

QuickBird ステレオペア画像の位置精度評価 Evaluation of Accuracy of 3D Model from QuickBird Stereo Imagery

測図部 下野隆洋・中村孝之・大木章一

Topographic Department Takahiro SHIMONO, Takayuki NAKAMURA and Shoichi OKI

地理調査部 野口真弓

Geographical Department Mayumi NOGUCHI

要 旨

国土地理院では1:25,000地形図（以下、「地形図」という。）の作成・修正に高分解能衛星画像を活用するための調査・研究を行っている。商用高分解能衛星として世界最高の地上分解能61cm（直下視）を持つQuickBird衛星については、これまでに単画像による図化判読性及び水平位置精度の評価（野口他2003）を行ってきている。図化判読性については、良好な結果を得ることができており、平坦地における水平位置精度については、一定方向のシフト（緯度方向に約2m、経度方向に約18m）が現れることを確認している。しかし、単画像では比高の影響を排除できず、画像の歪みを定量的に評価するためには、検証点の数も十分とはいえなかった。

このため、本報告ではQuickBird衛星基本ステレオペア画像と稠密に配した検証点を使用して、3次元モデルの位置精度評価を行う。また、これを補正するための手法や必要となるGCPの数を検討したので報告する。

1. はじめに

衛星画像は撮影範囲が広く、地球上のどこでも定期的に撮影できるという特性を持つことから、地形図の作成及び修正において、空中写真を補完する資料としての利用が期待されている。近年では、様々な高分解能衛星が運用されており、地上分解能も飛躍的に向上している。なかでもQuickBird衛星画像は、現在運用されている商用高分解能衛星としては最も高い地上分解能61cmを達成している。これは撮影縮尺1:30,000の空中写真をスキャンピッチ20 μ mでデジタル化した場合の地上分解能とほぼ等しい。また、QuickBird衛星はGPS/Star Tracker（軌道情報と姿勢情報を取得する装置）により、外部標定要素の取得を行っている。よって、地上基準点無しでも、ある程度の精度で画像標定を行うことが可能である。地球上どこでも撮影可能という特徴と合わせれば、特に地上測量が困難な地域や地理・気象的な要因等により航空機による撮影が困難な地域における地理情報取得の手段として、その利用が期待できる。

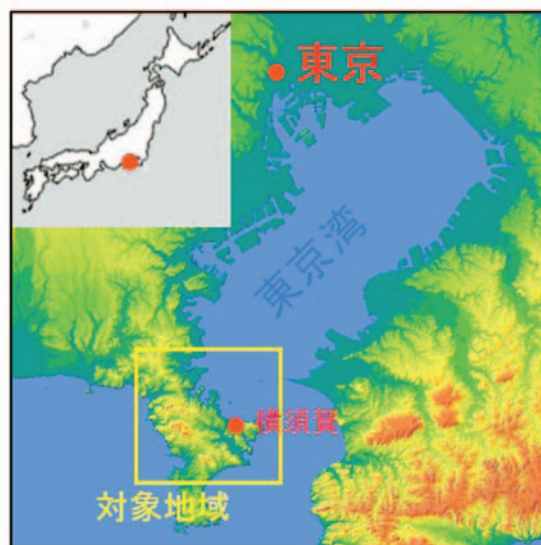
本研究ではQuickBird衛星基本ステレオペア画像と共に配布されるRPCファイル（姿勢、軌道、カメラモデル情報を基にしたパラメータファイル）を用いた3次元モデルの位置精度評価を行ったので、これを報告する。

2. 研究手法

位置精度の評価はシーン全体に均等に選点した60点の検証点について、ステレオペア画像から画像計測した座標を地上測量成果と比較することにより行なった。

2.1 対象地域

対象とした横須賀市周辺地域（図－1）は太平洋と東京湾に面する三浦半島に位置し、低地及び丘陵地で形成されている。最大比高差は241mで、海岸地域（0m）から大楠山（241m）まで含む。

