

プラズマ・核融合学会創立10周年記念講演

「理論って何だろう？」

宮島 龍興

たいへんおめでたいチャンスにお招きを頂きまして、こういう話をさせて頂いてまことにありがとうございます。まず最初にここに挙げました(第1図)のは今日お話する内容の半分で、後もう一枚ございます。大体こんな話しをするだろうということでございます。今、面白い話しと紹介されましたけれども面白いのはおそらく「理論って何だろう」という題だけで、中身はお聞きになるとだんだんつまらなくなるんじゃないかという気が致します。

10周年、まことにおめでとうございます。日本の核融合の研究は、あそこに大先輩の伏見先生がいらっしゃるけれども、基礎プラズマの研究から始まりまして、世界のトップまで踊り出た

という、たいへんな成功を納めてきたわけですが、出発の仕方がよろしかったのではないかと思います。最近では国際的な研究におきましても日本の存在というのが無くてはならないものになっておりまして、ITER等の国際協力も始まったわけでございます。今後ますます重要な役割をしていくと思います。その間、プラズマの研究及び核融合の研究で、そういう先端的なプロジェクトを支えられましたプラズマ・核融合学会の功績というのは、非常に大なものがあったと思っております。私も先ほど御紹介にありましたように、原子力委員になりましてから、丁度JT-60の建設が始まる第二期核融合の計画というのが始まる段階になりまして、今後、大学を中心とした研究者とそれから実際に開発をする人達、あるいは産業界との間の密接な協力がどうしても無ければならないと思ひまして、それまで財界の人も入っていた核融合懇談会という核融合を推進する会があったわけですが、それを改めまして、核融合会議という形で再発足させて今日までできているわけでございます。日本の核融合、例えば、今第三期の計画が発足していますけれども、そういう計画を立てる場合に核融合会議として、大学の方も半数以上加わっておられますが、そこで計画を審議し、立案して、そしてそれが原子力委員会の計画として尊重されているという所までは、なんとかこぎつけてきているわけでございます。そういう意味で、この核融合会議というのは、形の上では原子力委員会の下部組織の専門部会というものの一つに過ぎないのでありますけれども、実質的には核融合研究開発者の意志を総括するような、そういう権威を持ってきつつあるというふうに考

10周年 おめでとう

理論の分家
(セネリ-)

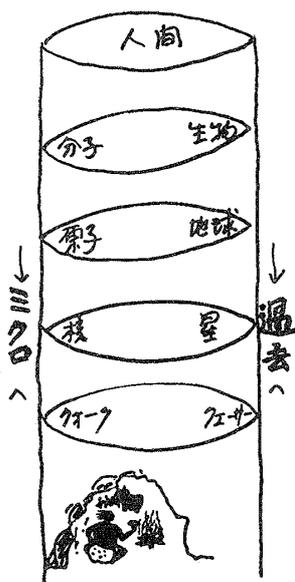
哲学もどき

学向の本質

自然の姿

自然な切、口

人為的切、口



第1図

建てたというのはむしろ非常に新しいのであります。今世紀に入ってから大部分そうじゃないでしょうか。さっき言いましたニュートンなんかも、ニュートンの力学を作り上げたわけでありましてけれども、ニュートンというのも偉大なる実験家として、やはり両方やったわけですね。それから例えばマクスウェルなんか見ましても両方やっておりますし、大抵両方を皆同じようにやってきました。それがそろそろアインシュタイン辺りからぼつぼつ理論家というのが出てきたわけでありまして、ニールス・ボーアなんてのはどうなんですかね、どれだけ実験をやったか存じませんが、先ほど伺いましたら伏見先生も実験と両方おやりになっていて、若い頃には菊地先生の所にて実験をもっぱらおやりになった。その後理論を主としておやりになるようになった。私は藤岡由夫先生と朝永先生に実際の御指導を受けたわけですが、藤岡由夫先生はやっぱり両方やられました。大学を終って入りました仁科研究室では、仁科先生が、これがまたまさに両方でありまして、クライン・仁科の式があるかと思うと実験でいろんな装置を作ったりされる。朝永先生に至ってはどうも機械を作ってもうまく働かない方の物理屋でございまして、理論家で生きてきた。アインシュタインとかそれからハイゼンベルグそれからシュレディンガーとかディラックとか、まあその辺りになりますとだいたい錚々たる理論物理学者というのが確立してきたわけでございます。その頃になりまして少し前を反省して、藤岡先生とか仁科先生とかは両棲類というあだ名で呼んでいました。両棲類というのは要するに理論と実験と両方やるといふ、カエルみたいな存在だといふふうに呼んでいたことがございます。ただ、その後理論家はどんどん同じような意味で発展してきているかという点必ずしもそうではない。というのはつまり、ある意味でそういう理論家のやりまして、ミクロの方へどんどん行って、素粒子のまたその素粒子というふうに段々細かい所に行くと、本当に自然を作っているのは何だといふような方向にずっと分析をしていく、そういうふうな仕事がそれほど多くなかったわけですね。もち

