

測量士 合格ノート

工学修士 黒杉茂 著



 東京法経学院

R 〈日本複製権センター委託出版物〉

本書（誌）は無断で複写複製（電子化を含む）することは、著作権法上での例外を除き、禁じられています。本書（誌）をコピーされる場合は、事前に日本複製権センター〈JRRCC〉（電話：03-3401-2382）の許諾を受けてください。また本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内での利用であっても一切認められておりません。

JRRCC 〈<http://www.jrrc.or.jp/e> メール：info@jrrc.or.jp〉

はしがき

測量士試験は、測量法及び測量法施行令に基づいて行われるものであり、測量技術者として、基本測量と公共測量に従事するために必要な専門的知識と技術を有するか否か、を判定するための国家試験です。そして、その出題内容は測量の基本的理論、測量の実務作業、測量機器の取扱いなど特定分野に偏ることなく、測量全般にわたっての知識が要求されています。

そして、測量士の場合は、測量士補に比較して、それらの内容をより深く掘り下げて理解しておかなければなりません。

本書は、これから測量士試験の学習を始める方々に、いきなり難解な解説をするのではなく、測量士補の復習から始め、短期間で的確に、かつ、合理的な学習を進めることを意図して、午前の択一式はもとより、午後の記述式の必須・選択問題も分類し、試験の合格に必要な知識を体系的、かつ、コンパクトに記述しています。

具体的には、測量概論において、測量に関する基礎的な知識を学び、次に、出題範囲となる測量の各科目について、できるだけ詳細な説明を行っています。

なお、測量作業にとって不可欠な「-公共測量-作業規程の準則」については、利用の便を考慮し、本書の最後に試験対策とすべき事項について、まとめて掲載しました。

本書を十分に活用され、一項目ずつ堅実にマスターし、一人でも多くの方が合格の栄冠を勝ち取られることを、祈念してやみません。

最後に、本書が仕上がるまでに、つたない原稿を整理していただいた編集スタッフや、表記の間違いや校正等でお世話になった岩見恵子さんほか、関係する皆様には、様々な貴重な助言とお世話をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。有難うございました。

2022年1月

東京法経学院専任講師

工学修士

黒杉茂

目次

第1章 測量概論

学習ガイダンス	15
1-1 測定の定義と分類	16
1-2 測定の基準	21
1-3 測量誤差	36
1-4 重み平均（重量平均）と標準偏差	48
1-5 正規分布	56
1-6 座標回転	65

第2章 多角測量

学習ガイダンス	81
2-1 多角測量の概念	83
2-2 多角測量と基準点測量	87
2-3 トータルステーションの測角機能の構造	97
2-4 TSによる角観測の誤差と消去法	101
2-5 TSによる観測上の注意事項	107
2-6 TSの性能と観測値の許容誤差	111
2-7 方向観測法	113
2-8 水平角の最確値と標準偏差	121
2-9 鉛直角の観測	124
2-10 偏心補正計算	131
2-11 偏心補正計算（相互偏心）	140
2-12 間接水準測量	144
2-13 基準面上の距離	149
2-14 トータルステーションの測距機能（光波測距儀）	154
2-15 TSによる距離測定 of 誤差	158
2-16 気象要素（気温及び気圧）の測定誤差	160
2-17 TSによる距離測定 of 定数の決め方	162
2-18 測距と測角のつり合い	165
2-19 観測方向角の計算と誤差伝播	167
2-20 緯距及び経距の計算と標識偏差	172
2-21 合緯距（X）及び合経距（Y）の計算	182

2 - 22	基準点測量の現地計算	185
2 - 23	観測方程式	191

第3章 ^{はん}汎地球測位システム測量

学習ガイダンス	203	
3 - 1	GNSS 測量の概要	205
3 - 2	座標系	212
3 - 3	測位原理と特徴	217
3 - 4	誤差要因	231
3 - 5	観測点の選点及び観測上の注意事項	234
3 - 6	PCV 補正とセミ・ダイナミック補正	237
3 - 7	基線解析	246
3 - 8	GNSS に関する用語	256

