

MeV 以上になると Pauli principle が効かなくなる，そういう場合にも果して原子核を一体描像としてとりあげてよいのかというのは，今後の課題であろう。

4.

広島大・理 吉川圭二

素粒子論は十数年前に比較すると，非常に多くの基本的なことが解明されたようで，より具体的で，統一的で，Well-defined な概念が用いられるような方向に進んできている。このことは一方において，我々の間であまりでたらめなことはできないと云う手カセ，足カセをはめられてきたことにもなるが，他方では素粒子論がより広い領域にわたる分野に関連して多くの解決すべき問題をかかえこんだという点で，ますます豊富な自由度をもってきたことになる。

また一方では，場の理論の内容が物性論との交流で飛躍的に伸びてくるにしたがって，物理的な概念のみならず，技術的な面においても素粒子論以外の分野と共通する要素が多くなり，私の素人考えでは，もはや統計力学，素粒子論，場合によっては宇宙論，原子核理論を別々のものとして教育する（或いは研究する）時代は過ぎ去ったように見える。

以下にまず私の話そうとする概略を図に書いて，その中の各段階 (a)，(b)，…… についてコメントをする。当然のことであるが，私が素粒子論の広大な領域にわたって適確な批判ができるわけもないし，またしようとも思っていないので，大概是仲間内で話題になっていること，たまたま私が関心をもっていること等の一部にすぎない。

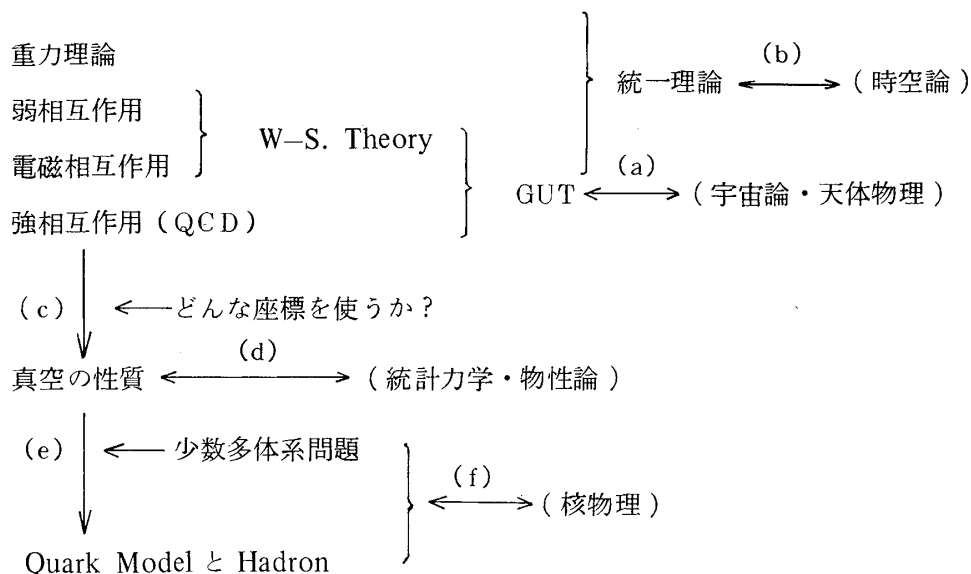


図 1

(a) 御存知のように、弱い相互作用と電磁相互作用は今まで別々の基本的相互作用と考えられていたものが、Weinberg-Salam 理論の成功によって統一され、弱い相互作用の理論的計算が発散を含まずにできるようになった。ここ数年はその実験的根拠が多く確認され、多大の成功をおさめた。これはさらに、強い相互作用も含む大統一理論 (GUT, Grand Unified Theory) の構想を生み出した。GUT の模型作りには宇宙論との関連を考えるのが有力で、初期の宇宙状態、特に宇宙における重粒子数の非対称性については吉村さんの研究をきっかけに素粒子論屋の関心を大いにこの方面に拡大した。宇宙論屋の関心もまた然りである。

