

1	エネルギーの科学
2	
3	江尻宏泰
4	
5	素粒子核物理
6	大阪大学名誉・特任教授、プラハ大学客員教授
7	元カルフォルニア大学・ワシントン大学客員教授
8	
9	
10	はしがき
11	
12	プロローグ エネルギーを科学の目で見る
13	
14	1章 エネルギーの正体と原理
15	1.1. エネルギーの正体
16	1.2. エネルギーの原理
17	1.3. エネルギー保存則とエネルギーサイクル
18	
19	2章 日常のエネルギー
20	2.1. 日常のさまざまなエネルギー
21	2.2. エネルギーの活用
22	2.3. エネルギー問題の科学
23	
24	3章 地球のエネルギー
25	3.1. 地球のエネルギー
26	3.2. 地表におけるさまざまなエネルギー
27	3.3. 天地と社会のエネルギー異変
28	
29	4章 物体のエネルギー

30	4.1. 物体の内部エネルギー
31	4.2. 燃焼のエネルギー
32	4.3. 物体の変形と内部エネルギー
33	
34	5章 原子と電子のエネルギー
35	5.1. 原子の成り立ちと電子のエネルギー
36	5.2. 原子の中の電子と光のエネルギー
37	5.3. 電磁波のエネルギー
38	
39	6章 原子核のエネルギー
40	6.1 原子核のエネルギーと原子力
41	6.2. 太陽エネルギーと原子核融合反応
42	6.3. 原子力エネルギーの活用
43	
44	7章 放射線のエネルギー
45	7.1. 放射性変換と弱い力
46	7.2. 放射線のエネルギー
47	7.3. 放射線エネルギーの活用
48	
49	8章 素粒子と宇宙のエネルギー
50	8.1. 素粒子のエネルギー
51	8.2. 宇宙のエネルギー
52	8.3. 未知のエネルギーへ挑戦
53	9章 さまざまなエネルギーの単位と比較

54
55
56
57

はしがき

58

59 エネルギーはどこにでもあり、エネルギーは毎日の生活を
60 支えている。何をするにもエネルギーがいる。

61 3.11 の東日本大震災、南海トラフ、石油資源、高気温、山
62 火事、炭素、原子力、再生、自然、省エネ、飢餓、肥満、核
63 ミサイル。世はエネルギーの話題で氾濫している。

64 日常なじみ深いはずのエネルギーだが、実はどこにどんな
65 姿形であるのか、正体がはっきりしない。

66 コロナウイルスはエネルギーッシュに拡散する。全容は顕微
67 鏡写真でわかるが、そのエネルギーの所在は全く見えない。

68

69 自然界にはさまざまなエネルギーがある。ブラックホー
70 ル、太陽、森林、火山、温泉、台風、異常気象、等々。

71 2011年には太平洋プレートの歪みのエネルギーが地震と
72 津波となって出現、10年後に余震が再来。毎年ある何十年に
73 1度の豪雨雪。エネルギー異変は忘れる間もなく起こる。

74 世の中の多くの物は動いている。動物、車、風、光、電
75 波、全て動きに応じて、運動エネルギーがある。

76 エネルギーの形は変化する。太陽内の核エネルギーは、太
77 陽光になり、海水温が上がり豪雨になって山を崩す。雨の1
78 部はダムの水になり、発電所で電気エネルギーに変わる。

79 火、水車、蒸気、内燃機関、電気、電子、原子核（力）、
80 WiFi 電波。種々のエネルギー革新が文明を築いた。

81 エネルギーは現代の生活必需品だ。日常生活は、石炭や穀
82 物などの炭素（電子）の電気エネルギーと、太陽やウラニウ
83 ムなどの原子核（力）エネルギーが支えている。

84 一方で、資源の偏在、食料危機、温暖化、地球汚染などの
85 重大危機は、エネルギーに起因する。

86 1世紀の間に、エネルギー消費は15倍に増大、それに
87 応じて廃棄物も増え、文明を発展させる筈のエネルギーが文明を
88 亡ぼしかねない。エネルギーとの共存が喫緊の課題だ。

