

# 自然界の運動法則に基づく 時空／時間性の諸問題

佐 藤 均

Entwurf zur Raumzeitwelt oder Zeitlichkeit, die  
beruht auf dem Bewegungsgesetze in der Natur  
vorhandenen physikalische Erscheinungen

von  
Hitoschi Satoh

時間は動く，しかし自身の中で動くのではなく運動を決め，測定する為にはこれが演ずる役割によって動く（ビザンチンの哲学者プロクレス（AD 5C頃））

ライプニッツは出来事から時間を，又ニュートンは時間を出来事から構成しようと努めた。

空間が三次元だと断ずるのは仮定に過ぎない。（B. リーマン）

## 序 文

かれこれ20年近く科学思想史に従事して来た筆者にとって時間論は最大のアポリアであり又魅力あふれるテーマの一つであり続けた。しかし多くの理由から時間とは何かをストレートに問題にするにはためらいを感じて来た。と云うのはこの問題は元来純正哲学者が取り組んで来た問題であり，しかもいかなる優れた哲学者も時間に関してはどうも，もてあまし気味でしばしば精神分裂気味ですらあった様に思えるからである。この時間問題に最も真剣に或いなやんだ4世紀の聖アウグスチヌスは云った。「人が時間と何かと聞かない内は自分にはそれが良く判ったつもりだが一旦問われるとすっかり判らなくなる」と。科学技術の極度に発達した今日ですらこの言葉は真理であると思う。又ある仏教哲理では「時間とは存在及び存在者を不可避的に変化させる能力であり，時間は存在に他ならない」と断じているがこれも真言であろう。

イオニアの暗き哲人ヘラクレイトスのパンタレイ（万物は流される）も有名であり時間を流れるものとして捉えた。時間が逆戻りせず一方向的に流れる事は疑いないのだが一般には無限の過去から無限の未来へ向って流れる様に感じられるが臨濟宗では反対に時間は未来からや

って来て過去へと流れると観ずると伺ったことがある。我々すべての存在者は時間の大河の中にどっぷりつかっているのであり、決して岸边から流れを傍観しているのではないから、その禪宗の時間観は正しいかも知れないし案外適中しているだろう。他方ギリシヤ世界では、例えばプラトンのティマイオスの中に出てくる理念学と関係する時間を数とする考えは我々にはわかりにくい。これに比べればアリストテレスの「運動の数」つまりものの運動が時間を決めるのであり、時間が運動を決めるのではないと断ずる考えは流石であり我々現代人にもうなずけるであろう。確かに暦表時間は天体の運行や自転の観測により決められるからである。そればかりが一切の時計は、たとえばセシウム原子時計や水晶時計、水素メザ-時計等に至る迄上述の原理に則して作製され活用されている。その意味では時間とは何らかの時計で計測可能なものであると云っても良いであろう。原子すらも未だなかった大宇宙の初期ではフォトン、ミューオン、中間子等の素粒子が時計の代理をはたしていたわけである。

例のニュートリのだって良いであろう。昔から倅い様々な科学者が物理学とは何かの定義付けをして来たのであるが、例えば J. C. マクスウエルはそれを物体と運動を扱う領域としたがこれは動力学を扱う分野（つまり物体が時間とともにどう位置を変えて行くかを扱うもの）と定義すれば大変すっきりとしてほぼ完全な定義となろう。物理学では時間を完全に判ったものとしていたってクールに扱っている様に思われる。とりわけ1905年のアインシュタインの相対性理論出現迄はカント、ニュートンの絶対時間が唯一の正しい時間観と大前提されて来た。物理学者は致ってクールに運動方程式中に独立変数としての時間  $t$  を持ちこみ、それが多大の成果をもたらしたことは周知の事実であり又偉大でもあった。少くともこの大前提に反する経験事実は我々日常生活の範囲やかなりミクロの世界に到る迄のスケールでは不思議な程なかったと云って良い。つまりこれは因果律とも密接に関係している、因果律が破れることが仮にあるとすれば大がいの自然法則はばらばらに分解、崩かいしてしまいがこんな事にはならないで済むのである。しかしその為にも時間は一方向的にしか流れないと困るわけである。その理由は恐らく相対論迄考慮したエネルギーの正值性にある筈である。 $C$  を光速とすれば  $CP^0 > 0$  がこの事を保障するのであろう。<sup>7)</sup>  $p^0$  は運動量第四成分を示す。のっけから小むつかしい事を述べたがともかく今日では時間論ブームであり、1966年にはアメリカに国際時間学会すら出来たそうである。多分これはドイツのメスバウワーが原子核時計の原理を発見して以来次々と原子時計が実用化されたのきっかけになったのであろう。更に時間問題は航空機の異常発達の為時差ぼけ（西まわりより東まわりの方がひどいとされるが）、生物での体内時計\*問題等現代生活とのかかわりも少くない。体内時計特に人間のそれは一説によると一日が25時間位とされている。25時間周期とは奇妙であるが時計そのものとしては誤差が大きすぎ結局実用にはならないだろう。又同じ時間間隔でも楽しい時は近く短く感じられ、つらい時は長く感じられるのは何故かを扱うベルグソンの、心理学的時間論も昔からひきつづいて存在する。筆者はここではなるべく運動法則に立脚した時間論を展開してみたいと思っている。つまり物理学的時間の枠

からあまりはみ出さない様にしたいと或う。(\*その運動法則はあいまで未知である)

## §1 時間論の困難性と重要性について

今仮りに或る人が「時間、空間についてはわざわざ教えてもらわなくても自分が生れつき知っているものと全く同じ時間、同じ空間に違いない」と主張するとすればそれは正しくないとしなければならないだろう。確かにその人は先験的、直観的に時間空間を或る程度正しくとらえているかも知れないが本当の所は我々は先験的には意外な程知らないだろう。と云うのは実は自然法則更には運動法則が時間、空間の真の性質を決めているからであり、その運動法則それ自体はその人にとっては教えてもらわない限り知らないからである。先行すべきものは運動法則なのだと言うのが現代の基礎科学の立場であり態度なのだ。「はじめに自然法則ありき」なのであってそれを度外視して先験的時間、空間を考えるのは間違いであろう。より具体的に云えば等速度直線運動での慣性法則から導かれるのが Newton の絶対時間、絶対空間の考えであり、他方 Galilei の相対性原理と光速不変の原理からの帰結として Einstein の特殊相対性理論とミンコフスキーの四次元の時空、更に等価原理つまり重力的質量  $m_g$  と慣性質量  $m_I$  を同定することから導かれた時空が一般相対性理論(新しい重力理論)等々となるわけである。Newton 的時間、空間はよく因果律的受動的であると主張されて来た。つまりそこでは運動を記述する為の rigid な座標目印しと云った役を時間、空間がにないしかもその両者は全く独立した概念であった。それに比べて Einstein の特に一般相対論での時空は Newton の場合よりはるかに態動的なものと考えられるのである。つまり中味の物質が重力を創り出したが時空に影響を及ぼし、その逆に時空が中味の物質のあり方迄規定すると考えられるからだ。およそ運動概念から時間を捨象してしまえば幾何学が出来上るだろうが Newton 力学は、ユークリッド幾何学に、又特殊相対論では擬ユークリッドのそれに、又一般相対論ではリーマンの非ユークリッドのそれに対応すると考えられる。それらの逆の考えつまり幾何学に時間概念を導入し動力学化すればそれぞれの物理学が出来上ると云うわけである。さてたとえ時間論を運動法則の枠に限定したとしても時間それ自体には色々な困難性がひしめいているがどの様に又何故そうなるのかを考えて見よう。その困難性の最大なものは「時間」には様々な相対立し相矛盾する概念が共存し複雑にからんでいるからであろう。そうすると時間は何らかの意味で N. Bohr の言を借りれば「相補的」だと云える (Contralia sunt complementa)。更に量子力学の用語を使うことが許されれば時間とはきわめて複雑な縮重(縮退)概念でありこの縮退を除去しないかぎりとても明解な時間の把握には到らないと信ずるのである。往々にして時間論を展開する論文には一見大変一人よがりつまり自分だけ解ったと思われるものがあるがこれは正に時間そのものが持つ縮重性に違いない。しかし幸いな事に後述する様にこの自由度の退化(縮重)をいくらかでも緩和すべく方策が皆無ではない。<sup>18)</sup> その方策の一つは所謂進化

