

## 第15回プラズマ・核融合学会年会 特別講演

### “理論とは何だろう”

宮島龍興

#### 挨拶

プラズマ・核融合研究はいま決断の時を迎えていると思われまふ。プラズマ基礎研究と核融合開発は互いに手をつないで見事に進展してきました。気・液・固体の三状態を持つ普通の物質と違って、一つの状態しかないプラズマは閉じ込められることによって多彩な特色を示してくれます。そこに閉じ込めと基礎との密接な関係があるわけだ。我が国の研究がこの2つの面で国際協力をしながら進み、世界でも指導的役割を果せるようになったのは嬉しい限りだ。しかし閉じ込めるために通常の実験室の規模を超えた費用がかかるのは宿命だ、いま核融合実験炉の建設を目前にして国際協力が足踏みの状態になってきました。我が国がこれまで養ってきた実力を生かして建設のリードをするか、差しあたり基礎研究の充実を図るか選択の時になっています。核反応プラズマをつくることができれば、エネルギー生産だけでなく、プラズマの新しい現象にも画期的な理論が進むことは十分に期待できるでしょう。どちらにせよ、プラズマ研究と核融合研究とが一致して情熱を持って人々を説得しなくては、容易に実現できないことを認識していただきたいと思ひます。

#### 1. 私にとっての理論

学会設立10周年に同題目で講演をしましたが、十分に意を尽せず心残りでしたので、その後の勉強も含めて改めて同じ問題に挑戦したいと思ひます。

明治の先覚者は実に上手に学術語をつくってくれました。物理とは物の“ことわり”，理論とは“ことわりのろんぎ”で、フィジックスやセオリーに比べたらよほど立派と思ひます。

**感動** 私が物理を志したのは、自然のことわり（理

の美しさとそれを解明していく物理学の魅力に感動したからでした。それに私の記憶力では化合物や生物の種類、文字や歴史など莫大な情報をまず覚えてからでないと思ひ間が始まらないような仕事は不可能と思ひ、面白そうだが博物、人間、社会はあきらめたのも事実だ。

今日になってみると、生物などはDNAの発見以来いくらか筋道がつけられそうになったし、コンピュータなどの発達で記憶を補う見込みもできて、私の判断の半分は誤解だったと思ひます。それで、遅ればせながら心を中心とした人間社会を自然科学の土台の上に立って考えてみたいと思ひたわけだ。

**舞台と役者の発見** 自然を見る視点に応じていろいろな舞台が見えてきます。日常に見る自然の物体は連続体で、形を持つ固体だったり、流れる水であったりします。空に目を向けると星や天の川や星雲やブラックホールが見えてきます。精度の良い顕微鏡（電子）で見ると物質は原子・分子や電子からできています。さらに加速器などを使って微小な世界に踏み込むと、陽子やクォークなどになります。見方を変えて、生物を見ると、攻撃したり、逃げたり、喜んだりしています。音楽を作ったり、絵を描いたり、建造物を造ったりします。感情や意志を示したりもします。舞台によって登場する役者が違い、そこで通用する言葉やルールも違い、しかも違った舞台の間を関係を理論づけることは至難の業だ。同じ法則に従っているとはいえ、いろいろな物質の性質の間を結びつけることすら容易ではありません。原子と心の間に至っては何ひとつわかっていないと言ひてよいでしょう。

舞台ではいろいろな役者が動いていますが、その中であって主要な筋道をつけている主役は何か、その主役と筋道とを発見するのが理論の役目であることを段々と説明したいと思ひます。

**単純であった頃** 私が物理を志した頃は自然が一番単純でした。自然は核子と電子とからできていると思われ、核子電子間の相互作用さえわかれば、あとは運動を量子力学で解けばすべての現象が原理的に解明できると考えられていました。陽子と中性子は同じ核子の状態、陽電子は電子の反粒子というわけです。そのうちに核子間の力は中間子の作用であるという湯川理論がでて、自然が少し複雑になりましたが、これくらいなら記憶力のない私にも何とかなるだろうと思ったのが、間違いのもとでした。

**複雑の時代へ** そのうちに素粒子の仲間が続々と発見され、元素の周期表より複雑になってきました。加速器の発達によって遠い親類まで発見されたわけです。そのうち、素粒子がもっと基礎的な粒子からできているという考えで整理され、クォーク・レプトン・ゲージ粒子の登場となりました。これで簡単になったと思ったら、クォークにも色や香りがある話になって種類が増え、またがっかりです。それではと、法則の助けで簡単にしよう、すべての粒子を一つの場に統一しようとする人が出てきましたが、今度はその法則がまた何十次元空間で記述されたりして、やはり容易ではないようです。その上、自然ではあまり単純になるのを嫌うものか、粒子間の相互作用が反粒子間と同じとは限らず、自然が対称性から外れていることが発見され、それが私たちの住む宇宙に電子と陽子とがあり、陽電子と反陽子とが普通には存在しない非対称性の説明になるかも知れないというわけで、面白いけれども簡単にはなってくれないようです。

