

まえがき

測量技術は日進月歩であり、その進捗内容もすみやかに新しい測量技術として理解していく必要がある。測量作業機関が模範とする国と地方公共団体の公共測量作業規程の準則が、2008年（平成20年）3月に57年ぶりに全面改正された。その改正のポイントは、新技術（ネットワーク型RTK-GPS、デジタル航空カメラ、航空レーザ測量）の作業方法の規定であり、地理情報標準への対応や基盤地図情報の整備などである。またこれが、2011年（平成23年）3月に一部改正された。すなわち、アメリカのGPSに加えロシアのGLONASSに対応した測量用受信機の普及に合わせ、衛星測位システムの総称をGNSSとしたのである。その他に、ネットワーク型RTK法の利用の拡大やセミ・ダイナミック補正なども追加された。このように、デジタル化や衛星を利用した新技術の拡大を図っている。さらに、2011年（平成23年）3月、東北地方太平洋沖地震によって地殻変動が生じ、測量の基準である経緯度原点や水準原点を含めた多くの基準点が移動した。これに伴い、移動した基準点の数値が改定され、今後の測量成果は測地成果2011と表記されるようになった。

本書は、測量の基礎を初めて学ぶ学生と社会人向けに、平易に解説し、同時に、衛星を利用した測量新技術や2011年の惨事に対応した内容（準則一部改正と測地成果2011）としている点が特徴的である。

また、執筆に際し、わかりやすくするために、以下の点に配慮している。

- (1) 若い執筆陣らを加えた最新の内容。
- (2) B5判と大きくし、また右側に側注スペースをつくり、メモ書きができるようにした。また、ここには、英訳（JABEE教育対応）と参照箇所などを注意書きするとともに、必要に応じて、その他の側注を入れて、学習の助けとした。
- (3) 簡潔を心がけ、読みにくい漢字には、常用、非常用にかかわらずルビを振った。
- (4) 章末問題を設け、上級の資格取得に対応させた。また、解答は、各章末問題のすぐ後に掲載し、見やすさを図った。

その他、コロナ社ホームページ（<http://www.coronasha.co.jp>）の本書のページで、必要に応じてカラー写真や、参考資料、補足事項などを掲載していく予定である。本書の企画から出版に到るまで、臨機応変に対応していただいたコロナ社に感謝の意を示す。

本書を活用することで、あたらしい測量学の基礎づくりに少しでも役立てていただければ幸いである。

2014年2月

著者一同

目 次

1. 測量の基準		章末問題	19
		章末問題略解	20
1.1 地球楕円体	1	3. 角 測 量	
1.2 準拠楕円体	1	3.1 角度に関する基本事項	21
1.3 地心直交座標系	2	3.1.1 水平角と鉛直角	21
1.4 日本における測地系	3	3.1.2 角度の単位	22
1.4.1 日本測地系	3	3.2 角度の測定	22
1.4.2 日本測地系2000	3	3.2.1 角度の測定機器の種類	22
1.4.3 日本測地系2011	3	3.2.2 角度測定の原理	23
1.5 緯度・経度・楕円体高	4	3.3 セオドライト	23
1.6 球面から平面への投影	5	3.3.1 構 造	23
1.6.1 平面直角座標系	5	3.3.2 各部の名称とはたらき	24
1.6.2 UTM座標系	7	3.4 TSの操作方法	25
1.7 球面距離と平面距離の比	7	3.4.1 機器の据付け	25
1.7.1 縮尺係数	7	3.4.2 視準と測角	27
1.7.2 s/S	8	3.4.3 対回観測	28
1.8 北	8	3.5 角観測と手簿の記載例	28
1.9 ジオイド	9	3.5.1 水平角観測と手簿の記載例	28
1.10 高さ	10	3.5.2 鉛直角観測と手簿の記載例	31
章末問題	10	3.6 器械誤差と消去法	32
章末問題略解	11	3.7 コンパス測量	33
2. 距離測量		3.7.1 コンパス測量の概要	33
2.1 距離の種類	12	3.7.2 コンパス測量の器具と方法	33
2.1.1 平面距離と球面距離	12	3.7.3 選点と木杭の打ち方	35
2.1.2 斜距離, 水平距離, および鉛直距離 の関係	12	3.7.4 分度円の特徴, 方位角の測定, および 内角計算	36
2.2 局地測量における測距	13	3.7.5 コンパス測量の精度と測量で生じた 誤差の修正	37
2.2.1 歩 測	13	章末問題	37
2.2.2 巻尺による測距	14	章末問題略解	39
2.2.3 光波測距儀による測距	14	4. 多 角 測 量	
2.3 測地測量における測距	18	4.1 トラバースの種類	40
2.3.1 準拠楕円体面上の球面距離の求め方	18	4.2 多角測量の流れ	41
2.3.2 世界と日本の位置を決定するVLBI	18	4.3 方向角の取付け	41

4.4 測点の標高（高低）計算	
— TSによる三角水準測量	42
4.5 簡易網平均計算	42
4.6 単路線方式の簡易網平均計算	43
4.6.1 観測方向角の計算	43
4.6.2 到着点の方向角の閉合差	45
4.6.3 新点の方向角の最確値	45
4.6.4 斜距離を平面距離へ投影	45
4.6.5 座標計算	46
4.6.6 到着点の水平位置の閉合差	46
4.6.7 新点の座標の最確値	46
4.6.8 新点の標高の閉合差	47
4.6.9 新点の標高の最確値	47
4.7 結合多角方式の簡易網平均計算	47
4.7.1 交点の統一する方向角	48
4.7.2 交点の統一する方向角の閉合差	49
4.7.3 新点の方向角の最確値	49
4.7.4 交点の座標の最確値	49
4.7.5 交点の水平位置の閉合差	49
4.7.6 新点の座標の最確値	50
4.7.7 交点の標高の最確値	50
4.7.8 交点の標高の閉合差	51
4.7.9 新点の標高の最確値	51
4.8 偏心	51
4.8.1 偏心観測	51
4.8.2 偏心補正計算	51
章末問題	53
章末問題略解	54
5. 細部測量	
5.1 数値地形図データと地図情報レベル	55
5.2 平板測量	56
5.2.1 使用機器	56
5.2.2 平板の据付け方	57
5.2.3 平板測量における観測と作図（放射法）	58
5.3 TSを用いた放射法による細部測量	60
5.4 GNSS測量機を用いた細部測量	61
5.5 各種観測の許容範囲	62
5.6 用地測量	63
章末問題	69
章末問題略解	69
6. 水準測量	
6.1 水準測量の等級	70
6.2 水準測量に用いる器械	71
6.2.1 レベル	71
6.2.2 標尺	72
6.2.3 標尺台	73
6.3 水準測量の種類	73
6.3.1 直接水準測量	73
6.3.2 間接水準測量	74
6.4 直接水準測量の原理	74
6.5 レベルと標尺を利用したスタジア測量	75
6.6 広義の基準点測量で用いられる昇降式 直接水準測量	76
6.6.1 観測方法	76
6.6.2 誤差と消去法	78
6.6.3 往復の較差	78
6.6.4 既知点における閉合差	79
6.7 土木工事などで用いられる器高式 直接水準測量	80
6.7.1 観測方法	80
6.7.2 地盤高の求め方	80
6.8 B.M. 決定のための往復水準測量	82
6.9 交互水準測量	83
章末問題	84
章末問題略解	88
7. 基準点測量	
7.1 基準点測量	89
7.2 路線	91
7.2.1 結合多角方式	91
7.2.2 単路線方式	93
7.3 計画と図面	93
7.4 TSの観測	95
7.5 TSの点検路線と点検計算	95
7.6 TSの平均計算	96
7.7 GNSS測量	97
7.8 GNSS測量機	97
7.9 単独測位と相対測位	98
7.10 GNSS測量の干渉測位方式	98
7.10.1 受信機が観測する搬送波位相	98