論的階層的時間論であるとだけ当面言っておこう、その階層的時間論それ自体は勿論宇宙膨脹論からヒントを得たことはすぐわかるだろう。そこでは時間そのものの **Ursprung** が究明されている。現在でも **Big-Bang** による膨脹のはじまりが例えば今から 160 億年と云う有限値に於いてであって作故無限の過去ではなかったのかと云う事に対しては心情的に抵抗を感じる人は少なくないだろう。その有限値の算定の根拠の一つは **Newton** の絶対時間尺を強引に宇宙の初期迄外挿した為でもあろう。もし **Newton** の時間尺の代わりにミックスマスター宇宙論で有名な **Misner** のモデルを使用すれば、このミスナー尺は可能性としてだけだが宇宙のはじまりは有限値を与えることが出来ずやはり無限大つまり無限の過去と云うことになり、ある種の人々の心情とマッチさせることは不可能ではない。このミスナー尺は対数尺に似て時間の間隔は太古にさかのぼる程狭くなる様に按配されている。同モデルでは宇宙初期の形状を球の代わりに細長い回転円体から **Big-Bang** がはじまるとする振動宇宙論である。ニュートリノの粘性が次第に楕円体から球形へと変えていったそうである。いかなる種類の時計もうんと過去へさかのぼれば一目盛のインターヴァルが短くなると云うのは一般に物理学的に受け入れられた仮定でもある。すると先述の 160 億年前と云う有限値もかなり **tentative** なものと言わざるを得ない。その他にも現在の宇宙モデルには色々不満や理解出来ない所が少なくない。我々は四次元の球を具体的にイメージすることは出来ないし、そうかと云って「空気を入れてふくらむ風船の表面を全宇宙と思え、その内部や外部は考えるな」との教科書的モデルには満足出来ないし、もっと明解なモデルの出現を期待するものである。このモデルの困難さの根底にはやはり時間問題が横たわっているのであろう。物理学のプロであろうとなかろうと普通我々人間は時間を距離化することによってそのイメージを作ろうとする本能みたいなものがある。先刻も少しふれたが時間は空間に比べてはるかに自由度が低いがこの事が又時間への理解を困難にしているもう一つの原因である。純粹に時間の流れを幾何学的に表示することはむづかしいが例えば有名なミンコフスキーのグラフや重力陥没を考慮したクルスカルク図、又ファイマン-ダイアグラムの様に大抵下から上へ引いた直線で表現されている。はたして時間が一本の線で表現し切れるのか又は哲学者フッサールの言の如く、時間は志向性をもったネット状の構造を考えた方がよりよいのであろうか。フッサールの時間の網状組織構造を現代流につきつめれば多時間理論、或いは超多時間の理論（空間の各点に時間と空間の汎関数  $\Psi(x, y, z, t)$  をあてがう）迄へと考えて進めなくてはならないであらうか。両方の可能性を考慮すべきではあるが普通は独立系に対しては一本の線でも充分であらう。

現代物理学の時間はいわば無意識的時間であり、単独ではなく「時間、空間、物質」、  
「時間、空間、重力」、或いは「時空と粒子場」等々エコロジカルに把握した時のみ有効で有意義な概念形成を可能にすると教えている。その意味でも時間と空間と中味の物質とは又相補的だと云わざるを得ない。互いに他を規定し合うからである。だから例えば素粒子を学ぶことは粒子自身物質自身の性質を知ること以外に時間、空間の性質をも調べていることになる。とりわ

け重要なのは粒子の対称性と保存則との関係と 1:1 の対応性が存ることであろう。

ともかく粒子の挙動を調べることによって時空の性質を経験的に知るのである。従って「時間や空間なら教えてくれなくてもはじめからオレは知ってるんだ」との主張は大うそを言うてゐる事になる。<sup>11)</sup> 時間空間の枠組がはじめからがっちりきめられていてその中で物がどう動くかを研究するのが物理学だとする考えは一見正しい様で実はそうではないのだ。

## §2 意識との関連性について

かつてドイツの H. Weyl は「時間、空間、物質」の著作の中で時間はすべての意識の流れの源だと表現したことがある。筆者も最近つくづくと時間を論ずるのに人間の意識とか心の情景、記憶等を全く排除しては不可能なのではないかと思う様になった。自然科学では対象の他に人間の心や意識を含めて論ずるのは従来はいけな事になってはいたのだが時間問題の特殊性の為にこれはやむを得ないであろう。

その他にも時間は空間と並んですべての数学的集合概念の原型ともなっている様に思われる。更に周知の如く量子力学の哲学的側面は様々に拡張はされたものの特に観測の問題は完全に解決したとは或えないし例えば Wigner は観測理論は人の意識迄考えに入れないと完結しないのではないかと主張して来た。考えて見ると量子力学には波束の収縮等いくつか従来の西欧の伝統的な考えつまり因果律や矛盾律とは相入れないおかしな面を少からず含んでいるのである。特に1936年頃の N. Bohr に対するアインシュタイン、ポドルスキー、ローゼンの反論は有名である。アインシュタインは Bohr のあいまいさの原理「相補性」や「不確定性」に死ね迄反対したが今日から見れば Bohr の主張の方が正しいことは明らかであろう。

結局時間論にもこの量子力学の先例的考えを入れる必要がある筈だと信ずる。つまり矛盾律にがんじがらめに縛られては時間論は展開できない事を。実はこの世紀の大論争も色々原因があらう。Einstein は「位置と運動量が同時に正確にきまらない様なもの（この場合電子だが）はたして実在と呼べるのか」と云って Bohr に反論したとされている。しかしこの論争自体の背後には彼等の頭には時間に関する異った認識があったとも指摘されている。これについては階層的時間論の所で言及するであらう。Bohr は時空的記述と因果律的表記は対立し同時に相補的であると更に反論を加えたと云う。波と粒子は無論相補的だ。