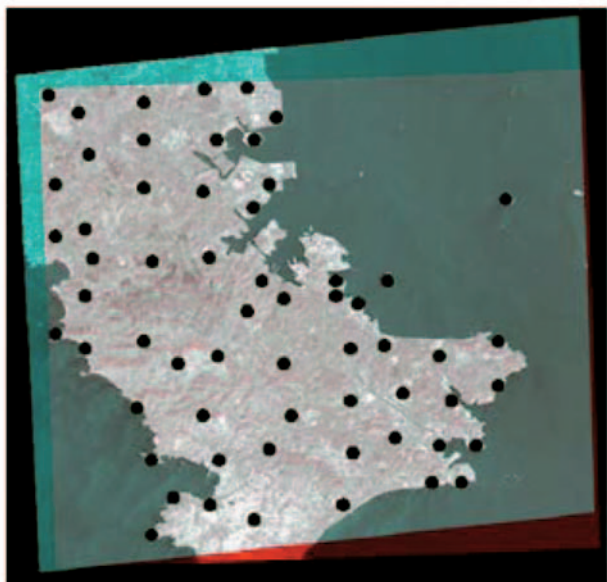


図－1 横須賀市及びその周辺地域

2.2 使用データ

QuickBird 衛星は軌道傾斜角 98.1 度の太陽同期準極軌道を取り、プッシュブルーム方式により、衛星の進行とともに連続的に撮影を行う。センサは全方向への傾斜撮影が可能であり、同一軌道上で前方視、後方視によるステレオ撮影を可能としている。

本研究で用いた QuickBird 衛星基本ステレオペア画像（図－2、図－3）は地上分解能 78cm で、2003 年 4 月 22 日に撮影されたものである。シーンの面積は概ね 450km²（21.2km × 21.2km）で、オフナディア角は前方視が 28.7°、後方視が 27.2°、オーバーラップ 90% のパンクロマティック画像である。図－2 では前方視を青、後方視を赤に着色して表現した。また、加工処理は放射量補正及びセンサ補正のみで、幾何補正、楕円体面への写像、地図投影等はなされていない基本画像を用いた。



© 2004 Digital Globe

図－2 検証点配点図（背景は QuickBird 衛星基本ステレオペア画像）

2.3 対象とした 3 次元モデル（RPC モデル）

ステレオペア画像と共に配布される RPC ファイル（標定のためのパラメータ）を用いた RPC モデルを検証の対象とした。RPC とは Rapid Positioning Capability や Rational Polynomial Coefficients の略語であり、RPC モデルは地上座標 (X, Y, Z) から画像座標 (r, c) への変換を表す有理多項式 [1] で表現される。

$$r = \frac{P_1(X,Y,Z)}{P_2(X,Y,Z)}$$

$$c = \frac{P_3(X,Y,Z)}{P_4(X,Y,Z)}$$

ただし、

$$\begin{aligned} P_i = & c_{i1} + c_{i2}Y + c_{i3}X + c_{i4}Z + c_{i5}YX + \\ & c_{i6}YZ + c_{i7}XZ + c_{i8}Y^2 + c_{i9}X^2 + c_{i10}Z^2 + \\ & c_{i11}YXZ + c_{i12}Y^3 + c_{i13}YX^2 + c_{i14}YZ^2 + c_{i15}Y^2X + \\ & c_{i16}X^3 + c_{i17}XZ^2 + c_{i18}Y^2Z + c_{i19}X^2Z + c_{i20}Z^3 \end{aligned} \quad [1]$$

QuickBird 衛星画像の場合、衛星のセンサモデルや軌道情報から算出されるパラメータ (c_{ij}) が画像ごとに提供されているので、RPC モデルでは、画像座標のみを入力値として扱う。地上座標は 2 つの RPC モデルを用いた調整計算で求めることができる。