ろんその他に物性の物理とかあるいは流体力学とか、プラズマもそうですけれども、そういうふうな問題になりますと、またその中の理論というのは勿論あるわけですが、例えば相対性原理を確立するとか量子力学を確立する、あるいはウィーク・インタラクションの理論を発見をするとかというふうな、本当に目ざましい仕事をするような領域というのが段々少なくなっている。それで初めの頃の理論というものと、それからその後最近に至って理論というものと、まあ理論物理とは限りませんが、理論化学とかいろんなものがございまして、そういうものとはだいぶ性格的に変わってきているんじゃないかな。それで同じような理論と呼びますが、一体それは何だろうかということちょっと考えてみようかと思ったわけでございます。

その次に**哲学もどき** (第1回) というのがあります。もどきというのは大体似て非なるものというものでありまして、何かバッタに似ているけれどもバッタとちょっと違うやつとかですね、そういうものでありまして本物じゃない。私などは哲学者になる資格は全くないのでありまして、全く勉強もしておりませんし、若い頃にカントだとかヘーゲルだとかを一生懸命読んだだけのものでございまして、だから少し哲学もどきの考察をしてみようというわけです。この下の所にちょっとマンガがあるんですけどそれは、小さくてちょっと分かりにくいですが、大きく描くと恥ずかしいので小さく描いたんです。あそこに座っているのは虎の皮か何かのふんどしをしている原始人でありまして前に焚火をしている。あれは洞窟のつもりなんですけれども、山じゃなくてね。それで本当はその向こうに相手がいるんですけども、そこまで描くのは面倒くさいんで一人しか描かなかった。これは私が、多分高校か大学の頃に見たひとコマのマンガだったと思うんです。原始人が二人で焚火を囲みながら話しをしているんですね。それで言っていることが、こう文明が進んではもう我々が新しくやることはないなあ、と喋っているわけですね、これ私たいへん強い印象を受けたのを今でも覚えています。これか

ら申し上げるのはこの程度の哲学者もどきの話しであるというふうにお考えを頂きたいと思うわけでございます。

それで次は、**学問の本質** (第1図) というえらい題を掲げました。一体、「学」というのは何だろうか。外国語にすると「学」というのはどうもよく分からない。サイエンスというと自然科学的な感じがありますけれども、実際は此の頃は人文科学とか社会科学とかという、あまり科学でないようなものまで科学に入っております。それだけ広げれば「学」というのは大体そんな感じのものかと思えます。ドイツ語ですとビッシェンシャフト、このほうがまだ「学」らしい感じがするなあという気がいたしますけれども、それはどうでもいいんで、いろんな所に「学」がある。落語で横丁の御隠居さんというのがたいへん「学」があるんですけれども、あの御隠居さんの「学」というのはいろんなことを、つまらないことをいっぱい憶えているという博覧強記の方と、もう一つは怪しげな議論を臆面もなくやるというその「学」とがあるわけでございます。そういう意味での「学」というのは社会の潤滑剤としては結構なんですけれども、本気になって相手をする学問ではない。そうすると理論とは何だろうという前に、「学」というのは何なんだろうかと考えてみる必要がございます。私は何かこの自然界、自然界というのは人間も含めた広い意味で使うわけですが、その中にある本質的なもので、しかもある程度一般性を持っていることを発見することだと、あるいはそれを創り出すといっても同じことだと思うんです。人間が創るというのは大体自然にあることを発見するわけですから、まあ発見するといっぴいんじゃないかと思えます。何か新しく創り上げる、あるいは発見する、そういうものが学問なんじゃないだろうか。そのために例えば専門的な研究をしたりあるいは全体を総合してシステムタイズしたりというふうな系統的な研究というのにも必要なんですけれども、それはなにもシステムタイズした知識が学問というんじゃないくて、そういう手段を通じて、何かそこに自然の認識を改めるような何ものかを発見するという、そ

