

自然の偶然性

石原 純

必然の世界

「若し私に一つの足場が与えられるならば、私は一本の挺子で容易に地球をも動かすことができる。」
之はアルキメデスが彼の発見した法則に対する絶大の確実性への自らの信頼を云いあらわした言葉であった。ガリレイやニュートンが科学を数学的基礎の上に築きあげてから、それは久しく必然の世界として育てられて来た。併し科学の偉大さは実に専ら之が故に存するのであると考えられていた。我々がニュートンの万有引力の法則を用いて未来の日食や月食を計算するとき、それがいかにもみごとに実際と適中するのを経験することによって、我々は一步を神の領域に踏み入れたような気持ちを感じることができはしないであろうか。それと同時に我々は科学の法則の命ずるところに従って種々の機械をつくって、之等を我々の生活に利用する。機械が「最も従順な労働者」であり得ると云うことは、実にこの必然の世界を明らかにする科学の輝かしい勝利をもの語るものでなければならぬ。科学を手にかけることによって我々人間がいかに賢く且つ力強くなされたかは、言葉に余るばかりである。

ところが人間は屢々しばしばまたその知識に於て誇り過ぎることがある。一を聞いて十を知ると云うことは、数学の世界では可能であるかも知れないが、未知の自然に対しては必ずしもそうはゆかない。自然を科学の方法によつて探求して、そのなかに必然の世界が存在することを知ったからと云つて、直ぐに自然の全部がそうであると推論するのは、現在歩んでいる街路がどこまででも限りなく続いていると考えるのと同様であるかも知れない。それは事実の上で証拠立てられたわけでもなく、また正当に論理的に理由づけられたわけでもないからである。併ししか之に関して、嘗て人間は一つの迷論に陥つた。自然に於ける必然的法則は普通に之を因果関係と称し、かような関係の成立することを因果律として云いあらわしている。そしてカントによれば、この因果律こそは自然科学の一つの範疇であつて、これなしには自然科学は成立しないと考えられた。若しもそうであるならば、自然科学が必然の世界に閉じ込められるのは極めて当然でなくてはならない。そして実際に十九世紀に至るまで一般を支配していた機械論（力学的）的自然観は確かにこの思考を裏書きするように見えた。ところが既に十九世紀に於て原子論的物質観が擡頭して、そこには法則の必然性を必ずしも保持しないようになり、更に今世紀に入つて量子論の勃興に伴つて、遂に自然科学の根本基礎たる因果律への疑問をさえ提出するに至つたのは、抑も何によるであらうか。これが私のここで説こうとする主題である。

偶然の意味

自然が因果的必然の法則に支配せられていると云う場合に、我々は普通にそのなかに於ける現象的過程を時間及び空間座標に関する適当な微分方程式であらわすことができる。この意味でそこには現象の時間空間

的記述が可能であると云う。微分方程式が与えられれば、或る最初の時刻に於ける状態を定め(始原条件)、且つ限られた空間範囲の境界に於ける一定の条件(限界条件)を満足させることによつて、この空間内に起る現象を完全に知ることが出来る。つまりこの現象の関する限りに於て、我々はすべての未来を予言することができるのである。

若し一切の自然現象がかようなものであつたならば、我々はそう云う自然に対して明らかに決定論(宿命論)をもつてであろう。そしてこの結論を宇宙全体について適用するとき、我々は嘗てラプラスが云つたように、「若し或る全知者が現在に於ける宇宙の状態を悉く観測し、且つすべての因果的法則を知るならば、彼は之に基づいて宇宙のすべての未来をその数学的計算によつて予言し得るであろう」と云うことをも承認することが出来るにちがいない。或る人々はこの結論を生命の世界にまでも拡張しようとした。生命もまた物質的な肉体の上に現われる一現象であると解釈することによつてその当然な理由を根拠づけた。かくてそれらの人々には宇宙の歴史はその最初の瞬間の状態によつて全く決定せられてしまったように見えるのである。恐らく多くの他の人々は之を併し本當と思わないであろうのに。

私はここに生命の世界にまで立ち入ることを差し控えよう。そのの本質に対しては我々はまだ殆んど無知の儘に残されているからである。併しそれにしても少なくとも物質の世界に対して上の結論は果して正しいであろうかどうかが、更に厳密に吟味されなくてはならない。若し論理に誤りがないとすれば、結論の正否は前提の正否によつて定まるのである。上の場合には、前提は、或る全知者が現在に於ける宇宙の状態と法則とを完全に知ると云うことなのであつて、ここに疑問が挟まれねばならないのである。