## §3 「時間の矢」の問題

物理法則は微分方程式の形で与えられるが殆んどの場合時間反転 ( $t \rightarrow -t$ ) に対し不変である事が証明されて来た。これを普通時間の可逆性と呼んでいるが正しくは時間性つまり現象の可逆性なのである。所が自然法則自体は可逆性であっても現実に我々が見る世界は非可逆のそ

れが圧倒的に多いことを知っている。そのわけは一つには熱現象がかかわって来る事と関係する熱力学の物理法則を表現する。例えば フーリエ・ケルビンの方程式は明らかに時間反転 ( $t \rightarrow -t$ ) で符号が変化してしまう。<sup>1)</sup> 熱現象は完全に非可逆と云うわけだ。思うに熱力学第二法則\*はエントロピー  $S$  によって定式化されているがこの量こそ時間の方向性を識別する唯一のものではないだろうか。そればかりかこれは自然現象を広く統一的に説明する手がかりともなり従って時間論を展開する上でやはり不可欠な要素であり得よう。Clausius が指摘した如く若しエントロピーが増え続け完全な熱平衡に達したら成程そこで時間も停止し、いわゆる熱の死滅で終わるだろうが現実には決してその様な事は起らないのである。しかしその為にも宇宙は膨張しつづけ絶えず発生したエントロピーを捨てる様になってなくてはならないことが判ろう。そればかりか物質や生命の発生進化自体がエントロピーを減らす過程\*\*そのものなのだ。(\*  $dS \geq \delta Q/T$ , \*\*  $dS = deS + diS$ )

宇宙の進化はだからエントロピーの増大と減少の両方が対立しつつ併存するとしなくてはならないだろう。重力の存在は言う迄もなくエントロピー減少に貢献し様々な秩序発生を助ける筈だ。宇宙の膨張が停止する様なことがあればものの進化発展もやむことになるだろうがそこでは時間を論ずる意味も(我々の心情とも一致するのだが)少くなるであろう。逆にビッグクランチに向おうものならそこでも時間性(Zeitlichkeit)は反転するが時間(Zeit)それ自身は尚元のままに進むと考えられよう。「時間の矢」と主言葉は英国の Sir. A. エディントンにより発明されたとされる。これは時間の流れが非可逆一方向的な事実を適切にあらわしたのであるが自然法則で時間の矢が問題となれるのは熱現象つまり熱力学、統計力学以外に上述の宇宙論的時間の矢が考えられる更に電磁気学の放射法則にも妥当するだろう。周知の様に電磁波の方程式の解には二通りありつまり先行解と遅延解があるが両方とも元の方程式の解となり得るが遅延解の方を我々は選ぶことになっている。そのわけは平たく云えば古典的因果律に合致させる為と思われる。付言すれば量子力学の Schödinger 方程式は可逆的時間性を有する為時間の矢は存在しない。 $t \rightarrow -t$  の反転が波動関数  $\psi \rightarrow \bar{\psi}$  を伴うからである。 $\bar{\psi}$  は  $\psi$  の共役複素関数<sup>4)</sup>である。尚 Einstein の相対論は熱力学そのものではないのだから理論としては、例えば Blackhole を予言すると同時にその反対の white hole も予想する。だが現実には white hole はありそうにない。一説によれば Big Bang そのものが出遅れてスタートした white hole だとの考えも可能とされている。Black hole のいはば時間性の反転が white hole となると云うわけである。トポロジカルにこの両者が worm hole<sup>1)</sup> で連結されているモデルに致っては大変神秘的で俗人にはわかりにくい。Black hole の近傍では時間の進みが必ず遅くなりついには時間が完全に停止してしまうことすらある事を知ることとはとりわけ重要であろう。これは光速に近い物体に関し時間が延びる特殊相対論の帰結以上に我々に強い感銘を与える。(所謂ローレンツ収縮)。重力場の作用が時間の進み方に確かに影響される事実は Messbauer 効果を利用した原子核時計の実験で実証された。

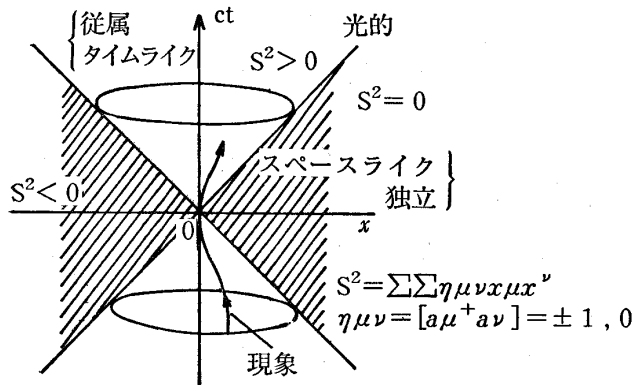
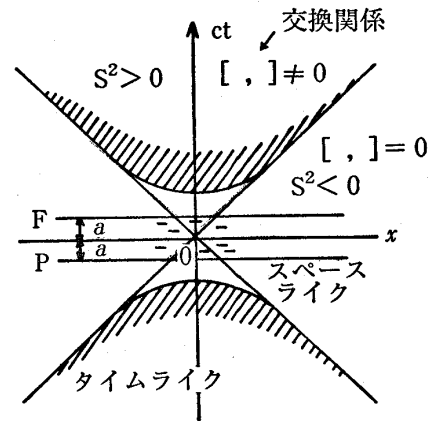


図 1(a) 不定計量ミンコフスキー図



(b) 点場と因果律の修正  
[ ] は交換関係, - は素領域

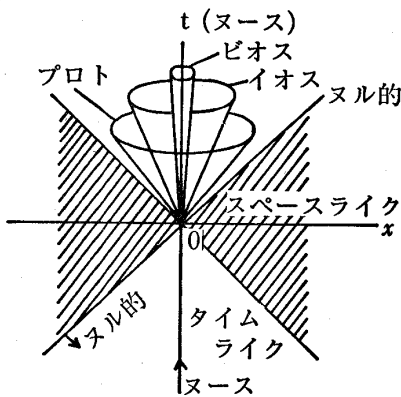
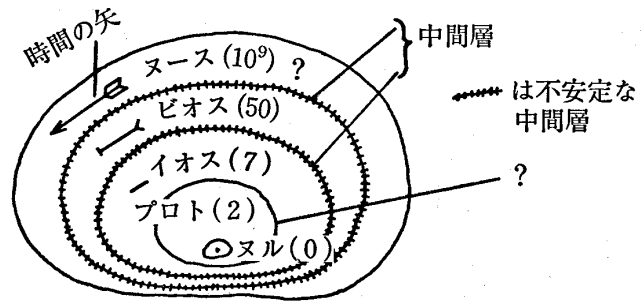


図 2(a) 時間スペクトルの階層と範囲  
(分節化した構造)



