

目次

I 宇宙の誕生 1

概要	2	c. エントロピーゆらぎの起源	40
a. 相対論からビッグバン理論へ	2	2.5 量子宇宙論	41
b. 統一理論から宇宙の創生へ	4	a. 時空の量子ゆらぎと量子重力	41
c. 宇宙の創生から観測的宇宙論へ	6	b. 宇宙の波動関数	41
1. ビッグバン宇宙と元素合成		3. 構造の進化	43
.....[佐藤勝彦]	7	.....[須藤 靖]	43
.....[佐藤勝彦・郡 和範]	7	3.1 宇宙の階層構造と銀河の2点相関関数	43
1.1 膨張宇宙の解	7		43
1.2 ビッグバン元素合成	9	3.2 膨張宇宙における重力不安定理論	44
a. ビッグバン元素合成とは	9	a. 一般相対論的宇宙モデル	44
b. ビッグバン元素合成の理論	9	b. 宇宙の膨張則	45
c. 軽元素観測データとバリオン数/光子数比 η に対する制限	11	c. 重力不安定理論	46
d. レプトン数非対称性に対する制限	14	d. 密度ゆらぎの線形成長率	47
e. ニュートリノの質量と寿命に対する制限	15	e. 多成分系への拡張	48
f. 非一様宇宙での元素合成	16	f. 球対称非線形モデル	49
2. 宇宙の初期進化	19	g. 2点相関関数に対する自己相似解と非線形漸近解	51
.....[小玉英雄]	19	3.3 密度ゆらぎの統計分布	52
2.1 自然法則の統一理論	19	a. 密度ゆらぎの位相と振幅	52
a. 素粒子の標準モデル	19	b. ランダムガウシアン密度ゆらぎ	52
b. 大統一理論	21	c. 高次相関関数	53
2.2 物質の起源	26	d. ジーナス統計	54
a. 熱平衡における物質組成	26	3.4 ダークマターの密度ゆらぎスペクトル	55
b. 宇宙論的相転移	27		55
c. バリオン数の生成	28	a. 原始密度ゆらぎ	55
d. 位相的励起の生成	30	b. 線形領域	56
e. 素粒子論的ダークマターの生成	31	c. 非線形モデル	57
2.3 インフレーション宇宙モデル	33	d. 赤方偏移効果	58
a. フリードマンモデルの問題点	33	3.5 Press-Schechter 理論と銀河団	60
b. インフレーションモデル	34	a. 銀河団	60
c. ささまざまなモデル	35	b. スニャーエフ-ゼルドビッチ効果	60
d. 問題点	36	c. プレス-シェヒター理論	62
2.4 構造の起源	37	d. X線銀河団の光度・温度関数	63
a. 大域的ゆらぎのタイプとふるまい	37	e. ダークハローの空間バイアスモデル	64
b. 曲率ゆらぎの起源	39		

4. 宇宙論パラメータの観測的決定	d. Ω_0 と λ_0 の測定結果のまとめ	75	
.....[嶋作一大]	67		
4.1 膨張宇宙の方程式と宇宙論パラメータ	4.4 宇宙年齢の下限	75	
67	a. 球状星団の年齢	76	
4.2 H_0 の測定	68	b. トリウムを用いたハロー星の年齢	76
a. ハッブルの法則に基づく H_0 の測定	68	c. 銀河系のディスクの年齢	77
b. 宇宙論スケールの H_0 の測定	71	d. t_0 と球状星団の年齢との比較	77
4.3 Ω_0 と λ_0 の測定	72	4.5 2003 年現在の状況	78
a. 銀河や銀河団の力学を用いた Ω_0 の測定	72	a. HST キー・プロジェクトの最終結果	78
b. 幾何学を用いた Ω_0 と λ_0 の測定	73	b. I a 型超新星を用いた Ω_0 と λ_0 の測定	78
c. 3 K 宇宙背景放射のゆらぎに基づく宇宙論パラメータの測定	75	c. 3 K 宇宙背景放射のゆらぎに基づく宇宙論パラメータの測定	78