こに一番の役割があるのではなかろうか。

それでは本当に存在する、実在というのは何をいうんだらうかということで、次に**自然の姿** (第1図) というのに移るわけでございます。そこに人間のいる社会がありまして、あるいはまあ地球ですからいろんな社会的な現象もありますし、生物もいるし、いろんな現象もある、政治もある、芸術もあるという、人間を中心とした現実の社会でございますけれども、それを一方で顕微鏡を使って細かい所まで調べていくとどうだろうか。そうすると分子、原子、原子核、素粒子、まあちょっと跳んでしまいましたけれども、クォークとか何とか、というのに行くわけでございます。それから、今度は望遠鏡を使って星の、宇宙の彼方を段々眺めて参りますと、いろんなものが見えてくる。生物だとか地球だとかというのはついでにくっつけたんですけれども、星が出てきたりクェーサーが出てきたりという格好で段々宇宙の始まりの方へ行くわけです。ところが例えば分子の段階ですと生物とかその他いろんなものがそれに関係してきます。物質としての固体、あるいは液体、あるいはプラズマ、アモルファス、高分子、その他いろんな物、あるいはそれから電波が出るとか、というふうないろんな現象がある。生物は分子からできていますし、生物の中にもいろんな生物があり、また生物の作る社会とかいろんなものがあるわけでございます。原子の段階になりますと、生物というより地球にあるいろいろなものの間のいろんな化学変化とか何とか、これもまたいろんな現象があるわけです。それから、核と星というのは最近よく分かってきていますように、核変化、核反応というのが星のエネルギー源になったり、いろんな元素をつくったりしているわけで、まあそこで核と星が結び付いている。それから段々クォークなりゲージ粒子なりというふうになっていきますと、それがまだ分化しない宇宙の始まりということにつながっていくわけでございます。こういうふうないろんな自然の姿があります。そういう中で先ほど申しました、発見する対象というのはどんなものなんだろうかということを考えてみますと、これは段階によって違うわけ

でございます。例えば分子というものを対象にしますと、分子は原子からできているとこういうわけですけれども、分子の中にある原子というのは、これを単に原子という段階で考えておきますと、原子の内部構造までは立ち入らないわけで、そうすれば反応の仕方、結び付く相手によっていつも同じ原子なんだろうかという疑問はあるわけでございますけれども、しかしいろんな化学変化をみたりする上では原子というのは一つの決まった性格をもった対象と見ていいわけです。例えば水素が電解質の中で動くというときに裸の水素、つまりプロトンが裸で歩いて回っているとは誰も思わないんですけれども、やはり化学反応としてみますとそれは水素としてみていいわけですね。そういうふうにいるいろいろ様子は変わって、お化粧品したり着物を着たりするんですけれども、やはり