(b) ( ) 内はノイマンの複雑度  $\log N$

#### §4 時間スペクトルの原理 (八階層の時間性)

時間論にも分節化は必要であろう。一体、時間は力学量なのだろうか？

一見自由度の低いのっぺらぼうな時間に階層構造が在る等と主張すれば心理的抵抗感をおぼえる人は少ないだろうがこれは一体どうゆう理由によってそうなるのだろうか。その大前提としては時間そのものが物質、空間と共に正に時間的に発展進化して来たものである事、更に時間が物質の進化により複雑度が増大しその複雑度の尺度を示すと考えられるからであろう。とりわけ宇宙膨脹論が時間理解に与えた影響は計り知れない程である。J. Fraser<sup>5)</sup> の鋭い直観に基けばおよそ次の様な階層に分類される。I. ヌル (又はア) 時間的時間……特殊相対論に従う光子、重力子、ニュートリノ等質量がゼロの粒子の支配した宇宙のごくごく初期の宇宙が未だ極く小さかった頃の時間である。II. プロト時間……これは量子力学が支配する世界に対応する時間でヌル時間と共に未だ「時間の矢」は現われていない。幾何学的イメージでは大きさのない点でしか画けない様な時間でその起源はプランク時期以降とされる。III. イオスの時間……ニュートン力学や一般相対性原理及び普通物理学や化学反応速度論等が問題にす

る時間、で運動方程式で我々が何気なく使う  $t$  の記号は正にこれに当る。その幾何学的イメージは線分が適当だが未だ時間の矢は明瞭でない。イオス時間での系の複雑度はかなり高まってくる。この種の時間は自然科学では最もわかりやすいであろう。この自然法則を表わす方程式は従って  $t \rightarrow -t$  変換に対し不変であることを特徴とする。可逆性原理が支配する世界の時間なのである。次に、Ⅳ. 熱力学乃至はビオスの時間……これはすでに物質系を構成する複雑度が極度に高まり統計力学で扱うのが適当となる様な世界でありここに至って「時間の矢」は明瞭にあらわれると云える、当然非可逆過程を問題にしなくてはならないし時間の流れは明らかに一方向的となる筈だ。ビオスと云うのは生物発生の熱力学の意味だ。分子のアンサンブルや生物及び人間の本能的部分\*等にあてはまる時間であろう。（\*生物としての人間）。最後にⅤ. ヌース（理性的）時間……意識と理性をもつ人間にのみ特有な時間でその複雑度たるや正に天文学的の数値となる。ミンコフスキーダイアグラム（本当は勿論その代用品にすぎないが非常にしばしば用いられる）そこでは下から上へまっすぐに走るCT縦軸がそれに当る。「今」と云う概念はこのヌース時間においてのみ意味があろう。確かに時間と云うものを主体的にとらえれば今の瞬間において外にないだろう。ゝ現在と云う瞬間に永遠が宿るゝとした新プラトン主義のプロティヌス（3世紀頃）の思想にマッチした理性の時間である。この「時間の矢」つまり人間の時間に対する非可逆的、非対称的態度と云って良いが、この上なく明確であると考えられる。キリスト教は円環的時間にとって変わり、直線的时间を提示しそれにより人生に生きる真の意味を教えたとされている。これは決して繰返しのない時間でこれにより ewige Wiederkunft の苦痛から人間を解放してくれると教えている。ドイツの優れた歴史家ランケは時間のスパイラル的モデルを提示したがこのらせんは云はば円的時間と直線的时间をうまく組合わせたものであり、これは頂度地球その他の惑星の世界線が正にスパイラルを画くことを考えると大変興味深いものがあるだろう。ランケはスパイラル的に歴史は繰返すと主張したかったのであろう。彼は実に適格に時間性に形態を与えたのである。キリスト教の時間は直線的と云っても永遠の過去から永遠の未来に無意味に延びているのではなく神の天地創造に始まり、最後の審判で終る所の有限な直線的时间であることを忘れてはならないだろう。それによりはじめて無意味とも思える ewige Wiederkunft から解放され救済されると信じられている。この様にヌース時間はいわば心理的時間をも包含するだろう。話がスコラ哲学<sup>15)</sup> 的になってしまったが元に戻ることにしよう。先のヌル時間、プロト時間、イオス時間……等の名称はギリシヤ語から借用したもので未だ正式な学術用語とはなっていないだろうが当分いたしかたない。つまりこの順序で物質の構成の複雑化に伴って進化発展して来たことを主張するのである。これらは正しく力又は相互作用がやはり時間とともに単能なものから分岐して発展してきたことと関係がある筈だ、その結果周知の通り所謂四つの相互作用が併存的に生じた事情に酷似してないだろうか。すなわちヌル的時間は最も単能であったが次第にプロト時間、イオス時間、熱力学（ビオス）時間……と機能の複雑な時間があらわれしかも現在ではこれらが全体として矛



盾なく共存し得る様になったと考えてはいけなからうか？ そうだとすれば時空とくに時間の性質はどの時点で激変を受けたと考えるべきだらうか。宇宙のごくごく初期であった事は疑いなからうが恐らく第一次、第二次の真空の相転移の頃と考えてはいけなからうか。

(インフレーション)つまり極度に高い対称な真空が相転移して自発的対称性の破れによって真空が塗り換えられた時期においてではないのか。

ともかく Plank 時期  $10^{-43}$  秒以前の事は流石の相対性原理もそれ自体破綻するといわれている様によく判らない、その時期に時空のゆらぎが完了しハドロン以外のサイズゼロの粒子エネルギーが生じた筈だ。相対論は特異点の存在が不可避だと主張しそれ以前には逆のほれないとしている。「特異点以前は時間だけでなく空間もなかった、それ以上は聞くな！」と主張しているのだらう。そればかりか「膨張宇宙の外側がどうだとの質問もそれ以上しないでくれ」と突っぱねている様でもある。そこら辺が人間の認識の限界なのだらう。

云い遅れたが先刻のヌル時間世界の時計の精度は最精であり、プロト時間、イオス時間での時計は次第に精度が低下し、勿論ピオス時間、ヌース時間的時計は最粗となる。それに応じて現在 (jetzt) 概念の時間巾は当然この順序で厚味が増す筈だ。これはミンコフスキー図では、 $X$ 軸、横座標でありヌル時間では時間巾はゼロと考えて良いだらう。(つまり無限に細いと云ってもよいだらう)。例えば原子クロノンではその巾は  $10^{-23}$  秒でこれはプロト時間に属する。

古代インドの原子論では「時間の原子」も考えたと同う。これは流石のギリシヤ哲学にもなかったことだ。それによると1クシヤナ (殺那) つまり  $1/75$  秒が人間の知覚し得る時間のアトムなのだ云う。現在で云う心理的時間巾に当るのかも知れない。ギリシヤのアトムに相当するのがインドでは極微 (パラマ・アヌ) であった。更に興味深いのが1カルパなる時間が今日流に換算すると約43億年になると云う。これは太陽系、地球の年令と奇しくも一致するではないか！ 一般に古代インドの原子論はギリシヤのそれにくらべて失敗だったと聞くが、これは多分物質の性質をリュウキボス、デキクリトス的に一次的性質と二次的性質に分けなかったからと考えられる。二次的性質とはものの色、香、温寒、味覚等感覚的性質であるがこれにアトムの要素を与えてしまった、例えば青の原子、甘さの原子と云った様に。しかし松下真一氏は、それらの失敗に拘わらずその事がかえって現代の場の量子論つまり素粒子の生成消滅を扱う事からみても例えば仏教の「色即是空」は正しく、それを説明するのに好都合だと説かれるのである。成程伝統的な西洋哲学 (例えばパルメニデスの「ヘン・カイ・パン」の考えや矛盾律) にこり固まる限り物質が真空で、真空が物質 (色即是空……) は理解不能とならう。松下真一先生は滞独20年以上のれっきとした理論物理学者であり且この上もなく熱心な仏教徒で仏教音楽の作曲で西独の大使賞もかくとくされた尊敬すべき方であり、筆者も数年来この方から著者を通して多大の教えを受けて来たのである。<sup>2)</sup> 元エルランゲン、ハンブルク大学の客員教授でドイツ人以上に外国語が達者と同っている。