II 宇宙と銀河

概要	.....[岡村定矩]	82	a. ポアソン方程式	104	
1. さまざまな銀河とその性質	.....[土居 守・岡村定矩]	85	b. 球対称な系	105	
1.1 さまざまな銀河	85	c. 扁平な軸対称円盤	105	d. 3次元モデル	106	
a. 銀河の形態：ハッブルの音叉図	85	2.3 流体近似と多粒子系近似	106	a. 流体近似の基礎方程式	107	
b. 銀河の規模	86	a. 流体近似の基礎方程式	107	b. 無衝突恒星系としての銀河	107	
c. 銀河の基本構成成分とその面輝度分布	87	c. 無衝突ボルツマン方程式	107	d. リウビルの定理	108	
d. プロファイル分解	88	d. リウビルの定理	108	e. ビリアル定理	108	
1.2 銀河の分類	88	2.4 銀河の力学的構造	108	a. 円盤状銀河の構造	108	
a. 巨大銀河の形態分類	89	a. 円盤状銀河の構造	108	b. 楕円銀河の力学的構造	109	
b. 矮小銀河の形態分類	91	b. 楕円銀河の力学的構造	109	c. バルジとハロー	110	
c. 定量的指標による形態分類	92	c. バルジとハロー	110	2.5 ダイナミックな銀河	110	
d. スペクトルによる分類	93	2.5 ダイナミックな銀河	110	a. ジーンズ不安定性	110	
1.3 銀河の物理的性質	95	a. ジーンズ不安定性	110	b. N 体シミュレーション	110	
a. 星生成活動と放射	95	b. N 体シミュレーション	110	c. 銀河と銀河間ガスの相互作用	111	
b. 質量と重元素量の相関, 重元素量勾配	96	c. 銀河と銀河間ガスの相互作用	111	2.6 銀河の動力学的安定性	112	
c. 大局的観測の間みられる相関	97	2.6 銀河の動力学的安定性	112	a. 巻き込みのジレンマ	112	
1.4 銀河の性質と宇宙環境	98	a. 巻き込みのジレンマ	112	b. 局所密度波理論	113	
a. 形態-密度相関	98	b. 局所密度波理論	113	c. 大局的不安定振動モード	114	
b. 銀河の光度関数	99	c. 大局的不安定振動モード	114	d. 渦巻のパターン認識	115	
2. 銀河内での星とガスの運動[家 正則]	101	d. 渦巻のパターン認識	115	e. 銀河衝撃波と星生成	116
2.1 銀河の回転と速度分散の観測	101	e. 銀河衝撃波と星生成	116	f. 潮汐説	116	
a. 星間ガス輝線による観測	101	f. 潮汐説	116	3. 銀河の進化[太田耕司]	118
b. 恒星系吸収線による観測	102	3. 銀河の進化[太田耕司]	118	3.1 みかけの等級と銀河の諸性質	118
c. 銀河回転の統計的性質と個性	103	3.1 みかけの等級と銀河の諸性質	118	a. 等級-数関係	118	
2.2 重力ポテンシャル論	104	a. 等級-数関係	118			

b. 等級-色関係	120	4. クエーサーと活動銀河	143
c. 等級-赤方偏移関係	120	4.1 活動銀河核	143
d. 等級-サイズ関係	120	4.2 活動銀河中心核の統一モデル	145
e. 等級-形態関係	122	a. ブラックホールパラダイム	145
3.2 光度関数の進化	123	b. 活動銀河中心核の統一的な描像	146
a. 赤方偏移サーベイによる光度関数	123	4.3 クエーサー	147
b. 測光による赤方偏移による光度関数	124	a. クエーサーの性質	147
c. 銀河タイプ別光度関数	125	b. 吸収線系	148
3.3 星形成の歴史	127	c. 銀河間物質の性質	149
a. $z=1$ までの星形成史	127	4.4 赤外高光度銀河	149
b. $z=3$ 付近での星形成	128	5. 近傍の銀河と銀河系	151
c. 宇宙の星形成史	129	5.1 銀河系のまわりの銀河分布	151
3.4 力学構造の進化	129	a. 銀河分布の研究の始まり	151
a. 可視 TF 関係	129	b. 赤方偏移空間	151
b. 基本平面	130	c. 宇宙の大規模構造	152
3.5 銀河構造の進化	131	d. 大規模構造の地図	153
3.6 銀河進化モデル	132	5.2 局部超銀河団, 局部銀河群, および近傍の銀河	154
3.7 銀河団中の銀河進化	133	a. 局部超銀河団	154
a. 楕円銀河の進化	133	b. 局部銀河群	155
b. 形態別存在比	134	c. 近傍の銀河	158
c. ブッチャー-エムラー効果	135	5.3 銀河系	159
3.8 形成中の銀河	135	a. 星の位置, 視線速度, 固有運動	159
a. ライマンブレイク銀河	136	b. 局所静止基準と太陽運動	159
b. 減衰ライマン α 系	138	c. 銀河系の回転則: 太陽近傍	162
c. 電波銀河	138	d. 銀河系の回転曲線	163
d. クエーサー	139	e. 銀河系の概観: 散開星団と球状星団	164
e. 輝線銀河探査	140	f. ヒッパルコスプロジェクト	165
f. 最も遠い銀河	141		