7.10.2	衛星と受信機の時計誤差を消去する 二重位相差	99
7.10.3	双曲面群と多重解	100
7.10.4	整数値バイアスの決定	101
7.11	干渉測位方式の種類	102
7.11.1	GNSS 測量機を複数台（固定して） 同時に用いるスタティック法	102
7.11.2	GNSS 測量機を2台以上（固定局と移 動局）同時に用いるキネマティック法	103
7.11.3	GNSS 測量機を2台以上（固定局と 移動局）同時に用いる RTK 法	103
7.11.4	GNSS 測量機を1台以上（移動局）同 時に用いるネットワーク型 RTK 法	104
7.12	セッション	105
7.13	GNSS の点検路線と点検計算	106
7.14	GNSS の平均計算	107
7.15	セミ・ダイナミック補正	108
	章末問題	108
	章末問題略解	110

8. 面積と体積（土量）

8.1	面積の計算	111
8.1.1	三角区分法	111
8.1.2	座標法	113
8.1.3	倍横距法	114
8.1.4	支距（オフセット）法	115
8.1.5	プランニメーターによる面積の計算	116
8.1.6	その他の面積の計算方法	117
8.2	体積（土量）の計算	118
8.2.1	両端断面平均法による土量の計算	118
8.2.2	等高線を利用した土量・貯水量の 計算	119
8.2.3	点高法による土量の計算	120
	章末問題	122
	章末問題略解	123

9. 地形測量

9.1	地形測量の概要	124
9.2	地形図の種類	125

9.3	地形図の縮尺	126
9.4	地形測量の順序	127
9.4.1	地形測量の方法	127
9.4.2	細部測量	128
9.5	等高線の特徴	129
9.5.1	等高線の種類とその間隔	129
9.5.2	等高線の性質	130
9.6	等高線の測定とその描き方	131
9.6.1	等高線の直接測定法	131
9.6.2	等高線の間接測定法	133
9.6.3	等高線の描き方	135
9.7	等高線の利用	136
9.7.1	断面図の作成	136
9.7.2	等勾配線	137
9.7.3	体積（土量や貯水量）の計算	137
9.8	図式	140
9.9	国土地理院発行の地形図の特徴	142
9.10	地域メッシュ	146
	章末問題	148
	章末問題略解	149

10. 路線測量

10.1	路線測量の順序	150
10.1.1	路線選定と計画調査	150
10.1.2	実施測量（実測）	152
10.1.3	曲線設置に関する法令など	153
10.2	曲線の種類	153
10.3	単心曲線	154
10.4	単心曲線の設置方法	155
10.4.1	偏角測設法	155
10.4.2	中央縦距（ M ）による測設法	158
10.4.3	接線からのオフセットによる 曲線測設法	158
10.4.4	その他の測設法	159
10.5	緩和曲線	160
10.5.1	緩和区間	160
10.5.2	クロソイド曲線の形	162
10.5.3	クロソイド曲線の基本式	162
10.5.4	クロソイド曲線のクロソイド要素と 測設法	163
10.6	縦断曲線	166
10.7	道路測量	168

10.7.1	平面図・縦断面図・横断面図	169
10.7.2	用地幅杭設置測量	171
10.7.3	工事測量	171
章末問題		174
章末問題略解		175

11. 河川測量

11.1	距離標設置測量	177
11.2	水準基標測量	178
11.3	定期縦断測量	179
11.4	定期横断測量	179
11.5	深淺測量	180
11.6	流量測定	181
11.6.1	概要	181
11.6.2	浮子による流量の測定	182
11.6.3	流速計による流量の測定	183
11.7	河川水位と流量の表し方	185
章末問題		186
章末問題略解		186

12. 写真測量

12.1	基線条件と立体計測	187
12.2	デジタル航空カメラ	187
12.2.1	フレームセンサー型	188
12.2.2	ラインセンサー型	188
12.3	地上画素寸法と地図情報レベル	188
12.4	デジタルステレオ図化機	189
12.5	対空標識と刺針	189
12.6	写真地図	189
12.7	空中写真における高低差の測定	190
12.7.1	空中写真の縮尺とひずみ	191
12.7.2	反射式実体鏡を用いた視差測定棒による視差差の測定	193
12.7.3	視差差と高低差の関係	196
12.8	空中写真の判読とその利用	198
12.8.1	空中写真の判読	198
12.8.2	空中写真における各種地物の特徴	198
12.8.3	空中写真の利用	200
章末問題		201
章末問題略解		202

13. リモートセンシング

13.1	リモートセンシングの特徴	203
13.2	リモートセンシングの原理	204
13.3	衛星画像を利用した環境解析	205
13.3.1	植物の量や活性度とその時系列変化	206
13.3.2	土地の被覆状況と利用状況	207
13.3.3	地表面や海面の温度分布	208
13.4	衛星画像に位置を付与する幾何補正	208
13.5	グランドトゥースと土地被覆分類	209
13.6	衛星画像の利用環境	210
13.4.1	衛星画像の種類と特徴	210
13.4.2	衛星画像の解析環境	211
章末問題		212
章末問題略解		212

14. GIS

14.1	レイヤ構造	213
14.2	GISの利点—基準点測量, 細部測量, 空中写真測量の成果の重ね合せなど	214
14.3	GISの歴史	215
14.4	JPGIS (地理情報標準プロファイル)	215
14.5	データ品質要素	217
14.6	地図の骨格を形成する基盤地図情報	217
14.7	現実空間をGISへ取り込むため単純化したデータモデル	220
14.7.1	ベクタデータ	220
14.7.2	ラスタデータ	223
14.8	幾何補正	224
14.9	DEM	225
章末問題		227
章末問題略解		228

15. 最新測量

15.1	LIDAR	229
15.1.1	航空レーザ測量—LIDAR技術を応用した航空測量	229
15.1.2	3Dレーザスキャナー—LIDARを使った地上測量	231

15.2 干渉合成開口レーダー (InSAR) 231
 15.3 衛星画像を用いた写真測量 232
 15.4 3D モデル 233
 15.5 情報化施工 234
 15.6 新しい TS 234
 15.7 移動計測車両による測量 234
 章末問題 235
 章末問題略解 236