2.4 画像計測

検証点として道路上の白線が交差する点など、画像上で明瞭に識別できる点を合計 60 点選点した。画像計測は筆者がデジタル図化機を用いて 3 次元計測を行なった（図－3）。1 点につき 2 回の計測を行ない、その平均値を画像計測結果として採用した。2 回計測の較差の標準偏差は経度方向で 0.19 m、緯度方向で 0.15 m、鉛直方向で 0.23 m である。



© 2004 Digital Globe

図－3 QuickBird 衛星基本ステレオペア画像
左：前方視、右：後方視

2.5 地上測量

地上測量は、電子基準点を与点とし、2周波 GPS によるファストスタティック GPS 測量を検証点 1 点につき 30 分間行なった。



図-4 ファストスタティック GPS 測量

3. 結果

3.1 水平位置精度の検証

3.1.1 未補正

地上測量から得た座標値を正解値とし、これを始点として画像計測値との較差の水平成分の大きさと方向を

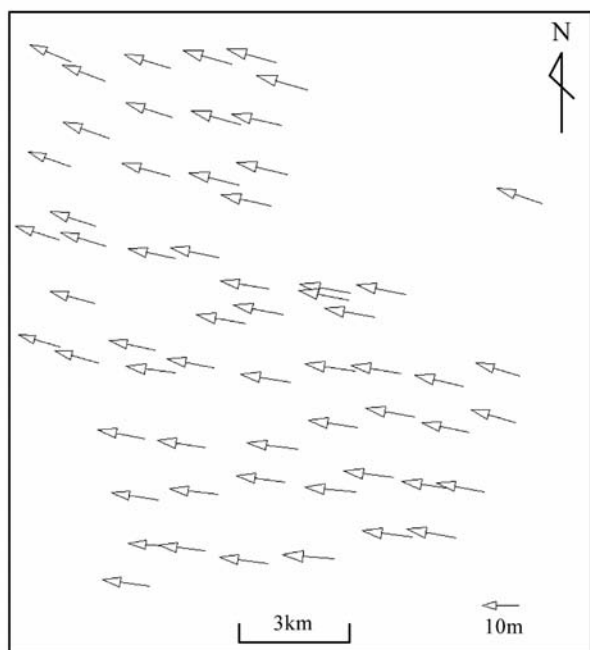


図-5 誤差ベクトルの水平成分 (未補正)

ベクトルで表現した (図-5)。

結果は全点で北西へのシフトがみられ、誤差ベクトルの平均は経度方向に 13.13 m、緯度方向に 2.78 m、標準偏差はそれぞれ 0.73 m、0.93 m であった。

QuickBird 衛星に搭載される GPS/Star Tracker の計測精度は一般的に絶対計測精度に比べて相対計測精度が高いと言われており、これが地上座標系におけるシフト誤差として現れたと考えられる。

