

目 次

第1章 太陽系の天体	1
1.1 太陽系の構造と惑星の運動	1
1.1.1 惑星と太陽系の力学構造	1
1.1.2 太陽系の温度構造	6
1.2 惑星の内部構造	8
1.2.1 密度と天体の組成	8
1.2.2 慣性能率（慣性モーメント）と内部構造	9
1.2.3 内部構造の推定	11
1.2.4 重力場	12
1.2.5 潮汐変形・回転運動計測からの制約	14
1.3 惑星内部の熱進化	15
1.3.1 固体惑星進化の型と熱史仮説	15
1.3.2 熱史の観測	16
1.3.3 熱史モデル	17
1.3.4 マントル・ダイナミクス	24
1.3.5 まとめ	25
1.4 惑星の大気	25
1.4.1 大気の鉛直圧力構造	27
1.4.2 大気の鉛直温度構造	28
1.4.3 大気の平衡温度と有効温度	31
1.4.4 大気の熱輸送	34
1.4.5 大気の組成	39
1.4.6 大気による電磁波の吸収と散乱	41
1.4.7 熱圏と外圏：中性大気	44
1.4.8 電離圏と磁気圏：電離大気	46
1.5 氷天体、小天体、衛星、リング	50

目 次

1.5.1	はじめに：惑星を除く太陽系天体たちとその分類	50
1.5.2	小天体	51
1.5.3	準惑星	54
1.5.4	衛星	56
1.5.5	リング	58
	参考文献	65

第2章 太陽系の起源 67

2.1	宇宙・太陽系・惑星の構成物質	67
2.1.1	自然界の階層性	67
2.1.2	太陽系の化学組成と構成物質	68
2.1.3	宇宙における元素の合成	71
2.1.4	宇宙における固体物質	75
2.2	ガス雲の収縮と星・原始惑星系円盤の形成	82
2.2.1	分子雲	82
2.2.2	分子雲の重力収縮	83
2.2.3	分子雲の観測	84
2.2.4	星周円盤	86
2.3	惑星の形成およびガス惑星の構造と形成	90
2.3.1	惑星の形成	90
2.3.2	微惑星の形成	91
2.3.3	微惑星の成長：微惑星から原始惑星へ	94
2.3.4	地球型惑星の誕生	96
2.3.5	巨大惑星	98
2.4	太陽系外惑星	105
2.4.1	太陽系外惑星の発見	105
2.4.2	太陽系外の惑星の探索	105
2.4.3	多様な惑星系	111
2.4.4	系外惑星の統計学	118
2.4.5	特異な系外惑星系	119
2.5	宇宙・太陽系における物質分化	120

2.5.1	太陽系形成初期と固体惑星での分化過程の特徴	121
2.5.2	多成分系多相平衡の熱力学と固相-気相平衡	121
2.5.3	平衡凝縮モデル	125
2.5.4	相変化のカイネティクス	128
2.5.5	非調和蒸発・反応を伴う凝縮	133
2.5.6	元素分別と同位体分別	134
	参考文献	139

第3章 彗星, 小惑星と太陽系物質 141

3.1	彗 星	141
3.1.1	彗星の起源	141
3.1.2	彗星の核	146
3.1.3	彗星の尾	151
3.2	小 惑 星	153
3.2.1	小惑星の起源	153
3.2.2	小惑星の族と分布	155
3.2.3	小惑星の分類: スペクトル型	157
3.2.4	小惑星の内部構造	162
3.3	隕 石	166
3.3.1	太陽系物質	166
3.3.2	隕石と大分類	167
3.3.3	始原隕石 (コンドライト隕石)	169
3.3.4	分化隕石・始原的エコンドライト	179
3.3.5	隕石の二分性	182
3.3.6	隕石に見られる衝撃作用	184
3.3.7	宇宙環境, 地球環境との相互作用	185
3.3.8	隕石の年代学	186
3.4	宇宙塵 (惑星間塵)	191
3.4.1	地球に落下する宇宙塵とその起源	191
3.4.2	宇宙塵と星間塵	193
3.4.3	スターダストサンプルと彗星塵と星間塵	196

目 次

3.5	有機物と生命物質	197
3.5.1	太陽惑星系における揮発性元素	197
3.5.2	地球外物質中の有機物	199
3.5.3	彗星やガス惑星の有機物	202
3.5.4	隕石有機物の起源と生成メカニズム	202
3.5.5	隕石有機化合物の光学異性体過剰	204
3.6	「はやぶさ」のイトカワ探査	207
3.6.1	はやぶさ計画	207
3.6.2	ラブルパイル（瓦礫の集まり）の実証	207
3.6.3	イトカワの組成と宇宙風化作用	210
3.6.4	イトカワ表面の物質移動	212
3.6.5	イトカワ表面の物質	213
3.6.6	イトカワの母天体	216
3.6.7	イトカワでの表面プロセス	217
	参考文献	219