(b) ここまでくると、現在知られている相互作用がすべて局所的なゲージ理論に属することから、重力理論を含めた統一理論が考えられ、実際にいくつかの試みがある。Super Gravity Theory などがその例である。これらは、我々が住む時空が何故 4 次元かということにも関連してくるに違いなくて、GUT 又は W-S 理論に見られるいくつかの不自然な事柄 (例えば Higgs Boson の存在) の解決の糸口を与えるかもしれない。

(c) 強い相互作用が QCD (Quantum Chromo-dynamics) で記述される可能性はあるわけだが、今の所、漸近的自由性の成立する領域以外では確証らしきものがあるわけではない。仮りに QCD を取るとしたら今何が必要か。多くの人 (私もそう考えるが)、まず Quark の閉じ込めが起り得るメカニズムを適当に予想して、それにもっとも便利な座標を選ぶことが大切だと思っている。格子ゲージ理論は閉じ込めを与える面白い模型であるが、これからの類推では真空が局所ゲージ不変に取り得る "相" があるかどうかにか左右されることになる。もしそうだとすると、QCD を記述する座標としてゲージポテンシャル $A_{\mu}^a(x)$ や、クォーク場 $\Psi(x)$ などを使うべきでなく、ゲージ不変量、例えば

$$W(\Gamma) = P \exp \left\{ i g \oint_{\Gamma} A_{\mu} dx^{\mu} \right\}$$

$$U(r; x, y) = \bar{\Psi}(x) P \exp \left\{ i g \int_y^x A_{\mu} dx^{\mu} \right\} \Psi(y)$$

などが良い候補者となる。これらは新しいアイデアではないが、最近特に注目され始め、Mandelstam, Polyakov, Sakita, Migdal, t'Hoof, Nambu, 等の論文がある。実際に 2 次元時空などでは新しい座標を使うと、議論と計算が極端に単純化される。

(d) 座標の撰び方はともかく、場の理論の解明にはその理論で可能な "相" をしらべなければならない。これらは最初にのべたように、概念の上でも技術の上でも統計力学、物性論とのアナロジーが多い。格子ゲージ模型などで実際に解析が行われているのは現在の所、統計力学的手法だけと云ってよい。

(e) 素粒子物理学の本来の問題は Hadron の構成であるが、これには真空の性質の上にもう一つむづかしい問題が残っている。深非弾性散乱などで確認されている Hadron の構造を理論から導くには、この真空上での少数多体問題を取り扱わなければならない。これはしかし場の理論特有の自由度の多さから、実際には無限多体問題である。真空の上に数個の粒子を置くことは、真空全体を少しずつ偏極させるが、その中から有限な物理量の引き出す操作は相当手のこんだくりこみ理論となる。

(f) どのような問題でも、正しい物理的内容がほぼ理解されると、技術的には賢明な解法がある。い

くつかの模型を見ていると、この少数多体問題は核物理に於ける方法と密接に関連している。Generating Coordinatesの方法などがその1例である。

ここでのべた以外にもち論重要で素粒子特有の事柄、あるいは他分野に関連した事柄は沢山あるが、上記のことだけ見ても「物理学は一つ」という印象を強く受ける。このことは、学問の多様化に対する悲観論を否定する要素である。事実、素粒子論對他分野間の関連や類似性だけでなく、これらのどの二つの分野を取り上げて見ても、相互に直接の Logical Analogy がいちじるしいことは御存知のことである。このような様相が重要な役割をはたすのが、いつまで続くかわからないし、またあまりに相互の関連性だけを強調してもいけないかもしれないが、これからの7年間程度は、この基礎物理学研究所がここでのべた諸分野の統一を目ざす世界でも特徴のある研究所になってもらうのも一つのあり方ではないだろうか。すでに現在でもこの意味で成功しつつあることはおそらく多くの方々が認めておられるであろう。以上が私の基研の近い将来に期待するイメージである。