III 銀河を作るもの 169

概要	[辻 隆]	170	a. 星の誕生の宇宙における意味	178
1. 星の誕生と惑星系の起源	[長谷川哲夫]	173	b. 星誕生のシナリオ——太陽程度の質量をもつ星の場合	178
1.1 星間空間を満たすもの		173	c. 双極分子流	180
a. 星間ガスの諸相		173	d. 誕生する星のスペクトルと降着円盤の進化	181
b. 星間物質の循環		174	e. 誕生する星からの X 線放射	182
c. 銀河における星間物質の分布		174	f. 原始星の内部構造	182
1.2 星間分子雲		175	g. 星の誕生のマクロ的記述	183
a. 星間分子雲とその種類		175	1.4 原始惑星系	183
b. 巨大分子雲		177	a. 太陽系形成のモデル	183
c. 小質量の分子雲		177	b. 太陽系外の惑星系	183
d. 分子雲コア		178		
1.3 星の誕生		178		

c. 原始惑星系円盤の観測	185	3. 星の進化と元素合成	210 [野本憲一]
2. 星の大気とスペクトル	186 [辻 隆]	3.1 星の内部構造	210
2.1 天体分光学	186	a. 基礎方程式	210
2.2 恒星スペクトル	186	b. 星のエネルギー源	211
a. 光学領域のスペクトル	187	3.2 星の進化：主系列から赤色巨星へ	211
b. 赤外線領域のスペクトル	187	a. 主系列星とその寿命	211
2.3 恒星大気の熱力学	188	b. 太陽ニュートリノ問題	213
a. 化学平衡	188	c. 白色矮星	214
b. 恒星大気の分子組成	188	d. 赤色巨星への進化	214
c. 電離平衡	190	e. ヘリウム燃焼	215
2.4 物質と光の相互作用	190	f. 星団の進化と年齢	215
a. 原始・分子による光の放出・吸収	190	g. 小質量星の進化と球状星団	216
b. 連続吸収	190	3.3 星の進化の後期	217
c. スペクトル線の吸収係数	190	a. 小中質量星 ($M < 8M_{\odot}$) の進化	217
2.5 恒星大気における放射の伝搬	192	b. 惑星状星雲	218
a. 放射強度	192	c. 電子捕獲によって重力崩壊する $8\sim 10M_{\odot}$ の星	219
b. 放射伝搬の基礎方程式	192	d. 大質量星 ($M > 10M_{\odot}$) の進化と元素合成	220
c. 周縁減光	193	e. 重力崩壊	221
d. 放射流量	193	3.4 重力崩壊型超新星と元素合成	223
2.6 恒星大気構造	193	a. 超新星のタイプ	223
a. 恒星大気モデル	193	b. II型超新星 1987 A	224
b. 静水圧平衡	194	c. Ib/Ic型超新星と連星の変化	230
c. 放射平衡	194	d. IIb/II-L型超新星	231
d. 対流	195	e. $8\sim 10M_{\odot}$ の星の超新星爆発と「かに星雲」の起源	232
2.7 大気モデルの観測的検証および基礎物理量の決定	195	f. 極超新星 (ハイパーノバ) とガンマ線バースト	233
a. 視直径	195	3.5 Ia型超新星と元素合成	235
b. 放射エネルギー分布	196	a. 新星	235
c. 質量	197	b. Ia型超新星の爆発機構	235
2.8 スペクトル線の形成	197	c. 爆発的要素合成	236
a. 恒星大気ガスのスペクトル線吸収係数	197	d. 光度曲線とスペクトル	238
b. 吸収線の深さ	197	e. Ia型超新星から求めた宇宙論パラメータ	239
c. 弱い吸収線の等価幅	198	3.6 元素の起源	239
d. 成長曲線と化学組成の決定	198	4. 星の変動現象と変光星	241 [安藤裕康]
e. スペクトル合成	199	4.1 星の変光	241
2.9 恒星大気の化学組成	200	4.2 主系列前の変光星	242
a. 未進化の星の化学組成	200	4.3 脈動変光星	243
b. 進化した星の化学組成	203	a. 古典的セファイド変光星	243
c. 特異星の化学組成	205	b. こと座 RR型変光星	244
2.10 外周圏構造と質量放出	206	c. たて座 δ 型変光星	244
a. 太陽型の恒星	206		
b. 早期型星	206		
c. 晩期型星	207		