先ず第一に、状態とは何を意味するかと云うことが明瞭にされる必要がある。それは観測されるところのものである以上は、同一対象に対しても観測の方法によって異なることが可能である。同じものを裏から見るのと表から見るのとは違うであろうし、又或る物体の色や形状を観るのと目方を測るのとで、それぞれの種類の状態が現われる。多分上の主張者は簡単にそれらの一切の観測による状態を全部含めたものを指すのであると答えるであろう。併し我々はそれだけでは納得するわけにゆかない。

例えば気体が無数に沢山の分子から出来ているとする場合に、気体論では分子が不規則に運動をしていると仮定し、その運動エネルギーの平均の大きさが温度が定まり、又分子が壁に衝突して之に及ぼすところの力の平均で圧力が定まることを論じている。我々が気体の状態を温度や圧力によって規定する場合には、それは多数の分子の平均状態に関するだけであつて、或る一つの分子がどんな路を通つてどんな速さで動くかにはよらない。物理学上では前者を巨視的状态、後者を微視的状态と名づける。勿論、個々の分子に対する微視的状态が悉く知られるならば、それによつて巨視的状态はおのずから定まるわけであるが、実際に於て我々は無数に存在し且つ相互に見分け難いような分子の個々のものを捉えて一々その運動を追究することは恐らく出来難いし、また単に巨視的状态を見る目的だけから云えばそれは全く不必要なのであつて、確率論の法則に従つて分子の全体を取り扱ひさえすれば十分である。しかも普通の意味で気体の物理的状态と云うのは巨視的のものに外ならない。

能く知られたように、丁度この例は生命保険に於ける予期の問題と全く同様のものである。生命保険では一定の年齢の人間が或る年齢まで生きることの確率を計算して、その保険料を定めているが、それは多数の

人間の全体に対して意味をもつのであって、その中の或る個人が幾歳まで生きるかを決して保証するわけではない。その人は実際に或る偶然によって明日死ぬかも知れないし、また非常に長生きをするかも知れない。生命保険の法則から云えば、特定の個人の生死は全く一つの偶然の出来事に属する。それと同じ意味で、気体論に於ては個々の分子の微視的状态は、それが運動の法則に従う限りに於て必然であつても、巨視的状态に於ては偶然なのである。即ち同一の対象に対してもその見方によつては状態は必然ともなり、偶然ともなるわけである。

生命保険の場合に、被保険者が十分に多数であれば、大体に於て保険会社の経営は安全であると云い得るけれども、併しかしいかに多数のものに対してでも、例えば不時に激烈な流行病が襲うとか、非常な大地震が起るとかによつて、全体が死亡することが絶対にないとは保証されない。そう云う場合には之等の危険を除外しない限り会社は破産するより仕方がない。それと同様に気体論の法則は何等かの偶然によつて打ち破られないとは限らない。熱が高温度のものから低温度のものに移動すると云う熱力学上の法則は、やはり同様の意味をもっている。それ故我々が普通に経験する場合に、それはいつも成り立っているけれども、併しかしエディントンが指摘した通りに、或る極めて稀な偶然によつて、我々が煖だんろ爐に手をかざして冷気を感じると云うことが決して起らないとは、誰しも保証し得ないのである。

かような関係を見た上で、我々は上に疑問として挙げたものに対して次の解答を与えなくてはならない。我々が宇宙の状態として云い表わしたところのものが、種々の物体の巨視的状态を意味するならば、之に關して確率論的な、即ち蓋然的な法則が成立する限りに於て、我々は決して現在の状態からその未来を一義的に確

言することはできない。たかだか未来に於てどうなるのが最も確からしいと云うことの予言だけが可能なのである。従つて宇宙の全体を時間的に追隨するならば、既にこれだけの関係によつて、いつかすら我々に知られた法則から外^はずれる偶然の機会が廻つて来ないとは云われない。即ち宇宙の歴史は決してその最初の瞬間だけでは宿命的に定まらないのである。