なものであるかというのはたいへん難しいので、例えば金属の理論の場合には、フリー・エレクトロンという格好で一応表現するわけですね。ですけれども金属の中にフリー・エレクトロンなんてあるはずないんで、それはもうまるで違うものだと思うんですね。ですけれどもそれがやっぱりフリー・エレクトロンとして、それが平均の場で集まって、そしてフェルミ統計に従っているとするバンドがでてくるわけですね。それでバンドがどうなっている、ということが分かると今度はその中に五価の金属を入れたらどうなるだろうとかです。N型とかP型という半導体を作るにはどうしたらいい、それをくっつけたらどうなる、という議論ができる。やはりそういう中、フリー・エレクトロンとは全く違うけれども、“電子”というものを発見するというのが一つの理論の大きな役割じゃないだろうか。ウイグナー先生が非常に穿ったことを言ったことがある。「偉大なる嘘というのは金属の中の自由電子である、これくらい役に立つ嘘は無い」というふうに書いていたところがありましたけれども、やはりそういうアイデンティティーをもったものを発見するのが理論です。それじゃどういう風にやるか、というのが理論物理の問題なんですけれども、その方法たるや実に怪しげでございまして、例えばハートレー近似をやるわけですね。ハートレー近似というのはどれくらいいい加減なものかというのは、ちょっと計算した方はもう御存知だと思いますが、大体数十パーセントは当てにならない所があるわけですね。だけどそれでそういうものがちゃんと理論的に扱えるという理由は何かというのは非常に面白い問題であります。仮にコンピュータがうんと発達して完全にソリューションができたとするんですね、そしたらおそらく美人の顔を顕微鏡で見たらひとつもきれいでも何でもないと同じようにですね、自由電子など見えやしないだろうと思うんですね。なにかぼやんとしたもので、例えばデンシティの分布だとかです。そういうようなものでぼやんとしたものでやってみると、そこにアイデンティティがでてくるんで、もともとぼやんとしたものなんですね。ですからそれを精



講演中の宮島先生

そこに何かアイデンティティーがあるんじゃないか。それから例えば、原子、固体、まあ金属の中やなんかの電子を考えてみますと、自由電子が動き回っていると言うんですけれども、その動き回っている電子というのは決して真空中に一個ある電子と同じではないですね。エフェクティブ・マスなんかは違ったりですね、いろんなことしておりますので、おそらく着物を脱いだり着たりしながら動き回っているわけですが、それでもやっぱり電子という一つのアイデンティティーをもっている。そういうものを発見する、そこに理論というものの役割があるんじゃないか。それがどん

密に頭から勘定しようなんてそもそも無理なわけで、それをハートレー近似という近似法を発見して、対象にぴたっとしたような取り扱い方を発見するところに理論の大きな役割があるんで、数学的にみていい近似になっているかどうかというのは全く別の問題でしょう。例えばハートレー近似で平均のポテンシャルを勘定してみれば大体数十パーセント合わないわけです。例えば多電子原子の計算があるんですけど、ハートレー・フォックかなんかやって、こてこてこてこてとやるわけですね。そうすると外側のレベル構造は非常によく出てくるんですね。ですけどレベルのアブソリュート・バリュウ、つまり励起エネルギーみたいな、これは数十パーセント以上合わないんですね。そこまで合わせるにはたいへんな計算があるわけです。そういうところに一つ意義があるんじゃないか。それで私はここで、いちいち相手のこと、今いったような意味の例えばフリー・エレクトロンなんてのを、いちいち言うのは面倒くさいですから、それをアイデンティティを持った役者という意味でアイデンティティと呼ぶことにいたしたいと思います。パーソナリティということなんですけれども、どうもタレントの人のことらしいですから、それを真似ましてアイデンティティというのはそういう役者だというふうに解釈をしているわけです。その他いろんなところにそれと同じようなものが必要でして、例えばソリトンなんてのは非常に大きな役者だと思います。それからこの頃気候の問題で非常に大きな問題になっているエルニーニョ現象というのも非常に大きなアイデンティティであろうかと思うんです。それがどうしてでてくるかということはまだよく分かっていない、完全には分かっていないようです。これが分かるとこれから十年後、二十年後の気候が予言できるんでしょうけれども、まだそこまでは行ってないのでして、これは精密な計算で旨いくのかどうかというのは実は私は分からんと思うんですね。やっぱり結晶の中のフリー・エレクトロンと同じように、何かうまくそれを捕まえる理論というのを作り上げることが大事じゃないだろうかというふうに思うわけでご