- d. ミラ型変光星 244
- 4.4 星の振動 244
 - a. 非動径振動の観測的側面 245
 - b. 非動径振動による吸収線輪郭の変化 246
 - c. 早期 O, B 型変光星 247
 - d. 短周期振動 Ap 星 250
 - e. 変光する白色矮星 250
 - f. 太陽の 5 分振動 252
- 4.5 進化と脈動 254
- 4.6 星の自転, 磁場, 黒点 255
 - a. 星の自転 255
 - b. 星の磁場 256
 - c. 星の黒点 256
- 4.7 フレア星 257
- 4.8 新星と超新星 257
 - a. 新星 257
 - b. 超新星 259
- 5. 連星 ……………[中村泰久] 261
 - 5.1 星の誕生と連星の頻度 261
 - a. 二重星と連星, 連星の呼び方 261
 - b. 連星系の頻度 261
 - c. 連星系の誕生 262
 - 5.2 近接連星系と連星の形状 263
 - a. ロッシュポテンシャル 263
 - b. ラグランジュ点, 臨界ロッシュ面・臨界ロッシュローブ 263
 - 5.3 実視連星と連星の軌道 264
 - a. 実視連星の軌道 264
 - b. スペックル連星 265
 - 5.4 分光連星と視線速度曲線, 質量関数 266
 - a. 視線速度変化と視線速度曲線 266
 - b. 質量関数 266
 - c. 質量決定の原理 267
 - 5.5 食連星と光度曲線 267
 - a. 光度曲線と測光要素 267
 - b. 近接効果など 268
 - c. 公転および食による変光の解析 269
 - 5.6 近接連星系と諸天体 270
 - a. 近接連星系の代表的なサブグループ 270
 - b. 近接連星系特有の天体 271
- 5.7 連星系の進化 273
 - a. 質量移動 273
 - b. 連星進化の例 273
 - c. 連星系からの質量, 角運動量の放出: 今後の課題 274
- 5.8 X 線バースタ 275
- 6. 星から星間物質へ ……………[尾中 敬] 277
 - 6.1 星間ガスと星間塵 277
 - 6.2 星間塵の観測 278
 - a. 星間減光 278
 - b. 星間散乱光 280
 - c. 星間偏光 281
 - d. 赤外線放射 282
 - e. 広がった赤色放射 283
 - f. X 線ハロー 283
 - g. 星間塵の星間空間中の役割 284
 - 6.3 星間塵の起源 284
 - a. 星のまわりでの固体微粒子形成 284
 - b. 星間塵の破壊過程と生成のバランス 287
 - 6.4 星間塵のモデル 288
- 7. ダークマター…………… 291
 - 7.1 ミッシングマス……………[千葉柁司] 291
 - 7.2 MACHO ……………[千葉柁司] 293
 - 7.3 褐色矮星 ……………[中島 紀] 296
 - a. 褐色矮星とは 296
 - b. 褐色矮星の発見 296
 - c. バリオンのダークマターとしての褐色矮星, 低質量星 297
 - 7.4 微光天体の探査……………[中島 紀] 297
 - a. 広域探査と L 型, T 型矮星 297
 - b. ハローの古い白色矮星の探索 298
 - c. 散開星団中の褐色矮星 298
 - d. 伴星としての褐色矮星 298
 - 7.5 ダークマターの階層性 ……[千葉柁司] 298