彼は素粒子こそ生成消滅をくり返す無常なもので空である、故に色 (物質) は空 (真空) であるしその逆も真だと説いている。私にはよく解らないがそのお言葉を信じるしかない。先生は云われる: 「法華経そのものがじかに物理学の理解に手を貸すと云うことはないがその背景にある東洋思想の深い柔軟な考えは確実に仏教哲理色即是空を考えるのに役立つであろうと。更に肝じんなのは先生の宇宙論での時間把握に対するモデルの提示である。松下先生は仏の永遠性のお考えからそれにマッチした時間として Misner 的な時間と似て例えば二次曲線放物線のモデルを一例として示

された。そのモデルの特徴は決して時間が一樣な直線ではなくしかもいわゆる特異点が出てこない事又時間の流れが必然的に非対称的且不可逆的になることを見事に再現する点であろう。更に大胆にも「私にはふくらむ風船のモデルに同意できない。星のスペクトルの赤方変移は実験的事実だから認めざるを得ないがこれは宇宙が expand しているからではなく時間の性質そのものから説明できる事だ」と主張された。<sup>2)</sup> 仲々正直な方であると思う。彼の論法だと確かに宇宙の始まりなんかは出てこない。先生の時間把握は一言にして云えば時間をなめらかな微分可能多様体への接続を考えておられる事である。先生の高等数学はすばらしいが又同時にむづかしい！ しかしやはり時間と云うものが何か時空微分可能体の一つのアドレスつまり座標軸だと云う気は筆者にも解かるのである。それにつけてもこの神秘きわまりない時間をいともクールに  $t$  と書いて方程式に独立変数として扱う物理学と云うものはやっぱりすごい、すばらしいと思う次第である。感嘆すべきはその抽象化の能力のすごさである。

宇宙論に限らず未だ我々がよく呑みこめない複雑な現象 *Erscheinung* の背後にはどうも「時間のいたずら」がひそんでいる為ではないかと考えざるを得ない。未だ我々は真の時間への理解からは程遠いのであろう。時間は決して自明ではないのだ。何かクロノスの神が背後で我々存在者を操っているみたいだ。そしてそのメカニズムが我々には部分的にしか理解できないのである。たとえその考察の対象を純粹に運動学、動力学に限定したとしても尚そうである。同時に人間の意識 *Bewußtsein* を全く排除してはやはり時間を論じ得ないことも明らかであると痛感する。結局「時間は世界全体を見わたす」は至言であらう。人間の都合によってその一部だけ切取って論じるのがむりなのである。ゝ存在問題と並んでこれは仲々我々はその偏見と独善と先入観から逃がれ得ないのではないだろうか。しかし tentative ではあるが自然界には一応「八つの時間階層」がある様に思える。何故なら先刻のヌル、プロト、イオス、ピオス、ヌースのそれぞれの間には何らシャープな区切りなどはある筈がなくそれらには三つの中間状態の時間階層がはさまっていると思うからである。従って筆者はここに物質の複雑度を構成にかんがみて八階層の重層的時間構造を提示したいと考える次第である。(八つの時間スペクトルの正準形成)。かくして、かろうじて時間の縮重性が除かれるであらう。

## §5. 自然法則での時間、時間性

時間は力学量と云うよりパラメーターであらう。<sup>註4)</sup>

確かに自然法則を特殊相対論、量子力学、一般相対論と古典力学、統計熱力学の順に調べて見れば各時間階層での特徴を調べる事が出来る筈だがこれは決して生やさしい事ではないと思う。実際問題としてピオス、ヌースの階層では複雑度 ( $\log N$ ) の算出の指針さえ殆んどないのでお手上げになろう。ここでは各自然法則がどの様に時間、時間性の把握に貢献し得るかとか比較的重要な点のみを論じたいと思う。イ) 特殊相対論……A Einstein をして物理学の大革命家たらしめた時間、空間の新たな認識、ミンコフスキーの不定計量座標を用い解析接続

によってはじめて時間と空間は融合された。その四次元時空は実在であって決して空想の産物などではない。数学的には時間、空間の間に「回転」があると表現できる。この四次元世界にどうゆうものが有りうるかを予言する能力さえある（又はあった）。例えば マクロ世界ではタキオン<sup>1)</sup> があっては困る、とか粒子に対し 殆んどいつも反粒子があり得るとか更に文字通りの完全剛体は存在しないと云った具合である。Dirac の電子論すらこれらから演繹された。

( $e^+$  の予言)。超高速ではものの寿命は延び時間は相対化されて遅れる。ミンコフスキー図（又はその代用品）では因果律に従う範囲はタイムライクと光的な所だけでスペースライクの所はいわばカオス的で広義の現在である。ア時間的 Umwelt は light like 上にある。ニュートリノが直にヌル線上にあるかないかは不明である。（質量が不明だから）

ロ) 量子力学……ミクロの世界を支配する法則で、完成したと考えられるのは純物理部分のみで哲学的部分には尚問題が残る、とりわけ観測と認識問題がそうだ。量子力学にはいくつもの古典的因果律と合致しない妙な所がありその統計確率的解釈はアインシュタイン大先生が一層おきらいだった事で有名だ。（アインシュタイン、ポドルスキー、ローゼン論文）。<sup>9)</sup> それで結局 N. Bohr と Einstein の見解の相異の原因の一つは前者が時間をプロト的時間としたのに対し後者はイオス的なそれとした点でもあるのである。ともかく量子力学的観測とは大へん手ごわい問題を常にひき起こす。勿論 Schödinger の方程式そのものは時間性に対し可逆だがそこに無意識な観測行為<sup>4)</sup>（つまり測定値を知らぬ観測）が入り込むや否やプロセスは非可逆へと変身しこれを波束の収束とも呼んでいる。更に測定値を知る観測では再び非可逆的なものから可逆的なものへと戻る。つまり観測とはこの場合プロト時間とイオス時間の限界間を行ったり来たりすることになる。又 Wigner 等に量子力学は物理的対象だが結局人間の意識迄考慮に入れなければ問題は解決しないとしており又それへの反論も哲学者も加わってなされて来た。現在量子力学は拡大量子力学に迄高められつつあるが未完成な問題は残るだろう。限りなく微妙な問題だ。交換関係は量子力学の真ずいであろう。

ハ) イオス的ウムウェルトの自然法則……これには一般相対論、Newton の新旧重力理論が属する。普通の物理学で何気なく  $t$  と表わされる類の時間がかかわる。自然界の統合レベルとしては天体から地上の化学物質をも含めて考えてよいだろう。従来自明で健全な常識を与えるものは Newton 力学と考えられ時間に対しては彼の絶対時間の概念がそうだった。ここでは一般相対論のみをもう少し掘下げてみよう。