**付録 測量の基礎数学と測定値の
 処理方法** 237

A.1 数値の丸め方 237
 A.2 精度, 有効数字, および桁 237
 A.2.1 加 減 算 238
 A.2.2 乗 除 算 238
 A.3 三角関数 239
 A.3.1 代表的な三角関数 239

A.3.2 三平方の定理 239
 A.3.3 逆三角関数 240
 A.3.4 測量でよく使用する正弦定理と
 余弦定理 240
 A.4 弧度法 241
 A.5 測定値の処理方法 242
 A.5.1 誤差の種類とその扱い 242
 A.5.2 誤差曲線 (正規分布曲線) 242
 A.5.3 測定条件が同じ場合の最確値と
 標準偏差の計算方法 244
 A.5.4 測定条件が異なる場合の最確値の
 計算方法 244
 A.5.5 1 測線を数区間に分けて測量した場合
 の標準偏差の計算方法 246

付表 接頭語とギリシャ文字 247

引用・参考文献 248

索引 249

執 筆 分 担

岡澤 宏	5.1~5.3 節, 11 章, 15.7 節
久保寺貴彦	1 章, 4.6~4.8 節, 5.4~5.5 節, 7 章, 9.10 節, 12.1 ~ 12.6 節, 14 章, 15.3 ~ 15.6 節
笹田 勝寛	2 章, 3.1~3.6 節,
多炭 雅博	13 章, 15.1~15.2 節
細川 吉晴	3.7 節, 5.6 節, 6.9 節, 8 章, 9.1~9.9 節, 10 章, 12.7~12.8 節, 付録・付表
松尾 栄治	6.1~6.8 節
三原真智人	4.1~4.5 節

1章

測 量 の 基 準

測量成果は座標系の数値で表されている。平面の水平位置は平面直角座標系を用いることが多く、標高は東京湾平均海面を基準とすることが多い。利便性や地域性から基準は異なっており、概念も異なる。これらは地球のとらえ方から始まっている。

1.1 地球楕円体

地球の形状は、球形でなく起伏^{きふく}が存在し複雑な形状をしているため、地球表面の諸点^{しよてん}を経緯度^{けいゐど}で表し相対位置^{そうたいいち}の整合^{せいごう}を図るには、幾何学的に単純な回転楕円体に置き換える必要がある。地球の形状（ジオイド）に近似する回転楕円体を地球楕円体^{ちきゅうだえんたい}^{†1}と呼ぶ。地球楕円体は、図 1.1 に示す長半径^{ちやうはんけい}と扁平率^{へんぺいりつ}で決定され、その主なものを表 1.1 に示す^{†2}。GPS は WGS 84, GLONASS は PE 90, QZSS は GRS 80 をそれぞれ採用しているが、これらの短半径はわずかの差であるので大きな影響はないとされている。

^{†1} earth ellipsoid

^{†2} 地球の半径は、一般に 6 370 km としている。

表 1.1 地球楕円体の諸元

地球楕円体名称	決定年	長半径 a [m]	短半径 b [m]	扁平率 f の逆数
ベッセル	1840	6 377 397.155	6 356 079	299.1528 13
クラーク	1866	6 378 206	6 356 584	294.98
クラソフスキー	1942	6 378 245	6 356 863	298.30
GRS 80	1980	6 378 137.0	6 356 752.314 140	298.257 222 101
WGS 84	1984	6 378 137.0	6 356 752.314 245	298.257 223 563
PE 90	1990	6 378 137.0	6 356 752.358 393	298.257 839 303

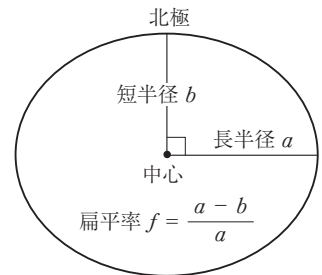


図 1.1 長半径、短半径および扁平率

1.2 準拠楕円体

地球楕円体を測量の基準とするためには、地球楕円体の位置を定義する必要がある。国ごとに測地測量^{そくちそくりょう}^{†1}を行う際に、基準とする地球楕円体を準拠楕円体^{じゆんきょだえんたい}^{†2}と呼ぶ。

^{†1} 測地測量とは、広い地域を対象に高精度に行われる測量である。

^{†2} reference ellipsoid

2002 年までの日本では、図 1.2 (a) に示すように、ベッセル楕円体^{†3}を以

^{†3} Bessel ellipsoid

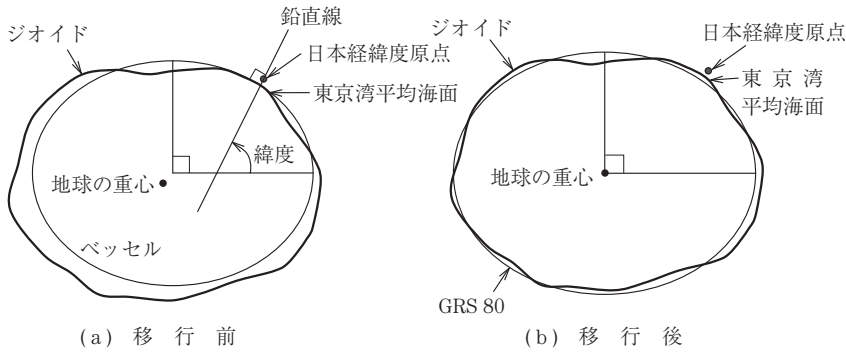


図 1.2 世界測地系移行前後の準拠楕円体

下のように固定して準拠楕円体としていた。

1. 日本経緯度原点^{†4}における直線を、ベッセル楕円体の同経緯度における垂線と一致させる。このときの日本経緯度原点の経緯度と鉛直線の方向は、天文測量による。
2. 日本経緯度原点から千葉県鹿野山の三角点を見た方位を原点方位角と定め、ベッセル楕円体の日本経緯度原点における方位角に一致させる。
3. ベッセル楕円体面が東京湾平均海面^{†4}に接するとする。

宇宙測地技術 (VLBI^{†5}, GPS, SLR^{†6} など) が発達以前に定義された準拠楕円体は、自国内で諸点の位置関係の整合がとれていたが、他国との整合がとれていなかったため、海路や空路など多方面で不整合が多かった。地球規模の GPS や GNSS^{†7}, VLBI の登場を機に、各国とも世界測地系に移行する動きが加速した。世界測地系^{†8}とは、地球上の位置を国際間で共通に利用できる座標系のことである。

日本は 2002 年以降、世界測地系に移行し、図 1.2 (b) に示すように、GRS 80^{†9}楕円体を以下のように固定して準拠楕円体としている。図 1.2 に世界測地系移行前後の準拠楕円体を示す。

1. その長半径および扁平率が、地理学的経緯度の測定に関する国際的な決定に基づき政令で定める値であるものであること。
2. その中心が、地球の重心と一致するものであること。
3. その短軸が、地球の自転軸と一致するものであること。