89 自然界や社会にある多様なエネルギーには、共通する「エ
90 ネルギー」という科学のコンセプトがある。

91 エネルギーの科学に基づく考察が肝要だ。人間も自然界の
92 生物の一種であるという科学の認識と科学的行動が、エネ
93 ルギーとの共存に必須である。

94

95 全ての質量（重さ）がある物体には、巨大な静止質量エネ
96 ルギーがある。運動すると運動エネルギーが加わる。

97 物体内の質量エネルギーの一部が、重力エネルギー、電気
98 エネルギー、原子核（力）エネルギー、放射線エネルギー
99 だ。それらのエネルギーの一部を取り出して活用する。

100 太陽内の核力から核エネルギーが生まれ、太陽光エネ
101 ルギーになる。火力発電所で炭素の電気エネルギーで電気を起こ
102 し、工場ではその電気でEV車を生産し、街中で充電する。炭
103 素やEVも、エネルギーの流れで考えることが大事だ。

104 エネルギーは変化するが、エネルギー保存則があり、場所
105 や形は変わっても、総量は変わらない。エントロピーの法則
106 があり、熱エネルギーは高温から低温の方向に移動する。

107 物体の質量に潜む巨大なエネルギーと運動によるエネ
108 ルギーの基本を正しく理解し、エネルギーの基本法則に則って考
109 察することが肝要だ。

110

111 エネルギーは、理工、農水林、医薬などの広い分野に関係
112 し、全ての経済活動はエネルギーが基になる。

113 多様であり多岐にわたるさまざまなエネルギーに共通する
114 エネルギーの基本を、エネルギー科学に基づいて、統一して考
115 え、合理的に活用することが大事である。

116 石油 10 トンの炭素のエネルギーを取り出すと、30 トン程
117 の二酸化炭素が排出される。同じエネルギーを核（原子力）
118 エネルギーから取り出すと、ウラニウムも放射性廃棄物も
119 数グラムで済む。

120 太陽光は当たれば暖かい。セシウムの放射線（光）は 30 年
121 位かけて少しづつ出るので大変弱く、全く感じない。危険な
122 のは短時間の強い集中豪雨、室内でも音でわかる。

123 エネルギーの全容と流れを理解し、適正に行動することが
124 大事だ。科学無視の対応と風評が破滅と悲劇を生む。

125
126 本書の目的は、どこにでもあり千変万化するさまざまなエ
127 ネルギーを、科学の視点から平易に解説することである。

128 筆者は現在まで 60 年余、国内と海外の大学・大学院で、素
129 粒子・原子核の研究と研究指導にいそしんでいる。

130 素粒子・原子核物理は、全ての物や事象を、基本の要素と
131 基本の力の原点に立って考察する基礎科学である。

132 本書は、エネルギーの基礎である物の基本の要素と基本の
133 力に基づいて、さまざまなエネルギーの基礎をわかりやすく
134 説明することに重点を置いている。

135 エネルギーの科学の基本を脳心体で理解し（註 1）、科学的
136 考察に基づいて行動する上で、参考になれば幸いである。

137

138 註 1. 原子核や放射線は、世界の主要エネルギーだ。それら
139 を脳心体のいずれでも適正に理解する人は、政界、官界、学
140 界に殆ど見られなく、毎年多くの犠牲が払われている。

141

142 プロローグ

143

144 エネルギーを科学の目で視る

145

146 自然界や日常生活のいたるところにエネルギーがある。ど
147 のエネルギーも実体はみえず、はっきりしていない。

148 宇宙のダークマター（註1）、地球のマグマと地震、炭
149 素、海水温、豪雨、森林、穀物、携帯の電波、熱意と熱愛、
150 等々。全てに大なり小なりのエネルギーがある。

151 エネルギーは目まぐるしく移り変わる。石炭のエネルギー
152 は発電所で電気エネルギーに変わり、電池に蓄えられて、EV
153 の運動エネルギーになり、地面との摩擦熱になる。

154 一連のエネルギーサイクルで、地下に埋もれた石炭のエネ
155 ルギーは地上に現れ、地球の温度を上げ、氷山を溶かし、台
156 風やハリケーンが猛威をふるう。

