

# 目 次

日本語版への序	1
緒言	15
第1章 光の伝播およびそれに関連した現象に関するいくつかの 実験結果についての概観	22
A. 限界速度	22
B. 光信号の伝播速度の決定	24
1. 一般的注意	24
2. ガリレイの示唆	25
3. 天文学的方法	26
a. レーマーの観測	26
b. 光行差	27
4. 実験的方法	28
a. フィゾーとフーコーの方法	28
b. フィゾーとフーコーの実験	28
5. 屈折性媒質中の光の伝播	31
a. 屈折率	31
b. 屈折性媒質中の光速度の決定	31
C. 干渉計を用いた光速度の測定法	32
1. マイケルソンの干渉計	33
2. 光の位相速度の決定	37
3. フィゾーの実験	37
D. ドップラー効果	39
1. 動く光源	40
2. ドップラー効果の観測	41

E. 垂直ドップラー効果	43
1. 実験的観測	43
2. 垂直ドップラー効果の物理的解釈	44
3. ドップラー効果に関連した考察	46
a. 動く観測者の問題	46
b. 音および電磁波のドップラー効果	47
F. いくつかの相対論的效果	50
1. 速度による消滅時間の変化	50
2. 速度による質量の変化	51
3. 質量と速度の関係を測定する方法についての注意	52
第Ⅱ章 電磁波の担体に関する考察	55
A. エーテルの問題	55
B. 実験的考察	59
1. 地球の自転	59
2. サニャクの実験	60
3. マイケルソンとゲイルの実験	62
C. エーテルに対する並進運動	63
1. 球面信号の伝播	67
2. 動く基準系に対する光の伝播	68
3. マイケルソン-モーレーの実験	70
4. マイケルソン-モーレーの実験の否定的結果についての解釈	72
5. 収縮仮説に関する考察	75
D. マイケルソン-モーレー型の諸実験	77
1. トラウトンとノーブルの実験	77
2. イサクおよび共同研究者の実験	79
E. 一連の否定的結果に関しての一般的注意	82
1. 否定的経験の一般化	84
第Ⅲ章 測定の問題	85

A. 計測の問題	85
1. 表現	85
2. 一例：電荷の計測	87
3. 格別な表現	90
4. 長さの計測	91
B. 空間座標の系	94
1. 座標ベクトルの決定	94
2. 座標計測の直接的決定	96
3. 無矛盾性の問題	98
4. さまざまな表現	99
C. 座標表現に関する問題	101
1. 「非ユークリッド」幾何についての注意	101
2. 座標変換と変形	102
3. 直交変換	104
a. 定義	104
b. 直交行列の群としての性質	106
4. 剛体	108
第IV章 ローレンツ変換	110
A. 時間の尺度	110
1. 一般的注意	110
2. 原子的時間尺度	115
3. 光信号を用いてつくられる基準系	116
B. 座標変換としてのローレンツ変換	118
1. ローレンツ変換の具体的な形	120
2. ローレンツ行列のパラメターの物理的意味	122
C. 光の斉一な伝播	124
1. 概念	124
2. 光の斉一な伝播についての検証	126

3.	さまざまな表現の関係	128
a.	伝播テンソルの変換	129
D.	光信号を用いて得られた基準系と固体を用いて得られた 基準系との関係	130
第V章	ローレンツの原理	134
A.	変形としてのローレンツ変換	134
1.	変形演算子	135
2.	ローレンツ変形	136
3.	ローレンツ変形の特別な形	138
B.	ローレンツの原理の定式化	141
1.	エーテルの流れの実験の否定的結果についての ローレンツの原理による解釈	141
2.	非直交表現	144
3.	ローレンツの原理についての一般的注意	147
C.	力学的原理	147
1.	ローレンツ変形の力学	150
a.	緩和過程	150
b.	温度変化と並進状態の変化との比較	151
c.	結合されていない系の変形	152
d.	非結合系の長さの収縮	154
2.	ローレンツ群の部分群の意味	155
第VI章	ローレンツの原理の内的無矛盾性	157
A.	ローレンツの原理に関する運動学的考察	157
1.	速度の合成	157
2.	合成則とローレンツ変形	160
B.	固体の収縮および時計のおくれについての考察	162
1.	「時計のパラドックス」	168
2.	「ふた子のパラドックス」	173

第Ⅶ章 相対論的力学	175
A. 運動量およびエネルギー	175
1. ニュートンの第一法則	175
2. 弾性衝突	176
3. 非弾性衝突	181
B. 質量とエネルギーの等価性	182
1. エネルギー増大にともなう質量増大のメカニズムに ついての注意	183
C. 離れた衝突	183
1. 実験的証拠	185
D. 四元ベクトルおよびテンソルを用いた力学法則	186
1. ニュートンの法則	188
2. エネルギー運動量テンソル	189
第Ⅷ章 電磁場	191
A. マクスウェルの方程式	191
1. 他の定式化	192
B. マクスウェル方程式の解	195
1. ゲージ変換	197
2. 遅延ポテンシャル	198
3. 先行ポテンシャル	200
4. 回遊波	202
C. 四元テンソルを用いたマクスウェルの方程式	204
1. 遅延四元ポテンシャル	206
2. マクスウェルの方程式を用いた光信号の運動	210
D. マクスウェルの方程式とローレンツの原理	212
1. 点電荷の場	214
第Ⅸ章 電磁場の相対論的効果	217
A. 一次の効果	217

