



## 目 次

## 第1章 大気のエネギー源

	頁
§ 1.1 太陽の電磁放射	1
1.1.1 可視光線	3
1.1.2 赤外部スペクトル	8
1.1.3 中間紫外放射	9
1.1.4 真空紫外スペクトル	9
1.1.5 X線放射	14
1.1.6 太陽電波	15
§ 1.2 太陽面現象と電磁放射の変化	17
1.2.1 太陽面現象	17
1.2.2 太陽放射の時間的変化	27
§ 1.3 太陽以外の電磁放射源	30
1.3.1 X線星・銀河X線	30
1.3.2 地球コロナ・惑星間グロー 紫外放射	30
§ 1.4 粒子放射	31
1.4.1 宇宙線	32
1.4.2 放射線帯粒子	35
第1章 参考図書・文献について	39

## 第2章 超高層大気の基本的考察

§ 2.1 静水圧平衡大気	45
§ 2.2 大気の熱的構造 (一般論)	48
§ 2.3 熱エネルギーの1次生成	49
2.3.1 等温・単一組成平行平面大気 に単色放射が入射する場合	51
2.3.2 粒子放射による熱生成	52
§ 2.4 熱伝導	54
§ 2.5 電磁放射熱輸送	55
2.5.1 放射輸送方程式	57
2.5.2 放射冷却または加熱	61
2.5.3 地球大気における熱放射輸送	62
§ 2.6 大気組成をきめる要素	64
2.6.1 無衝突大気-惑星大気の外縁	64
2.6.2 拡散平衡大気-熱圏大気	65
2.6.3 乱流混合領域-均質圏・乱圏	65
2.6.4 光化学平衡-遷移領域・オゾ ン層	66
2.6.5 電離大気組成	68
§ 2.7 大気中の拡散現象	68
2.7.1 分子拡散	69
2.7.2 渦動拡散	71
§ 2.8 超高層大気の密度, 温度, 組 成の測定	72
2.8.1 落下球による大気密度測定	72
2.8.2 人工衛星の運動による大気 密度測定	73
2.8.3 紫外吸光法による密度測定	75
2.8.4 質量分析法による大気組成 の決定	76
2.8.5 大気温度測定	77
2.8.6 超高層での拡散測定	78
§ 2.9 モデル大気	80
2.9.1 大気モデル化の物理的背景	80
第2章 参考図書・文献について	86

## 第3章 中性大気の力学

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| § 3.1 大気運動を記述する方程式 . . . 89              | § 3.3 大気潮汐 . . . . . 105     |
| 3.1.1 回転座標系の上の流体運動 . 92                  | 3.3.1 起潮ポテンシャル . . . . . 108 |
| 3.1.2 地衡風近似と温度風方程式 . 95                  | 3.3.2 熱起潮力 . . . . . 110     |
| 3.1.3 渦度方程式 . . . . . 97                 | 3.3.3 潮汐方程式 . . . . . 111    |
| 3.1.4 大気の鉛直安定性 . . . . . 97              | 3.3.4 大気潮汐の観測と表現法 . . 122    |
| 3.1.5 摂動方程式 . . . . . 98                 | § 3.4 惑星波動 . . . . . 124     |
| 3.1.6 鉛直流の近似法 . . . . . 100              | 3.4.1 偏西風波動 . . . . . 124    |
| § 3.2 高層大気の平均的風系と大気<br>大循環 . . . . . 101 | § 3.5 内部重力波 . . . . . 126    |
|  | 第3章 参考図書・文献について . . 128      |

## 第4章 中性大気の化学

- |  |  |
|--|--|
| § 4.1 光解離現象 . . . . . 130                    | 4.3.1 古典論と実測との比較 . . . 146               |
| 4.1.1 酸素分子の吸光と光解離 . . 132                    | § 4.4 大気組成におよぼす力学効果 . 148                |
| 4.1.2 酸素解離率の計算 . . . . . 135                 | 4.4.1 オゾンと大気大循環 . . . . 151              |
| 4.1.3 オゾンの光解離 . . . . . 135                  | 4.4.2 原子酸素分布におよぼす力<br>学的効果 . . . . . 153 |
| 4.1.4 他の分子の光解離 . . . . . 139                 | § 4.5 中間圏微量成分の化学 . . . . 155             |
| § 4.2 化学反応についての基本的考察<br>. . . . . 140        | 4.5.1 大気オゾン化学の修正論 . . 155                |
| 4.2.1 化学反応係数 . . . . . 140                   | 4.5.2 窒素-酸素大気の化学 . . . . 157             |
| 4.2.2 反応の遅速の判定法 . . . . 142                  | 4.5.3 準安定原・分子の役割 . . . . 159             |
| § 4.3 酸素大気の化学-原子酸素とオ<br>ゾンの古典論 . . . . . 142 | 第4章 参考図書・文献について . . 160                  |

