

目 次

序

第 I 部 序 論

第 1 章 天体の諸階層	3
§ 1.1 階層の分類	3
§ 1.2 太陽系	7
a) 惑星(7) b) 化学組成と年代測定(8) c) 太陽系の起源(9)	
§ 1.3 恒 星	11
a) 距離(11) b) スペクトル(12) c) 元素の存在量(15)	
d) 光度と色(17) e) 半径(19) f) 質量(19) g) HR 図(20)	
h) HR 図の解釈(24) i) 新星と超新星(25) j) パルサーと中性子星(27)	
§ 1.4 星 間 ガ ス	29
a) H I 領域(31) b) H II 領域(34) c) H II 領域の電波(36)	
d) 分子の観測(37) e) 固体微粒子(38) f) 磁場(39)	
g) H I 領域のエネルギー密度(40) h) 星間ガスの加熱と冷却(40)	
§ 1.5 銀 河	45
a) わが銀河(45) b) わが銀河の中心核(48) c) 渦状腕の形成の理論(49)	
d) 普通の銀河(51) e) Hubble の法則(54) f) 電波銀河(56) g) QSO(準星状天体)(58)	
h) Seyfert 銀河(61)	
§ 1.6 宇 宙	63
a) 物質と輻射の分布(63) b) 相対論的膨張宇宙論(66)	
c) 膨張宇宙の線素(67) d) 膨張の力学(68) e) 圧力 0 のモデル(70)	
f) 赤方偏移(72) g) 赤方偏移-等級の関係(75)	
h) 温度の変化(77)	

第2章 宇宙の基礎的法則と物質の状態	79
§2.1 ミクロの過程とマクロの法則	79
§2.2 統計的熱平衡	93
§2.3 輻射と電子	99
a) 輻射(99) b) 電子(100)	
§2.4 核種の分布	104
a) 完全な平衡分布(104) b) 核反応だけによる平衡(107)	
c) 核平衡からのずれ(108)	
§2.5 原子の電離	110
a) 温度電離(110) b) 圧力電離(112)	
§2.6 相互作用の影響	113
a) 極度の高温, 高密度(114) b) 核力(115) c) 結晶化(117)	
第II部 星の進化	
第3章 星の進化論の基礎	121
§3.1 星の進化論の成立	121
§3.2 近代的な星の進化の描像	123
§3.3 星の構造の基礎方程式	127
§3.4 状態方程式	130
§3.5 光の吸収係数	133
§3.6 対流による熱の輸送	138
§3.7 熱核反応	140
§3.8 ニュートリノによるエネルギー損失	142
第4章 化学組成の一樣な星	149
§4.1 時間尺度	149
§4.2 積分定理	152
a) ビリアル定理(152) b) エネルギー保存則(153)	
§4.3 力学平衡	153
§4.4 均質な星の構造	158
§4.5 星の光度	162

§ 4.6	解の一意性の問題	165
§ 4.7	動的不安定	166
第5章	星の誕生から超新星爆発まで	169
§ 5.1	星の形成	169
	a) 星間ガス雲の進化(169) b) 原始星の急激な収縮(173)	
§ 5.2	林フェイズ	176
	a) 表面对流層(176) b) 主系列への収縮(178)	
§ 5.3	主系列星と星団の年齢	180
§ 5.4	太陽ニュートリノ	184
§ 5.5	化学組成の不均一の発達	186
	a) 対流による混合(187) b) 子午面環流(187)	
§ 5.6	赤色巨星への進化	190
	a) 中心における水素の消耗と殻燃焼の発生(193) b) 等温中心核(193) c) 中心核の収縮と外層の膨張(193)	
	d) 重力収縮中心核(196) e) 縮退電子中心核(197)	
§ 5.7	ヘリウム・フラッシュ	198
§ 5.8	ヘリウム燃焼段階	201
	a) 球状星団の星(201) b) 銀河星団の星(203)	
§ 5.9	炭素・酸素中心核とその後の進化	206
	a) ニュートリノ損失のない場合(207) b) ニュートリノ損失のある中質量星(209) c) ニュートリノ損失のある重い星(210) d) 対流外層の中心核への侵入(212)	
§ 5.10	ニュートリノ損失の存否	215
§ 5.11	超新星爆発	217
	a) 炭素爆発燃焼型超新星(217) b) 鉄の光分解型超新星(219)	
第6章	星の進化の最後の姿	223
§ 6.1	白色矮星の冷却	223
§ 6.2	温度が0の高密度物質	226
§ 6.3	一般相対論的な星の重力平衡	229
§ 6.4	中性子星	232
	a) 温度0の星と中性子星の限界質量(232) b) 中性子星	