IV 太陽と太陽系

303

- 概 要……………[渡邊鉄哉] 304
- a. 恒星の雛型としての太陽 304
- b. 太陽系の盟主としての太陽 305
1. 恒星としての太陽……………[末松芳法] 307
- 1.1 大気構造と化学組成 307
- a. 光 球 307
- b. 彩 層 308
- c. コロナ 309
- d. 太陽化学組成 310
- 1.2 内部構造と日震学・ニュートリノ 312
- a. 標準太陽モデル 312
- b. 太陽ニュートリノ問題 313
- c. 日震学 313
- 1.3 表面現象 314
- a. 対流構造——粒状斑, 超粒状斑 314
- b. 活動領域——黒点, 白斑, プラージュ 315
- c. コロナ, プロミネンス 316
- 1.4 フレア 318
- 1.5 自転とダイナモ 319
- a. 自 転 319
- b. ダイナモ機構 320
- 1.6 周期活動 321
2. 太陽惑星間環境……………[亘 慎一] 324
- 2.1 太陽風 324
- a. 地球近傍の太陽風の性質 324
- b. 超音速の流れ 324
- c. 太陽風の β 値 324
- d. 太陽風形成の理論 325
- e. 太陽風プラズマに凍結された磁場の空間的構造 326
- f. 回帰性の太陽風変動とコロナホール 326
- g. 大きな時間変化をもつ太陽風の変動 327
- h. 太陽風の緯度特性 327
- 2.2 太陽圏(コロナから惑星間空間) 327
- a. 太陽圏の大きさ 327
- b. 太陽圏と銀河宇宙線 328
- 2.3 CME(コロナ質量放出) 328
- a. CMEの性質 328
- b. 太陽活動11年周期とCME 329
- c. 惑星間空間擾乱との関係 329
- 2.4 太陽と地球磁気圏 330
- a. 地球磁気圏の構造 330
- b. サブストームとオーロラ 330
- c. 地磁気嵐 331
- d. 放射線帯(バンアレン帯) 331
- 2.5 太陽活動と気候変動 332
- a. 太陽・地球間相互の位置関係による入射エネルギーの変化 332
- b. 太陽定数の変化 332
- c. 太陽紫外線の効果 333
- d. 太陽からの高エネルギー粒子の効果 333
- e. 太陽活動による銀河宇宙線変動の影響 333
- f. 太陽風の影響 333
3. 太陽系天体の運動……………[木下 宙] 334
- 3.1 ケプラーの法則と軌道運動 334
- 3.2 軌道要素 335
- 3.3 惑星運動 336
- 3.4 小惑星 337
- a. カークウッド間隙と群 337
- b. 平山族 338
- c. エッジワース-カイパーベルト天体 339
- 3.5 衛星の運動 339
- a. 潮汐力と作用圏・ヒル圏 339
- b. 衛 星 340
- c. 平均運動共鳴にある衛星 340
- d. 羊飼い衛星 341
- 3.6 自転運動 341
- a. 歳差と章動 341
- b. ミランコビッチサイクル 342
4. 惑星の構造…………… 343
- 4.1 地球型惑星……………[鳴海泰典] 343
- 4.2 木星型惑星……………[浅田 正] 345
- 4.3 月・水星・金星・火星の表面……………[鳴海泰典] 345
- a. 月 345
- b. 水 星 347
- c. 金 星 348
- d. 火 星 349

- 4.4 木星大気と大赤斑 ……[浅田 正] 350
- a. ベルトゾーン構造と帯状流の分布 350
 - b. 大赤斑 352
 - c. その他の模様 353
 - d. 突発現象 353
 - e. シューメーカー-レヴィ第9彗星の衝突
354
- 4.5 土星・天王星・海王星の表面
……………[浅田 正] 354
- a. 土星 354
 - b. 天王星 355
 - c. 海王星 355
- 4.6 惑星磁気圏……………[前田耕一郎] 356
5. 太陽系小天体
……………[向井 正・石元裕史・中村良介] 360
- 5.1 小惑星と彗星 360
- a. 小惑星 360
 - b. 彗星 362
 - c. 小惑星と彗星との違い 363
 - d. 彗星の探査計画 364
- 5.2 流星と隕石 364
- a. 地球に降ってくるもの 364
 - b. 隕石の定義と分類 365
 - c. 隕石の起源 366
- 5.3 惑星間塵 366
- a. 惑星間塵の諸特性 366
 - b. 惑星間塵の運動 367
 - c. 惑星間塵の起源 368
- 5.4 黄道光 370
- 5.5 惑星の環(リング) 371
- a. リングの散逸機構とリングの寿命 371
 - b. リングの起源 372
 - c. ダストリング 373
6. 太陽系の構造……………[吉川 真] 375
- 6.1 太陽系天体の数・大きさ・質量 375
- a. 太陽系天体の数 375
 - b. 太陽系天体の大きさと質量 376
- 6.2 太陽系天体の空間分布 377
- a. 惑星の空間分布 377
 - b. 小惑星の空間分布 378
 - c. 彗星の空間分布 379
 - d. 惑星間塵の空間分布 380
- 6.3 エッジワース-カイパーベルトとオールトの
雲 381
- 6.4 太陽系の回転 382
- 6.5 太陽の力の及ぶ範囲 383
7. 太陽系の起源……………[中本泰史] 384
- 7.1 太陽系の起源を探る手法 384
- a. 現在の姿から探る太陽系の起源 384
 - b. 過去の痕跡から探る太陽系の起源 385
 - c. 他の惑星系の様子から探る太陽系の起源
385
- 7.2 原始太陽系星雲 386
- a. 円盤の形成 386
 - b. 円盤の進化 386
 - c. 円盤の質量分布・温度分布 388
 - d. ダストの成長 389
 - e. 微惑星の形成 389
- 7.3 惑星集積 391
- a. 惑星集積の基礎過程 391
 - b. 惑星集積過程 392
- 7.4 太陽系内諸天体の形成各論 394
- a. 地球型惑星(水星, 金星, 地球, 火星) 394
 - b. 月 395
 - c. 木星型惑星(木星, 土星, 天王星, 海王星)
395
 - d. 衛星とリング 396
 - e. 小惑星, 彗星, エッジワース-カイパーベル
ト天体 397
 - f. 隕石と流星 397
 - g. 生命圏 398
- 7.5 太陽系の形成過程 398
8. 太陽系の探査……………[水谷 仁] 400
- 8.1 月探査の成果と将来計画 400
- a. 月探査の歴史 400
 - b. アポロ計画 400
 - c. クレメンタイン (Clementine) 401
 - d. ルナ・プロスペクタ (Lunar Prospector)
402
 - e. LUNAR-A 計画 402
 - f. セレーネ計画 403
- 8.2 火星探査と将来計画 403
- a. 火星探査の歴史 403
 - b. バイキング探査機 404
 - c. 将来の火星探査計画 404
- 8.3 金星探査の成果と将来計画 405
- a. 金星探査の歴史 405
 - b. マゼラン探査機 405