第4章 水準測量

学習ガイダンス	263	
4 - 1	レベル等による水準測量の概念	265
4 - 2	水準測量と標高の基準面	274
4 - 3	水準測量の誤差	277
4 - 4	視準軸誤差	279
4 - 5	鉛直軸誤差	282
4 - 6	標尺の目盛誤差 (標尺補正)	284
4 - 7	標尺の零目盛誤差	288
4 - 8	標尺の傾斜誤差	290
4 - 9	球差と気差 (両差)	292
4 - 10	直接水準測量の方法	295
4 - 11	水準測量の観測作業上の注意事項	297
4 - 12	視準距離のとり方	300
4 - 13	昇降式による高低計算	302
4 - 14	単位距離当たりの往復差の制限と誤差伝播	305
4 - 15	往復観測値の較差の制限	308
4 - 16	往復差から 1km 当たりの標準偏差	313
4 - 17	水準網観測の閉合差の制限	317
4 - 18	重量平均による標高の最確値と標準偏差	322
4 - 19	渡海 (河) 水準測量	326

4 - 20	楕円補正と変動補正	329
4 - 21	観測方程式	334
4 - 22	GNSS 測量機による水準測量	345

第 5 章 地形測量

学習ガイダンス	359	
5 - 1	地形測量の概念	361
5 - 2	TS 等による細部測量	366
5 - 3	RTK 法等を用いる細部測量	371
5 - 4	等高線（コンターライン）	376
5 - 5	等高線の利用法	379
5 - 6	TS で求めた標高の誤差	384
5 - 7	TS による地形測量の水平位置の誤差	389
5 - 8	数値地形図の修正	394
5 - 9	数値標高モデル（DEM）	401
5 - 10	地上レーザスキャナを用いた測量	406
5 - 11	車載写真レーザ測量	413

第 6 章 写真測量

学習ガイダンス	421	
6 - 1	写真測量の概念	423
6 - 2	撮影高度と縮尺の関係	437
6 - 3	写真の特殊 3 点及び写真像のぶれ	443
6 - 4	撮影基線と主点基線	447
6 - 5	写真の重複度	451
6 - 6	撮影計画の計算	458
6 - 7	比高による写真像のずれ	462
6 - 8	空中写真の実体視	466
6 - 9	実体空中写真測量の概要	469
6 - 10	標定	470
6 - 11	同時調整	474
6 - 12	デジタルステレオ図化機	481
6 - 13	空中写真の判読	485
6 - 14	人工衛星からのリモートセンシング	488
6 - 15	UAV を用いた測量	493

6-16	写真地図作成	505
6-17	航空レーザ測量	511

第7章 GISを含む地図編集

	学習ガイダンス	527
7-1	地図の投影法	529
7-2	平面直角座標系	542
7-3	UTM 座標系	547
7-4	地図の読図	552
7-5	図郭線からの経緯度計測	562
7-6	既成図数値化	568
7-7	GIS(地理情報システム)	572
7-8	地理空間情報とJPGIS	582
7-9	基盤地図情報	594

第8章 応用測量

	学習ガイダンス	609
8-1	路線測量の概念	611
8-2	中心線測量	619
8-3	平面曲線における単曲線の公式	626
8-4	クロソイド曲線	634
8-5	勾配の表し方	651
8-6	河川測量の概念	655
8-7	流量と平均河床高	667
8-8	用地測量の概念	678
8-9	座標法による面積計算	686
8-10	土地の分割と境界線の整正	692
8-11	土量の計算方法	702

第9章 測量に関する法規

	学習ガイダンス	709
9-1	測量法	710
9-2	測量法施行令	723

第 10 章 - 公共測量 - 作業規程の準則

学習ガイダンス	731
作業規程の準則の利用にあたって	732
10-1 総則	734
10-2 基準点測量	738
10-3 レベル等による水準測量	761
10-4 GNSS 測量機による水準測量	770
10-5 地形測量（現地測量）	776
10-6 地上レーザ測量	786
10-7 車載写真レーザ測量	790
10-8 UAV 写真測量	795
10-9 空中写真測量	800
10-10 既成図数値化	815
10-11 写真地図作成	818
10-12 航空レーザ測量	822
10-13 地図編集	830
10-14 基盤地図情報の作成	832
10-15 三次元点群測量	835
10-16 路線測量	842
10-17 河川測量	851
10-18 用地測量	856

