

2-5 現地調査

写真判読で疑問が生じた箇所、現地でなければ得られない情報を収集するため、現地調査が実施された。また、あわせて、この時点で新たに建設された道路、送電線等の経年変化も合わせて調査された。

(1) オーバーレイの作成

写真判読に使用した2倍伸写真にポリエステルベースのオーバーレイを添付し、写真判読した結果をその上に移写整理した。これを現地に持ち込み調査を行った。

- 1) 行政界、主な地形、河川名、公共施設等を資料より移写した。
- 2) 道路の区分、部落、集落の名称と区分を移写した。

(2) 現地調査

- 1) 写真判読時に疑問となった事項の調査
- 2) 写真判読した結果の確認
- 3) 公共施設、公官庁施設の確認
表示位置が不明な場合は Handy GPS を使い、座標の測定を行った
- 4) 集落の表示位置と名称の調査
集落名の調査にはボイスレコーダを使用し、後でスペルを確認した。
- 5) 耕作地と雑草地の区分の確認

(3) 現地調査結果の整理

現地調査はオーバーレイに書き込まれた内容を加除、修正し、整理した。

(4) 点検・検査

整理した現地調査図は点検・検査を行い、取得項目毎に漏れがないかを確認し、その結果は写真判読と同じ様式で整理し精度管理表としてまとめた。

2-6 ジオイド測量

本調査では GPS を利用し測量を実施した。GPS では地球の重心を中心とした地球楕円体 (WGS-84) を採用しシステムを構成している。しかし、本調査で作成する地形図はマリ国が定める準坳楕円体 (CLARKE1880) を採用している。このため、GPS 測量で求めた緯度・経度は WGS-84 上の座標値であり、実用するためには CLARKE1880 楕円体上での座標値に変換する必要がある。また、標高については全域にわたり直接水準測量により地形測量を実施すべきであるが地域が広域であることからできないため、GPS を活用して地形測量をすることとした。

このため、楕円体間の座標変換と GPS で求めた楕円体高から正標高を求めるパラメ

ータが必要となる。このパラメータを求める測量がジオイド測量である。

2 - 6 - 1 楕円体の変換

2つの楕円体間の変換パラメータを求めるためには両楕円体の3次元座標値を持つ基準点をする。本調査では12度平行圏測量で使用したP272点を変換のための基準点として採用した。このP272の各楕円体の座標値を以下に示す。