1.3 地心直交座標系

空間上の位置を X, Y, Z で表現するためには、座標系が必要である。地球の重心を原点とし、経度 0 度の子午線と赤道との交点を通る直線を X 軸、東経 90 度の子午線と赤道との交点を通る直線を Y 軸、楕円体の短軸を Z 軸とす

^{†4} 11.2 節 参照

^{†5} 2.3.2 項 参照

^{†6} satellite laser ranging
人工衛星レーザ測距

^{†7} Global Navigation Satellite System

^{†8} Global Geodetic Reference System

^{†9} Geodetic Reference System 80

^{†1} Geocentric Orthogonal Coordinate System

^{†2} International Terrestrial Reference Frame 94

る3次元直交座標を^{ちしんちゅうこうざひょうけい}地心直交座標系^{†1}と呼ぶ。

日本では2002年から地心直交座標系に ITRF 94^{†2} (国際地球基準座標系) を採用していて、2011年からは東北地方周辺に ITRF 2008 も併用している。図 1.3 に ITRF を示す。ITRF の座標値は VLBI, SLR, GNSS^{†3} などの宇宙測地技術に基づいている。

1.4 日本における測地系

測量の基準となる測地系は、時代に応じて変化してきている。日本の測地系の変遷^{へんせん}をつぎに述べる。

1.4.1 日本測地系

日本測地系^{†1}は、準拋橢円体をベッセル橢円体、座標系を天文測量に基づく日本独自の座標系、標高の基準を東京湾平均海面 (ベッセル橢円体が東京湾平均海面に接している) とした。1884年から2002年まで用いられた。

1.4.2 日本測地系 2000

日本測地系 2000^{†2}は、準拋橢円体を GRS 80、座標系を ITRF 94 座標系、標高の基準を東京湾平均海面 (ジオイド面が東京湾平均海面) とした。この測地系に基づいた測量成果を測地成果 2000 と呼ぶ。この日本版の世界測地系は、2000年に構築されたことから日本測地系 2000 と呼ばれる。2002年から2011年まで用いられた。

1.4.3 日本測地系 2011

日本測地系 2011^{†3}は、準拋橢円体を GRS 80、座標系を ITRF 94 座標系と ITRF 2008 座標系(表 1.2 と図 1.4 の地域)、

表 1.2 日本測地系 2011 の ITRF 座標系

地 域	ITRF 系	がん き 元 期
青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都 (島しょを除く)、神奈川県、新潟県、富山県、石川県、福井県、山梨県、長野県および岐阜県 (図 1.4 の太枠で囲まれた1都19県)	ITRF 2008	2011年5月24日
上記以外の地域 (図 1.4 の太枠で囲まれていない地域)	ITRF 94 (従前どおり)	1997年1月1日 (従前どおり)

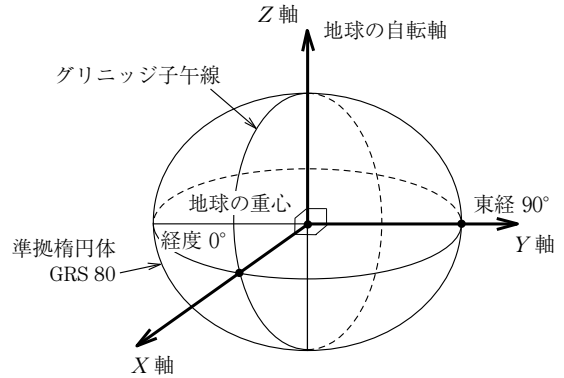


図 1.3 ITRF

†3 7.7 節 参照

†1 Tokyo Datum

†2 Japanese Geodetic Datum 2000
日本測地系 2000 は、日本測地系と区別して世界測地系 2000 とも呼ばれる。

†3 Japanese Geodetic Datum 2011
日本測地系 2011 は、日本測地系と区別して世界測地系 2011 とも呼ばれる。

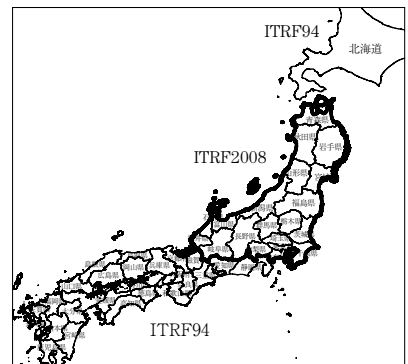


図 1.4 ITRF 94 と ITRF 2008 の地域

標高の基準を東京湾平均海面（ジオイド面が東京湾平均海面）とした。この測地系に基づいた測量成果を**測地成果 2011**と呼ぶ。2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震により地殻変動が生じたため、東北地方周辺に ITRF 2008 座標系を適用して、元期^{†4}を改定した。このこと以外は日本測地系 2000 と同様である。2011年から今日まで用いられている。

†4 7.15 節 参照

1.5 緯度・経度・楕円体高

諸点を 3 次元で表現する場合、地心直交座標系 (X, Y, Z) に対して、**緯度**^{†1}・**経度**^{†2}・**楕円体高**^{†3} (ϕ, λ, h) を用いると直感的にわかりやすい。緯度 ϕ は楕円体面の法線^{†4}と赤道面のなす角とし、経度 λ はグリニッジ子午線とある点を通る子午線のなす角である。しかし、これだけでは楕円体面上の点しか表現できないので、空間の任意の点を表すために楕円体高 h を加える。楕円体高 h は楕円体面からある点までの法線の長さとする。図 1.5 に緯度・経度・楕円体高 (ϕ, λ, h) を示す。楕円体面は球面でないので、法線は楕円体の重心を通らない。式 (1.1) に緯度・経度・楕円体高 (ϕ, λ, h) から地心直交座標系 (X, Y, Z) への換算式^{†4}を示す。

†1 latitude
 †2 longitude
 †3 ellipsoidal height
 †4 曲線上の点において、その点の接線に直交する直線。

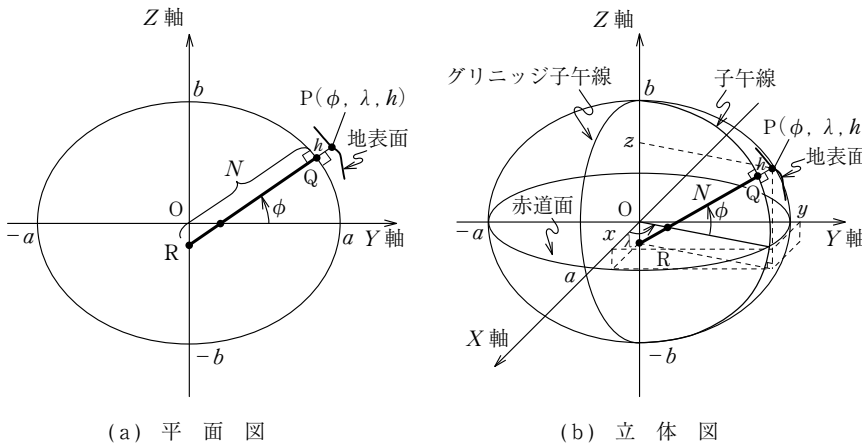


図 1.5 緯度・経度・楕円体高

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + h) \cos \phi \cos \lambda \\ (N + h) \cos \phi \sin \lambda \\ \{N(1 - e^2) + h\} \sin \phi \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

