

# 目 次

序文	3
第1章 序論	11
1.1 GPSに至るまで	11
1.2 地球上で現在位置を知るには	14
1.3 これまでの電波航法とGPS/GNSSの共通点	15
1.4 近い将来のGNSSの概要	18
1.4.1 GPS近代化計画	19
1.4.2 グロナス近代化計画	21
1.4.3 ガリレオ	23
1.4.4 北斗/コンパスシステム	25
1.4.5 インドの地域測位衛星計画 (IRNSS)	25
1.4.6 準天頂衛星	26
1.5 GNSSによる利益は何か	27
1.5.1 どれかの衛星系一つだけを利用するとき	29
1.5.2 複数衛星系を併用するとき	30
第2章 GNSSの利用と測位信号	33
2.1 いろいろなGNSSの利用分野	33
2.1.1 単独測位	33
2.1.2 DGNSS	34
2.1.3 GNSS測量 (干渉測位)	35
2.1.4 時刻同期	36
2.2 システムとしてのGNSS	36
2.2.1 GNSSの宇宙部分	37
2.2.1a GNSS衛星の見え方	43
2.2.2 GNSSの制御部分	44
2.2.3 GNSSの利用者部分	48
2.3 GNSS衛星からの信号	50
2.3.1 信号形式	51
2.3.2 GNSS電波の受信感度	53
2.4 GPS信号の利用制限とその影響	57
2.5 GNSS衛星の電波の伝搬	58
2.5.1 地物による電波の反射と遮蔽	58
2.5.2 混信妨害	60

2.5.3 受信機に固有の障害周波数	62
第3章 測地座標系とジオイド	65
3.1 GNSSのインパクト	65
3.2 地球楕円体と測地座標系	67
3.2.1 地球楕円体	67
3.2.2 測地座標系	68
3.2.3 地球中心座標系	69
3.2.4 わが国の測地座標系－日本測地系から世界測地系への移行－	71
3.2.5 測地成果2000	73
3.3 ジオイド	74
3.3.1 GNSSとジオイド	76
3.3.2 楕円体高と標高	77
3.3.3 ジオイドモデル	78
3.4 座標の変換	79
3.4.1 3次元直交座標と測地座標	79
3.4.2 3次元直交座標系の変換(その1)	80
3.4.3 3次元直交座標系の変換(その2)	81
3.5 標高の決定	82
3.6 地殻変動への対応～セミ・ダイナミック補正	82
3.6.1 日本の地殻変動と基準点への影響	83
3.6.2 セミ・ダイナミック測地系	85
3.7 第4の座標、時系	87
3.7.1 世界時 UT	88
3.7.2 力学時 TD	89
3.7.3 国際原子時 TAI	90
3.7.4 協定世界時 UTC	90
3.7.5 GPS時、GNSS時	91
第4章 単独測位と時刻同期、DGNSS	93
4.1 単独測位の原理	94
4.1.1 単独測位計算の基礎	95
4.1.2 衛星位置の計算	97
4.1.3 単独測位における多重解	100
4.1.4 キャリアスムーシング	101
4.1.5 搬送波のドップラー測定による速度測定	103
4.2 単独測位の精度と衛星配置	106
4.2.1 天空における衛星の配置	107
4.2.2 単独測位における電離層の影響の補正	109
4.2.3 対流圏の影響の補正	111