157 エネルギーは形がはっきりしていなく、実体がどうなって
158 いるか定かでない。しかし確かに実感できる。体外のエネ
159 ルギーは暑さ寒さで、体内の場合は腹の具合で解る。

160

161 多様で多岐にわり、相互に関連し、千変万化するエネルギ
162 ーだが、エネルギーは科学ではっきりと定義できる量だ。

163 さまざまなエネルギーを、共通するエネルギーというコン
164 セプトでとらえ、共通の法則の基に考察することができる。
165 すなわち、科学の目でとらえるエネルギーの科学だ。

166

167 自然界と日常生活のエネルギー

168

169 エネルギーは、自然界のあらゆる物や現象にあり、日常の
170 全ての生産と消費活動の基になっている。

171 宇宙創成のビッグバン、ダークエネルギー（註1）、銀
172 河の運動、超新星爆発、燃える太陽、宇宙マイクロ波、ニュ
173 ートリノ、等々。宇宙は壮大なエネルギー劇場だ。

174 一方、地球では地下プレートの歪と地震・津波、火山と温
175 泉、豪雨と台風、常態化した異常気温、山林火災、等々があ
176 る。これらは地球を取り巻くエネルギー異変だ。

177 化石燃料の炭素、原子核、X線や放射線、太陽光、冷蔵
178 庫、テレビ電波、熱情と熱心、等々は日常のエネルギーだ

179 化学合成、燃焼、電池、弓、ばね、等のエネルギーは、物
180 体内部の分子・原子周辺の電子のエネルギーが基になる。

181 超ミクロの原子核には、巨大な核エネルギーが潜み、その
182 解放によって炭素の数百万倍のエネルギーが出現した。

183 生命活動もエネルギーが基礎になる。植物は太陽光のエネ
184 ルギーで葉をしげらせ実を実らせる。動物はそれを摂取して
185 活動のエネルギー源にする。

186 新型コロナウイルスは人からエネルギーをもらって増殖
187 し、精力的に拡散し、ある時は変異する。

188

189 世の中の多くの物は動いている。宇宙は膨張し、地球は自
190 転・公転、光やニュートリノや電波は光速で飛び交う。

191 惑星、生物、車、風、海流、等々は全て動いている。ジェ
192 ット機は高速で大洋をわたり、情報は光速で地球をめぐる。
193 それぞれに、動きに応じた大小の運動エネルギーがある。

194 自然界や社会の諸々の現象や運動の基には、それらを動か
195 しているエネルギーがある。したがってそれらに共通するエ
196 ネルギーの視点でとらえることが可能だ。

197

198 エネルギーは千変万化する

199

200 エネルギーは、所在も形もはっきりしていないが、所を変
201 えて移動し、時と共に変節する。

202 地下に埋もれた石油に内蔵する電気エネルギーは、燃えて
203 熱エネルギーとなり、温暖化ガスとなって地球に還る。

204 太陽内の水素核の核（原子力）エネルギーは太陽光エネ
205 ルギーになり、そのエネルギーで稲が育ち、人は米のカロリ
206 を活動エネルギーに変え、ある時は恋に燃える。

207 ウラニウム金属内の原子核の核のエネルギーや化石燃料
208 内の電子の電気エネルギーは、発電所で高電圧の電気エネ
209 ルギーになり、街に送電され、各家庭でスマホを充電、電波の
210 情報エネルギーになって各地を巡る。

211 武漢のコロナは世界をめぐる、変異してもコロナだが、エ
212 ネルギーは全く変わり、元の面影を残さない。

213

214 入力エネルギー＝有効活用エネルギー＋廃棄エネルギーの
215 等式が成り立つ。活用されたエネルギーは、活用後に捨てら
216 れ、活用されないエネルギーはそのまま捨てられる。