- 8.4 木星型惑星の探査と成果 406
 - a. 木星型惑星探査の歴史 406
 - b. 木星探査 406
 - c. 土星探査 407
- 8.5 彗星探査 407
 - a. ハレー彗星 407
 - b. 将来の探査計画 408
- 8.6 小惑星探査 408
 - a. ガリレオ 408
 - b. NEAR 408
 - c. はやぶさ (MUSES-C) 408

V 天文学の観測手段

409

- 概要……………[渡邊鉄哉] 410
- a. 天体のスペクトル：熱的・非熱的エネルギー 410
 - b. 大気圏外観測とスペース天文学 411
 - c. スペース天文学の発展 412
 - d. 全電磁波長観測（太陽の物理観測を例にして） 413
1. 光学観測……………[市川 隆] 416
- 1.1 屈折望遠鏡と反射望遠鏡 416
 - a. 屈折望遠鏡 416
 - b. 反射望遠鏡 416
 - c. 大望遠鏡時代 419
 - 1.2 天体分光と分光器 420
 - a. 回折格子 420
 - b. 回折格子を用いた分光器 421
 - c. プリズム分光器 421
 - d. グリズム分光器 422
 - e. ファブリ-ペロー分光器 422
 - f. フーリエ分光器 422
 - g. スリットレス分光器と多天体分光器 423
 - 1.3 検出器としての写真技術 423
 - a. 写真乾板の感光波長 423
 - b. 測光システム 424
 - c. 写真乾板の非線形性 424
 - d. デジタル化 425
 - 1.4 光電効果の応用 425
 - a. 光電子増倍管 425
 - b. 光電測光器 426
 - c. 光電効果を応用した撮像装置 427
 - 1.5 固体撮像素子と2次元検出器 428
 - a. フォトダイオード 428
 - b. CCD 428
 - c. CCDの構造と読み出し動作 429
 - d. CCDの波長感度特性 430
 - e. CCDの大型化 430
 - 1.6 干渉計 431
 - a. 回折限界とシーイング 431
 - b. マイケルソンの干渉計 432
 - c. 光学開口合成 432
 - d. スペックル干渉計 433
 - 1.7 ハッブル宇宙望遠鏡と光学スペース観測 433
2. 電波観測…………… 436
- 2.1 宇宙電波の発見と電波天文学の興隆……………[立松健一] 436
 - a. 電波天文学 436
 - b. 宇宙電波の発見 436
 - c. 電波干渉計の出現 437
 - d. 大型電波望遠鏡の出現 437
 - e. 電波観測によるさまざまな発見 437
 - f. 日本の天文学の黎明期と太陽電波研究 438
 - g. ミリ波天文学 438
 - h. VLBI観測 439
 - i. サブミリ波天文学の興隆 439
 - j. 電波天文学の将来 440
 - 2.2 電波望遠鏡と宇宙電波観測の仕組み……………[川辺良平] 440
 - a. 電波望遠鏡 440
 - b. 宇宙電波観測の仕組み 441
 - 2.3 ミリ波天文と分子分光……………[川口建太郎] 442
 - a. 電波領域のスペクトル 442
 - b. 分子の回転スペクトル 442
 - c. 2原子分子・直線形分子の回転スペクトル 442
 - d. 一般の分子の回転エネルギー 443
 - e. フリーラジカルの回転スペクトル 444
 - f. 回転スペクトル線の強度 444
 - 2.4 干渉計……………[森田耕一郎] 445