3.1.2 標定点 1 点による補正

誤差ベクトルが全体的に同一の傾向を示したので、任意の一点を標定点として固定し、全体を水平移動させることで、シフト量の補正を試みた。

図-6 は標定点として画像中央部の点を用いた結果である。誤差ベクトルの平均は経度方向に 0.74 m、緯度方向に 0.78 m に改善された。

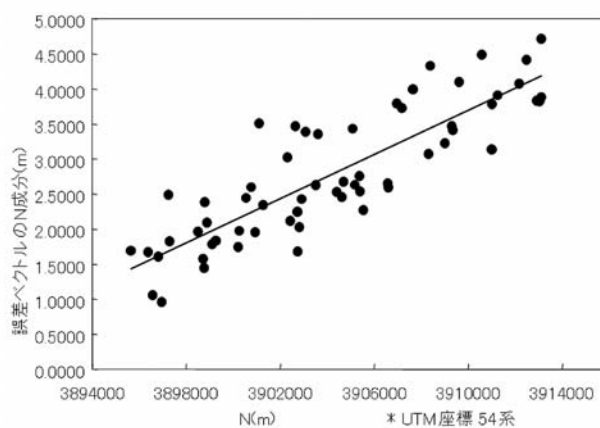


図-7 N (UTM) — 誤差ベクトルの N 成分

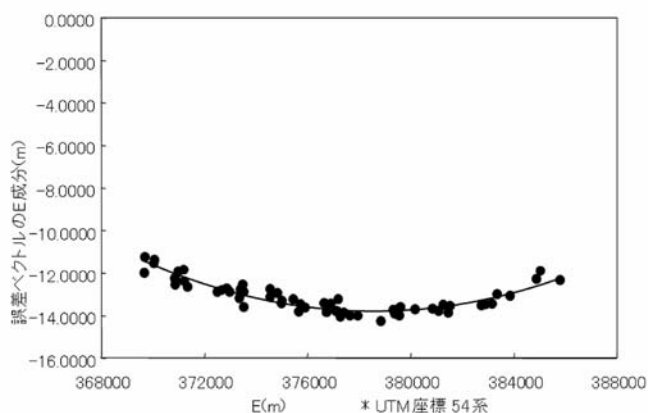
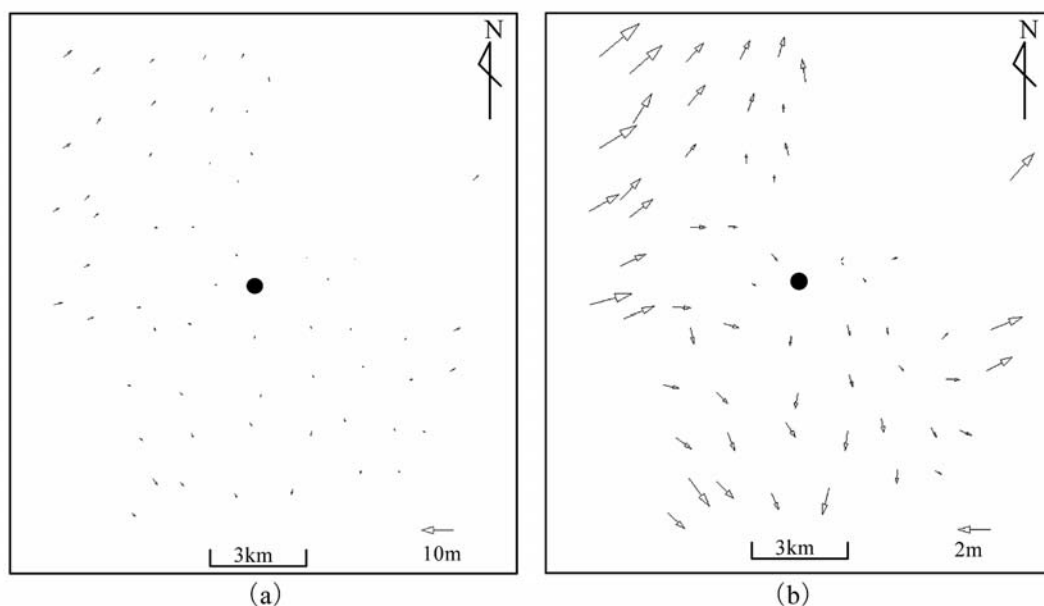