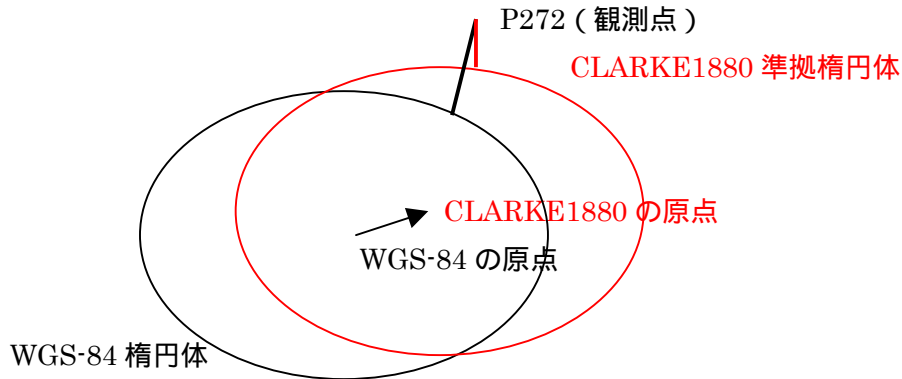


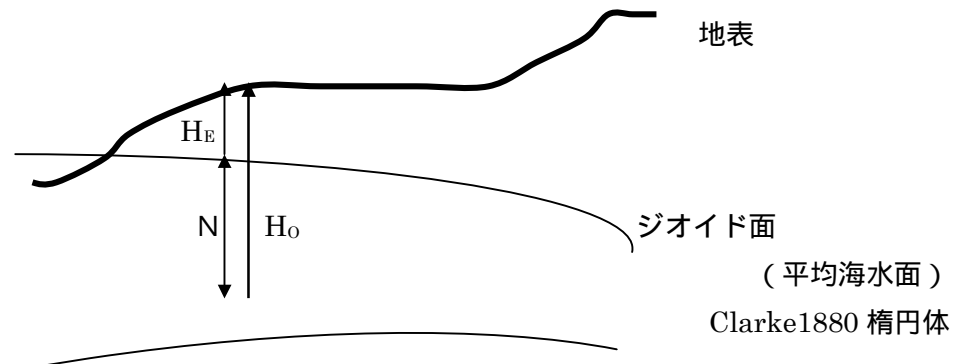
図 2-6-1 楕円体間の変換の模式図

表 2-6-1 楕円体間の変換パラメータの計算

	WGS-84	CLARKE1880
長半径 (m)	6378137.000	6378249.145
偏平率	1/298.257223563	1/293.465
緯度	13 5 41.5754	13 5 40.629
経度	-9 30 43.2326	-9 30 38.238
標高 (m)	453.399	393.87
X (m)	6128357.0205	6128456.1142
Y (m)	-1026855.7584	-1026719.7991
Z (m)	1435733.8248	1435563.5443
X (m)	99.094	
Y (m)	135.960	
Z (m)	-170.281	

2 - 6 - 2 ジオイド高

図 2-6-2 に示すように GPS 測量で求められる高さは楕円体からの高さである。一般に楕円体面とジオイドは一致しないため、水準測量で得られる正標高を得ることはできない。そのためジオイド面が楕円体面からどれだけ離れているかを知るためのジオイド測量が必要となる。本調査では GPS 測量による楕円体高と水準測量による標高を測定し、Clarke1880 楕円体からのジオイドの起伏量を推定した。



H_O : 正標高 (Orthometric height)

N : ジオイド高

H_E : 楕円体高

$H_O = H_E + N$

図 2-6-2 楕円体高とジオイド高

実際の作業は次のステップで行なわれた。

(1) 既存水準点の踏査 (第 1 年次作業)

調査地内の中央部に位置する KITA を通り東西に鉄道が走っているがこの線路沿いに 1 級水準測量路線、北部の調査範囲外に 2 級水準路線、そして西部のマナンタリダム付近に 3 級水準路線が通っている。このため KITA から北に向かう道路が走っている北部、南部及び南西方向に延びる道路沿いに水準路線を設置することとした。KITA 付近で計画水準路線に近傍の水準点として Mle103 がある。この点と隣接する水準点 Mle104 を検測した結果 1mm の観測差であったことから、この Mle103 点をこの地域の始点として使用することとした。北部の Diéma へ向かう路線を Route1 とし、Diéma を通る水準路線の水準点 28-T を終点とすることにした。水準点 28-T と隣接する水準点 27-T を検測した結果は 21mm 観測差であった。Kita から南西に結ぶ路線を Route2 とし、終点は Bankoto にある 3 級水準点 36 とした。この水準点に隣接する水準点 37 との検測の結果は 7mm の誤差であった。Kita から南部の Gale までの路線は Route3 とした。この点の終点には既存の水準点はなく既存水準点に閉合させることはできないが、本測量はジオイドの起伏を求めることを目的としていることから、往復観測による結果を水準点成果として採用することとした。

(2) 水準点の埋設

水準点は KITA から北方の Diéma までの Route 1 は 200.1km 間に約 10km 間隔で 21 点、Bantakoto までの Route2 は 88.4km 間に同じく約 10km 間隔で 9 点、そして Galé までの Route3 は 88.4km 間に 6 点の水準点を埋石した。水準点の埋石の仕様は図に示す。