元来相対論は Maxwell の電磁気学<sup>1)</sup> とその場の考えから発展して来たことを思い出すのは教育的であろう。そして一般相対論は特殊相対論を重力場の存在下での理論に拡張されて出来上った所の新重力の考えでその幾何学はリーマンの非ユークリッドの応用と思われる。そしてついには一般相対論を宇宙論へ拡張したのが Big-Bang の膨脹宇宙論となるわけだ。この理論もこの世にどうゆうものが有り得るかの予言能力に富んだもので例えば中性子星や Black-hole, white hole<sup>1)</sup> を予言して来た。すでに述べた様にそこではイオス的時間が支配する。

未だ時間の矢は出現しない。つまりアインシュタインの理論は可逆性を許している。一方重力場の量子化が形式的にも達成されたのは80年代に入ってからであった。グラビトンは未だに必死のそう索にも拘わらずみつかっていない。重力場の方程式自体は非線型の為解くことは至難だが宇宙が一様等方だとの仮定(宇宙原理)を別に置けば人々にわかり易い Hamilton 形式に書き直せよう。 $t$  は勿論イオス時間,  $a(t)$  は膨脹率とすれば次の様になる。 $\frac{1}{2} \left( \frac{da}{dt} \right)^2 - \frac{4\pi}{3} G \rho a^2 = 0$ 。  $G$  は万有引力定数である。絶対温度  $T$  と  $t$  秒との関係は輻射有勢の期間では  $T = \frac{10^{10}}{\sqrt{t}} \text{ } ^\circ K$  ときわめてわかり易い。 $t_0$  を現在の時間とすれば膨脹係数  $a(t_0)$  との間には,  $a(t)/a(t_0) = (t/t_0)^{2/3}$  が成立しよう。密度のゆらぎも  $t$  と共に成長する。

尚一般相対性原理の考えはミクロの世界とは結びつきにくいものであったがしかし例えば時空の量子化問題で elementary domain<sup>9)</sup> 問題にヒントを与えている。又微視的因果律は局場所のイメージと強く結びついている。つまり, 局所可換性  $[\varphi(x), \varphi(y)] = 0$  が成立つ。

二) 熱力学的(ビオス)時間の Umwelt. ……ここに至って始めて時間の一方向性が出現することはすでに述べた。ここではエントロピー概念こそ時間の矢の問題に対し力を発揮する。ここでは Loschmidt のパラドクス<sup>6)</sup> とかポアンカレの再帰定理, Boltzmann の  $H$  定理が以前から問題視されて来た。とりわけ粒子のアンサンブルが何故時間性が非可逆かとの問題であった。思うにここでは非平衡統計力学<sup>13)</sup> でのいわゆるリュウヴィル・ノイマンの方程式:  $i \partial \rho / \partial t = L \rho$  が出発点になる。  $\rho$  は密度行列,  $L$  はリュウヴィルの super 演算子である。ここで  $L = \hbar^{-1} [H, ]$  である。

この式自体は  $L \times t$  の操作で不変なことが知られている。そして  $L$  が even 性を有している。しかしこれだけでは勿論不十分で, ずい分むつかしい行列代数を援用しない限りはとうていとうてい証明は出来ないだろう。この方程式の解も先行解  $\rho^a$  と遅延解  $\rho^r$  の両者が出現する。ここでは複素平面を問題にしなくてはならない。上述の式は時刻  $t_0 < t$  のもとで  $\rho(t_0)$  が与えられた時  $\rho(t)$  を求めるのに利用できる。

これは微分方程式の解に於いて因果律条件の導入を要求する。すなわち,

$$\rho(t) = e^{-iL(t-t_0)} \times \rho(t_0) = (2\pi i)^{-1} \int_c dz e^{-iz(t-t_0)} (L-z)^{-1} \rho(t_0)$$

因果律は  $c$  を複素変数  $z$  の上部の半分の面でたどるべきことを意味する。超演算子  $L$  は次の様な重要な性質をもつことが調べられている。 $L^T = -L$ , 又は  $(iL)^T = -(iL)$ ,  $L^+ = L$  又は  $(iL)^+ = -(iL)$ ,  $L^a = -L$  又は  $(iL)^a = iL$ 。  $L$  以外に  $\wedge(L)$  の super operator の導入これはスターユニタリ変換が必要になる。  $\wedge \wedge^* = \wedge^* \wedge = 1$ ,  $\wedge' \wedge^* = \wedge \wedge^+ = 1$   $\wedge = \wedge^a$   $\wedge = \wedge^{-1}$  等の性質がある。かくて我々は,  $\partial \rho^r / \partial t = i \Phi \rho^r$ ,  $\Phi = \wedge^* L \wedge$  及び

$$\partial \rho^a / \partial t = i \Phi' \rho^a, \quad \Phi' = \wedge'^* L' \wedge' = -\wedge^+ L \wedge'$$

を得る。  $\Phi$  を偶部分と奇部分に分けよう。

$\Phi = \overset{\circ}{\Phi} + \overset{\circ}{\Phi}$  ここで  $\overset{\circ}{\Phi}(L) = \overset{\circ}{\Phi}(-L)$  および  $\overset{\circ}{\Phi}(L) = -\overset{\circ}{\Phi}(-L)$  が成立つ。従って  $\partial \rho^r / \partial t = -i(\overset{\circ}{\Phi} + \overset{\circ}{\Phi})\rho_r$  並びに  $\partial \rho^a / \partial t = -i(-\overset{\circ}{\Phi} + \overset{\circ}{\Phi})\rho^a$  と表現できよう。 $\Phi$  演算子が  $L$  の偶部分を含まず時のみリューヴィル方程式の  $L \times t$  の対称性は破れることになる。大変雑でわかりにくい説明で申しわけないがこの議論は力学と統計熱力学を統一的に説明するのに重要と思ったからである。そのポイントは変換の非ユニタリー性いわゆるスターユニタリー性にも拘わらずオブザーバブルの平均値は不変であることであろう。この事情は頂度粒子の衝突散乱問題に対するいわゆるボルツマン型の方程式  $i\partial \rho_0 / \partial t = \phi(0)\rho_0$ , ここで  $\phi$  は衝突演算子で  $\rho_0$  は  $\rho$  の対角成分であるがこれに  $Lt$  変換を施せば  $i\partial \rho_0 / \partial t = -\phi(0)\rho_0$  と符号が変化する事と酷似する。後者は熱伝導の anti フーリエ方程式に対応する。要するに衝突現象の散逸性こそが時間性の対称性を破ると云えよう。我々は  $L$  の逆核  $\frac{1}{L-z}$  に関する散逸性の条件がいかに重要かがわかるであろう。云い遅れたが超演算子  $\Lambda(L)$  はリューヴィル方程式の遅延解  $\rho^r(t)$  を新しい密度行列つまり因果的表示でのそれ  ${}^p\rho^r(t)$  へと変換する:

$\rho^r = \Lambda(L) {}^p\rho_r$  従って  ${}^p\rho_r = \Lambda^{-1} \rho^r$  でもある。従って正確には  $\partial {}^p\rho^r / \partial t = -i(\overset{\circ}{\Phi} + \overset{\circ}{\Phi}) {}^p\rho_r$  であり、又先行解に対しては  $\partial {}^p\rho^a / \partial t = -i(-\overset{\circ}{\Phi} + \overset{\circ}{\Phi}) {}^p\rho^a$  としなくてはならない。