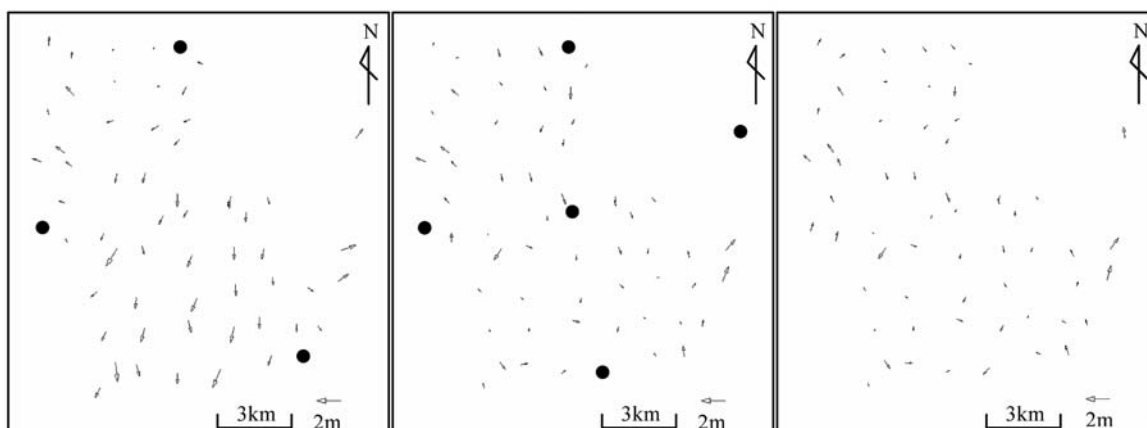
図-8 E (UTM) — 誤差ベクトルの E 成分



図－6 誤差ベクトルの水平成分（標定点1点による補正後）
 (b) はベクトルサイズを5倍に拡大したもの

表－1 補正結果（水平成分）

標定点 数	平均 (m)		RMS(m)		最小値 (m)		最大値 (m)	
	E	N	E	N	E	N	E	N
0	13.13	2.78	13.15	2.93	-14.26	0.96	-11.26	4.71
1	0.74	0.78	1.00	0.93	-0.44	-1.71	2.57	2.04
3	0.29	0.63	0.39	0.73	-0.89	-1.62	1.20	0.77
5	0.23	0.43	0.30	0.50	-0.78	-0.98	0.80	1.22
60(all)	0.22	0.40	0.27	0.48	-0.57	-0.88	0.66	1.21



●：標定点（右図は検証点すべてを標定点として使用した）

図－9 誤差ベクトルの水平成分（補正後）

3. 1. 3 複数の標定点を用いた補正

図－6 (b) は標定点1点によるシフト量の補正だけでは改善されない誤差を表している。この誤差について、誤差ベクトルの各成分の規則性を明らかにしたので報告する。

誤差ベクトルの緯度方向成分の傾向を図7に示す。北に行くに従い、誤差が増加する直線的な特徴が得られた。図－8は誤差ベクトルの経度方向成分の傾向を示す。画像中心から東西端に行くに従い、誤差が減少し、2次曲線の分布を示した。これらを系統誤差とみなし、それぞ

れの近似直線及び近似曲線を推定すれば、この誤差を減らすことが可能である。

2次曲線の推定には少なくとも3点の標定点が必要であるため、3点による補正を行った。また、比較として5点及び全ての検証点(60点)を標定点として使用した場合についても計算を行った。この結果を表-1及び図-9に示す。

標定点数を1点から3点に増やすことで、誤差の改善が見られた。しかし、標定点数を5点及び60点に増やしても、著しい向上は見られなかった。よって、図-7、図-8で見られた系統誤差は標定点3点を用いた補正で十分に除去できると考えられる。

3.2 鉛直方向精度の検証

3.2.1 未補正

画像計測値と地上測量成果との鉛直方向の較差(誤差ベクトルの鉛直成分)は平均で1.34 m、標準偏差で1.42 mであった。図10はこの較差を段彩図として表現したものである。モデル全体が-1.95 mから2.65 mの間で南北方向に傾斜する傾向が確認できた。