a. 相関型干渉計	445	e. ISO	464
b. 開口合成の原理	446	f. HST/NICMOS	464
c. 像再生処理	447	3.7 未来に向けて	464
d. 干渉計の課題	448	a. 地上観測の発展	464
2.5 VLBI……………[亀野誠二]	449	b. 人工衛星による観測の発展	465
a. VLBIの原理	449	4. X線観測……………[田原 謙]	466
b. スペースVLBI	450	4.1 X線天文学(高エネルギー天体现象の発見)	466
c. VLBIによる天文学	451	4.2 X線天文学の基礎	468
3. 赤外線観測……………[中川貴雄]	453	4.3 飛翔体(気球, ロケット, 人工衛星)	469
3.1 赤外線観測の特徴	453	4.4 X線望遠鏡と検出器	470
a. 低温の天体を探る	453	a. X線望遠鏡	470
b. 不透明な宇宙を見通す	453	b. 検出器	473
c. 過去の天体を探る	454	4.5 紫外線・極端紫外線の観測	475
3.2 赤外線天文学の発展の歴史	454	a. 紫外線観測の基礎	476
3.3 赤外線観測技術	455	b. 紫外線観測装置	476
a. 赤外線検出素子	455	c. 紫外線天文衛星とその観測例	477
b. 赤外線分光観測	457	5. その他の観測手段……………[大橋正健]	478
c. 副鏡チョッピング	458	5.1 宇宙線の起源とガンマ線・ニュートリノ天	478
3.4 地上からの赤外線観測	458	文学	478
a. 地球大気の“窓”	458	a. 宇宙線の起源とその観測	478
b. 赤外線観測用望遠鏡	459	b. ガンマ線天文学	481
3.5 上空からの赤外線観測	460	c. ニュートリノ天文学	483
a. 上空からの観測の必要性	460	5.2 重力波天文学の始まり	485
b. 飛行機搭載望遠鏡	460	a. 重力波の発生	485
c. 気球搭載望遠鏡	461	b. 重力波の存在	486
d. ロケット搭載観測器	461	c. 連星中性子星の合体	486
3.6 人工衛星による赤外線観測	461	d. 他の主な重力波源	487
a. 冷却望遠鏡の必要性	461	e. 重力波の検出	488
b. IRAS	462	f. 重力波天文学	490
c. COBE	463	5.3 宇宙ステーションと月面天文台	491
d. IRTS	463		

VI 天文学の発展

495

概 要……………[吉澤正則]	496	d. インドの宇宙観	502
a. 宇宙観のルネッサンス	496	1.2 ギリシアの宇宙観と天動説	503
b. 太陽系の広がり	497	a. 初期の宇宙観	503
c. 恒星世界の広がり	497	b. ヒッパルコス	505
d. 銀河系と銀河の時代	498	c. トレミー	506
1. ニュートン以前の宇宙観……………[中村 士]	499	1.3 中世の宇宙観からルネッサンスへ	508
1.1 古代の宇宙観	499	a. アラビア・イスラムの宇宙観	508
a. 古代エジプトの宇宙観	499	b. 中世ラテン世界の宇宙観	509
b. バビロニアとユダヤの宇宙観	500	1.4 地動説とコペルニクス革命	511
c. 中国の宇宙観	501	a. コペルニクス	511