付録

付録 1 三角関数真数表	864
付録 2 数学の公式集	866
付録 3 平面直角座標系	870
索引	874

本書の利用にあたって

本書「測量士 合格ノート」は、測量士試験の全出題範囲について解説した基本書であり、作業規程の準則を含めて構成されています。

また、測量士試験の学習に必要なとなる数学の知識については、入門書「明快よくわかる数学（改訂版）」において解説しています。

本書並びに「明快！よくわかる数学（改訂版）」の内容と構成については、以下のとおりです。ご利用にあたって、ご一読ください。

『明快！よくわかる数学（改訂版）』と 『測量士 合格ノート』の構成

明快！よくわかる 数学（改訂版）	第1章 四則の計算 第2章 式の計算 第3章 図形の基本性質 第4章 比と比例 第5章 三角比 第6章 平面図形と式 第7章 測量の計算
測量士 合格ノート	第1章 測量概論 第2章 多角測量 第3章 汎地球測位システム測量 第4章 水準測量 第5章 地形測量 第6章 写真測量 第7章 GISを含む地図編集 第8章 応用測量 第9章 測量に関する法規 第10章 -公共測量- 作業規程の準則 付録

☐ 明快！よくわかる数学（改訂版）

学習の基礎となる数学について、ごく基本的な事項から一步一步段階的に学ぶことができるように作成された、本学院出版の入門書（定価：本体3,000円＋税）です。

内容は、測量士試験や土地家屋調査士試験の学習に必要な知識に絞っており、初歩的な知識から系統づけて解説しています。そのため、数学を得意とする方には知識の整理や再確認に役立つとともに、数学を不得意とする方には、試験に必要な数学の力が飛躍的についてくるように編集したものです。

ぜひ、別途にご購入のうえご活用いただければ幸いです。

☐ 測量士 合格ノート

測量士試験に必要な測量の知識について、試験科目ごとに章立てて解説するとともに、測量作業に必要な「作業規程の準則」を掲載しています。

第1章において、測量の基礎的理論と各科目に共通する測量の基準及び測量に伴う誤差などについて掲載し、第2章から第9章では、試験科目ごとに重要事項をまとめています。

なお、第10章には、測量作業に不可欠な「-公共測量-作業規程の準則」については、その全文を掲載することは不可能なので、受験対策として必要と思われる部分のみについて掲載しています。

「測量士 合格ノート」の内容と構成は以下のとおりです。

- 各章の冒頭では、「学習ガイダンス」として、科目ごとの「学習方法」と「重要事項の位置づけ」について説明しています。
- 各項目においては、まずその基礎的内容を説明し、さらに理解を深めるための確認問題とその解説を設けています。
- 付録として、巻末に「三角関数真数表」、「数学の公式集」及び「平面直角座標系」を収録しています。
- 重要な各項目については、**★☆☆** **★★☆** **★★★** で表記しております。

重要度 { **★☆☆** … 6～10年に一度くらいの頻度で出題される項目です。
★★☆ … 3～5年に一度くらいの頻度で出題される項目です。
★★★ … 毎年又は隔年のように本試験で出題される最重要項目です。

第 1 章

測量概論

第1章 測量概論 学習ガイダンス

1. 学習方法

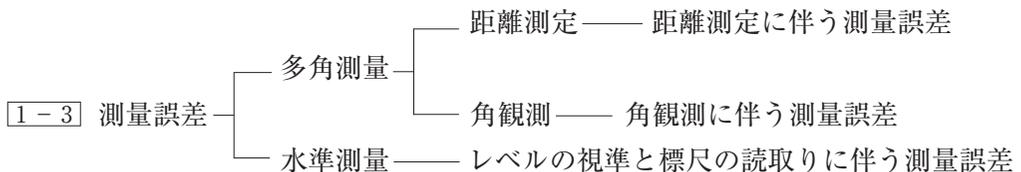
ここに掲載した測量概論の各事項は、「測量とはどのようなものか？」のあらましを理解するのに必要な最低限度の内容を説明したほか、各科目に共通な測定の基準、及び誤差とその取扱いあるいは最確値などについて説明したものである。

したがって、測定の基礎的理論については、その概念のみについて理解しておけばよいが、誤差などの内容については、大半の測量科目において関係するところが多いので、誤差については基本的内容を含め、その応用的範囲をも含めて十分理解しておく必要がある。