このほか、将来の都市開発に利用する目的で、Kita 市内と Diéma 市内に各 4 点の水準点の設置を行った。

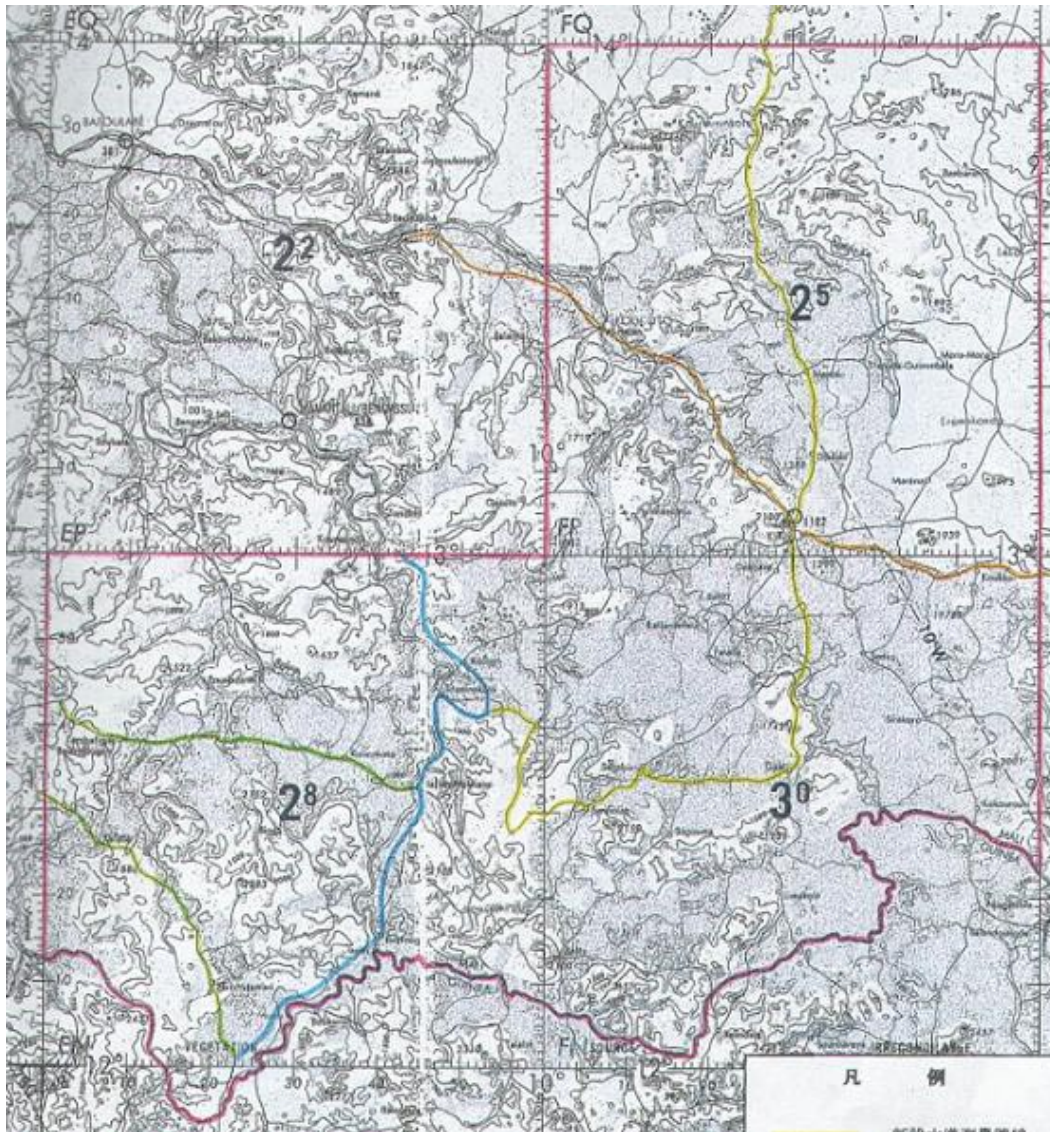


図 2-6-3 既設水準測量網図及び調査団が実施した水準路線

(3) 3級水準測量(第1年次作業)

埋石を実施した Route1, Route2 及び Route3 の3路線について合計 376.9km の3級水準測量を行った。



図 2-6-4 水準測量

(4) 水準点上で GPS 測量及び刺針(第2年次作業)

ジオイド高を求めるため水準測量を実施した点、既測の水準点上で GPS 測量を実施した。



図 2-6-5 GPS 測量

(5) ジオイド高の計算及び表示(第2年次作業)

水準点上で観測した GPS 測量の結果をマリ国の準拠楕円体である CLARKE1880 に変換し楕円体高と水準測量による標高との差からジオイド高を求めた。

この調査地域のジオイド面は Clarke1880 楕円体から平均約 60m 上方に位置していることが分かった。

(6) ジオイドマップの作成(第2年次作業)