217 LED 電球の場合、入力電気エネルギーの40%くらいが光の
218 エネルギーに変わり、あとは熱エネルギーになる。。

219 世の中のさまざまなエネルギーは、移動し変貌するが、そ
220 れらの変化は、エネルギーの科学を基に理解できる。

221

222 エネルギー文明と地球の危機

223

224 文明はエネルギーと共に発展してきた。蒸気エネルギーに
225 による産業革命、電気と電子エネルギー革命、原子核（力）に
226 によるエネルギー革新、電波エネルギーによる IT/AI 革命。

227 エネルギー革新によって、生産、消費、日常の諸活動が一
228 新した。現代文明はエネルギーに支えられている。

229 最近の 100 年で世界のエネルギー消費は 14 倍に急増。人口
230 は 3.5 倍で、1 人当たりのエネルギー消費は 4 倍増。同じく
231 エネルギー廃棄も急増。まさにエネルギーの大異変だ。

232 一方、エネルギーが原因で地球と文明が危機にある。石油
233 等の資源の枯渇、大気と海の汚染、二酸化炭素の急増、常態
234 化した異常気象、電力危機、食料不足と飢饉。いずれもエネ
235 ルギーに起因する深刻な危機だ。

236

237 高所にあるダムの水の位置（重力）エネルギーは、発電で
238 電気エネルギーに変わり、同量の水が下流に廃棄される。

239 石炭の炭素は電気エネルギーが高い。それを燃焼させて取
240 り出すと、あとにエネルギーの低い二酸化炭素が残る。

241 水が高きから低きに流れるように、エネルギーは高い状態
242 から低い状態に移る。その際にエネルギーの一部が文明の維
243 持発展に活用され、残りが地球に廃棄される。

244 現代文明はエネルギーによって栄え、21 世紀の地球はエネ
245 ルギーによって存亡の危機にある。

246 自然界の生物の一種として、80 億人の人間は、その他の多
247 くの生命体と一つの地球で生き、生かされている。

248 生命現象は、有効なエネルギーを消費し、無用になったエ
249 ネルギーを廃棄するというエネルギーサイクルだ。エネルギ
250 ーについての正しい科学の認識と科学に基づく適正な行動
251 が、エネルギーと地球との共存に肝要だ。

252

253 エネルギーには科学の法則がある

254

255 20世紀の初め、アインシュタインはエネルギーの基本を明
256 らかにした。それは質量のある物体に内在する静止質量エネ
257 ルギーと、動く物体にある運動エネルギーだ。

258 20世紀には量子力学が確立し、原子、分子、電子、光と電
259 波、素粒子、原子核、宇宙の基礎科学が大きな進歩を遂げ、
260 エネルギーの基が明らかにされた。

261 物体の基の要素には、分子、原子、電子、原子核、等々の
262 基本の要素がある。それらには固有のエネルギーがある。

263 エネルギーの基は、重力、電気力、核力、弱い力の四つの
264 力だ。それに基づく重力エネルギー、電気エネルギー、原子
265 核（力）エネルギー、放射線エネルギーがある。

266

267 エネルギーには科学の法則がある。エネルギー保存則があ
268 り、エネルギーの形や質は変わっても、エネルギーの総量は
269 変わらない。エネルギーの入力なしに、エネルギー機関を永
270 遠に作動させることはできない。永久機関は存在しない。

271 熱エネルギーの流れ（変化）にはエントロピーの法則があ
272 り、高温から低温に熱エネルギーは移動する。

273 物体の質量に潜む巨大なエネルギー、運動によるエネルギー
274 ー、エネルギーを生む基本の力を正しく理解し、エネルギー
275 の基本法則に則って考えることが肝要だ

276

277 自然と社会の多様なエネルギー

278

279 エネルギーは、自然と社会のあらゆる分野に関与してい
280 る。物理、化学、生命、地学、等の理学と、電気通信、機
281 械、原子力、情報等の工学の広い学問分野が関係している。

282 農水産、医薬、工業、等の各種の産業、交通と情報、消費
283 と生産、経済、レジャー、スポーツ、研究開発、等々の諸活
284 動は、全てエネルギーが基になる。