2. 重要事項の位置づけ

重要事項に対して、関係する測量内容を挙げれば次のとおりである。

1-2 測定の基準 —— 位置の基準と、楕円体高・ジオイド高・標高の関係が重要



1-5 正規分布

1-6 座標回転

1-1

測量の定義と分類

測量とは、地球の表面又はその付近における諸点の相対的關係位置を測定して、これを数値又は図紙に表現し、あるいは数値又は図で表された諸点を地上に表示する等の作業をいう。そして、測量には地表面の固定的物体の位置關係を決定又は表現するばかりでなく、動的な位置の流量測定などが含まれるほか、地図の作成や面積と体積を求める作業なども測量として取り扱われている。

1 平面位置と高さの位置

測量は、主として諸点（いくつかの点）の相対的關係位置（相互の位置關係）を決定する技術であり、相対的關係とは相互關係をいい、位置とは水平位置と高さの位置をいう。

図1・1において、点Aと点Pの相対的關係位置を決定する場合は、なんらかの方法によって水平距離（水平面に正投影した長さ） l と水平角 α を測定すれば、点Aと点P（P'）の水平位置が決まる。

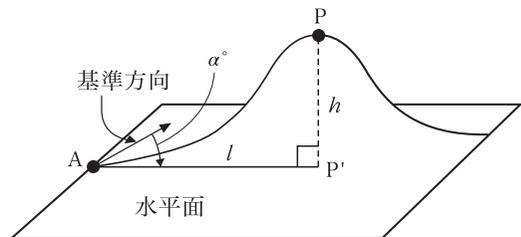


図1・1

すなわち、点Pは点Aを基点にして α° 方向へ lm のところにあることを知ることによって、点Aと点Pの水平位置關係が決まることになる。

次に高さの位置は、なんらかの方法で高低差 h を測定すれば、点Aと点Pの高さの位置を知ることができる。

2 位置の決定法

測量は諸点の相対的關係位置（相互の位置關係）を求めることであり、基本的な位置の決定法としては、次のような方法がある。

(1) 水平位置の決定法

ア) 図1・2(a)において、点A、Bを基準とし、 S_1 及び S_2 の水平距離を測定すれば点Pの水平位置が定まり、この測量方法を三辺測量といい、現在は基準点測量と

しては用いられない。

イ) 図 1・2(b) において, 点 A, B を基準方向とした水平角 α と水平距離 S を測定すれば点 P の水平位置が定まり, この測量方法を**多角測量** (トラバース測量) という。

ウ) 図 1・2(c) において, 点 A, B を基準とした水平角 α 及び β と水平距離 S を測定すれば点 P の水平位置が定まり, この測量方法を**三角測量**といい, 現在は基準点測量としては用いられない。

エ) 図 1・2(d) において, 点 A, B を基準とした水平距離 S_1 と S_2 を測定すれば点 P の水平位置が定まり, この測量方法を**支距法** (オフセット) という。

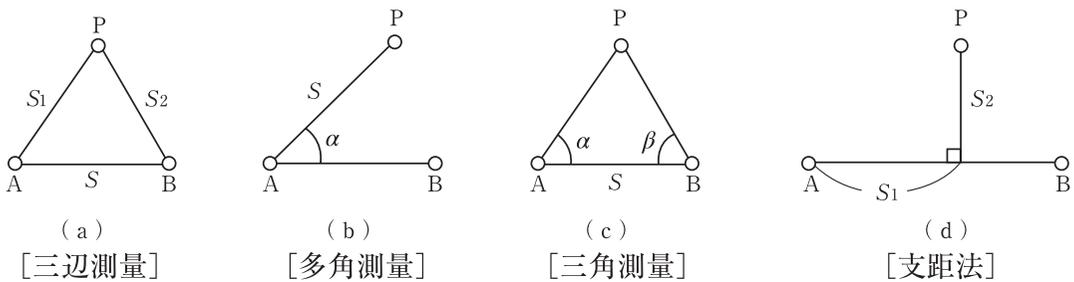


図 1・2

(2) 高さの位置の決定法

ア) 図 1・3(a) において, AB 間の水平距離 S と点 A と点 B の鉛直角 (又は高度角) α を測定すれば, 高低差 h が定まり, この測量方法を**間接水準測量**という。