1. 実効的場の強さ	218
2. 双極子の場	219
B. 四元電流の変換の性質	221
1. 動く電流の電場	222
C. その他の一次の効果	224
1. ドップラー効果と光行差	224
2. ドップラー効果の振動数	226
3. 光行差の効果	227
4. ドップラー効果の強度	227
5. 星の光の光行差の効果の観測	229
6. 屈折性媒質中の光の伝播	232
a. 分散	234
7. フィゾーの実験	236
D. 二次的效果	239
1. 電荷の自分自身への作用	239
2. 質量欠損	242
E. 連続体の相対性力学	244
1. トラウトン-ノーブルの実験の解釈	245
F. 過渡現象	246
第X章 重力の理論	250
A. 観測事実	250
B. 重力理論の問題に関する命題	252
1. 問題の数学的定式化	253
2. 斉一な領域であるための実験的規準	254
a. 一つの例	256
3. 直線的基準系の構成	257
a. 局所的に斉一な領域	258
b. 斉一な領域に関する判定規準	259

4. ほとんど直線的な基準系	263
5. 相似領域	266
C. 一般化されたローレンツ原理	268
1. 曲線座標を用いて定式化されたローレンツ原理	268
2. 不斉一領域への一般化	269
a. 物理上の例	270
3. 小さい物理系に対して成立するローレンツ原理	272
a. 第一近似	272
b. 第二近似	273
4. ローレンツ原理の定式化に際してのあいまいさ	275
第XI章 一般化されたローレンツ原理の適用	277
A. 測地線軌道	277
1. 定義	277
2. 測地線軌道のローレンツ不変性	278
a. 測地線軌道とローレンツ原理	279
B. 重力場における運動方程式	280
1. 変分原理	280
a. 測地線軌道からのずれ	281
2. 変分原理の物理的内容	282
C. 重力場と光の伝播との関連	285
1. 重力場における運動方程式	285
2. 運動方程式の積分	287
a. 近日点移動	288
b. 太陽の近傍での光の屈折	289
c. スペクトル線の赤方偏移	290
D. 重力の源と伝播テンソル $g$ との関係	292
1. アインシュタインの重力方程式	293
2. エネルギー運動量の考察	295

3.	重力方程式のシュワルツシルトの解	297
4.	場の中でのシュワルツシルトの相対論的効果	299
a.	惑星の運動	299
b.	光の屈折	300
E.	電磁場と重力	300
1.	不変な定式化	301
2.	エーテルの電磁的分極に関する問題	302
3.	電磁場の一般化理論の無矛盾性に関する注意	303
F.	重力場のエネルギー・運動量関係式	304
1.	重力	305
2.	重力方程式の他の側面	306
3.	重力の力学	307
第XII章	宇宙論的な諸問題	309
A.	物理法則の不変形式についての物理的重要性	309
1.	テンソルと格別な計測量	310
2.	テンソル $g$ の物理的意味	311
3.	伝播テンソルの正規系	313
B.	特殊な表現の物理的なかみ	317
1.	定常表現	317
2.	エネルギー・運動量分布	318
C.	宇宙論的諸問題	319
1.	天文学的観測の諸結果	319
2.	フリードマンの解	320
D.	フリードマンの解の分析	323
1.	銀河の後退	323
a.	銀河内の距離の計測量	323
b.	ドップラー効果	326
E.	マッハの原理	327



a. ティリング効果	327
付録Ⅰ 斉一領域でのテンソル解析	330
A. 基準系	330
1. ローレンツ系	330
2. 直線的基準系	331
3. 伝播テンソル $g$	332
4. ローレンツ変換	332
5. 線形座標変換の標準形	333
B. ベクトルとテンソル	335
1. 二次元 [二階] テンソル	336
a. 不変積	337
b. 擬スカラー	338
C. 場	339
1. $\mathfrak{R}$ 演算子	340
a. Grad 演算子	340
b. その他の演算子	341
付録Ⅱ 不斉一領域におけるテンソル	343
A. 多次元 [多階] 計測量	343
1. $k$ 次元 [ $k$ 階] の計測量	343
2. 多次元 [多階] 量の積	344
B. 置換演算子	346
1. 巡回置換	347
2. 行列の転置	348
3. $\pi_i$ 演算子	349
C. 曲線的表現における $\mathfrak{R}$ 演算子	350
1. 多次元 [多階] テンソル	351
2. 対称的性質	352
3. 反対称テンソル $\epsilon^{(4)}$	353

D. テンソル場	354
1. クリストッフェルの括弧記号	356
2. 共変微分	358
E. 斉一領域の判別	360
1. ほとんど直線的な表現	362
2. $\overset{(4)}{\mathbf{R}}$ テンソルの対称性	364
3. $\overset{(4)}{\mathbf{R}}$ テンソルの既約形式	366
引用文献	369
訳者あとがき	375
索引	378