算+SRTM-3 の利用で作成した場合にはほぼ 1 pixel 以内の精度となることを確認した。
- ・ 空中三角測量精度について、OB1 の上記標定計算(タイポイントなし)にて水平/高さ共にバイアス、標準偏差それぞれ約 1m 程度となることを確認した。
- ・ DSM 精度について、システムモデルによる DSM と同等となることを確認した。L1B1-RPC のモデル近似誤差に起因するシステムチックな DSM 誤差が改善されることを確認した。

AVNIR-2

- ・ モデリング精度について、CKP の最大誤差は 0.02 pixel 程度となることが確認された。
- ・ 幾何精度について、L1B2 の公称精度より悪い結果となった。両者とも同じシステムモデルによる投影であることから評価サンプルの偏りが原因と推測される。
- ・ 標定方式について、PRISM 同様 GCP 4 点程度によるオフセット補正で十分であることを確認した。
- ・ オルソ画像について、上記標定計算+SRTM-3 の利用で作成した場合にはほぼ 1 pixel 以内の精度となることを確認した。

6. 参考文献/資料

- [1] C.V. Tao and Y. Hu, “A Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing,” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.67, No.12, pp.1347-1357, 2001.
- [2] T. Hashimoto, “Geometric Calibration of PRISM and AVNIR-2 onboard ALOS,” in *Proc. IGARSS*, vol. 1, Denver, Colorado U.S.A., 2006.
- [3] JAXA EORC, *ALOS / PRISM & AVNIR2 Level 1 Data Processing Algorithm*, Revision H, Tokyo, Japan: Japan Aerospace Exploration Agency Earth Observation Research Center, 2006.
- [4] J. Takaku and T. Tadono, “PRISM On-orbit Geometric Calibration and DSM Performance,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, no. 12, Dec. 2009 (in press).
- [5] RESTEC 開発部, “PRISM/AVNIR-2 Level 1B2 RPC データセット データ仕様,” 初版, RESTEC 開発部, Sep, 2009.
- [6] ALOS User Interface Gateway web-site, *Calibration Result of JAXA standard products (As of July 1, 2009)*, Japan: Aerospace Exploration Agency Earth Observation Research Center.
[Online]. Available: <https://auig.eoc.jaxa.jp/>
- [7] H. Eisenbeiss, E. Baltsavias, M. Pateraki, and L. Zhang, “Potential of IKONOS and QuickBird Imagery for Accurate 3D Point Positioning, Orthoimage and DSM Generation,” *International Archives of Photogrammetry*, Vol.35, Part B, ISPRS congress, Istanbul, 2004.
- [8] 橋本俊昭, “RPC モデル,” EORC-RESTEC 内部資料, JAXA/EORC, 2007.
- [9] J. Takaku and T. Tadono, “High resolution DSM generation from ALOS PRISM data – Status Updates on Over Three Year Operations –,” in *Proc. IGARSS*, vol. 1, Cape Town, South Africa, 2009 (in press).