ここで、 $N = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}$: 卯酉線曲率半径、 $e = \sqrt{(a^2 - b^2) / a^2}$: 第 1 離心率、 a : 長半径、 b : 短半径、である。

1.6 球面から平面への投影

準拠楕円体を基準とした球面の測量計算は複雑であるが、球面を平面に投影することにより測量計算が大幅に簡便になる。ただし、3次元空間を2次元平面へ置き換える際、角、距離、面積、方向および高さすべてを等しく投影できず、いくつかを犠牲にしないことには投影できない。測量分野では、等角を優先としたガウス・クリューゲル等角投影法により準拠楕円体を平面直角座標またはUTM座標系ちうかくざいりやうけいに投影している。図1.6に平面直角座標系とUTM座標系を示す。

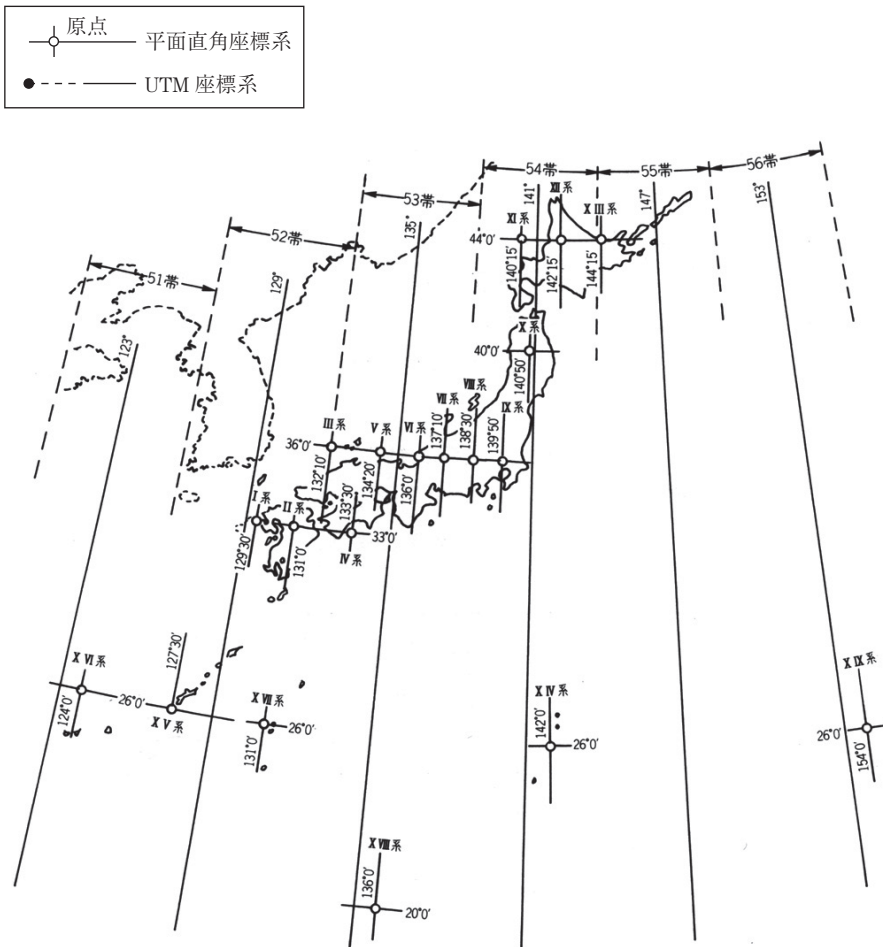


図 1.6 平面直角座標系と UTM 座標系

1.6.1 平面直角座標系

平面直角座標系^{†1}は、日本を平面とみなせる地域で19の座標系に区切った

^{†1} Plane-rectangular Coordinate System

6 1. 測 量 の 基 準

座標系である。大縮尺（だいしゆくしゆく地図情報レベル 250～10 000）で用いられ、基準点測量や細部測量など大多数の測量成果に用いられる。基本的に都道府県単位でさいぶそくりよういずれかの座標系に属している。

図 1.7 のように、各座標系原点における子午線上の縮尺係数^{†2}が 0.999 9^{†2} 1.7.1 項 参照となるような円筒を横向きに貫き入れ、投影された円筒を切り開いて平面としている。原点における子午線を X 軸に、直交する軸を Y 軸にとっている。一般に北を基準として角度を得ているため、縦軸に X 軸をとると三角関数を用いた座標計算がスムーズとなる。座標系の単位はメートル [m] である。