**理想化の行き過ぎか** 自然をつくっている粒子が波動性と粒子性の両面を持つことは疑う余地がありませんが、相互作用をしながら粒子ができたり消滅したりしているありさまを記述するには非線形に相互作用をする量子化された場が適当です。実験と比べることにより相互作用の種類や強さも決定されます。こうして自然の統一の見方が一応できたように見えます。

しかし実際はこの理論には本質的な欠陥があることがわかりました。たとえば、電子と光との相互作用を考えますと、電子の周りには無数の光子や電子対の雲が発生し、電子がその雲を身にまとい着物を着て、そのために無限に重くなってしまう。この場合には、有名な“くりこみ理論”によって無限大が整理され質量や電気量の中に押し込めて頼かむりすれば有意義な結果が得られることが示され、実験ともよく一致しましたが、本当の解決とはいえません。

無限大になるのは粒子を大きさのない一点と考えるか

らで、粒子間の距離がゼロになると相互作用が無限大になるような事情から起きるわけです。しかし今の数学では相対性理論を考え合わせると大きさのある点からなる空間を考えることはできないらしく、限りある原子からなる人間の頭脳で考える数学としては現在の数学は理想化のしすぎではないかという気さえします。論理学もそうかもしれません。

**頭脳の威力** 私を物理学好きにさせた感動はほかにも色々あります。高校の頃、習いたてのドイツ語の魅力にひかれて、神田でプランクの熱力学の古本を買ってきて、苦心しながら読みました。ゆっくりした変化を逆行させてもとに戻そうとしても、どこかに影響が残ってしまう非可逆現象というものがあり、それが熱力学の第二法則で、そこから非可逆の程度を表すエントロピーという物理量の存在が証明されるという思考力のすばらしさに魅せられたわけです。

そのほか、試験管で混ぜたり熱したりする実験から分子の立体構造を発見した有機化学、その立体構造が物理の方法で実験的に証明された見事さ、高速で運動する物体の力学や光との相互作用から相対性理論を発見したアインシュタイン、若い物理学者たちによるミクロの世界の量子力学、確率的考え方の発見等、20世紀の始めの頃、本当に感激でした。これはさらに反粒子の存在、スピンの発見、質量とエネルギーの同一性、磁気、超伝導などの巨大量子の存在の証明へと発展し、物性の解明、宇宙の進化の考えへと美しい前進を続けました。宇宙の誕生、生命の誕生のロマンが科学の彼方に浮び出てくるかもしれません。

## 2. 理論の本質と展開

**主役の発見** 私たちが日常目にする物体は1兆の1兆倍ともいえる莫大な数の原子や電子を持っています。たとえ粒子間の力がわかったとしても数学やコンピュータの力を使ってもすべての粒子の運動を解くことはできません。しかし、原子が規則的に並んでいる結晶の場合には、電子のようなものが、周期的な力を受けながら運動していて、電子のようなものがフェルミ統計に従うということを理論家が発見しました。これが“自由”電子とか、バンド理論とか言われるもので、これにより結晶に導体、半導体、絶縁体があること、結晶に不純物原子を入れることによりその電気特性を変えられること、これらの固体を組み合わせることでトランジスタのような応用の広いデバイスが作られることなどを発見しました。この考えは微結晶の集合体やアモルファスへも広げ

られ物性の理解を著しく広めてくれました。

しかし自由電子やバンド理論とか、固体という舞台上で大活躍をする主役は原子電子の量子力学から数学的方法で導き出されるものではありません。科学の考えから電子のようなものの存在はもっともらしいと理解はされますが、証明するのはほとんど不可能なのです。主役の存在とその行動のルールとを発見する——これこそ理論本来の役といえましょう。もちろん主役の発見が価値があるかどうかはその主役が現象の理解を十分に可能にしてくれるかどうか、それから益に立つ結果が導き出されるかどうかで判断されるべきでしょう。

自由電子は結晶の熱、磁気、強度などその他の物性の理解も助けてくれます。ただ、舞台が違っていると、役者が身にまとっている着物は同じでないことが多いようです。たとえば水素イオンといっても、水の中では裸の陽子でなくイオンや分子で身を隠してしまいます。

閉じ込めプラズマではMHD流体が主役で、閉じ込め方に応じていろいろの脇役も登場します。

コンピュータが発達して、解析的方法では解きにくかった問題が数値計算で解ける場合が出てきました。場の統一理論を使って粒子質量を計算するとか、地球気候の予測とか計算機科学が力を発揮する場合もあります。しかし“自由”電子の証明は難しいでしょう。また信頼できる気候の予測を計算しているのは地球というコンピュータかもしれません。

前にも言ったように、まだ見たこともない舞台はたくさんあります。ブラックホールの中の世界では核子とか電子とかはその形では存在しないし、クォークや重力量子がどうなっているのか私たちには何もわかりません。宇宙のビックバンが本当だとしても、その時に物質や時空がどうなっていたかまったくわかりません。とにかく主役どころかどんな役者がいるかもわかりません。近い世界でも、生物の中で、特に心の中でどんな主役が活躍しているか、それも将来の問題でしょう。