状態の客観性

自然科学的に考えられる状態と云うのは純粹に客観的なものであるのは周知の通りである。実際に観測を行う場合には、何かしら人間の主観的判断に訴えなければならぬから、観測された事実のなかに多少の主観の混入することを免かれなわけであるが、自然科学者は出来る限りの注意をもつて之を取り除くと共に、それらの事実を互いに理論によつて関係づけることによつて、純粹に客観的な状態を捉え得ると信じている。かような状態の特質は、それを観測する我々自身の主観によつてそれが少しも左右されないと云うことである。例えば最も簡単な場合として一つの物体が我々の眼前に存在すると云うことを直接に我々の眼で観測したとするならば、この物体の存在を一つの客観的な事実として認める限りに於ては、たとえ我々が眼を塞いで之を見なかったとしても、この事によつて物体の存在事實は少しも影響されないものであつて、物体は単に之を支配する自然科学的法則に従つてのみ変化し得るだけである。丁度この結果は謂わゆる唯物論の仮定と一致するのであるが、そう云う関係で一つの世界観としての唯物論を自然科学と混同してはならない。

併^{しか}しそのことは扱^さ措^おいて我々はここでは、単にどんな対象についてもその状態の客観性が考えられるこ

とを認めておけばよい。ところでかような客観的状态を観測するには、何等か適当な観測手段を用いる必要がある。そこでこの観測手段それ自身が対象の状態に影響しはしないかと云う問題が起る。若しも云う影響が多少でも免かれなるとすれば、我々は純粹に客観的な状態を観測するのに困難を感じるわけである。従来物理学などではかような困難は少なくとも原理的には問題とされなかつた。例えば我々が望遠鏡で星を覗く場合に、我々が望遠鏡を星に向けたたり、之を覗いたりすることは、星に何等の影響をも与えはしない。我々はただ星から来る光を望遠鏡で受け取りさえすればよいのである。ところが之に反して心理学などの実験になると明らかにそうゆかないことがわかる。例えば或る人の心理がどう働くかを実験しようとする場合に、被実験者を実験者の前に立たせると、そうでない場合と比べて多少でも心理の変化が起ることが一般には考えられる。普段は十分に学力のある人間が試験場では気が焦って失敗すると云うことなども同様の例である。そう云う場合には被実験者に対して自分が実験されていると云うことを少しも知らしめないことが必要となるが、それでは実験を行うことができないと云う場合もあるであらう。

丁度之等と同様な関係が物理学でも電子の場合に見出だされるようになった。電子は物質の最小の粒子で、それ以上小さいものは実在しない。それと同時に、最近の量子論では光がそれぞれの振動数に応じて之に比例する一定のエネルギー(エネルギー量子)をもった粒子の如くに作用することが認められ、之を光子(又は光量子)と名づけている。光子の拡がりはその波長で測られるから、波長の小さいもの程光子の拡がりは小さく、併しそのエネルギーは大きくなるわけである。それ故我々が例えば電子の位置を精密に知ろうとして小さな波長の光を之に当てて見ると、電子は光子の作用を受けてその位置を変じてしまうこととなる。従つて電子

をもとの儘ままに止めておいて光で照らすと云うことは波長の小さい光では出来ない。丁度歩いている人間の足の位置を知るために、足に触って見ると、人間は驚いて跳び退いてしまうと云うように、観測手段を施すことによつて、もとの状態が攪乱されると云うことになる。つまりもとの儘ままの客観的状態の観測はこの場合には全く不可能なのである。

併しかしこの事からして電子の状態の客観性を否定する人々があつたら、それは全く誤つている。即ちこの場合に観測手段として光を用いたとしても、そこに現われるのは光と電子との交互作用に外ならないので、それは依然として一つの客観的事実であつて、我々の主観には関係しない。唯一我々は電子をその儘まま放置した有様を観測することが出来ないで、電子と光との交互作用がいかにかを観測し得るだけなのである。我々の物理学はそう云う観測の結果を云いあらわすことはできるが、電子が自分でどう動いているかに就いては何等の知識をももち得ないのである。だからと云つて、電子が自由意志をもつて勝手に動いているとか、又は或る未知の法則に従うとか考へるのは実証を離れた単なる空想に過ぎない。それは物理学的の観測では立ち入ることのできない世界であるからである。云い換えれば、そこでは状態の客観性を缺くと云うのではないが、それについては原理的に不可知なのである。

実在界の奥にかような不可知の世界があると云うことは、我々の観測手段が限界を有つていると云う事から当然に結果するのであつて、別に不思議なわけではない。この不可知の世界こそ神秘に属すると、声を揚げて説く人もあるが、真の神秘は恐らくそんな処にあるのではなくて、却かえつて手近な、寧ろ我々の熟知する処にこそ見られるのであろう。望遠鏡で視られる星は或る遠さままでに限られて、それ以上の遠方には不可知