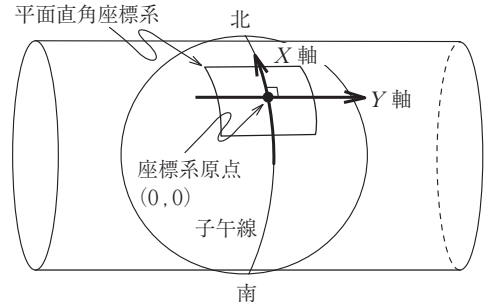


図 1.7 平面直角座標系のガウス・クリューゲル等角投影法

平面直角座標系の適用区域を表 1.3 に示す。各座標系原点は、経緯度を基準に定められているので、海上や私有地に位置して測量標識がない場合もある。

表 1.3 平面直角座標系の適用区域

系番号	座標系原点の経緯度		適用区域
	経度 (東経)	緯度 (北緯)	
I	129 度 30 分 0 秒	33 度 0 分 0 秒	長崎県 鹿児島県のうち北方北緯 32 度南方北緯 27 度西方東経 128 度 18 分東方東経 130 度を境界線とする区域内 (奄美群島は東経 130 度 13 分までを含む) にあるすべての島、小島、環礁および岩礁
II	131 度 0 分 0 秒	33 度 0 分 0 秒	福岡県 佐賀県 熊本県 大分県 宮崎県 鹿児島県 (I 系に規定する区域を除く)
III	132 度 10 分 0 秒	36 度 0 分 0 秒	山口県 島根県 広島県
IV	133 度 30 分 0 秒	33 度 0 分 0 秒	香川県 愛媛県 徳島県 高知県
V	134 度 20 分 0 秒	36 度 0 分 0 秒	兵庫県 鳥取県 岡山県
VI	136 度 0 分 0 秒	36 度 0 分 0 秒	京都府 大阪府 福井県 滋賀県 三重県 奈良県 和歌山県
VII	137 度 10 分 0 秒	36 度 0 分 0 秒	石川県 富山県 岐阜県 愛知県
VIII	138 度 30 分 0 秒	36 度 0 分 0 秒	新潟県 長野県 山梨県 静岡県
IX	139 度 50 分 0 秒	36 度 0 分 0 秒	東京都 (XIV 系, XVIII 系および XIX 系に規定する区域を除く) 福島県 栃木県 茨城県 埼玉県 千葉県 群馬県 神奈川県
X	140 度 50 分 0 秒	40 度 0 分 0 秒	青森県 秋田県 山形県 岩手県 宮城県
XI	140 度 15 分 0 秒	44 度 0 分 0 秒	小樽市 函館市 伊達市 北斗市 北海道後志総合振興局の所管区域 北海道胆振総合振興局の所管区域のうち豊浦町、壮瞥町および洞爺湖町 北海道渡島総合振興局の所管区域 北海道檜山振興局の所管区域
XII	142 度 15 分 0 秒	44 度 0 分 0 秒	北海道 (XI 系および XIII 系に規定する区域を除く)
XIII	144 度 15 分 0 秒	44 度 0 分 0 秒	北見市 帯広市 釧路市 網走市 根室市 北海道オホーツク総合振興局の所管区域のうち美幌町、津別町、斜里町、清里町、小清水町、訓子府町、置戸町、佐呂間町および大空町 北海道十勝総合振興局の所管区域 北海道釧路総合振興局の所管区域 北海道根室振興局の所管区域
XIV	142 度 0 分 0 秒	26 度 0 分 0 秒	東京都のうち北緯 28 度から南であり、かつ東経 140 度 30 分から東であり東経 143 度から西である区域
XV	127 度 30 分 0 秒	26 度 0 分 0 秒	沖縄県のうち東経 126 度から東であり、かつ東経 130 度から西である区域
XVI	124 度 0 分 0 秒	26 度 0 分 0 秒	沖縄県のうち東経 126 度から西である区域
XVII	131 度 0 分 0 秒	26 度 0 分 0 秒	沖縄県のうち東経 130 度から東である区域
XVIII	136 度 0 分 0 秒	20 度 0 分 0 秒	東京都のうち北緯 28 度から南であり、かつ東経 140 度 30 分から西である区域
XIX	154 度 0 分 0 秒	26 度 0 分 0 秒	東京都のうち北緯 28 度から南であり、かつ東経 143 度から東である区域

索引

【あ】

アフィン変換……………224
アリゲード……………56
鞍部……………128

【い】

移器点……………81
緯距……………114
移写点……………194
位相……………223
位相構造……………223
板杭……………172
位置合せ……………224
一般図……………125
移程……………161
緯度……………4
移動計測車両……………234
移動量……………161
InSAR……………232
引照杭……………172

【う】

ウェーピング……………80
右岸……………177
浮子……………182
宇宙測地技術……………2

【え】

s/S……………8
エスロンテープ……………14
エポック……………61
鉛直角……………21
鉛直距離……………13
鉛直軸誤差……………33
鉛直点……………192

【お】

横距……………114
横断……………178
横断点法……………134
横断面図……………170
オートレベル……………72
オーバーラップ……………197
オドメーター……………234
オフセット……………60

オフセット法……………115
重み……………244
折りたたみ標尺……………73

【か】

外割長……………154
外心誤差……………33, 57
外接長……………154
階層構造……………213
改測……………179
回転レーザレベル……………72
開放トラバース……………40
ガウス・クリューゲル図法……………145
ガウス・クリューゲル等角投影法……………5
角杭……………172
較差……………29, 78
拡幅……………162
過誤……………242
過失……………242
河川測量……………177
画像解像度……………224
仮想点方式……………104
片勾配……………161
渴水位……………186
渴水量……………186
仮定三次元網平均計算……………107
加定数……………75, 134
刈り幅……………211
仮B.M.……………152
簡易網平均計算……………42
簡易網平均計算(TSの)……………96
元期……………108
干渉合成開口レーダー……………232
干渉測位方式……………98
慣性計測装置……………229
間接観測法……………105
間接水準測量……………74
観測差……………29
緩和曲線……………153, 160, 161
緩和区間……………160

【き】

器械高……………42, 81
器械誤差……………242
器械手……………71
器械定数……………16

幾何補正……………208, 224
器高……………81
気差……………42
基準点……………55, 89
基準点測量……………89
基準点法……………135
基線解析……………98
基線ベクトル……………98
北……………8
既知点……………58, 70
吃水……………182
基点……………177
キネマティック法……………103
基盤地図情報……………217
気泡管レベル……………71
基本水準点……………70
基本測量……………70
逆三角関数……………240
球差……………42
求心……………25, 57
求心器……………57
求心誤差……………58
球面距離……………7, 12
境界確認……………65
境界測量……………66
境界点間測量……………68
夾角……………42
仰角……………22
教師付き分類……………209
教師なし分類……………209
共線条件……………188
挟長……………75, 133
曲線始点……………154
曲線終点……………154
曲線設置……………153
曲線長……………154
局地測量……………12
距離……………13
距離測量……………12
距離標……………177
距離標設置測量……………177
切上げ……………237
切捨て……………237
切取り高……………118
切取り面積……………118

【く】

空間分解能	210
偶捨奇入	237
偶然誤差	242
空中写真測量	188
グラード	22
グラード角	22
グラントルース	209
グラントルースデータ	209
クリップ	222
クロソイド曲線	161, 162
クロソイド曲線長	162
クロソイド要素	163

【け】

計画機関	216
計画高	118
経 距	114
計曲線	130
傾斜変換線	128
軽重率	244
経 度	4
消し合い誤差	242
結合多角方式	91
結合トラバース	40
弦 長	155
厳密網平均計算	42
厳密網平均計算 (TS の)	96

【こ】

交 角	152
光学センサー	210
公共測量	70
航空カメラ	188
航空レーザ測量	229
交互水準測量	83
後 視	75
工事測量	171
高水位	186
洪水位	186
高水量	186
洪水量	186
合成開口レーダー	231
高低角	22, 42
高低差	13
交 点	152
高度角	22
勾配計	172
光波測距儀	14
鋼巻尺	14
コース撮影	197
国際地球基準座標系	3
国土数値情報	219

国土地理院	70
誤 差	242
誤差曲線	243
五捨五入	237
個人誤差	242
骨格測量	55
弧 度	22
弧度角	22
弧度法	241
今 期	108
コンパス測量	33

【さ】

SAR	231
最確値	91, 244
最大濁水位	185
最大濁水流量	185
最大洪水位	186
最大洪水量	186
サイドラップ	197
細部測量	55, 128
左 岸	177
座 北	8
作業機関	216
作業計画	63
作成仕様	216
下げ振り	57
座標点法	134
座標法	68, 113
三角区分法	111
三角水準測量	42
三角スケール	111
三角点網	91
三 脚	56
山 級	129
残 差	244
三軸誤差	33
三次元網平均計算	107
三斜法	111
三平方の定理	239
三辺法	112

【し】

ジオイド	1, 9
ジオイド高	10
時間分解能	211
支 距	60
支距法	115
視差測定棒	190
四捨五入	237
視 準	27
視準誤差	57
視準軸誤差	33
刺 針	189