	に関する話題 (236)	
§ 6.5	超大質量星	238
	a) 超大質量星の安定性 (238) b) 超大質量星の収縮 (242)	
第7章	星の重力崩壊	245
§ 7.1	ブラック・ホール	245
§ 7.2	球対称な重力崩壊	246
§ 7.3	軸対称で回転のある重力場	250
	a) Weyl 解 (250) b) 回転をもつ重力場 (251)	
§ 7.4	一般の重力崩壊の最終状態	253
§ 7.5	重力波の放出	255
§ 7.6	ブラック・ホールから取り出せるエネルギー	258
	a) B. H. への結合エネルギー (258) b) B. H. のもつエネルギー (259)	
第III部	宇宙論	
第8章	宇宙論の変遷	263
§ 8.1	無限空間と島宇宙	263
	a) 無限の諸世界と無限空間 (263) b) Newton の絶対空間 (263) c) 島宇宙と天体起源論 (264) d) 相対論以前の宇宙論 (265)	
§ 8.2	膨張宇宙と進化する宇宙	267
	a) Einstein の相対論と慣性系 (267) b) 膨張宇宙の発見 (268) c) 膨張宇宙の理論 (270) d) 進化する宇宙 (271) e) ミクロの物理法則と宇宙構造 (272)	
第9章	宇宙の構造	273
§ 9.1	膨張宇宙のモデル	273
	a) 宇宙原理 (273) b) 宇宙の時空の計量 (274) c) 宇宙モデルの構成 (275)	
§ 9.2	定曲率空間	276
§ 9.3	一般相対論的宇宙論	279
	a) Einstein の重力場方程式 (279) b) Einstein の静止宇	

	宙(281) c) 物質のない宇宙(281) d) Friedmann 宇宙(282) e) Lemaitre 宇宙(282)	
§ 9.4	膨張宇宙のその他のモデル	283
	a) Newton 重力宇宙論(284) b) Milne 宇宙論(286)	
	c) 定常宇宙論(287) d) Lyttleton-Bondi の宇宙論(288)	
	e) Alfvén-Klein の宇宙論(288)	
§ 9.5	膨張宇宙の観測	289
	a) 膨張宇宙モデルのパラメーター(289) b) 赤方偏移と宇宙の地平線(290)	
	c) 赤方偏移と銀河の明るさの関係(294) d) 見かけの明るさと銀河個数の関係(295)	
	e) 視角直径(296) f) 宇宙の年齢(297) g) 観測の現状(297)	
§ 9.6	一様等方モデルからの拡張	300
	a) 空間の対称性と Killing ベクトル(300) b) 最大限対称空間と de Sitter 宇宙(303)	
	c) 3次元一様非等方空間(305) d) 一般の膨張式—Raychauduri の式(307)	
第10章 宇宙の進化		309
§ 10.1	進化と定常	309
§ 10.2	熱い宇宙の初期とヘリウム形成	310
	a) 輻射エネルギー優勢の状態(311) b) 輻射と物質を含む場合の膨張(312)	
	c) ニュートリノ黒体輻射(313) d) 陽子と中性子の割合(314)	
	e) ヘリウム元素の形成(314)	
§ 10.3	熱い宇宙中期での物質と輻射	317
	a) 輻射優勢から物質優勢へ(317) b) 輻射と物質の相互作用(317)	
	c) 宇宙物質の中性原子化(318) d) 輻射と物質の遊離と宇宙黒体輻射(319)	
§ 10.4	ゆらぎの成長と銀河形成	319
	a) ゆらぎ(320) b) 膨張宇宙でのゆらぎの成長(320)	
	c) 密度ゆらぎの成長(322) d) 粘性, 熱伝導とゆらぎのスケール(323)	
	e) ガス雲から銀河へ(325)	
§ 10.5	膨張宇宙を満たす物質と輻射	326
	a) 銀河物質と銀河系外物質(326) b) 銀河系外バックグラウンド輻射(327)	
	c) 宇宙線と宇宙黒体輻射(328)	

d) ニュートリノの海(329)

第 11 章 宇宙論の基礎的問題 331

- § 11.1 Mach 原理 331
 a) 慣性の起源(331) b) 反 Mach メトリック(333)
 c) Mach 原理の拡張と Dirac の議論(335)
- § 11.2 宇宙の階層的構造 335
 a) 銀河集団から超宇宙へ(335) b) 階層的構造と宇宙黒
 体放射の非等方性(336) c) 慣性系に対する回転(337)
- § 11.3 宇宙の始原状態 337
 a) 光の捕捉面の存在と時空の特異性(337) b) 時空の量
 子的ゆらぎ(339) c) ミックスマスター宇宙(339) d)
 素粒子の時代(340)
- § 11.4 重力理論とその検証 341
 a) 相対論的重力現象(341) b) さまざまな重力理論
 (342) c) ポスト Newton 近似と 4 つのテスト(344)

第 IV 部 宇 宙 線

第 12 章 宇宙線に関する基本的諸過程 347

- § 12.1 非熱的状態 347
 a) 荷電粒子の電離エネルギー損失(347) b) 熱制動放射
 (349)
- § 12.2 磁場内での荷電粒子の運動 351
 a) Liouville の定理(351) b) 断熱不変量(354) c) 粒
 子の加速(356) d) 加速効率の粒子による差(360)
- § 12.3 粒子の拡散 362
 a) ランダム歩行(362) b) Fokker-Planck の式(364)

第 13 章 宇宙線の起源についての模型 367

- § 13.1 諸成分のエネルギー密度 367
- § 13.2 太陽成分 369
- § 13.3 銀河系成分 371
- § 13.4 超銀河成分 372

第14章 原子核成分	373
§ 14.1 化学組成の観測値	373
§ 14.2 原子核変換	376
§ 14.3 宇宙線の伝播	378
§ 14.4 原始組成と宇宙組成との比較	382
§ 14.5 太陽で発生する宇宙線	384
§ 14.6 エネルギー分布	386
§ 14.7 異方性	392
第15章 電子成分	399
§ 15.1 シンクロトロン輻射	399
§ 15.2 逆 Compton 効果	401
§ 15.3 銀河電波と星間空間における電子成分	403
§ 15.4 銀河系内における電子の伝播	408
§ 15.5 超新星の遺跡からの電波	412
§ 15.6 銀河系外の電波源	417
第16章 X線および γ 線	419
§ 16.1 γ 線 (≥ 100 MeV)	419
a) γ 線の発生機構 (419)	
b) γ 線強度の方向分布 (420)	
c) 超銀河成分 (422)	
d) γ 線源 (422)	
§ 16.2 γ 線とX線の吸収	425
§ 16.3 X線源の分布	426
§ 16.4 超新星に伴うX線	430
§ 16.5 2重星に伴うX線	432
§ 16.6 Sco X-1	436
§ 16.7 新星型X線源	441
§ 16.8 銀河系外のX線源	443
§ 16.9 広がった超銀河成分	447
§ 16.10 軟X線の広がった成分	451
第17章 高エネルギー成分の諸効果	455
§ 17.1 高エネルギー成分の発生源	455

	a) 重力収縮過程にある星における加速 (455)	b) 主系列星 (456)	c) 収縮した星 (456)	d) 近接 2 重星 (460)		
	e) 銀河の中心核 (460)					
§ 17. 2	星間ガスの加熱と軽元素の起源				461	
	a) 宇宙線による星間ガスの電離 (461)	b) 軽元素の起源 (462)	c) X 線による電離 (463)	d) H II 領域 (463)		
	e) 宇宙線の圧力 (464)					
§ 17. 3	宇宙のガスの加熱				464	
	a) X 線の吸収 (464)	b) 宇宙線による電離 (465)				
第 V 部 元素の起源						
第 18 章 宇宙における元素の形成						469
§ 18. 1	元素形成理論				469	
§ 18. 2	星内合成理論				471	
第 19 章 星のエネルギー源としての熱核反応						475
§ 19. 1	熱核反応の理論				475	
	a) 非共鳴の場合 (477)	b) 共鳴の場合 (479)	c) 反応率の温度変化 (481)	d) 光反応 (482)	e) エネルギー発生率 (482)	
§ 19. 2	星内でおこる熱核反応				483	
	a) 重水素反応 (483)	b) pp チェイン (485)	c) CNO サイクル (487)	d) ヘリウム反応 (490)	e) 炭素, 酸素, ネオン燃焼反応 (495)	
第 20 章 重元素合成過程						499
§ 20. 1	α 過程と e 過程				499	
	a) Si の光分解 (499)	b) α 過程の元素 (501)	c) エネルギー発生率 (503)	d) 原子核の熱平衡過程 (e 過程) (504)		
§ 20. 2	s 過程				506	
	a) 中性子源 (506)	b) 中性子捕獲断面積 (508)	c) s 過程の元素 (509)	d) s 過程核の $\langle \sigma \rangle n$ (510)		

§ 20.3	r 過程	513
	a) r 過程が始まる星の進化の段階 (514)	
	b) 中性子過剰核の結合エネルギー (515)	
	c) r 過程元素の道筋 (515)	
	d) r 過程核の存在量 (517)	
	e) p 過程 (518)	
第 21 章	その他の諸問題	519
§ 21.1	軽元素, 重水素の起源	519
	a) Li, Be, B の起源 (520)	
	b) 重水素の起源 (524)	
	c) 早期型特異星の組成 (526)	
§ 21.2	銀河の化学組成の進化	528
	a) 星の誕生率 (528)	
	b) 星の最終段階と超新星爆発 (529)	
	c) 星からの質量放出 (530)	
	d) 星間ガスと重元素量の変化 (531)	
§ 21.3	ヘリウムの起源	533
§ 21.4	超重核は存在するか	536
文献・参考書	539