の世界が拡がるからと云つて、幽霊や化物ばけものがそこにのみ在ると思ふのは笑うべきである。却かえつて太陽や地球が現に見られるように存在することこそより多く神秘なのであらう。

不確定性原理

電子の位置の観測に関して、電子をその儘まま放置した際の客観的状态を知ることができないのを上に説明したが、その場合に我々が光と電子との交互作用を観測するならば、その結果からして我々は電子の状態については或る程度の精密さの範囲内で之を知ることができるのである。この事はここで甚だ大切な事実で、たとえ電子の運動を完全に知ることはできないにしても、我々は之に関して全然不可知のではなく、或る程度までは観測に入るのである。ハイゼンベルクはこの観測の不確定の程度を次のように見出した。

「電子の位置に対する不確定の範囲と、運動量に対するそれとの相乗積はプランク常数と同程度の大きさである。」

ここでプランク常数と云うのは、光子のエネルギーを振動数で除した値に等しく、量子論に特有な普遍的常数である。

この関係は、電子に対してどんな観測手段を用いても常に成り立つもので、之をハイゼンベルクの不確定性原理と云う。

電子に光を当てる代りに、飛来する電子を小さな孔から通過させると考える。この場合に電子の位置を確定するには孔を十分に小さくする必要がある。併しかし孔が小さくなると、通過する電子は方向を曲げられて或

る点に到達するから、その速さ、従つて運動量の大きさはその曲り方の如何に依じて不確定となり、位置の不確定の程度との関係は、同じく上の原理を満足することが見出だされるのである。

かような不確定性に伴つて、電子の個々の運動については我々はまた単に或る確率をもつてしか之を知ることができないのである。例えば上記の如く電子が或る孔を通過した後、何れかの方向に到達すると云う確率は、謂わゆるシュレーディンガーの波動函数であらわされる。ド・ブローイー以来シュレーディンガーによつて發展された波動力学で電子を波動として考えていると云う意味は、この波動の強さによつて電子がその点に存在する確率をあらわすのであると解釈される。孔を通過した電子が波動として廻折現象を呈すると云うことは、実際には実験的に確かめられた事実として有名であるが、それは孔を通過する多数の電子が確率法則に従つてすべての方向に分布される有様が、丁度波動の廻折理論で与えられるものと一致するのを示すのである。

かくて我々が電子について観測するところのものは之等の確率の間の関係としてあらわされるので、それらはたとえ必然的な数理的関係を形作るとは云え、根本に於ては電子に対する偶然性を含むものである。この意味で電子の現象はもはや決定論的な因果律に従うものではない。しかもこの場合の偶然性は、前に気体論について述べたように、単に観方の相違によつて結果するのではなく、寧ろ原理的に之を取り除くことのできないものであることは、不確定性原理によつて示されるのである。物理学の根本に於てかような偶然性の横たわることが明らかにされたのは、実に量子論の持ち来した驚異すべき結果である。そしてこの偶然性の存在によつて宇宙の歴史が決してその最初の瞬間の状態だけで定まるものでないと云うことは、今一層確

かにされるであろう。

自然の偶然性の具現

量子現象が単に確率をもつてしか規定せられないと云うことは、すべての物質現象もまた本質的にはそうであることを意味するものでなくてはならない。我々は今日まで自然科学に於て謂わゆる必然的な因果関係として見做されるものにのみ眼を向けて来たが、若し我々が之に反して自然の偶然的な具現に注目するであろうならば、恐らく自然がいかに多く偶然に充ちているかに寧ろ喫驚するでもあろう。

先ず我々の宇宙がどんな種類の物質のどれ程^ずつかの量から構成されているかを考えて見る。現在に於て之に関する知識は尚お不十分であるけれども、太陽及びその他の恒星のスペクトル線の強さから推定される処によると、水素が著しく多量に、之に次いで酸素、マグネシウム、鉄、カルシウム、炭素、窒素等の順に見出だされる。何故に之等の元素が宇宙に多量に存在するかと云うことに対しては、恐らく原子核の安定度と云うようなものが考えられなくてはならないであろう。原子核を構成する陽子や中性子や電子が最初互いに独立に存在すると考えた際に、之等が互いに結合するあらゆる機会に於て、何がそこに結果するかは、宇宙全体から見では偶然的な確率に従うとしなくてはならないであろう。少なくとも我々が之等の要素的粒子の個性を識別し得ない限りに於て、またそれらの間の交互作用が量子現象に見るような偶然性を示す限りに於て、我々の認識するところはすべて統計的な結果のみであつて、従つてその結合に關しての安定度の大きいもの程、存在の確率もまた大であるとするのが妥当であると考えられる。かくて我々の物質的宇宙は全くか