磁針箱	57
自然誤差	242
実 測	151
実測図	125
実体鏡	190
実体視	190
自動視準・自動追尾 TS	234
自動レベル	72
地盤高	118
地盤沈下	178
シフト	161
磁 北	9
ジャイロ搭載 TS	234
斜距離	13, 42
尺定数	14
尺定数補正量	14
写真地図	189
縦 断	178
縦断曲線	153, 166
縦断勾配	167
縦断面図	170
重 量	244
主曲線	130
縮尺係数	7
受信機関一重位相差	99
主題図	125, 223
受注者	216
主 点	192
主点基線長	194
準拠線	59
準拠楕円体	1
準 星	18
小縮尺	126
小地測量	12
情報化施工	234
情報通信技術	234
資料調査	65
深淺測量	180
真 値	244
新 点	70
シン普森法則	115
真 北	8
真北方向角	8

【す】

水位標	179
垂 球	57
水準儀	71
水準基準測量	178
水準測量	70
水準点	70
水準面	9
水準路線網	91
水平位置	40

水平角……………21
 水平距離……………13
 水平軸誤差……………33
 水平ぬき……………174
 数値地形図データ……………55
 数値地形測量……………124
 数値地形データ……………124
 数値地形モデル……………169
 数値標高モデル……………225, 229
 数値表層モデル……………229
 数値法……………69
 図解平板測量……………124
 図郭……………55
 図形情報……………220
 図式……………140
 図上選定……………150
 スタジア線……………75
 スタジア測量……………75, 133
 スタジア定数……………75, 134
 スタティック法……………102
 スナップ……………222
 スラントルール……………172

【せ】

瀬……………181
 正位……………28
 正割……………239
 正規化植生指数……………206
 正規分布……………243
 正規分布曲線……………243
 正弦……………239
 正弦定理……………240
 正視……………42
 整準……………25, 57
 整数値バイアス……………101
 正接……………239
 精度……………238
 性能照査型設計……………217
 製品仕様……………217
 製品仕様書……………217
 セオドライト……………22
 世界測地系……………2
 セカント……………154
 セッション……………105
 接線長……………154
 セミ・ダイナミック補正……………108
 線維製巻尺……………14
 前視……………75
 全地球航法衛星システム……………97
 選点……………41, 94
 選点図……………94

【そ】

双曲面群……………100

走行距離計……………234
 相對測位……………98
 総描……………141
 測位衛星……………97
 測深錘……………180
 測深棒……………180
 属性情報……………220
 測線……………59
 測地成果 2000……………3
 測地成果 2011……………4
 測地測量……………12
 測量針……………57
 測角……………27, 41
 測距……………13, 41

【た】

第1離心率……………4
 対空標識……………189
 台形法則……………115
 大縮尺……………126
 楕円体高……………4, 10
 多角測量……………40
 多角網……………91
 多重解……………100
 谷……………129
 谷線……………128
 単位クロソイド……………162
 単位クロソイド曲線長……………163
 単位クロソイド半径……………163
 単心曲線……………153
 単測法……………27, 28
 単独測位……………98
 単路線……………40
 単路線方式……………44, 93

【ち】

地域撮影……………197
 地域メッシュ……………147
 地球観測衛星……………205, 233
 地球楕円体……………1
 地形……………55
 地形図……………124, 125
 地形測量……………124
 致心……………25
 地心直交座標系……………3
 地図情報……………125
 地図情報レベル……………125
 地図情報レベル 10 000～200 000……………7
 地図情報レベル 250～10 000……………6
 地性線……………128
 地物……………55
 中央縦距……………155
 中間点……………81
 中縮尺……………126

柱状体公式……………137
 中心杭……………152
 中心線……………152
 超長基線電波干渉法……………18
 丁張……………72, 171
 長方形法……………117
 直接観測法……………104
 直接水準測量……………73
 地理空間情報……………203
 地理情報システム……………213
 地理情報標準プロファイル……………216
 チルチングレベル……………71

【つ】

対回……………28
 対回観測……………28

【て】

定位……………57
 定期横断測量……………179
 定期縦断測量……………179
 定型多角網……………91
 定誤差……………242
 低水位……………186
 低水量……………186
 堤防……………177
 ティルティングレベル……………71
 データムライン……………170
 デジタル航空カメラ……………188
 デジタルステレオ図化機……………189
 デジタルレベル……………72
 転位……………142
 点検計算……………46, 96
 点検路線……………95
 点高法……………120
 電子基準点……………89
 電子プラニメーター……………117
 電子平板……………60
 電子平板測量……………124
 電磁流速計……………183
 電子レベル……………72
 天頂角……………15
 点の記……………89
 天文測量……………2

【と】

度……………22, 241
 等角点……………192
 東京湾平均海面……………2, 179
 等高線……………129
 等高線間隔……………129
 等勾配線……………137
 踏査……………41
 トータルステーション……………15, 22

渡海水準測量	83
渡河水準測量	83
特殊3点	192
特殊補助曲線	130
土地被覆分類	209
土地被覆分類図	207
土地利用図	125
土地利用土地被覆図	207
土地利用分類図	207
度分法	241
トラバース測量	40
トランシット	22
取付点	41, 92

【な】

ナンバー杭	152
-------	-----

【に】

二重位相差	100
日本経緯度原点	2, 90
日本水準原点	70
日本測地系	3
日本測地系2000	3
日本測地系2011	3
任意多角網	91

【ぬ】

ぬき	172
----	-----

【ね】

熱赤外線測	210
熱赤外線センサー	208
ネットワーク型RTK法	104

【の】

法肩	172
法杭	172
法勾配	172
法先	172
法定規	172
法尻	172
法面	177

【は】

バーコード標尺	73
倍横距	114
倍横距法	114
倍角	29
倍角差	29
倍角法	27, 30
倍定数	75, 134
倍面積	112
波長帯	205
波長分解能	210
発注者	216

バッファ	222
反位	28
バンク画像	210
反向曲線	153
反視	42
反射鏡	16
反射鏡定数	16
反射プリズム	16
搬送波位相	98
バンド	205
判読	198

【ひ】

控え杭	172
比較路線	150
光強度変調光	15
比高	13, 196
ビタガラスの定理	239
秒	22, 241
標高	10
標尺	72
標尺手	71
標尺台	73
標準地域メッシュ	146
標準偏差	55, 243
標定	58, 194
表面浮子	182

【ふ】

俯角	22
不規則三角形網	225
復元測量	65
複心曲線	153
複歩	13
淵	181
物理誤差	242
不定誤差	242
プラス杭	152
プランメーター	116
プリズム	16
プリズモイド公式	137
フレームセンサー型	188
プロベラ型流速計	183
分	22, 241
分光反射率	204

【へ】

平均計画図	93
平均計算	96
平均二乗誤差	243
平均図	94
平均流速	183
閉合差	42
閉合トラバース	40

閉合秒	45
平水位	186
平水量	186
平板	56
平板測量	56, 131
平面曲線	153
平面距離	7, 12
平面直角座標系	5
ペグ	172
ベクタデータ	220
ベッセル楕円体	1
ヘルマート変換	224
ヘロンの公式	112
偏角	155
偏角測設法	155
編集図	125
偏心角	51
偏心距離	51
偏心誤差	33
偏心点	51
偏心補正計算	51, 240
偏心要素	51
B.M.	70