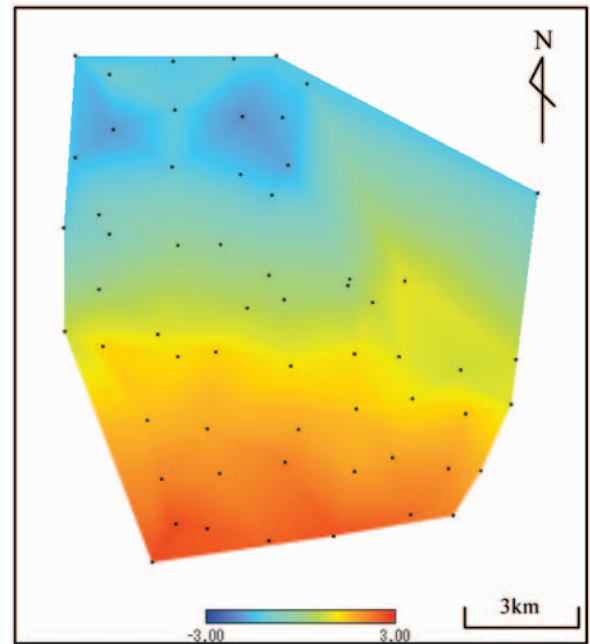


図-10 誤差ベクトルの鉛直成分
(未補正)

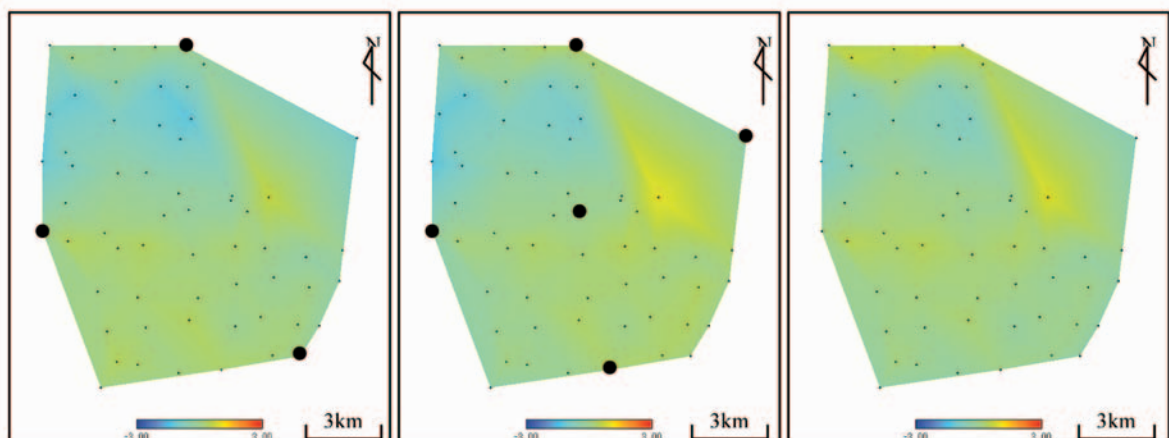
3.2.2 標高点を用いた補正

モデルが一枚の平らな板に乗っていると仮定すると、少なくとも3点の標高点があれば、その回帰平面を推定することができる。本研究では数点の標高点からこのモデルの回帰平面を推定し、傾きの補正を試みた。表-2

及び図-11は標高点を3点用いた場合、5点用いた場合及び60点を用いた場合について、補正を行った結果である。

表-2 補正結果(鉛直成分)

標定点数	平均(m)	RMS(m)	最小値(m)	最大値(m)
0	1.34	1.49	-1.95	2.65
3	0.36	0.50	-1.25	0.65
5	0.35	0.47	-1.34	1.00
60(all)	0.29	0.38	-0.87	0.89



●: 標高点(右図は検証点すべてを標高点として用いた)

図-11 誤差ベクトルの鉛直成分(補正後)

3. 2. 3 海岸線を用いた補正

本検証画像のようにシーン全域にわたって海岸線が見られるような画像では、「海岸線＝標高 0 m」の関係を利用してモデルの傾きを補正することが可能である。図-12 は 3 箇所画像計測した海岸線の標高値からモデルの傾きを推定し、この時刻の潮位観測結果に基づき、傾きを補正した結果である。RMS は 0.44 m で、高精度の地上測量成果を標高点として使用した結果（表-2）と同程度の結果を得ることができた。