## 第5章 電離大気的基本的構造

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| § 5.1 電離圏物理量の測定 . . . . . 162              | 5.1.7 飛しょう体による直接測定 . 171      |
| 5.1.1 電磁波伝播の媒体としての<br>電離気体 . . . . . 163   | 5.1.8 その他の電離気体測定法 . . 172     |
| 5.1.2 無磁場・無衝突電離気体中<br>の電磁波伝播 . . . . . 164 | § 5.2 電離生成の古典理論 . . . . . 175 |
| 5.1.3 電波探測法の定理 . . . . . 166               | § 5.3 大気中での電離機構と電離源 . 179     |
| 5.1.4 地球磁場の存在下での伝播 . 168                   | 5.3.1 電離機構 . . . . . 179      |
| 5.1.5 上部電離層の探測 . . . . . 169               | 5.3.2 X線電離 . . . . . 184      |
| 5.1.6 トムソン散乱法 . . . . . 170                | 5.3.3 粒子による電離 . . . . . 186   |
|  | 5.3.4 太陽放射による電離 . . . . 188   |
|  | 5.3.5 低域電離層の電離源 . . . . 189   |

5.3.6	夜間の電離源	190	5.5.1	イオン化学反応のみちすじ	201
§ 5.4	電離圏におけるイオン化学	191	5.5.2	低域電離層の古典モデル	202
5.4.1	$E \cdot F$ 領域のイオン化学	194	5.5.3	低域電離層の新しいモデル	203
5.4.2	高域電離圏のイオン化学	196	§ 5.6	金属イオン	209
5.4.3	夜間の電離成層	197	第 5 章	参考図書・文献について	210
§ 5.5	低域電離圏の化学	199			

## 第 6 章 超高層大気の電磁気学

§ 6.1	荷電粒子の運動	213	6.3.2	地球磁場の日変化	228
6.1.1	電磁場の基礎方程式	213	6.3.3	地磁気変化の等価電流系	230
6.1.2	電磁力学の基本方程式	215	§ 6.4	地磁気変化のダイナモ理論	231
6.1.3	荷電粒子の運動	217	6.4.1	導電率の空間分布	232
§ 6.2	粒子間の衝突がある場合の荷電粒子の運動	219	6.4.2	2 次元ダイナモ理論	235
6.2.1	衝突による力	220	6.4.3	太陽潮汐と地磁気 $S_q$ 変化	236
6.2.2	静電・磁場による電子・イオンの漂動	220	6.4.4	太陰潮汐と地磁気 $L$ 変化	238
6.2.3	導電率テンソル	223	6.4.5	ダイナモ電場	240
6.2.4	中性大気に平均運動がある場合	225	§ 6.5	地磁気擾乱と電流系	240
§ 6.3	地磁気とその変動	226	6.5.1	磁気圏プラズマ対流にともなう磁場変化	241
6.3.1	主磁場の表現	226	6.5.2	極磁気嵐	243
			第 6 章	参考図書・文献について	244

## 第 7 章 高・中域電離圏の構造と力学

§ 7.1	電離大気の基本方程式	245	7.2.6	$F_2$ 層赤道異常	255
7.1.1	力学方程式	245	§ 7.3	上部熱圏の風系と電離構造	257
7.1.2	電離の生成と消滅	247	7.3.1	基本方程式の検討	260
§ 7.2	電離気体の拡散	248	7.3.2	$F$ 領域の電離大気運動	262
7.2.1	分極性拡散	248	7.3.3	熱圏の風系	264
7.2.2	無磁場中の重力拡散	249	7.3.4	$F_2$ 層季節・日変化	265
7.2.3	地球磁場中でのプラズマの拡散	250	7.3.5	熱圏の超回転運動	267
7.2.4	拡散を考慮した $F_2$ 層モデル	252	§ 7.4	Sporadic $E$ 層	267
7.2.5	2 種以上のイオンが存在する場合の拡散平衡	254	7.4.1	$E_s$ の分類	267
			7.4.2	$E_s$ の Wind-shear 理論	268
			第 7 章	参考図書・文献について	270