【ほ】

方位角	8
棒浮子	182
方眼法	117
方向角	8
方向観測法	27, 30
方向法	30
放射法	58
卯酉線曲率半径	4
ボール	56
補助曲線	130
歩測	13
本点	41

【ま】

マジ	222
マイクロ波センサー	210
巻尺	56
マルチスペクトル画像	210

【み】

みお筋	181
水糸	172
水際杭	179
水杭	174
水ぬき	174
水部	179
未知点	70
ミラー	16

【め】

メタデータ 217
 目盛誤差 33
 面積計 116
 面積計算 68
 面補正パラメータ方式 104

【も】

網 91
 網平均 91
 目標高 42
 モザイク 190
 もりかえ点 81
 盛土高 118
 盛土面積 118

【や】

野帳 72
 屋根勾配 161
 やり形 171

【ゆ】

有効数字 238
 ユニバーサル横メルカトル図法 142

【よ】

用地測量 63
 用地幅杭設置測量 171
 葉面積計 117
 余割 239
 余弦 239
 余弦定理 240
 横メルカトル図法 145
 余接 239

【ら】

ライダー 229
 ラインセンサー型 188
 ラジアン 22, 241
 ラジアン角 22
 ラジアン法 241
 ラスタデータ 223

【り】

陸部 179
 立体感 193
 リモートセンシング 203
 流下速度 183
 流心線 177

流速計 183
 流量 181
 流量測定 181
 両差 42
 量水標 179
 稜線 128
 両端断面平均法 118

【る】

累積誤差 242

【れ】

レイヤ構造 213
 レーザー距離計 235
 レーザースキャナー 235
 レーザレーダー 229
 レッド 180
 レベル 71
 レムニスケート曲線 161

【ろ】

路線 91
 路線選定 150
 路線測量 150
 ロッド 180

【B】

BA 118
 BC 154
 B.S. 75

【C】

CA 118
 CL 154

【D, E】

DEM 225, 229
 DMS 角 22
 DSM 229
 EC 154

【F】

FH 118
 FIX 解 61
 FKP 方式 104
 F.S. 75

【G】

GH 118
 GIS 213
 GNSS 96

GNSS 測量機 97
 GRS 80 楕円体 2

【I】

IMU 229, 234
 IP 152
 ITC 234
 ITRF 94 3

【J, L】

JPGIS 216
 L.H. 81
 LIDAR 229
 L.P. 81
 LULC map 207

【M~S】

MMS 234
 NDVI 206
 OTF 法 101
 RTK 法 103
 SL 154

【T】

TIN 225
 TL 154

T.P. 81, 179
 TS 15, 22

【U】

UTM 座標系 7
 UTM 図法 142

【V】

VLBI 18
 VRS 方式 104

【数字】

一〜三等水準点 70
 1〜4 級水準点 70
 1 水準同時観測 105
 1 点法 184
 2 台同時観測 105
 2 点法 184
 3D-MC 234
 3 次放物線 161
 3 点法 185
 60 分法 241

— 著者略歴 —

岡澤 宏 (おかざわ ひろむ)

1998年 東京農業大学農学部農業工学科卒業
2000年 北海道大学大学院修士課程修了(環境資源学専攻)
2003年 北海道大学大学院博士課程修了(環境資源学専攻)
博士(農学)
2003年 日本学術振興会特別研究員(PD)
2004年 東京農業大学助手
2006年 東京農業大学講師
2010年 東京農業大学准教授
現在に至る

笹田 勝寛 (ささだ かつひろ)

1991年 日本大学獣医学部農業工学科卒業
1996年 日本大学大学院博士後期課程修了(農業工学専攻)
博士(農学)
1996年 株式会社 日本農業土木コンサルタンツ 勤務
1997年 日本大学藤沢高等学校非常勤講師
1998年 日本大学藤沢高等学校教諭
2001年 日本大学助手
2004年 日本大学専任講師
2010年 日本大学准教授
現在に至る

細川 吉晴 (ほそかわ よしはる)

1972年 岩手大学農学部農業土木学科卒業
1972年 Canada, Alberta 州 Lethbridge 市で酪農・食品
~73年 加工工場に勤務
1975年 岩手大学大学院修士課程修了(農業工学専攻)
1975年 岩手県立花巻農業高等学校教諭
1980年 岩手県立岩谷堂農林高等学校教諭
1980年 測量士(建設省国土地理院)
1981年 北里大学専任講師
1989年 農学博士(東北大学)
1990年 北里大学助教授
2009年 宮崎大学教授
現在に至る

三原 真智人 (みはら まちと)

1988年 東京農業大学農学部農業工学科卒業
1993年 東京農工大学大学院博士後期課程修了
(生物生産学専攻)
博士(農学)
1993年 東京農業大学助手
1995年 東京農業大学講師
1998年 東京農業大学助教授
2004年 東京農業大学教授
現在に至る

久保寺 貴彦 (くぼでら たかひこ)

2001年 中央大学理工学部土木工学科卒業
2003年 中央大学大学院博士前期課程修了
(土木工学専攻)
2006年 中央大学大学院博士後期課程修了
(土木工学専攻)
博士(工学)
2006年 中央大学助手
2007年 中央大学助教
2008年 中央工学校土木測量系教員
2013年 日本大学非常勤講師兼任
現在に至る

多炭 雅博 (たすみ まさひろ)

1996年 鳥取大学農学部農林総合科学科卒業
1997年 国際水管理研究所客員若手研究員(スリランカ
~98年 本部勤務)
1999年 鳥取大学大学院修士課程修了
(農林環境科学専攻)
2003年 アイダホ大学研究員
2003年 アイダホ大学博士課程修了(生物農業工学専攻)
Ph.D.(アイダホ大学)
2005年 アイダホ大学助教
2006年 宮崎大学助教授
2007年 宮崎大学准教授
2010年 技術士(農業部門)
2014年 宮崎大学教授
現在に至る

松尾 栄治 (まつお えいじ)

1991年 九州大学工学部土木工学科卒業
1993年 九州大学大学院修士課程修了(土木工学専攻)
1996年 九州大学大学院博士課程修了(土木工学専攻)
博士(工学)
1996年 山口大学助手
2003年 技術士(建設部門)
2007年 山口大学助教
2012年 九州産業大学准教授
現在に至る

あたらしい測量学 — 基礎から最新技術まで —

Newer Surveying — Fundamentals and Applications with Newest Technology —

© Okazawa, Kubodera, Sasada, Tasumi, Hosokawa, Matsuo, Mihara 2014

2014年4月25日 初版第1刷発行



検印省略

著者 岡澤宏
久保寺貴彦
笹田勝寛
多炭雅博
細川吉晴
松尾栄治
三原真智人
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 三美印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844 ・ 電話 (03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-05238-1 (金) (製本：愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします