

目 次

1 章 序 説

1・1	電波天文学の誕生	1
1・2	電波干渉計の発想	3
1・3	原子時計の進歩	4
1・4	大型アンテナ受信技術の発展	7
1・5	信号処理技術の超高速化	8
1・6	測地 VLBI 技術の発達	10
1・7	各章の紹介	11

■ 演習問題 ■ 13

■ 参考文献 ■ 13

2 章 概論：VLBIひとめぐり

2・1	電波干渉計の基礎	15
2・2	天体電波源とその座標系	17
2・3	観測座標系	19
2・3・1	太陽系外から地球形状を測定する	20
2・4	伝搬遅延	24
2・4・1	大気中での伝搬遅延	25
2・4・2	太陽・惑星の影響	25
2・5	VLBI の原理	26

2・6	VLBI 装置の略史	29
2・7	VLBI 観測	35
2・7・1	観測装置	35
2・7・2	観測スケジュール	40
2・8	測地 VLBI におけるデータ処理フローの特徴	42
2・9	VLBI 実験協力の経緯	44
	■ 演習問題 ■	47
	■ 参考文献 ■	47

3 章 データ処理技術

3・1	フーリエ変換と諸性質	49
3・1・1	フーリエ変換の定義	50
3・1・2	時間推移とフーリエ変換	51
3・1・3	相関定理	51
3・1・4	畳込み定理	53
3・2	VLBI 等価信号モデル	55
3・3	1 ビットサンプリング	58
3・4	もっともらしい遅延時間の推定法	61
3・4・1	最尤推定法と最小 2 乗推定法	62
3・4・2	遅延時間の最尤推定法は相互相関法 (時間領域からのアプローチ)	64
3・4・3	遅延時間の最尤推定法は相互相関法 (周波数領域からのアプローチ)	66
3・5	VLBI で扱う相互相関関数	69
3・5・1	周波数変換をしない場合の相互相関関数	69
3・5・2	ビデオ信号の相互相関関数	71
3・6	相関処理装置が行う相関処理	75
3・6・1	相関処理の原理	75

3・6・2	遅延変化の追跡	77
3・6・3	フリンジ位相の逆回転	81
3・6・4	ビットシフトと 90° ジャンプ	85
3・6・5	部分ビット補正	89
3・6・6	位相校正信号の検出	89
3・7	遅延時間とその変化率の精密決定	91
3・7・1	相関器出力の規格化	92
3・7・2	大ざっぱな遅延時間の決定	94
3・7・3	バンド幅合成による精密遅延時間の決定	97
3・7・4	バンド幅合成時のアンビギュイティ	100
3・8	VLBI 測定精度とその検証	103
3・8・1	測定値のバラツキと偏り	103
3・8・2	信号対雑音解析	104
3・8・3	遅延時間の理論誤差	107
3・8・4	複数の相関処理システムを用いた誤差の検証	111
3・9	リアルタイム VLBI	112
	■ 演習問題 ■	114
	■ 参考文献 ■	115

4 章 データ解析

4・1	データ解析の概要	117
4・2	基準座標系	122
4・2・1	太陽系慣性座標系	122
4・2・2	地球固定基準座標系	124
4・2・3	時系	127
4・3	物理モデル	129
4・3・1	地球回転	129
4・3・2	伝搬遅延補正	137
4・3・3	潮汐補正	142

4・3・4	相対論効果	144
4・3・5	その他の物理効果	145
4・4	推定パラメータ	148
4・5	解析方法	149
4・5・1	最小2乗法	149
4・5・2	カルマンフィルタ法	152
4・5・3	解析手順	154
4・6	VLBI誤差	157
4・6・1	観測誤差	157
4・6・2	推定値誤差	158
4・7	解析方法の課題と改善	160
	■ 演習問題 ■	161
	■ 参考文献 ■	161

5章 測地 VLBI 実験

5・1	日本測地座標系の精密測定	165
5・2	プレート運動と地震	168
5・3	プレート運動の実測	174
5・4	プレート境界の地殻変化	176
5・5	ヒマラヤ衝突と日中接近	177
5・6	日本付近のプレート運動	179
5・7	国内 VLBI 実験	181
5・8	南極 VLBI 実験	184
5・9	地球回転	185
5・9・1	地球回転観測	185
5・9・2	地球回転観測結果	186
5・10	その他の実験	190
	■ 演習問題 ■	193

■ 参考文献 ■ 193

6章 VLBI 技術の応用分野

6・1	電波天文学	195
6・1・1	電波源位置	195
6・1・2	電波源構造	200
6・2	地球回転精密計測	205
6・2・1	極運動と自転速度変動計測の歴史	205
6・2・2	自転速度変動と大気角運動量	207
6・3	首都圏広域地殻変動観測	209
6・3・1	局配置	210
6・3・2	観測システム	211
6・4	深宇宙計測	216
6・5	電離層観測への応用	217
6・5・1	電離層で生じる遅延とその補正	217
6・5・2	電離層全電子数の最小2乗推定	221
	■ 演習問題 ■	226
	■ 参考文献 ■	226

7章 終章

7・1	センチの精度からミリの精度へ	229
7・2	地球を超えて	230

付 録

表1	Wahrの章動モデル係数	231
表2	YoderのUT1地球潮汐補正係数(10 ⁻⁵ 秒単位)	234
表3	DickmanのUT1地球潮汐補正係数(10 ⁻⁴ 秒単位)	235

表 4 ITRF 座標系での VLBI 局位置237
表 5 VLBI 観測で使用する代表的な電波源位置カタログ(元期：J2000) ...239

演習問題略解241

索 引249

コ ラ ム

水素メーザ原子時計の原理の簡単な理解法6
地球の全周を測る—先人の知恵20
地球の偏平度測定—先人の知恵23
ガボるって何のこと?35
原子時計にまつわる誤解39
プラス・マイナスで頭が混乱77
1 秒の定義とジオイド面122
旧日本陸軍は知っていた167
大陸移動を実感するジグソーパズル170
すさまじき活断層：「根尾谷断層」172
5 000 万年後の世界173
南極プレートの謎184
グリニッジ標準時 (Greenwich mean time)192
現代の「親父・雷」って210
地震避けの要石215