## §6 時空間題で結局何が云えるのか。Bewußtsein 無しには結局時間は論じられない

時間には、はたして固有関数が存在するのだろうか? 恐らくないであろう。そこでおよそ次の様にまとめてみよう。

①時間軸方向は第0超平面の法線であり四次元空間  $x^\mu = (x^1, x^2, x^3, x^0)$  に於いて  $x^0 = ict$  になる。②ここでも時間 (Zeit) と時間性 (Zeitlichkeit) 及び Stude は明確に識別しないと議論は大困乱をきたす。③時間空間と粒子の相互作用の三者は相補的關係にあり、時間経過はものの構造と複雑度の増加の尺度として進化発展して来た。だが時間は相互作用 (力) そのものではないだろう。時間は外部空間の内的一座標との見方も可能だ。④熱力学第二法則からの「時間の矢」を識別出来るのは Boltzmann の  $\mathcal{H}$  (これは  $\mathcal{H} = \text{tr } \rho \log \rho$  と定義できるが) 又は符号の逆の Entropy  $S$  しかないだろう。だから  $\partial \mathcal{H} / \partial t \leq 0$  に合致する方向に時間は流れ進むと見られる。尚 Poincare の再帰定理はどうも現実的でなく信頼しにくい。何故なら時間性の反転により初期条件を全く以前と同じにすることは不可能だからである。⑤この世界の安定性ひいては自然法則の確実性は、時間の一方向的流れに依存するがその更なる理由は多分相は論的エネルギーの正值性と関係ある筈だ: すなわち、 $c_0 p^0 \geq 0$  がその条件で  $p^0$  は四次元運動量  $p^\mu$  の第四成分を示す。時間の流れの一樣性は明らかにエネルギー保存則のせいだろう。⑥進化的時間階層原理は時間のもつ矛盾的多面性を部分的にも救済する。しかし8階層にこだわる必要は更にはない。ヌル時間とプロト時間の世界を統合し得るなら(これは

許容されよう) 四つのかなり安定な 時間的階層と その間に狭まる 準安定な 中間層になるから 全部で七つの階層が 存するとしても 不合理ではないだろう。だがプロト時間とイオス時間の Umwelt には中間層がみとめ難い(図2b)。⑦ 量子力学, 場の量子論は共に交換関係こそ真ずいであり後者では粒子の散乱問題を扱うユニタリ的 S 行列のもつ性質は duality の問題とも関係し魅力がある。<sup>2)</sup> 又高エネルギーの科学は粒子そのものだけでなく時空の性質を経験的に決めると考えるべきだ。時空のゆらぎつまり確率分布  $p(a)$  は殆んど素粒と同義であり時間そのものの尺度もつきつめればやはり素粒子が決めるのであろう。若し本当に elementary domain<sup>9)</sup> があるとすればその相対論的四次元距離の自乗は  $s^2 = x_0^2 - x_1^2 - x_2^2 - x_3^2 - a^2$  となる。又交換関係は確かに  $[\hat{x}, \hat{t}] \neq 0, [\hat{x}, \hat{y}] \neq 0 \dots\dots$  と表わせよう。最近の超ヒモモデルは非局場モデルにマッチしたものとなるがこれは筆者にはよくわからない。或る批判には super string 一種の新形而上学とも云われている。⑧時系には言及しなかったが今日三つの時系が併存する。平均太陽説系, 暦表時系, 及び原子時時系 ( $^{134}\text{Cs}$  の如き) である。

暦表時系が平均太陽のそれより優れているのはすぐわかるが, 実際生活の面で原子時々系の方が常に暦表時系より優れているとは必ずしも云えない。前者は積算されたもの後者は分割して算出された違いがある。確かに前者の時系が最精だと思われるが一つ落し穴がある。それは原子時すらも重力場に影響される筈で相対論の補正を受けた時系いわば固有時であることは認めなくてはならないし又何分メザー水素時計ですら発明されてから間もないので歴史が浅くやはり暦表時系も共存させねばならないだろう。Cs, Rb Tl の原子時計と云っても実際の出力は水晶時計が担っている。単に正確無比だが実生活に不便だと云うのでは心ももとないだらう。⑨ソ連の天才的物理学者の L. D. ランダウが「時間のパラドクス」で指摘した様にいわゆるタイムマシンは未来に対しては原理的に作製不可能ではないが過去へのタイムマシンは相対論的因果律から不能である。現時点では未来へのタイムマシンは技術的エネルギー経済的に実現できないのだと彼は数値ゲーターを掲げて説明する。そこでは又 muon( $\mu$ ) 時計の固有時と庫標時の関係も論じている。光子ロケットの類が出来るから未来へのタイムマシンは可能とランダウ<sup>3)</sup> は考えたであろう。若い頃彼は量子力学の实在問題で Einstein を認得しようと試みたそうだ。⑩ものの運動を可能にするのは時間, 空間の線素的性格による(線素は長さが0であり又0でない)

註1. フーリエ方程式  $\partial T / \partial t = K \partial^2 T / \partial x^2$  で  $t \rightarrow -t$  変換で  $\partial T / \partial t = -K \partial^2 T / \partial x^2$  となるが後者は実在しない。それに対し電磁気のローレンツ力は  $t \rightarrow -t$  変換で不変だが但し磁場  $\mathcal{H} \rightarrow -\mathcal{H}$  の反転が伴うと考えられる。そこでは所謂 Onsager の相反定理  $L_{ij}(\mathcal{H}) = L_{ij}(-\mathcal{H})$  が成立する, と見られる。電磁場 ( $H, iE$ ) では磁場が空間成分のみに関係するのに反し電場は時間成分にも関係するので(つまり極性ベクトル) 後者の方がその点で興味深いと思われる。

2. これは相対論的共変性とユニタリ性つまり  $SS^+ = S^+S = 1$  の条件を満たし粒子の散乱以前と以後の状態  $\phi_{-\infty}$  と  $\phi_{+\infty}$  を結びつける  $\phi_{+\infty} = S \phi_{-\infty}$ . S 行列は積分法則と見られる。

3. 観測により干渉実験の際では位相関係は切断されるとみられる。(電子波の干渉)。又中性子干渉実験結果は Bohm 等の「かくれたパラメーター」の主張はやはり成立しない。
4. QED での時間  $t$  は統計力学では  $i\beta$  がその代わりをする。