- b. 太陽中心説 512
- c. コペルニクス説の普及と影響 514
- d. 無限空間に分布した恒星の概念 514
- 1.5 ティコ・ブラーエの観測と天動説 514
 - a. ティコの天文台 514
 - b. ティコの宇宙体系 515
- 1.6 ケプラーと宇宙の調和 516
 - a. ケプラーの3法則 516
 - b. デカルトと幾何学的宇宙 518
- 1.7 ガリレオの宇宙観と望遠鏡による観測 518
- 1.8 万有引力の法則の発見 519
- 1.9 地動説の検証 520
 - a. 光行差の発見 520
 - b. 年周視差 521
- 2. 万有引力の法則の発見……[福島登志夫] 523**
 - 2.1 運動の3法則の完成 523
 - 2.2 万有引力の法則 524
 - 2.3 逆2乗法則への道程 525
 - 2.4 万有引力の登場 526
 - 2.5 万有引力の実証 527
 - 2.6 太陽系の安定性 528
 - 2.7 天王星の発見 529
 - 2.8 小惑星を探せ 530
 - 2.9 海王星の予言 532
 - 2.10 月と潮汐 533
 - 2.11 そして一般相対論へ 535
- 3. 恒星世界の広がり……[吉澤正則] 538**
 - 3.1 天球と惑星の世界 538
 - a. 天球 538
 - b. 春分点の動き 539
 - c. 太陽系の大きさ 539
 - 3.2 恒星の距離 540
 - a. 年周視差の発見 540
 - b. 年周視差と恒星の距離 541
 - c. 視差楕円 541
 - d. 相対視差と絶対視差 542
 - e. 力学視差 542
 - 3.3 恒星の運動 543
 - a. 恒星の固有運動の発見 543
- b. 永年視差・統計視差 543
- c. 太陽運動 544
- 3.4 太陽周辺の恒星世界 545
 - a. 太陽近傍の恒星 545
 - b. 太陽近傍の恒星のH-R図 546
 - c. 運動星団の距離 547
 - d. ヒアデス星団の距離 548
- 3.5 銀河系の広がり 549
 - a. 天の川銀河 549
 - b. 分光・測光視差 550
 - c. 星団の距離 550
 - d. 標準光源セファイド 552
- 4. 天体物理学の誕生……[末松芳法] 554**
 - 4.1 太陽スペクトルの発見 554
 - 4.2 初めての日食観測 556
 - 4.3 ヘリウムの発見 558
 - 4.4 恒星のスペクトル分類 559
 - 4.5 ドップラー効果と光の速度 561
 - 4.6 星雲線の発見 562
 - 4.7 太陽のエネルギー源 563
 - 4.8 電波観測の始まり 564
- 5. 銀河系研究の発展……[岡村定矩] 566**
 - 5.1 ハーシェルの宇宙 566
 - 5.2 天体カタログと距離決定技術 567
 - 5.3 カプタイン宇宙 569
 - 5.4 シャプレーのモデルと“大論争”への道 570
 - 5.5 “大論争” 571
 - 5.6 今日の銀河系モデル 572
 - 5.7 銀河系中心 574
- 6. 銀河の発見と宇宙の広がり……[瀧部 勝] 577**
 - 6.1 大口径望遠鏡の登場 577
 - 6.2 シュミット望遠鏡による探査 578
 - 6.3 銀河の距離 579
 - 6.4 近傍銀河 580
 - 6.5 銀河の集団 581
 - 6.6 中性水素による銀河の観測 583
 - 6.7 銀河の形態分類 585
 - 6.8 銀河の後退速度・距離関係 587

VII 人類と宇宙 589

1. 人類と宇宙……………[磯部瑋三] 590	3.1 小惑星の発見 615
1.1 宇宙の変遷 590	a. 小惑星発見のための観測 615
1.2 人類発生の条件 593	b. 小惑星の符号と命名 616
1.3 宇宙の理解から人類の未来を考える 596	c. 日本における小惑星の発見と軌道計算 618
2. 天文学の普及活動……………[加藤賢一] 599	3.2 彗星の発見 620
2.1 星空に親しむ 599	a. 彗星の発見方法 620
2.2 学校教育のなかでの天文学 599	b. 彗星の命名法 621
a. 理科教育のなかの天文学 599	c. 日本における彗星の発見・検出・軌道計算 622
b. 天文教育の意義と役割 600	3.3 変光星の観測 624
c. 学校の天文教材 600	a. 変光星の観測方法 625
d. わが国での変遷 602	b. 変光星の観測報告 627
e. 教育改革論議のなかでの動き 603	c. 新星・超新星・変光星の発見 627
f. 学・協会の動き 603	3.4 今後の展望 631
2.3 プラネタリウムの役目 604	4. 時と暦……………[新美幸夫] 632
a. 社会教育のなかの天文学 604	4.1 時 632
b. 日本への導入と発展 604	a. 時の制度の移り変わり 632
c. プラネタリウム界の現状 605	b. 地球の自転運動に基づく時間 633
d. プラネタリウム館の投影活動 606	c. 地球の公転運動に基づく時間 637
e. その他の教育普及活動 606	d. 原子や分子の振動を利用した時間 638
2.4 公共天文台の役目 607	4.2 現在の時の決め方 640
a. 公共天文台とは 607	a. 現在の時刻制度 640
b. 公共天文台の普及教育活動 608	b. 従来の時刻観測と関連国際機関 640
c. 公共天文台の施設・設備 608	c. 現在の時刻観測と国際機関 641
d. 公共天文台への期待 609	d. 時に関連する日本の現行法律文書 641
2.5 アマチュア天文家の存在 609	4.3 暦の小史 643
a. 日本で最初のアマチュア天文家 610	a. 暦の始まり 643
b. 明治以降 610	b. 暦法で使われる基本の周期 643
c. そして現在 611	c. 暦法のいろいろ 645
2.6 星空を守る運動 611	d. ユリウス日 651
2.7 何のために天文学の普及が必要か 612	
3. アマチュアの貢献……………[山岡 均] 615	

用語解説……………653

索引……………659

和文索引 659

欧文索引 672