ざいます。

それからその次に**自然な切り口と人為的な切り口** (第1図) というのがあります。自然な切り口というのは、自然がいろいろ我々に切り口を示しておりまして、観察する手助けをしてくれているわけです。例えば物質にいろいろな形態があると、それを基にして物性物理ができています。それから生物の方でも、いろいろな生物があって、その間に遺伝的關係があるというふうなそういう面。あるいは生物と無生物との間で、環境と生物との関係はどうだろうかというふうな、いろんな切り口を自然が見せてくれている。例えば最近ニュースになったんですけども、海の底から自然に火山活動でいろんな気体がでてきている。その中に非常に珍しい生物がいっぱいいるそうです。丁度地球上で大気ができる前に生物ができていたはずなんですけれども、丁度そういう大気も光も必要としない、噴出してくる物質とエネルギーだけで生活ができていくような生物群がいて、熱水生態圏というのだそうです。これも一つの、自然が提供してくれる切り口ではないでしょうか。それから、プラズマになりますと、デンシティがうんと低い、例えばマグネティックなフュージョンのプラズマからレーザー核融合のプラズマまで、密度が桁違いに違うわけでございまして、そういう違いはあるんですけどもどうもはっきりした境目がないというような場合には、例えばトカマクみたいにそれをシリンダの中に入れるとか、それから円筒の中に入れるとか、あるいは球状にしてレーザーで爆縮をして普通の1000倍も密度の大きい状態にしてやるとか、なにかそういう人為的な状況を作ると、それに応じてそこに研究の対象として扱えるようなアイデンティティが発見されてくる。そういうのを人為的な切り口というふうに呼んだわけでございます。それから人為的な切り口の中にはもっといろんなものがあるわけにして、例えば生物の場合だとたいへん高温のところで生きている生物であるとか、あるいは猛烈に強い酸の中に生きている生物であるとか、そんなものが研究されたり、また粒子の場合には、極端に高いエネルギーの粒子をおつけてみるというふ

うな人為的な極限状態を作る，これも一つの人為的な切り口ではなかろうかというふうに考えております。

それでは次に移りましょう(第2図)．今までニュートン力学，熱力学から統計力学，電磁気学から光学，量子から量子力学，それから時空，エネルギー，粒子，重力といろいろ進んできました．例えばニュートン力学の場合にはそこでアイデンティティとして現れてきたのは何かといいますと，質量でございます．ニュートン力学では慣性質量というのが一つのアイデンティティ．それから，力というものがもう一つのアイデンティティとして登場してきているわけでございます．力とは何かというと，これは非常に難しいんですけども，例えば三体問題を扱う時でもその間の力というのは大体二体の重ね合わせたもので表してしまおうというので，結局アイデンティティを持たせているわけです．それからエネルギーというものがアイデンティティとして出てきました．それから熱力学，これははなばなしい人間の思考力の成果だと思ふんですが，そこで最終的にはエントロピーという概念が重要なアイデンティティとして出てきたわけです．これと古典物理学とを結びつけて，古典の統計力学というのが出てきて，そこで自由度あたりの kT というような量が出てきたわけです．それから電磁気と光学になりますと，いろんな問題があるわけですし，プラズマとか電磁物性とかいろんな領域でそれぞれいろんな量があるわけです．一つの重要な発見としては光の量子の発見というのがありまして，これが新しくアイデンティティとして導入された．光の量子だけではなくて，それを粒子にまで拡張したのがボーアの量子論でして，それが基になって量子力学に行ったわけでございます．熱力学のエントロピーを作るときに随分思考実験ということをやっておりますけれども，ボーアの量子論も思考実験というのは非常に沢山やっています．これは一つの方法論としての流れじゃないかと思ひます．それから，量子力学に入ります物質の物理学として発展してきているわけで，いちいちお話しすることもできませんけれども，先ほど言いまし