得られたジオイド高を縮尺 1/500,000 で図上にプロットした。ジオイド高の最大値は 60.384m (最南端の Dité 付近) 最小値が 57.929m (最北端の Diéma 付近) この間約 280km であった。この様に調査地域のジオイドの起伏傾斜量は 280km で約 2.5m つまり 10km で約 10cm と南に行くに従い緩やかに上昇している傾向が読み取れる。このため 10cm 間隔で等高線を描画し、ジオイドマップを作成した。GPS 測量で求められた楕円体高は測定点の位置をプロットすることにより容易にジオイド補正量が求められ、水準測量で得られる標高に変換することが可能になった。

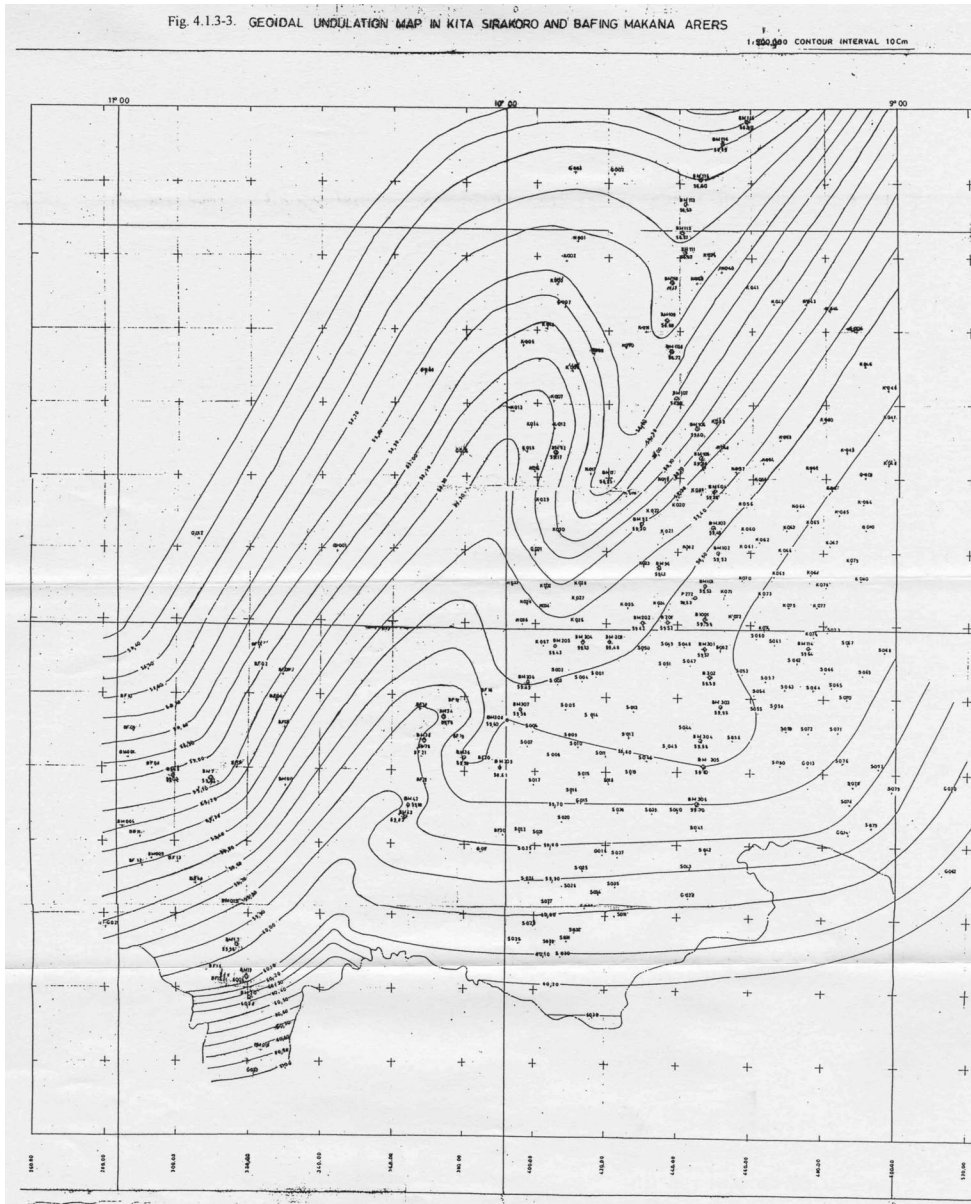


図 2-6-6 作成されたジオイド起伏図 (等高線:10cm 間隔)