## 文 献

- 1) ビッグバンの発見 佐藤文隆 NHK Books 433
- 2) 法華経と原子物理学 松下真一 光文社 ①22
- 3) ランズウの生涯 M. ベサラブ 東京図書
- 4) 観測の理論Ⅲ, 湯川秀樹 自然 (399号) 中央公論社
- 5) The Genesis & Evolution of Time. J. T. Fraser The University of Massachusetts Press, Amherst '82.
- 6) 統計物理学 岩波講座 第3版の5
- 7) Physikalische Anschauung 1972~1987 論文集 佐藤均
- 8) 現代物理入門 片山泰久 講談社学術文庫 (1876.6)
- 9) 物理講義 湯川秀樹 K 講談社サイエンティフィク (昭和50年5月)
- 10) アリストテレス全集4 天体論, 生成消滅論 岩波書店
- 11) アインシュタインのたまご 佐藤文隆 朝日出版社 1980.4.
- 12) 場の量子論 中西襄 培風館 (新物理学シリーズ 19) 1975.1.
- 13) A unified formulation of Dynamics & Thermodynamics L. Rosenfeld et. al. *Chemica Scripta* Vol. 4. 1973. 1 Almqvist & Wiksell. Stockholm, Sweden.
- 14) 科学史・技術史事典 弘文堂 1983, 1.
- 15) 物理学の思想と方法 柳瀬陸男 三省堂(95)
- 16) 「時間の物理学」鈴木俊策 et al. 科学朝日 1983年5月
- 17) The Image of Eternity (Roots of Time in the Physical World) D. Park The University of Massachusetts Press
- 18) 「離散的な構造的過程の集合としての時空」  
D. Bohm. Proceedings of the International Conference on Elementary Particles (1965)

## あとがき

ともかく運動法則が明瞭に判った所の装置これを我々が時計と定義すれば自然界での時間はその時計で計られる筈だとしなくてはならないだろう。ライブニッツの指摘した様に時間そのものに独立した意味を与えるのは困難である。ミンコフスキー以後時間と空間は時空へと統合された。云う迄もなく時間と空間を結合するものは光つまり電磁波でなくてはならない。相対性理論程時空に関する壮大な革命を成しとげたものはかつてなかったしこれからも無いに違いない。特に一般相対性原理での重力場の方程式の解にはシュワルツシルド解以外にいくつかの真空解が見つかっているがその中には閉じた時空解の存在がある事は興味深く、すなわち閉じた一次元の間も評されている。(5図) これは因果律で時間の流れを考えることに慣れている

我々には理解し難くこれをモデル化するとなると益々むつかしいであろう。我々は運動諸法則を知ることによって先験的ではなく、時間空間の性質を精確に知ることが出来ることを学んできた。そして時間、空間、物質、力の場と云った **one set** において、時、空、物を相補的に捉えるのが思惟の経済の面から有効だと信じている。物質そのものが量子場から構成されている事は少々ではもの事に動じない物理学者にとってすら驚きである。つまり物質とは時空的実在の全体像なのだと云うのは現代物理学にのっとった考えであろう。特に最近原子物理学の技術の進歩が時空の性質を明らかにした例としては、例えばレーザー干渉法を利用して光速  $C_0$  の空間的等方性が  $10^{15}$  分の 1 と云う精度でテストされたり又  $10^{14}$  分の 1 以上の精度で安定な原子時計をロケットに積むことにより時間の進みに対する重力の影響が測定されたり更には量子電気力学との関連でいわゆる **CPT** 不変性を  $10^{13}$  分の 1 の精度でテストされたことなどを知ることは大変意義深いに違いない。

又電弱相互作用での **Parity** の破れが原子において観察されたのである。他方ミクロの観測理論ではオーストリアの **Rauch** の中性子線回折を用いたテストにより観測過程が決してインシュタインがかつて指摘した如く神秘的なものではなく、自然の中で徐々に起るプロセスの類であることを示したと云えよう。その他例えば超伝導量子干渉計 (**SQUID**) 等は重力波検出器のアンテナに利用され得る事そしてひいては時空の微細な構造の鮮明にすら役立つと期待される。場の量子論が誕生した当時はいわば単時間理論だったがやがて多時間理論そして超多時間理論へと発展したがミクロの時間そのものは普通我々の時間概念とそそれ程違ったものではない。頂度私が本論文を書き終えた時大変なニュースが飛び込んできた。それはかの有名な活動力学の創始者であるフランスの天才的物理学者 **Louis V. de Broglie, prince de** の薨死であった。ここに心から追悼の意を表するものである。間接的ではあるが著者は **de Broglie** 公の数々の業績からも少なからずテーマを頂いた筈だし、彼から多大の鼓舞を受けたのであった。彼の二重解の理論はともかくも、波動関数  $\psi$  と物質波との宗全な対応性は本格的な場の量子論の登場ではじめて実現されたのである。この時空間問題は **de Broglie** 公をはじめとする殆んどすべての物理学の巨星の頭脳をも当然占領した筈でありそれだけにその問題点の重要性は少くないと信じるものである。と云うのは背後には必ずかの相対性理論の四次元連続体問題がひかえているからに他ならない。**de Broglie** の物質波はやはり時空間問題から演繹されたと考えざるを得ない。

昔から時空は形式的つまり意識や体験の流れの原型と見做されて来たがやはり今後共経験によって補正されるべきものであり、形式以上のものなのであろう。「時間の可逆性」をよく云われるがこれは勿論自然法則の可逆性の事で特に詳細釣合い原理での数式の美しさは我々に強い印象を与えないであろうか。

一以 上一



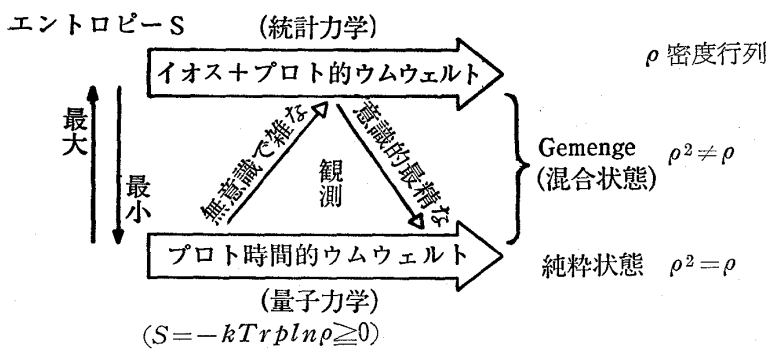
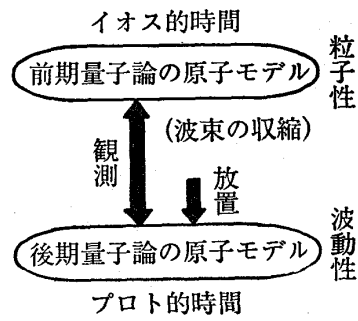


図3 a ミクロの観測は異なる時間レベル間を往復する



3 b 二つの原子モデルの関係

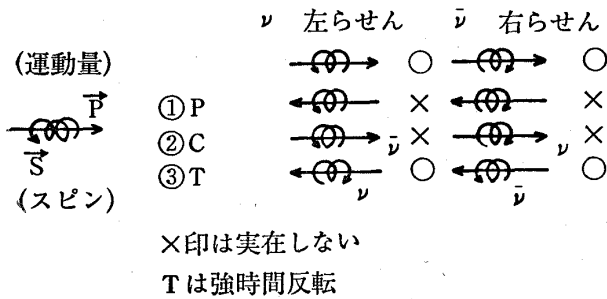


図4 粒子の研究は又時空の性質をさぐるニュートリノの例

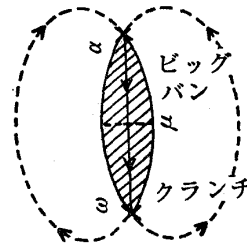


図5 閉じた時空のモデル ω 点はビッグクランチを示す