**因果と意志** 因果律という古風な言葉を持ち出して恐縮ですが、決まった原因からは決まった結果が出てくるということです。狙った鉄砲玉は必ず当たるということです。やってみると外れたりしますが、これは下手だったり、空気が揺れていたりのせいです。すべて影響するものまで考えに入れることができれば百発百中でしょう。ところが、電子になると量子力学ですから、確率しか命中しません。狙いも確率までしか決められません。しかし確率は決まっています。

要するに物事は決して物の気まぐれで動くのではな

い、気まぐれでないことを法則というわけです。因果律とは法則があるというのと同じ意味です。

さて、こうなると生き物はすべて気まぐれですから、原子や電子の従う法則（今後は単に法則と言う）には従わないのでしょうか。意志は法則と別のものでしょうか。

**心は法則と別のものか** 知情意は心の働きを言いますから、意志が法則と別なら、心の働きそのものが無生物の法則である自然科学とは別のものでしょうか。これは古くから物と心の二元論と言われ、議論的のです。

水の中にいるバクテリアは働きまわっていますが、ブラウンは水に浮いた花粉を顕微鏡でのぞいて、生き物かと思いました。有名なブラウン運動で、花粉に限らず小さなゴミでも同様に動きます。しかしバクテリアが違っているのは、食べ物のある方に行きたがったりする自発的な働きがある点です。外からみた生物の特性は自発的な独自の働きをすることでしょう。同じ状況のところにも、めいめい動きが違います。

人はめいめい心を持つ、意志がある、と話し合い理解し合えます。心とか意志とか同じ言葉であっても、人によって考える内容が同じかどうかはわかりません。赤という時、バラの花とか信号機の赤とか、血の色とか人によって考えることは違うかもしれませんが、色は標準化して共通のものにすることもできますが、赤の内容をすべての人に同じにすることはできません。しかし、お互いに話し合ったり論じ合ったりできるから面白いものです。外国語になると、“break”が日本語では壊す、割る、破る、折る、砕くなど色々の内容を持ち、日本語の“焼く”が英語ではburn, roast, broil, grill, bake, toast, scorchと物により違った内容になったりします。それでも外国人との間にも次第にわかり合えるようになるから面白いもので、やはり同じ心を持つのだなあと感じます。

しかし、心は物と別かという、心はやはり人の肉体に起こる現象に間違いありません。人は生かされているとは大変意味のある言葉ですが、それでも自分の考えはほかの人に自由にされているとは思いません。肉体は物質からできていますから、やはり心は脳を中心として身体の中で起こった現象に違いありません。それなのに、本当に自分の意志で行動しているのでしょうか、それともそう思っているだけなのでしょうか。

また人は社会をつくり、その中で心がつながり合って文化といわれる心の場をつくっています。文化は作られ、伝承されていきます。遺伝はDNAの働きですが、心の伝承は何の作用でしょうか。心も遺伝や進化するのでしょうか。

21世紀は脳の世紀と言われ始めています。脳の研究がやっと緒についた感じで、脳から心へが興味深い問題になるでしょう、私はこれらの新知識に汚染されないうちに自分の考えを進めてみようと思って、“心とは何だろう”をまとめて教育工学振興会の JAPET 会報 No.87 (1998)に掲載しました。Tel 03-5251-0751か、ホームページ <http://www.japet.or.jp/> で内容をご覧ください。

**心の場としての社会** 社会は人が互いに心を通じ合える組織で、しかも情報システムの発達によって双方向の意志疎通が自由にできる方向に進んでいます。このような社会を、各人が一応は満足できるような世の中にするには、どのような考え方で社会の組織制度をつくってあげばよいのでしょうか。民主化という言葉は心地よいものですが、決して実現がやさしいものではありません。

心の場は文化として伝承され、進化することができるのですから、心の場のモデルとして人体の頭脳を考え心の場をどのように組織制度化し伝承進化していったらよいかそのための参考にするのは一つの良い考えと思いますが、いかがですか。脳の中には、例えば視覚が映るス

クリーンがつくられています。スクリーンというより立体のセル構造です。いろんな感覚、刺激に対応する舞台も脳の中に構成されていきます。それぞれの感覚に対応して、刺激を受けとめ再現するセル集団があるようです。私はこれを群（スクール）と呼びました。スクールは学級の意味もあり、目的や嗜好を共通にした、最も心の通じ合う群と思えばよいでしょう。阿波踊りの連とか、学校とか、隣近所のコミュニティとか、人間活動の最も心の通じる組織が社会の最小の基本単位と考えてよいでしょう。同じ人がいくつかのスクールのメンバーとなっているでしょう。違った各種グループの中から、代表を送り出して、コミュニティから郡、県、国、地球へと代表のスクールをつくりながら広げていくというのが、脳をモデルとした社会づくりの考えです。

脳を人体内の独裁者とするのか、民主組織とするのかは、どこにどのように意志をおくかにかかっているでしょう。しかし意志は本当に因果から独立のものか、そう勝手に考えているだけなのか。皆さん、一緒に考えてみませんか。