4.2.4	擬似距離の測定誤差	112
4.2.5	測位結果の最終精度	113
4.2.6	精密単独測位	114
4.2.7	ソフトウェア受信機	115
4.3	時刻同期	116
4.3.1	単独測位の副産物としての時刻精度	118
4.3.2	測位計算を経由しない時刻同期と比較	119
4.3.3	相対時刻比較と精密暦の利用	119
4.4	単独測位の応用分野	120
4.4.1	宇宙での GNSS 単独測位	120
4.4.2	民間航空での GNSS 単独測位の利用	121
4.5	DGNSS (差動 GNSS) とその原理	121
4.5.1	どうして精度が改善されるのか	123
4.5.2	DGNSS の動作条件	124
4.5.3	擬似距離補正による DGNSS 方式	125
4.5.4	RTCM 規格と NTRIP	127
4.6	実際の DGNSS	128
4.6.1	船舶用ビーコン電波による DGNSS	129
4.6.2	測位機能つき携帯電話	129
4.6.3	SBAS と GBAS	131
第5章 干渉測位 (GNSS 測量)		135
5.1	干渉測位方式のいろいろ	136
5.1.1	干渉測位の特質	138
5.1.2	スタティック測位	139
5.1.3	キネマティック測位	141
5.1.4	移動しながらのキネマティック測位	143
5.2	干渉測位では何を測定しているか	144
5.2.1	VLBI (超長基線電波干渉法) とどう違うのか	144
5.2.2	搬送波位相とは	147
5.2.3	測距と行路差、そして整数値バイアス	148
5.2.4	サイクルスリップ	151
5.2.5	搬送波位相の数式表現	152
5.2.6	搬送波位相の解釈	154
5.2.7	伝搬距離の計算についての注意	155
5.3	干渉測位の受信機はどうなっているか	157
5.3.1	周波数変換と記録された搬送波位相の性質	157
5.3.1a	周波数変換にともなう位相関係	159
5.3.1b	複数回の周波数変換	160
5.3.1c	ゼロビートミクサー	162

5.3.1d	ゼロビートの周波数とは何か	163
5.3.2	サイクルスリップはなぜ整数波数となるのか	166
5.3.3	これまでのGPS - L2帯の搬送波再生	166
第6章 干渉測位の原理		169
6.1	搬送波位相の組み合わせ	169
6.1.1	差分観測量による時計誤差の消去	170
6.1.2	一重位相差	171
6.1.3	二重位相差	173
6.1.4	三重位相差	174
6.1.5	線形結合	175
6.1.5a	複数周波数データの線形結合による電離層遅延の補正	178
6.1.5b	ワイドレーンとナローレーンへの電離層の影響	180
6.2	整数値バイアスの決定	181
6.2.1	波数不確定と基線解	181
6.2.2	衛星の移動を利用する整数値バイアス決定	182
6.2.3	衛星の組み合わせによる整数値バイアス決定	184
6.2.4	測位符号による整数値バイアスの追い込み	184
6.2.5	アンテナスワッピング	184
6.2.6	電離層補正搬送波におけるバイアス決定	185
6.3	電離層と対流圏における伝搬遅延	186
6.3.1	電離層の一般的性質	187
6.3.2	電離層の屈折率と伝搬遅延	189
6.3.3	1周波数観測の限界	191
6.3.4	電離層遅延への地球磁場の影響	193
6.4	対流圏の一般的性質	193
6.4.1	GNSS測量における対流圏遅延補正	195
6.4.2	標高差のある測量	197
6.5	GNSS測量の精度	199
6.5.1	衛星の軌道情報の精度とその影響	199
6.5.2	電離層と対流圏の影響	200
6.5.3	アンテナの影響	201
6.5.4	受信機内部誤差と妨害波	204
6.5.5	基線計算の特質	204
6.6	ネットワーク型RTK方式	205
6.6.1	仮想基準点(VRS)方式の原理	206
6.6.2	FKP方式	207
6.6.3	実時間型ネットワーク型RTK方式の利点と問題点	208
6.6.4	後処理ネットワーク型RTK方式	213