イ) 図 1・3(b) において, 点 A と点 B に目盛の付いた尺を立てて, その読みを a 及び b とすれば, AB 間の高低差 h は, $h = (a - b)$ で求めることができ, この測量方法を**直接水準測量**という。

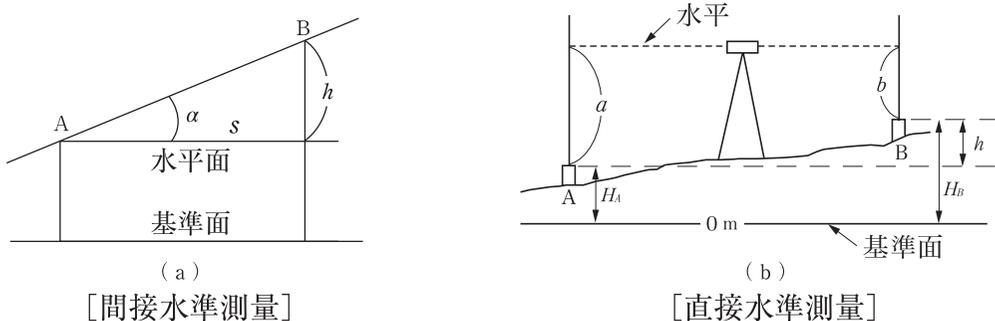
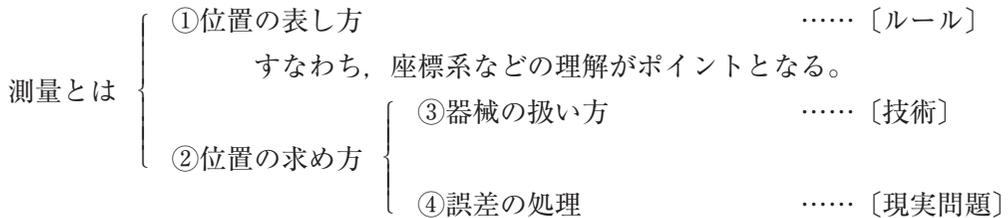


図 1・3

3 測量とは

これから、種々の測量について学習していくことになるが、その要点は次のようにまとめることができる。



つまり、測量とは、[ルール]、[技術]、[現実問題]という3つの要素から成り立っており、ここで、[ルール]と[現実問題]は、時代が変わっても変化のないものである。それに対して、③器械の扱い方、すなわち、[技術]に関しては、器械の発達に伴い、どんどん進歩しているのである。そして、これらの事柄を各論の学習を通して深めてほしい。

4 測量の分類

測量は、諸点の関係位置を定める技術であるが、この測量に関して、一般的に分類されている測量の種類を挙げれば、次のとおりである。

1) 測量区域の大・小による分類

- (1) **平面測量** 地球表面の一部を平面とみなして行う測量
なお、ほとんどの公共測量がこれに該当する。
- (2) **大地測量** (又は測地学的測量) 地球の曲率を考慮して行う測量
なお、国土地理院が行う基本測量はこれである。

2) 目的による分類

- (1) **距離測量** 距離を測定する測量
- (2) **角測量** 水平角又は鉛直角を観測する測量
- (3) **水準測量** 高低差を観測する測量
- (4) **路線測量** 線状構造物の設計のための測量
- (5) **河川測量** 河川の維持管理等に用いる測量
- (6) **用地測量** 用地取得などに必要な図面を作成する測量

3) 使用器械による分類

- (1) セオドライト（トランシット）測量
- (2) レベル（水準）測量
- (3) 平板測量
- (4) トータルステーション測量
- (5) 写真測量
- (6) GNSS 測量

4) 測量方法又は手段による分類

- (1) 三角測量
- (2) 多角測量
- (3) 水準測量
- (4) 平板測量
- (5) 写真測量
- (6) トータルステーション測量
- (7) GNSS 測量