ような偶然的確率によって成立しているとするのは決して不当ではないであろう。

生物の発生については、私はここで何ごとも具体的に述べることのできないのを遺憾とする。併し生物に對して特に必要な水や空気やその他の物質が地球上に豊富に与えられていると云う事実や、一方に於ては水の種々の物理的性質が極めて特殊的例外的であること、例えば比熱が甚だ大きく、四度に於て最大密度を有し、氷が水よりも却^{かえ}って比重の小さいことや、表面張力の大きいこと、他物をよく溶解することなどを考え合せると、いかにも自然の巧妙な關係に驚くのであるが、それはかような環境に適する生物のみが生存し得るのであると解するならば、恰も安定度の大きな物質が存在の確率を多く有するのと同様に、環境に適する生物的機構が大なる存在の確率をもって地球上に現われていると考えることも無理ではないであろう。そして環境のまるで異なつた星の上には、我々の地球上の生物とはまるで異なつたものが生存しないとは限らないのである。否、そう云うものの存在の確率は、少なくとも地球上に於ける生物存在の確率と同様に思考し得られるわけである。

更に宇宙の歴史について考えて見るならば、曾て熱力学の法則に従つて宇宙は遂に熱平衡の状態となつて、すべての現象が死滅するであろうことが科学的に言されたことがあつた。併し最初に説明した通り熱力学の法則は決して絶対的に必然なものではなく、それは単に熱現象が確率の大なる状態に向つて起ることを意味するものに外ならないことが、統計力学の理論に於て明らかにされて以来、既にボルツマンの指摘せる如く、熱力学の法則に反するような現象といえども、多少の存在確率を有することが認められるようになった。従つて宇宙の将来は決してどんな科学的法則によつても因果的に必然に定められたものではなく、却^{かえ}つて或

る確率によって支配されているのである。之は我々が現象として認識するものが、謂わゆる微視的な対象の状態によるものでなく、巨視的な統計的状态に関する点で肯定されなくてはならないのである。

ここで我々は見方を変えて、自然の因果関係についてもう一度考察してみよう。自然には根本的に因果関係若くは法則性が存在しなくではならないとするのは、本来一つの仮定に過ぎない。我々は多数の経験からして法則性を見出だして、この仮定を事実であると認めるのに外ならないのである。ところが之を単なる経験的事実とする以上に、原理的に自然の本質であるとすることに對しては、一つの重大な疑問が起されることを見遁がしてはならない。

すべての因果的法則は時間的に或る一定の過程が現われることを規定するためには常に適当な始原条件と環境条件とが与えられなくてはならない。例えば或る物体が斯く斯くの状態に持ち来されるならば、斯く斯くの法則に従つて変化すると云うのである。ところが厳密に考えるならば、所定の始原及び環境条件は果していつでも望み通りに実現されるであろうか。多くの場合に、各々の物体にはその種々の変化に應じて固有の歴史が附属するのが寧ろ当然である。一度引延ばした弾性体は力を取り除いても完全に元の有様に戻らないであろうし、一度磁化した磁性体は磁場を取り去つてなお磁化を全く失わない。謂わゆる履歴現象又は余効は厳密には恐らく到る処に現われる。更に微視的状态にまで立ち入るとするならば、寧ろ原理的に同一の状態の到底再び達せられないことが考えられる。これらの場合に我々が最も厳格な意味に於て因果的法則について語つたとしても、それは結局実現せられない空想でしかないであろう。かくても因果的法則が自然の本質であると云い得るであろうか。強いてそうであるとすれば、この際の自然なるものは実在し得ない一

つの理想的存在と見るより外はなかつたであろう。

それ故、我々は寧ろ因果的法則を或る近似的な程度の事実を示す経験的な帰結であると解する方が適切である。既に経験的な結果であるならば、それがすべて統計的な現象の上にあらわれ、従つて単に或る確率をもつてのみ成り立つとしたところで、少しも不都合はないのである。