2-7 標定点測量

SPOT 画像による空間三角測量を実施するため最適な位置に標定点を設置し、GPS 測量によりこれら標定点の座標を測量した。以下に作業のステップを概要する。

既存基準点の踏査

本調査地域には既存の基準点としては天測点と 12 度平行圏測量で設置した多角点がある。しかし、天測点は測定精度が低く、本調査では利用しないこととした。12 度平行圏測量は 1973 年にエジプト、スーダン国境からセネガル・ダカールまで北緯 12 度の緯線に沿った地域でアメリカ、フランス及びマリ等の国々が共同で実施された測量であり、多角測量と天文測量によって、緯度、経度、及び方位角 (Azimuth) の平均誤差 (a probable error of the mean) が 0.3 秒という高精度な位置が求められた。このことからこれら多角点は利用することとした。また、1 年次に設置した水準点を標定点の一部として使用することとし、不足する箇所新たに標定点を増設することとした。

(1) 標定点の選点

SPOT 衛星画像を使用して空間三角測量を実施するため、空間三角測量で精度が保持できるように SPOT 画像で構成されるブロックの周辺部に標定点を均等に配置するよう計画を立てた。配点計画では GPS 測量ができること、車によるアクセスが容易なこと、刺針が可能であることを考慮し、選点を実施した。

(2) GPS 測量及び刺針

配点計画の沿って GPS 測量により標定点測量を実施した。刺針可能な水準点も標定点として採用することとし、さらに 24 点の標定点が新たに追加された。新設水準点及び標定点は点の記を作成し、空中写真及び SPOT 画像上に刺針を行った。

(3) 計算・整理

GPS 測量の計算には Leica 社の SKI ソフトウェアを使用し、WGS-84 で位置を求め、CLARKE 楕円体上の緯度、経度及び、楕円体高に変換した。この結果を空間三角測量に使用するため、さらに UTM 座標及び正標高に変換した。