第7章 干渉測位の観測とデータ処理	215
7.1 干渉測位の手順	216
7.1.1 計画	216
7.1.2 観測、記録	217
7.1.3 基線解析ソフトウェアと計算	219
7.1.4 キネマティック（実時間、連続）干渉測位	221
7.1.5 干渉測位の得失と限界	222
7.2 GNSS 測量の基線解析計算	223
7.2.1 観測データの事例	223
7.2.2 波数不確定の処理	227
7.2.3 最小二乗法	227
7.2.4 スタティック測位の観測方程式	228
7.3 基線解析結果の評価	230
7.3.1 データ棄却率	230
7.3.2 整数値バイアス決定比	231
7.3.3 同一セッションの閉合は必ず0になる！	231
7.3.4 基線長だけを利用する測量	232
7.3.5 結果が思わしくないとき	232
7.4 異機種を組み合せによる干渉測位	234
7.4.1 測量用アンテナの問題点	235
7.4.1a アンテナ位相特性の補正	235
7.4.2 共通データフォーマット	238
7.4.3 学術用基線解析ソフトウェア	239
7.5 放送暦と精密暦	241
7.6 GNSS 観測網	242
7.6.1 電子基準点とこれからの GNSS 測量	248
第8章 新しい測位衛星系 GNSS	249
8.1 NNSS（米国海軍航法衛星）	249
8.2 測位衛星の信号形式について	250
8.2.1 直交搬送波	250
8.2.2 BOC（Binary Offset Carrier）について	251
8.2.3 "1023"の数字の由来	253
8.3 GPS 近代化計画	254
8.3.1 現在の GPS の問題点	255
8.3.2 GPS 近代化の目標	256
8.3.3 L5 波方針の混乱	257
8.3.4 GPS 近代化の予定	259
8.3.5 近代化 GPS 衛星	260
8.3.6 近代化 GPS の測位信号	260

8.3.6a	L2の一般用測位符号 L2C	261
8.3.6b	L5の測位符号	261
8.3.6c	L1波の新測位符号 L1C	262
8.3.7	航法データ	265
8.3.8	GPS測位信号の新シリーズ	266
8.4	グロナス近代化 (GLONASS)	267
8.4.1	グロナス衛星	268
8.4.2	グロナスの測位信号	269
8.4.3	グロナスの測位精度	270
8.5	ガリレオ (Galileo)	271
8.5.1	ガリレオ計画の全体	271
8.5.2	ガリレオ計画への資金拠出国	272
8.5.3	ガリレオの測位信号	272
8.5.4	一般開放信号 OS	273
8.5.5a	OSの測位符号	274
8.5.5b	OSの航法データ	275
8.5.6	ガリレオの暗号化測位信号	276
8.5.6a	SAR	276
8.5.7	ガリレオ衛星	277
8.5.8a	第1期の総合試験 GSTB - v1 (Galileo System Test Bed version 1)	278
8.5.8b	第2期の総合試験 GSTB - v2	278
8.5.9	軌道上評価 In - Orbit Validation— 運用準備試験	280
8.5.10	C帯測位信号の検討	281
8.6	準天頂衛星システム (QZSS : Quasi Zenith Satellite System)	282
8.6.1a	準天頂衛星計画の基本方針	283
8.6.1b	わが国の測位衛星計画の目標は	283
8.6.1c	準天頂衛星開発研究計画	284
8.6.2a	準天頂衛星の測位信号	284
8.6.2b	LEXについて	285
8.6.2c	準天頂衛星の航法データ	286
8.6.3	準天頂衛星システム仕様	286
8.7	北斗/コンパス	288
8.8	インドの地域測位衛星 (IRNSS)	289
8.9	新測位衛星系で何ができるか	290
8.9.1a	多衛星系併用測位と問題点	291
8.9.1b	多衛星系を併用したときの可視性	292
8.9.1c	多衛星系を併用するときの注意事項	293
8.9.2	多衛星系併用と多周波数利用測位の利益	295
8.9.2a	単独測位における多衛星系多周波数利用	296
8.9.2b	DGNSSの多衛星系多周波数利用	296

8.9.2c 測量・学術利用における多衛星系多周波数利用	297
8.9.3 複数衛星系併用受信機	299
8.9.4 測位衛星はお互いに妨害し合う	300
第9章 参考資料、略語表	303
9.1 参考資料	303
9.2 略語表	306
索引	311