第4章 地球の衛星：月 221

4.1	月探査史と「かぐや」(SELENE)	221
4.2	月の地形	225
4.3	月のリターンサンプルと月隕石	228
4.4	月の地質	235
4.4.1	全球の地質区分	235
4.4.2	高地地殻とマンツルの形成	238
4.4.3	海の火成活動	243
4.5	天体衝突とクレーター	246
4.5.1	クレーターの形状と形成過程	246
4.5.2	地質年代	252
4.6	月の内部構造	254
4.6.1	地 殻	256
4.6.2	マンツル	258
4.6.3	コ ア	259

4.7 地球-月系の軌道進化	262
4.8 月の形成仮説	265
参考文献	268

第5章 地球型惑星 270

5.1 水星の地殻と内部構造：揮発性に富み巨大コアをもつ惑星	270
5.1.1 揮発性成分に富む水星の地殻	271
5.1.2 水星の内部構造と起源	275
5.2 金星の地殻と内部構造：プルームが支配する世界	278
5.2.1 金星のリソスフェア	278
5.2.2 金星のプルーム活動	279
5.2.3 金星の火山平原とテセラトレイン	281
5.2.4 金星内部の二段階進化	283
5.2.5 金星の熱進化と水	284
5.3 火星の地殻と内部構造：生命存在可能環境を有した惑星	285
5.3.1 火星の火山	285
5.3.2 火星の内部構造	286
5.3.3 火星の磁場	288
5.3.4 火星隕石	289
5.4 金星と火星の大気	290
5.4.1 気圧・温度と大気組成	291
5.4.2 加熱・冷却と放射対流平衡：垂直方向の温度分布と熱輸送	294
5.4.3 南北のエネルギー輸送：水平方向の温度分布と熱輸送	295
5.4.4 大気の大循環	298
5.5 地球型惑星の大気散逸	303
5.5.1 大気散逸とは	303
5.5.2 2つの熱的機構：ジーンズ散逸と流体力学的散逸	306
5.5.3 非熱的散逸	309
5.5.4 拡散律速散逸と大気の間接結合	310
5.5.5 天体衝突による大気の剥ぎ取り	311

目 次

5.5.6	火星からの散逸	312
	参考文献	314
第6章	惑星系の生命存在環境	316
6.1	ハビタブルゾーン	316
6.1.1	地球生物学に基づく地球外生命	316
6.1.2	ハビタブルゾーンとは	318
6.1.3	継続ハビタブルゾーンと系外ハビタブルゾーン	320
6.1.4	地下ハビタブルゾーン	322
6.2	生命存在環境としての火星	322
6.2.1	はじめに	322
6.2.2	火星探査の歴史	323
6.2.3	確かめられた水の存在	325
6.2.4	過去における固有磁場の存在	327
6.2.5	内因的な活動度	328
6.2.6	生命の生存域と火星環境	330
6.2.7	将来の生命探査の視点	332
6.3	生命存在環境としての氷天体地下海	333
6.3.1	氷天体地下海	333
6.3.2	液体圏の存在：氷天体の内部探査	334
6.3.3	有機物の存在	338
6.3.4	エネルギーの存在	340
6.3.5	地下海の存在が示唆される氷天体	342
6.3.6	アストロバイオロジーの現場としての氷天体	344
6.4	生命の星を太陽系外に求めて	344
	参考文献	350
	おわりに：太陽系を目指す日本の科学衛星・探査機	352
	共通図・表	354
	共通参考文献	357

索 引	359
欧文索引	366

コラム目次

コラム 1.1	熱伝導と対流	20
コラム 1.2	宇宙の中の地球	64
コラム 2.1	太陽放射圧とポインティング・ロバートソン効果	76
コラム 2.2	固相-気相平衡：近似的な平衡蒸気圧と凝縮温度の求め方	123
コラム 2.3	蒸発・凝縮速度	131
コラム 3.1	星間分子	154
コラム 3.2	はやぶさ 2	163
コラム 3.3	オウムアムア：太陽系外からの来訪者	165
コラム 3.4	隕石有機物の分析手法	200
コラム 3.5	たんぼぼ計画	205
コラム 4.1	リモートセンシングによる拡散反射スペクトルの解析手法と 観測結果	241
コラム 4.2	日本の月探査による成果	244
コラム 4.3	クレーター形成過程	251
コラム 4.4	クレーター年代学	255
コラム 4.5	月の重力場測定	259
コラム 4.6	アポロ月震観測	261