た結晶の中の電子とか，あるいは超伝導のクーパー・ペアであるとか，あるいは原子・分子の量子論によって周期律表が説明できまして，化学と物理とが総合されてきた．それから，固体の物性，あるいはガス等の物性についても画期的な進歩が得られたわけでございます．こういうふうに眺めて参りますと，実にいろんな役者が出てきているのであります．また相対性理論になりますと時空という新しいアイデンティティが出てくる．それから質量エネルギーというものが出てくる．それから粒子と相互作用，あるいは重力というふうなものが新しく登場してきて，いろんな発展をして新しくいろんなアイデンティティが見つけられているわけです．そういう中で積み残しにされている部分というのがあるんですね．それは先ほど申しましたような，例えば金属の場合のハートレー・フィールドというのはあれはもう計算して出している人はほとんどいないので，大体こんなものだといって話しは済んでいるわけですね．それでいろんな化学結合の理論等にいたしましてもそうでありまして，例えば化学結合のフロンティア・電子の話なんてのがあるんですけども，あれも一番外側にある電子の話で，あとはどうなっているのか，それがどういうフィールドで動いているのかというフィールドそのものの議論は，それをファースト・プリンシプルから出してこようという話しは無いわけです．次にここに書きましたマグネトロンのお話を一寸します．あちらに霜田先生がいらっしゃるんでよく御存知だと思ふんですけども，マグネトロンというのはシリンドリカルな陽極と真中にカソードがあって，それに軸方向にマグネティックフィールドがかかっているんですね．それでアノードのギャップのところ共振回路があるわけです．磁界を段々強くしていきますと，いったん陰極からでた電子が磁界で曲げられてまた元に戻ってきてしまって陽極に到達しないで空間電荷をつくる状態になったとき丁度カットオフというんです．その状態になったとき，まわりにある電気共振回路に電気振動が起こると，空間電荷の中に電子のグループができて，電子電極となり，それ

がぐるぐるまわりながら電気振動を強めるというふうにと考えると実験にぴたりと合うというふうな現象があったわけです。それでは一体どうしてそういうことになるのだろうか、いろいろ検討されました。カットオフになると段々電子がたまってきて丁度空間電荷が一様になると仮定します。磁界をなくすような回転座標系に移りますと、その代わりにパラボラ型のポテンシャルができます。初めはそこに描きましたようにポテンシャルは真中で引っ込んでいるんですけども、ユニフォーム・チャージができてくるとポテンシャルが打消し合ってなくなって平らになっちゃうんです。そうしますと交流電界がありますとそれで加速されて少しずつ丁度うまく同期したところに電子がでていく。それが集まって電子電極をつくるという説明がされたわけです。そこをぴたっと発見されたのは朝永先生でございます。ところがなんで一様な電荷になるまでなるのか、これがなかなか難しいんでありまして、これが未だによく分からない。ただこの際はプラズマよりもっとやさしい電子だけの集合体ですから分からないこともないでしょう。力学的に考えても電子どうしが僅かずつでも衝突をすれば段々拡散をしていって、一様になってしまう。こんどはそこに少し振動がおこっても、例えば疎密ができますと逆にまた戻ろうとしますので、大体そこで止まってしまうというふうに理解できないこともない。これはいままでほとんど議論されていないので、私もこれが正しいのかよく分かりません。次にプラズマの理論(第2図)と書いたんですけども、これはも

う、皆さんの方が専門家なので特にお話することもないんですけども、ディスラプションだとかブートストラップ・カレントとか、あるいは異常輸送だとか異常拡散だとか、あるいは α 粒子がでたときの燃焼だとかいろいろ特徴のある現象が見出されています。そういう現象を扱う際に、例えば異常輸送というのはいろいろなのが沢山ありますよ、それでそれぞれがこうです、なんて言うんじゃ異常現象の理解にはならないのでありまして、それが全体が集まってどんなアイデンティティをもったような運動をするのかということが発見されると割合とわかりやすくなる。そうでない限りは計算機物理でゴリゴリとやってみる以外にはないわけでございますが、そこまでいくと、それで何か分かるかどうか、大へん心もとない気がします。これは理論についての私の勝手な考え方でありますけれども、なんらかのお役に立てば望外の幸と思うわけでございます。どうも時間が超過致しまして申し訳ございませんでした。どうもありがとうございました。

宮島龍興先生プロフィール

昭和14年3月東京帝国大学理学部物理学科卒業。東京文理科大学講師、助教授を経て昭和27年6月東京教育大学教授。その後東京教育大学長をつとめられ、退職後は原子力委員会委員、筑波大学長、理化学研究所理事長をご歴任。数々のご業績に対して平成元年4月勲一等瑞宝章を受章されています。昭和21年理学博士。ご専門は原子核物理、素粒子理論、電磁気学、マグネトロン、場の理論、プラズマ物理、特に現在核融合会議座長としてプラズマ・核融合研究の進展にご尽力戴いています。