(4) 精度管理表の作成

観測結果の評価を行い、複数回測定している辺に対してはその較差を求め、測定精度点検した。その結果をまとめ、精度管理表を作成した。

(5) 成果表の作成

標定点の成果表を作成した。

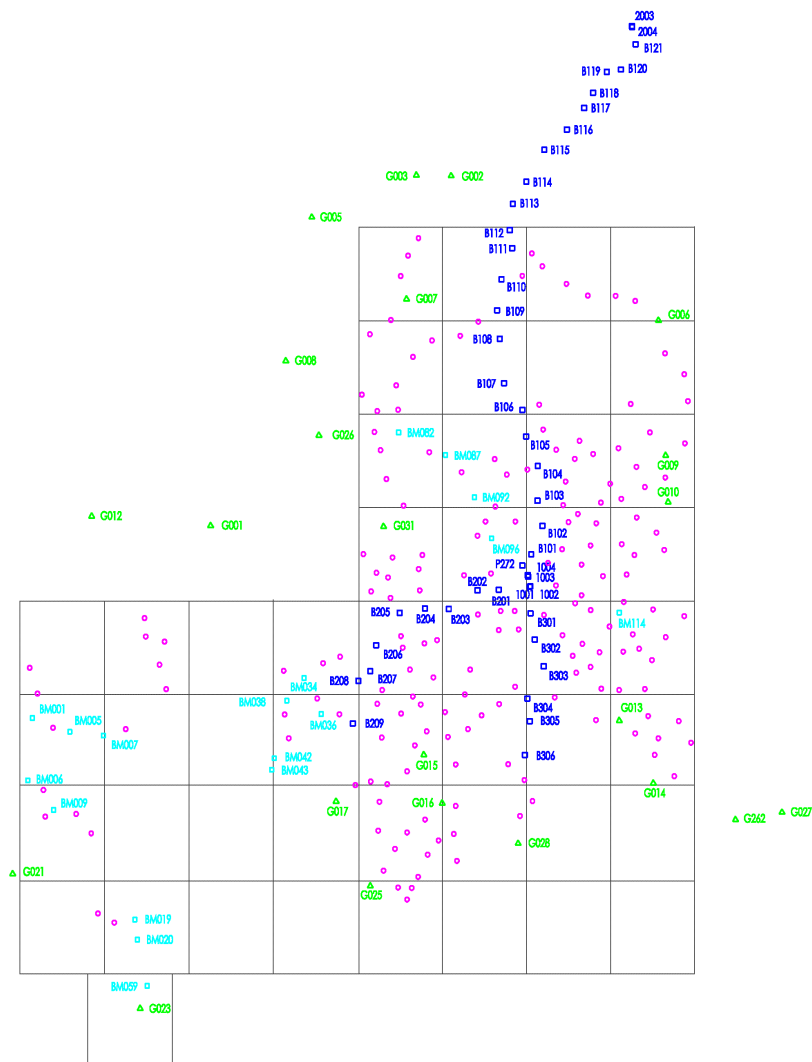
表 2-7-1 標定点の座標と標高

Point Name	Latitude	Longitude	UTM 座標		Elavation
	Deg.min.sec	Deg.min.sec	Easting	Northing	
P272	13 5 40.629	9 30 38.238	444,646.753	1,447,525.712	393.870
B101	13 7 26.368	9 29 4.904	447,463.541	1,450,768.163	314.126
B102	13 12 2.282	9 27 4.512	451,103.641	1,459,236.707	332.584
B103	13 16 4.820	9 27 59.025	449,476.682	1,466,689.831	354.737
B104	13 21 37.961	9 27 55.647	449,597.482	1,47,922.896	330.653
B105	13 26 23.296	9 30 0.637	445,855.506	1,485,695.107	324.403
B106	13 30 40.420	9 30 42.048	444,626.701	1,493,596.013	334.053
B107	13 34 56.446	9 33 59.307	438,715.000	1,501,473.783	290.039
B108	13 42 4.177	9 34 45.543	437,358.805	1,514,616.427	192.043
B109	13 46 36.557	9 35 14.186	436,516.819	1,522,985.770	230.188
B110	13 51 37.999	9 34 28.113	437,922.484	1,532,242.483	268.129
B111	13 56 36.278	9 32 35.222	441,332.017	1,541,397.468	279.962
B112	13 59 30.560	9 32 59.925	440,603.188	1,546,753.034	244.853
B113	14 3 42.033	9 32 28.381	441,567.200	1,554,476.020	255.639
B114	14 7 17.397	9 30 4.389	445,899.778	1,561,082.362	275.066
B115	14 12 24.741	9 26 51.890	451,689.547	1,570,512.179	296.005
B116	14 15 40.253	9 22 50.335	458,939.194	1,576,505.359	292.879
B117	14 19 8.908	9 19 43.708	464,540.427	1,582,906.614	298.416
B118	14 21 36.668	9 18 8.094	467,410.629	1,587,441.819	290.719
B119	14 24 56.468	9 15 41.784	471,799.722	1,593,574.248	273.965
B120	14 25 19.069	9 13 10.896	476,318.524	1,594,263.828	261.771
B121	14 29 23.613	9 10 32.523	481,066.384	1,601,772.035	253.373
B201	13 1 46.746	9 34 50.614	437,030.491	1,440,357.843	305.620
B202	13 1 39.442	9 38 38.967	430,151.678	1,440,150.044	317.709
B203	12 58 40.743	9 43 43.309	420,968.604	1,434,685.517	281.206
B204	12 58 43.548	9 47 57.888	413,298.857	1,434,794.670	283.408
B205	12 58 0.128	9 52 29.237	405,118.900	1,433,487.675	319.444
B206	12 52 47.587	9 56 38.622	397,569.363	1,423,913.352	292.234
B207	12 48 37.436	9 57 40.713	395,669.188	1,416,235.815	275.831
B208	12 47 10.353	9 59 47.274	391,843.092	1,413,375.100	266.471
B209	12 40 12.835	10 0 42.976	390,113.591	1,400,755.677	266.537
B301	12 57 58.707	9 29 10.273	447,268.479	1,433,331.681	313.644
B302	12 53 47.129	9 28 24.610	448,629.920	1,425,601.485	302.365
B303	12 49 29.582	9 26 49.657	451,477.742	1,417,685.452	302.435
B304	12 44 17.317	9 29 42.533	446,248.038	1,408,103.317	285.347
B305	12 40 39.222	9 29 16.569	447,018.454	1,401,402.809	322.126
B306	12 35 13.628	9 30 8.223	445,441.261	1,391,404.812	309.257