285 さまざまなエネルギーの科学やエネルギー問題は、個々の
286 分野、業界、問題ごとに、個々に論じられている。

287

288 実際、さまざまなエネルギーに応じて、各学会や各業界ご
289 とに、独自のエネルギーをはかる物差しと呼び方がある。

290 仕事のエネルギーはジュールとエルグ、仕事をするのに必
291 要な糖分や脂肪は大カロリーだ。

292 電力エネルギーの強さと量はワットとワット時で、電力を
293 使って灯すLEDの光のエネルギー強度はルーメン。

294 地震はマグニチュード、津波は高さXメートル（註2）、
295 噴火の大きさは噴火物（溶岩）の体積でいう。

296 気象の場合、大気と海水は温度、豪雨は1時間当たりミリ
297 メートル、豪雪はある時間の積雪センチメートル、台風はヘ
298 クトパスカル。毎年の異常気象は何十年に一度。

299 同じ光や電波でもさまざまだ。太陽光は1平米1キロワッ
300 ト、明るい星の光は1等星、紫外線に赤外線、スマホの電波
301 （光子）は1-2ギガヘルツ、放射線（光）はベクレルとシー
302 ベルト。一方音波の高さはドレミファで強さはデシベル。

303 100種のエネルギーの量や強度に100種の呼び方がある。
304 日常生活に便利な呼び方と合わせて、科学としての統一した
305 量と強度の認識と理解が必要だ。

306 さまざまなエネルギーに共通するエネルギーを、一つの科学
307 の視点で論ずることが大事である。

308

309 エネルギーの科学

310

311 「エネルギーの科学」では多種で多様なエネルギーを、科
312 学の一つのコンセプトとしてとらえ、あらゆる物体や運動に
313 ある、さまざまなエネルギーの量と変化を、科学の法則に則
314 って考察する。

315 本書は9章から成る。第1章はエネルギーの基礎だ。基本
316 の要素、基本の力、基本の法則について解説する。

317 次の第2章では、日常の熱・電気エネルギーや太陽（原子
318 力・核）エネルギーについて述べ、石油（炭素）、電気、核
319 エネルギーの有効活用と、資源や廃棄物の問題に触れる。

320 第3章以下は各エネルギーについての解説だ。第3章では
321 私たちの地球をめぐるさまざまなエネルギーを紹介し、天地
322 異変のエネルギー、エネルギー資源、地球温暖化を論ずる。

323 物体内の電子の電気エネルギーは、石油や糖分の炭素エネ
324 ルギー、ばねの弾性エネルギー、海水や気温エネルギーなど
325 に現れる。第4章ではこれらの電気エネルギーを述べる。

326 第5章は原子分子内の電子のエネルギーと電子の動きによ
327 る光や電波のエネルギーについて説明する。

328 原子核と太陽エネルギーと放射線のエネルギーは、原子核
329 エネルギーだ。原子核と放射線のエネルギーの仕組みと活用
330 について、それぞれ第6章と第7章でわかり易く解説する。

331 素粒子と宇宙はエネルギーの最前線である。ニュートリノ
332 の質量エネルギー、未知の素粒子のエネルギー、その究明に
333 向けて挑戦が続く。

334 宇宙は無限に近い物質やエネルギーが満ちている。殆どが
335 ダークマターやダークエネルギーで、見えない未知のエネル
336 ギーだ。これらの最先端のエネルギーを第8章で述べる。

337 最後の9章でさまざまなエネルギーの換算や比較表を示
338 す。全く違う形のエネルギーを一つの物差しで見る。

339 註 1. 宇宙全体のエネルギーの大部分は、見えない物質のダー
340 クマター（暗黒物質）や見えないエネルギーのダークエネ
341 ルギー（暗黒エネルギー）だ。第 8 章で詳しく述べる。

342

343 註 2. 3. 11 の宮古市の田老地区。10 メートルの巨大防潮堤内
344 の街中、広報車は「津波は 4 メートル」を叫び続けた。実
345 際の津波は、全てを破壊し、140 トンの巨石を内陸に押し
346 上げた。現在は新設の 15 メートルの超巨大防潮堤内の街
347 中、津波報道は前と同じく高さをメートルでいう。

348