



# 目 次

はしがき

1	除法のできるベクトル算法	1
1.1	ベクトルの乗法	1
1.2	四元数	4
1.3	諸性質	5
1.4	逆数	7
1.5	ベクトル商表示	8
1.6	極形式表示	10
1.7	ベクトル三重積	10
1.8	ベクトルの分解	12
1.9	円錐面回転	14
1.10	微分	16
1.11	ベクトルの <sup>ベキ</sup> 巾	18
1.12	ナブラ $\nabla$	21
1.13	曲線座標で表した $\nabla$ と $\nabla^2$	24
1.14	$\nabla$ を含んだ諸公式	28
1.15	テイラー展開	31
2	二体問題	33
2.1	運動方程式と積分	33
2.2	重心の運動と相対運動	39
3	ケプラー運動	43
3.1	広義のケプラー運動	43

3.2	軌道	45
3.3	ホドグラフ	48
3.4	ケプラー方程式	50
3.5	$u$ の幾何学	53
3.6	ケプラー要素	56
3.7	ケプラー運動における 3 種の近点角	58
3.8	位置推算	59
3.9	天文単位とガウス定数	64
3.10	彗星の距離	66
3.11	初期値問題	70
3.12	巾級数解の収束の問題	73
3.13	ケプラー運動の正則化	77
3.14	ケプラー運動の平均値	80
4	ケプラー運動の展開	87
4.1	ラグランジュ級数	87
4.2	ケプラー方程式の級数解	88
4.3	$\beta^s$ の展開	90
4.4	収束の問題	91
4.5	赤道への整約と類似の展開式	94
4.6	均時差	97
4.7	空焦点近点角 $w$	99
4.8	平均近点角による展開	101
4.9	ケプラー方程式の解法	112
4.10	放物線軌道に近い場合のガウスの方法	114
4.11	放物線, 双曲線軌道のケプラー方程式の数値解	117
5	ケプラー運動の応用	121
5.1	水星の自転	121
5.2	金星の自転	124
5.3	人工衛星のランデブー	125

5.4	ホーマン軌道	127
5.5	宇宙速度	129
5.6	春分から秋分までの日数	130
6	三体問題	133
6.1	運動方程式と積分	133
6.2	相対座標	138
6.3	ヤコビ座標	139
6.4	制限三体問題	142
6.5	ティスランの判定式	145
6.6	ゼロ速度曲線	148
6.7	特別解	156
6.8	正三角形平衡点のまわりの秤動	161
6.9	直線平衡点のまわりの運動	169
6.10	三体問題の数値解	174
6.11	$n$ 体問題の最終運動	181
7	摂動論	185
7.1	摂動論の概要	185
7.2	モールトンの幾何学的摂動論——楕円軌道の場合	188
7.3	人工衛星の運動に及ぼす大気の抵抗	190
7.4	人工衛星の運動に及ぼす太陽放射圧	191
7.5	摂動力の分解	192
7.6	$a, h, U\gamma, e, U\varepsilon$ の摂動方程式	196
7.7	$I, \Omega, \omega$ の摂動方程式	199
7.8	$T$ の摂動方程式 (I)——楕円軌道	201
7.9	$T$ の摂動方程式 (II)——双曲線軌道	203
7.10	$W, M, N$ 系の摂動方程式	204
7.11	$W, R, S$ 系の摂動方程式	206
7.12	$W, \bar{R}, \bar{M}$ 系の摂動方程式	208
7.13	元期の平均近点角	210

7.14	摂動関数から導かれる力	211
7.15	人工衛星の運動と大気の抵抗	212
7.16	変形ベッセル関数の利用	215
7.17	長年摂動の方法	216
7.18	太陽放射圧の摂動	221
付録 I	楕円積分とヤコビの楕円関数	231
付録 II	ベッセル関数	235
付録 III	ルジャンドル陪関数の積分表示	239
付録 IV	月摂動論の摂動力	243
付録 V	四元数によるローレンツ変換	253
文 献		259
索 引		261
記 号 表		267