Point Name	Latitude	Longitude	UTM 座標		Elevation
	Deg.min.sec	Deg.min.sec	Easting	Northing	
BM001	12 40 45.734	10 57 41.038	286,991.280	1,402,353.800	215.3
BM005	12 38 36.499	10 51 2.037	299,003.648	1,398,294.512	263.510
BM006	12 30 45.747	10 58 25.669	285,505.856	1,383,925.461	177.880
BM007	12 38 3.601	10 45 3.486	309,817.658	1,397,209.149	257.975
BM009	12 26 1.635	10 53 48.656	293,808.239	1,375,133.502	182.070
BM019	12 8 32.567	10 39 18.115	319,903.252	1,342,724.406	463.145
BM020	12 5 20.244	10 38 48.459	320,764.248	1,336,809.783	401.775
BM034	12 47 29.923	10 9 25.096	374,422.342	1,414,248.804	230.759
BM036	12 41 41.963	10 6 21.660	379,908.067	1,403,535.144	273.027
BM038	12 43 48.949	10 12 29.869	368,819.073	1,407,485.633	219.481
BM042	12 34 35.496	10 14 39.519	364,827.717	1,390,501.105	227.377
BM043	12 32 43.408	10 15 7.802	363,957.774	1,387,061.646	237.802
BM059	11 57 54.344	10 37 1.225	323,926.457	1,323,090.225	339.491
BM082	13 26 57.450	9 52 45.274	404,822.828	1,486,859.129	179.571
BM087	13 23 22.172	9 44 22.835	419,911.775	1,480,196.342	218.770
BM092	13 16 35.656	9 39 12.764	429,205.099	1,467,682.524	297.251
BM096	13 10 0.876	9 36 10.008	434,675.265	1,455,541.879	291.936
BM114	12 58 6.712	9 13 22.688	475,817.357	1,433,537.911	329.710
G001	13 11 51.362	10 26 11.392	344,330.497	1,459,302.940	165.5
G002	14 8 12.430	9 43 30.987	421,720.139	1,562,836.156	243.0
G003	14 8 16.878	9 49 44.592	410,518.944	1,563,009.921	257.8
G005	14 1 29.800	10 8 24.264	376,886.121	1,550,643.819	210.6
G006	13 45 3.832	9 6 25.550	488,421.891	1,520,062.553	262.9
G007	13 48 23.789	9 51 25.192	407,370.286	1,526,367.549	189.8
G008	13 38 22.807	10 12 56.700	368,496.675	1,508,070.537	132.0
G009	13 23 23.074	9 5 7.723	490,745.053	1,480,105.922	335.7
G010	13 15 54.907	9 4 41.325	491,534.686	1,466,339.475	335.7
G012	13 13 14.988	10 47 23.581	306,043.233	1,462,119.051	117.1
G013	12 40 48.730	9 13 21.734	475,818.597	1,401,655.632	332.0
G014	12 30 45.073	9 7 18.676	486,760.354	1,383,107.134	327.2
G015	12 35 15.610	9 48 6.426	412,907.697	1,391,546.375	336.8
G016	12 27 29.241	9 44 48.996	418,824.598	1,377,203.332	419.7
G017	12 27 41.606	10 3 39.730	384,688.468	1,377,699.394	365.1
G021	12 15 45.262	11 1 0.514	280,620.853	1,356,287.252	182.2
G023	11 54 16.451	10 38 15.878	321,628.305	1,316,408.795	310.3
G025	12 14 8.758	9 57 31.877	395,705.000	1,352,687.879	388.8
G026	13 26 27.653	10 6 58.961	379,146.430	1,486,047.703	183.0
G027	12 26 3.981	8 44 25.809	528,203.266	1,374,484.217	502.7
G028	12 21 3.414	9 31 18.049	443,283.025	1,365,293.949	348.6
G030	12 37 28.103	8 51 22.316	515,617.428	1,395,487.369	384.1
G031	13 11 52.765	9 55 23.512	399,961.173	1,459,084.459	303.3
G262	12 24 53.424	8 52 42.131	513,220.256	1,372,306.357	428.2