## 第 8 章 超高層大気発光現象

§ 8.1 準備的考察 I, 原・分子による光の吸収と散乱 . . . . . 274	§ 8.4 夜間大気光 . . . . . 297
8.1.1 Thomson 散乱と Compton 散乱 . . . . . 275	8.4.1 夜間大気光スペクトル . . . . . 297
8.1.2 Rayleigh 散乱 . . . . . 276	8.4.2 夜間大気光の発光機構 . . . . . 298
8.1.3 共鳴散乱・共鳴蛍光 . . . . . 277	8.4.3 夜間大気光と電離圏構造 . . . . . 300
8.1.4 分子スペクトル . . . . . 279	8.4.4 酸素族大気光と遷移圏の化学・力学 . . . . . 303
8.1.5 遷移確立と選択規則 . . . . . 284	8.4.5 OH 大気光と中間圏化学 . . . . . 306
§ 8.2 準備的考察 II, 粒子衝突による電離・励起 . . . . . 287	§ 8.5 昼間大気光 . . . . . 313
8.2.1 荷電粒子の飛程と制動断面積 . . . . . 287	8.5.1 共鳴散乱・蛍光 . . . . . 314
8.2.2 2 次電子のエネルギースペクトル . . . . . 289	8.5.2 光解離・光電離にともなう光学励起 . . . . . 317
8.2.3 励起断面積 . . . . . 289	8.5.3 光電子による光学励起 . . . . . 320
§ 8.3 大気放射の観測 . . . . . 294	§ 8.6 薄明大気光 . . . . . 321
8.3.1 測光と明るさの単位 . . . . . 296	8.6.1 薄明の幾何学 . . . . . 322
8.3.2 幾何学的補正および大気補正 . . . . . 296	8.6.2 アルカリ金属線 . . . . . 323
	8.6.3 酸素原子 . . . . . 325
	8.6.4 酸素分子 . . . . . 325
	8.6.5 その他の薄明大気光 . . . . . 325
	第 8 章 参考図書・文献について . . . . . 326

## 第 9 章 超高層大気の電磁的擾乱

§ 9.1 極光の分布と形態 . . . . . 328	9.5.4 極光スペクトルの強度 . . . . . 349
§ 9.2 極光の動態と極磁気嵐 . . . . . 330	§ 9.6 陽子極光中の光学励起 . . . . . 351
§ 9.3 極光粒子の時間・空間分布 . . . . . 334	9.6.1 水素原子スペクトルの発輝の理論 . . . . . 354
§ 9.4 極光粒子による大気の電離と制動放射 . . . . . 339	9.6.2 ドプラー効果 . . . . . 358
9.4.1 荷電粒子による大気の電離 . . . . . 339	§ 9.7 太陽面爆発と超高層大気擾乱 . . . . . 359
9.4.2 制動放射 X 線の発生と電離作用 . . . . . 341	9.7.1 フレア X 線と電離層 . . . . . 359
9.4.3 極光 X 線の時間・空間変化 . . . . . 342	9.7.2 プロトンフレア . . . . . 361
§ 9.5 電子極光中の光学励起 . . . . . 344	9.7.3 フレアプラズマ流と磁気嵐 . . . . . 364
9.5.1 入射電子による直接励起 . . . . . 344	§ 9.8 電離圏嵐 . . . . . 366
9.5.2 2 次電子による励起 . . . . . 345	9.8.1 電離圏嵐の統計的性質 . . . . . 366
9.5.3 電子励起のモデル計算 . . . . . 348	9.8.2 電離圏嵐の理論 . . . . . 367
	§ 9.9 地球嵐にともなう発光現象 . . . . . 371

9.9.1 極冠グロー (PGA) . . . . .	371	第9章 参考図書・文献について . . .	374
9.9.2 M-アーク . . . . .	371		

## 第10章 大気の熱構造

§ 10.1 大気放射と超高層大気の熱構造 . . . . .	376	§ 10.3 熱圏エネルギー収支の微視的過程 . . . . .	392
10.1.1 放射の基本物理量 . . . . .	376	10.3.1 光電子の初期エネルギースペクトル . . . . .	394
10.1.2 放射輸送の方程式 . . . . .	377	10.3.2 光電子運動エネルギーの緩和 . . . . .	398
10.1.3 非熱平衡下の状態分布 . . . . .	378	10.3.3 光電子の定常エネルギースペクトル . . . . .	401
10.1.4 放射による冷却・加熱 . . . . .	381	10.3.4 電子ガスの加熱と冷却電子ガスの加熱 . . . . .	403
10.1.5 非熱力学的平衡下の放射輸送方程式 . . . . .	382	10.3.5 電子温度とイオン温度 . . . . .	405
10.1.6 成層圏・中間圏の熱構造と大気放射 . . . . .	382	10.3.6 光電子の非局所効果 . . . . .	409
§ 10.2 熱圏の熱構造 . . . . .	385	第10章 参考図書・文献について . . .	410
10.2.1 熱圏温度をきめる要素 . . . . .	387		
10.2.2 熱圏温度の摂動理論 . . . . .	389		

## 第11章 新しい課題

§ 11.1 惑星大気 . . . . .	412	11.1.4 惑星の大気光 . . . . .	424
11.1.1 惑星大気の観測 . . . . .	413	§ 11.2 大気汚染の化学と物理 . . . . .	427
11.1.2 惑星大気についての基本的考察 . . . . .	418	11.2.1 光化学スモッグ . . . . .	428
11.1.3 惑星の電離層と熱圏の構造 . . . . .	422	11.2.2 炭酸ガス濃度の永年変化 . . . . .	433
		第11章 参考図書・文献について . . .	433
記号索引 . . . . .	435		
索引 . . . . .	439		
物理定数表 . . . . .	裏見返		