5) 測量順序による分類

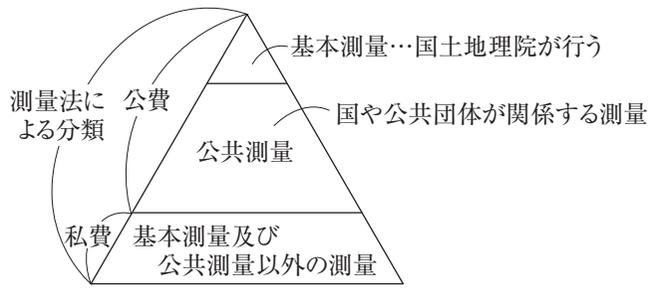
- (1) **基準点測量** 基準点測量としては、多角測量、トータルステーション測量、GNSS 測量及び水準測量が挙げられる。
- (2) **細部測量** 基準点測量によって設置された基準点をもとに、その周辺の地形（地表の起伏や状態など）や地物（家屋や橋などの構造物）の位置を決定する作業をいい、細部測量としてはトータルステーション測量、GNSS 測量及び支距法がある。

6) 測量法による分類

測量法では、測量を次の3種類に分類していて、ピラミッド構造の仕組みになっている。

- (1) **基本測量** すべての測量の基礎となる測量で、国土交通省国土地理院が行う測量をいう。
- (2) **公共測量** 基本測量以外の測量で、次に掲げるものをいう。ただし、建物に関する測量その他の局地的測量又は小縮尺図の調製その他の高度の精度を必要としない測量で政令で定めるものを除く。
 - 一 その実施に要する費用の全部又は一部を国又は公共団体が負担し、又は補助して実施する測量
 - 二 基本測量又は前号の測量の測量成果を使用して次に掲げる事業のために実施する測量で国土交通大臣が指定するもの
 - イ 行政庁の許可、認可その他の処分を受けて行われる事業
 - ロ その実施に要する費用の全部又は一部について国又は公共団体の負担又は補助、貸付けその他の助成を受けて行われる事業
- (3) **基本測量及び公共測量以外の測量**

基本測量又は公共測量の測量成果を使用して実施する、基本測量及び公共測量以外の測量をいう。



※その他の測量…測量法の適用を受けない測量

(例)・建物に関する測量

・高い精度を必要としない測量

1-2

測量の基準

重要度



測量は、地球の表面における位置関係を正確に表現する必要があるので、世界的に統一された基準に基づいて実施する必要があるが、その基準について説明すれば次のとおりである。

1 地球の形状と大きさ

地球の形状は極めて球に近い回転楕円体である。

回転楕円体とは、図1・4における楕円の短軸 b を回転軸として回転してできた楕円体を用い、この回転楕円体に地球の長半径（赤道半径） a と扁平率の数値を与えたものを準拠楕円体という。

わが国の準拠楕円体（GRS80（測地基準系1980））の長半径及び扁平率の値は次のとおりである（測量法施行令第3条）。

長半径 6,378,137m 扁平率 298.257222101 分の1
なお、「準拠」とは、よりどころにするという意味であり、わが国では、GRS 80 楕円体をよりどころとして、測量を行っているのである。

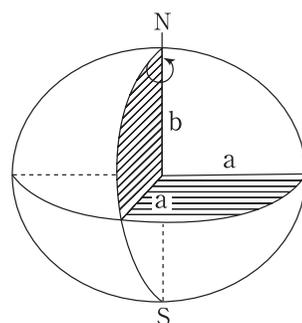


図1・4

また、扁平率とは、図1・4における $\frac{a-b}{a}$ の値のことである。

2 日本の測地系について

(1) 測地系とは

測地系（測地基準系ともいう。）とは、測量の基準となる準拠楕円体とその上に定義された座標系をいう。つまり、地球上の位置を緯度・経度で表すための基準のことである。全国で統一的な測量を行うためには、地球の形状・大きさ・位置の表示・投影方法など、測量の基準を定める必要があることから設けられているものである。日本では、この基準は、測量法第11条によって定められている。

(2) 日本が採用している世界測地系

世界測地系には、ITRF系（国際地球基準座標系）、アメリカのGPSに用いられ

ている WGS 系，ロシアの測位システムに用いられている PZ 系があるが，日本が採用している世界測地系は，ITRF 系（国際地球基準座標系）と GRS 80（測地基準系 1980）楕円体である。

ITRF 系は三次元直交座標系であり，地球の重心に原点を置き，X 軸をグリニッジ子午線と赤道との交点方向，Y 軸を X 軸から東回りに 90 度（東経 90 度）方向，Z 軸を地球の自転軸（北極方向）にとって空間上の位置を X，Y，Z 座標の数値で表現するものである。しかし，位置表現が三次元直交座標では使いにくいいため，GRS 80 楕円体を用いて経度，緯度を表現している。そして，わが国が採用した測地基準系を「日本測地系 2000」といい（一般的には，世界測地系の一つであることから「世界測地系」という。），日本測地系 2000 で得られた測地基準点成果を「測地成果 2000」という。