4. まとめ

本稿で検証した QuickBird RPC ファイルを用いた 3 次元モデルは、標定点を用いない状態で水平方向 13.47 m (RMS)、鉛直方向 1.49 m (RMS) の位置精度を有していた。一方で、1:25,000 地形図では標定における要求水平精度が基本図化で 7.5 m 以内、修正図化で 12.5 m 以内、要求鉛直精度が基本図化、修正図化ともに 2.5 m 以内と規定されているので、これを満たすことはできなかった。しかし、3 次元モデルに現れる誤差の大部分が、系統的な誤差の集まりであることが判明し、数点の標定点を用いた単純な補正により、大幅に精度の向上が見込めることが分かった。特に今回の三浦半島のような沿岸部では、モデルの傾きの補正に海岸線が使用できるので、水平方向のシフトを補正するために必要な標定点 1 点を用意すれば、1:25,000 地形図作成・修正に十分な精度を満たすモデルが作成できることが分かった。

今後の課題としては、今回の結果の普遍性を検討するために、他の地域や画像についても同様な結果が得られ

るか否かの検証が必要である。また、本研究で確認された、標定点 1 点では消し去ることができない系統誤差の発生要因を検討する必要がある。

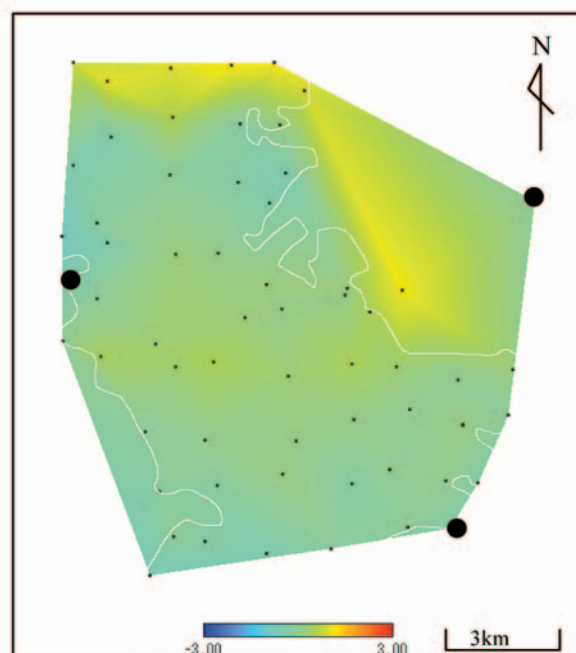


図-12 誤差ベクトルの鉛直成分
(海岸線＝0 mを用いた補正後)

● 標高点

* 白線は海岸線を表す

参 考 文 献

日立ソフト (2002) : QuickBird 画像プロダクトガイド

National Imagery and Mapping Agency(2000): The Compendium of Controlled Extensions(CE) for the National Imagery Transmission Format (NITF)

野口真弓、飯田洋、下野隆洋 (2003) : QuickBird 画像を用いた地形図作成の検討、日本写真測量学会平成 15 年度年次学術講演会発表論文集、pp. 105-108

下野隆洋、中村孝之、野口真弓、大木章一 (2003) : QuickBird 画像ステレオペア画像の位置精度評価、日本写真測量学会平成 15 年度秋季学術講演会発表論文集、pp. 79-80

Shoichi OKI, Hidehisa TAKAHASHI, Takayuki NAKAMURA, Mayumi NOGUCHI and Takahiro SHIMONO (2003): Evaluation of accuracy of 3D model from QuickBird stereo imagery, ISPRS Workshop 2003 (High Resolution Mapping from Space)

Shoichi OKI, Takayuki NAKAMURA, Mayumi NOGUCHI and Takahiro SHIMONO(2004): Evaluation of Dsm Generated from Quickbird Stereo Imagery, ISPRS 2004 ISTANBUL PROCEEDINGS, pp743-748