偶然と必然との関係

必然の世界を全く否定してしまうならば、我々の自然科学は成立しないし、そして自然科学のすべての効用は失われてしまうであろうと云うことは普通の意味で恐らく本当である。それ故にこそ多くの人々は量子論の出現に対して甚だ狼狽し、そして之に対して何等かの方法をもつて因果律を救い出し、之によつて必然の世界の存在を保証せしめようとするのである。他方では、かような世界の實在を理由なしに「信仰し」ようとする唯物論者もまた之に追隨して、量子論の如きを一つの観念論であるとして排撃しようとする傾向さえある。併し量子論こそ、却つて我々が観測し得るだけの事実を最も正直に云いあらわしているものであることは、上に説いた通りである。我々は一切の観念的假定を取り除き、専ら事實に即することに於て強固な自然科学的立場を建設しなくてはならない。

すべての自然現象はその根本的要素に於て統計的な確率をもつてのみ我々の認識に入り込むことができ、従つて本質的には何等の因果的關係をも見ることはできないと云うのが、量子論の我々に示す処である。併し種々の確率の間に決定的な關係のあらわれることもあるし、また確率の値が大きくて1に極めて近いと云うことも

あり得る。従つて之等の中に我々が謂わゆる必然の世界を見出だし得ることは必ずしも怪むに足りない。それは原理的に絶対な必然ではないが、経験的に十分な程度に於て必然と称し得るであろう。そしてこの意味に於て従来考えられた自然の法則性は依然として存在し、自然科学の利用は少しも損われないであろう。

我々に重要であることは、認識論的に自然の本質を必然と見做さないと云うことである。必然は却つてあらゆる偶然の交錯のなかに生れるとするのである。これこそ寧ろ自然の機構として最も巧妙なる所以であると解せられないであろうか。そればかりでなく、我々はかようにして始めて自然の法則性が常に近似的の意味をもつことを適切に説明することのできるのも、上に述べた通りである。自然を根本的に必然の世界であるとするのは、この点で却つて一つの難点を示すものである。

嘗てエミール・メーエルソンは次の冒葉を述べたことがある。

「自然が一定の法則に従っていると考えることは自然を研究する際に於ける重要な仮説である。だが、決定論者はこの仮説を实在自身の性質であると考え、点に於て誤っている。」

これは彼の哲学的思索に基づいて発せられたものであるが、併し恰も我々の言おうとする処と符合している。彼は「实在を法則の集積と同一視せんとする試みは、人間の思惟の産物に過ぎないものに实在を帰せんとする観念的な試みである」とも言う。法則が単に人間の思惟の産物であるか否かは暫らく措くとしても、我々の観測によつて見出だし得るすべてが必然的な法則性を備えたものでないことについては、深く反省しなくてはならないであろう。

量子現象に対する因果性の缺如が、我々の観測手段に於ける一つの制限から結果するのであるとしても、か

よような制限は自然の本質上原理的に取去ることのできないものである限りは、之を科学的事実として認識するより外はないのであつて、之に反してそこにも或は何等かの因果関係が隠れているのではないかとするのは、却^{かえ}つて非科学的な揣摩^し臆^ま測である。要するに、自然の法則性又は因果律なるものは、その根本的要素としての量子現象に於ては認められないとすることが、現在に於ける量子論の最も妥当な認識論的解釈でなければならぬ。かくて自然の決定論的意味は破壊せられるけれども、之に代るところの自然の偶然性の上に於て、我々の自然科学が負うであろうところの十分な輝かしい使命を果さしめることができる、私は信じている。

(經濟往来、昭和十年六月号、及び日本評論、昭和十年十月号)

-
- 『自然科学的世界像』（岩波書店、一九四〇年二月、第四刷）所収。
 - PDF化するにあたり、旧仮名遣いは新仮名遣いに改めた。
 - 旧漢字は新漢字に改めた。
 - 読みやすさのために、適宜振り仮名をつけた。
 - PDF化には`LATEX2ε`でタイプセッティングを行い、`dvipdfmx`を使用した。

科学の古典文献の電子図書館「科学図書館」

<http://www.cam.hi-ho.ne.jp/munehiro/sciencelib.html>

「科学図書館」に新しく収録した文献の案内、その他「科学図書館」に関する意見などは、「科学図書館掲示板」

<http://6325.teacup.com/munehiroumeda/bbs>

を御覧いただくか、書き込みください。