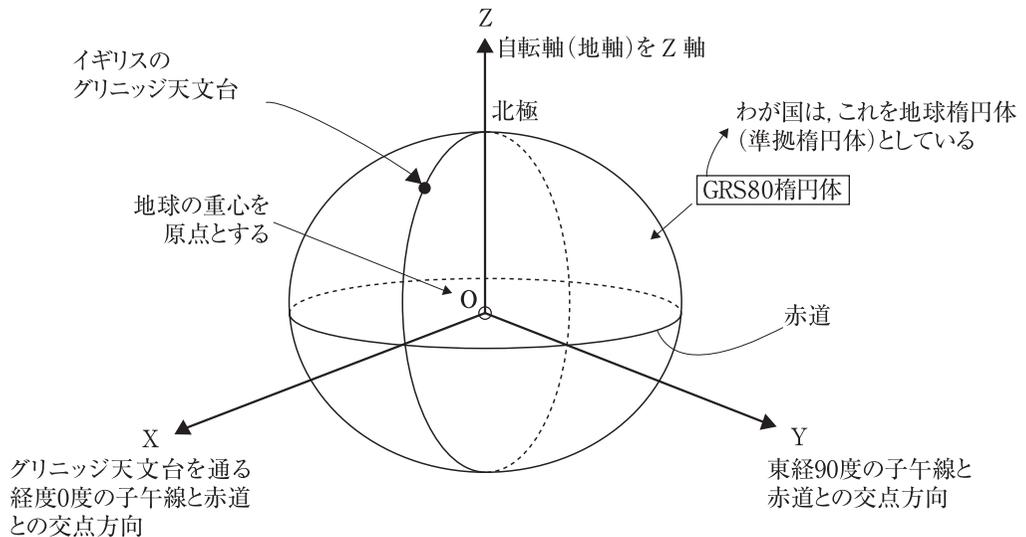


図 1・5 ITRF 系の地心直交座標系

なお，GNSS 測量で用いられている座標系は，わが国が採用した ITRF 系とは異なるものであるが，アメリカの GPS で用いている WGS-84 系の場合は，ITRF 系との差はごくわずかのため，同一のものとして扱ってよいこととなっている。ロシアの GLONASS で用いている PZ 90 系から ITRF 系へは，公表されたパラメータで座標変換をすることになる。

ここで，GNSS（Global Navigation Satellite System：汎（全）地球航法衛星システム）とは，次のように定義されている（作業規程の準則第 21 条第 4 項）。

著者プロフィール

黒杉 茂 (工学修士)

1948年石川県に生まれる。

元東京都立高等学校教師。40年間の教員生活の中で授業について模索していく中で、身の回りで起きたさまざまな出来事を授業に取り入れるという、独自の授業スタイルの基礎を築く。

現在は東京法経学院専任講師。測量士及び測量士補講座の講義、書籍および教材制作に携わる。

■ 主な資格

測量士，土地家屋調査士，行政書士，マンション管理士ほか多数。

【本書に関するお問合せについて】

本書の正誤に関するご質問は、書面にて下記の送付先まで郵送もしくはFAXでご送付ください。なお、その際にはご質問される方のお名前、ご住所、ご連絡先電話番号（ご自宅／携帯電話等）、FAX番号を必ず明記してください。

また、お電話でのご質問および正誤のお問合せ以外の書籍に関する解説につきましてはお受けいたしかねます。あらかじめご了承くださいますようお願い申し上げます。

【ご送付先】

〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町3-22 ナカバビル1階
東京法経学院「測量士 合格ノート」編集係 宛
FAX:03-3266-8018

測量士 合格ノート

令和4年3月1日 初版発行

〔 著作権所有 〕
〔 不許複製 〕

著 者 黒 杉 茂
発 行 者 立 石 寿 純
発 行 所 東 京 法 経 学 院
〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町3-22
ナカバビル1F
TEL 03-6228-1164 (代表)
FAX 03-3266-8018 (営業)
郵便振替口座 00120-6-22176

※乱丁、落丁の場合はお取り替えいたします。