2-8 標高補助点の測量

これまでの研究によると SPOT 画像による標高値の測定精度は約 13m と 20m 等高線を描画するに十分な精度を確保できないことから、標高の精度を向上させるため、約 273 点 (24 点の標定点を含む) の標高補助点の観測を実施した。標高補助点は調査地域に均等に配置するよう心がけた。GPS 測量で得られた結果を CLARKE 楕円体の座標に変換し、ジオイドマップにより補正し、標高を求めた。この結果は数値図化で作成された等高線のチェックデータとして利用された。



G P S 点
 水準点
 水準点
 標高の補正点

図 2-8-1 標定点位置図

2-9 空間三角測量

SPOT 画像を利用して数値図化を行うため、各スポット画像の標定要素を求めた。本調査のため 20 シーンのステレオ画像が JICA から貸与されたが、本調査範囲は 19 シーンで全域をカバーできることが確認できたため、19 シーンの SPOT 衛星画像の空間三角測量を実施し、各画像の標定要素とパスポイント・タイポイントの座標を決定した。空間三角測量は日本国内で実施した。

(1) 準備

初めに各シーンを構成する衛星画像の濃度を統一するために、画像処理ソフトウェア PHOTOSHOP のフィルタリング機能を使用して濃度を調整した。

次に、標定点ファイルを作成した。標定点は GPS 観測で得られた X Y H の座標を持つ点と、高さのみの水準点に区分して作成された。

(2) 選点及び観測

濃度調整を実施した画像を単シーン毎に標定点及びパスポイントの選点をし、これらの点を用い相互標定を行った。標定点の移写には点の記 (GPS 点及び水準点) と刺針を行った衛星画像を参照した。また、各コース間の接続を強めるためにコース間に 3 点以上のタイポイントを追加した。

(3) 調整計算

全シーンを衛星画像用空間三角測量ソフト SOCET SET (スイス、Leica Helava 社製) を使用して、対地標定を行った後、調整計算を行った。

調整計算の結果を確認し、残存誤差の大きい標定点は検討を加え、再測し、残差が制限内であることを確認して調整計算を完了した。

衛星画像データのヘッダーには軌道要素が記録されており、19 シーンのうち同一軌道で取得されたシーンがある。これをセグメントといい、本調査で取得されたセグメント数は全部で 11 セグメントである。1 シーン毎に調整計算する方法もあるが、同一セグメント (2 シーン以上の複数) を 1 シーンとして扱うことにより、基準点を最小点数に減らすことができる。従って、本調査でも軌道要素を調整計算に取り入れることができる衛星画像用の空間三角測量ソフトを使用した。

調整計算に使用した点数、および総合的な標準偏差は以下のとおりである。

表 2-9-1 空間三角測量調整計算結果

入力	パスポイント数	5 4 7 点
	平面の基準点数	2 3 点
	高さの基準点数	4 3 点
	タイポイント数	1 0 2 点
出力	標準偏差 X	9.558m
	Y	14.228m
	H	5.095m

この結果を基に、成果表と精度管理表にまとめた。

2-10 数値地形モデル作成

空間三角測量の成果と SPOT 画像を用いて Supresoft 社製（中国）DEM 自動生成プログラムを使用し、100m格子の数値地形モデル（DEM）を作成した。

DEM 作成のステップを以下に示す。

（1）モデル内測定

モデル毎にステレオマッチング法により地表の標高の自動生成を行った。画像相関が可能な点が選ばれるため、ランダムな点（TIN）の標高測定が行われる。

画像が不鮮明な箇所、テクスチャーが均一な箇所はマッチング精度が悪いため、最初に自動生成の範囲から除外した。また、森林地域では、樹木の先の標高が測定されるためデジタルプロッタにより3次元モデルを生成し、マニュアル操作で地表の標高測定を行い、修正した。

衛星画像上で野焼きの煙、雲等で3次元観測ができない箇所に関しては、その部分の空中写真データを貼り付け、補助的に3次元座標の測定を追加した。

（2）DEM データの統合

モデル毎に作成した TIN データから正方格子の DEM データ作成し、これらを1つにマージし、DEM ファイルを作成した。

（3）ブレイクラインの取得

地形を正確に表現する等高線を作成するため、主要道路、河川、尾根線、及び沢線等の地勢線をブレイクラインとして取得した。

（4）DEM の作成

統合した DEM ファイルから 100m 間隔の DEM を作るとともに、ブレイクラインデータを合わせ、地形データ（河川、等高線等）を作成した。