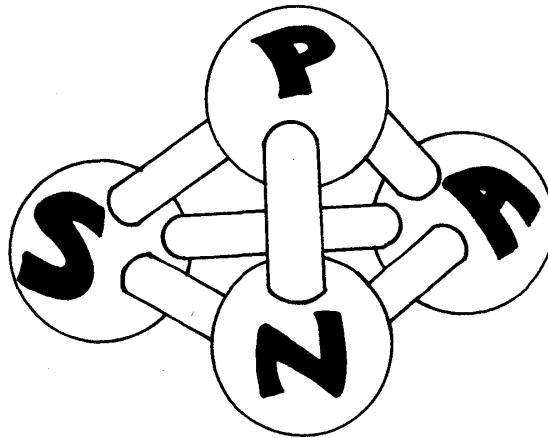


図2 基研の立体シンボル・マーク

座長： 今のお話に直接関係のある質問やコメントをどうぞ。

佐藤： 先程、QCDでAの代わりにWとか Γ とかの変数を導入することを話されたが、QCD全体がそういう Variable で reformulate できるということですか。それとも閉じ込め問題についてだけということですか。

吉川： すべてのことが、ああいふ変数でカバーできる。但し、ある種の問題、例えば現在成功しているような Short distance の behavior を記述するときに、あれが摂動論よりも便利かということとは

吉川圭二

別なんですけど…。あれで完全系を張っている訳ですからそれでもって理論全体が formal には記述できると言える。但し閉じ込めの問題については、こっちの座標の方が便利である。

松柳： 先程のお話の中に出て来た、7年の7という数字の意味は何ですか？

吉川： ラッキー・セブンです。

小沼： 物質 (matter) が quark であるか？という question mark があったが、lepton はどうお考えですか？ lepton は変なもので electron というのは非常に基本的な matter であるかのようにですが他の μ と τ とかは一体、自然界で何の役割を果たしているのか。存在して相互作用がでてくるのですが、変なものですね。

吉川： 私は最近 QFD ではなくて QCD だけを考えていたんでうっかり lepton を落した。quark と lepton が matter か？というように問題を訂正する。

山口： 吉川さんが話されたことは、正しい道を歩いていると信じていられるのか？

佐藤： 私も同様のことを質問したい。ゲージ理論を基にした統一場の方向を話されたが、これ以外の可能性はあるのか。

吉川： 私は京都駅から基研に来るのにも、バスに乗ったあとになっても、これが本当に基研に行くバスであったかと絶えず疑っているぐらいです(笑)。だから信じている訳ではないのですから、今比較的短い先の物理という時に、こういう方向が正しいかどうかということの結着をつけるのが大事なことだ。現在ゲージ理論を基にして議論されるような話ほど広い領域にわたって positive な結論がひき出せる理論は今のところ他にない。しかしこれ以外の可能性を無視して良いということではない。私の本当の考え方は、基研においてやるべき物理なんてものはない、基研でやってはいかんという物理がないのと同じようにということです。今朝、佐藤先生が話されたように、膨張する宇宙というのは、非常に特殊な問題のようですが、それを敢えて研究してみるというのが大切であると理解したのですが、それと同じような意味です。

山口： 今のような筋書きを全体が終わらないと実験でテストできないとしたら、非常に問題だ。100年かかって実験したら全部ご破算だとしたらつまらん。やはりいくつかの crucial な step での実験的テストが必要だと思うので、それについてアイデアがありますか。例えば proton の decay とかというような途方もないものはやめにして、もう少し手軽に安くできる実験的テストはないですか。

吉川： 私には分らないですね。proton の life time を測れということを言い忘れたので、それを言おうと思ってたら、それを言っはいかんということなので…(笑)。もうちょっと考えて、今夜にでも…(笑)。

小川： QCD に結着をつけるというのが非常に大事だとおっしゃったのですが、おそらく閉じ込めに成功すれば、それが一つの結着だと思うのですが。逆の場合はどうなるのか。

吉川： 近似に依らないで QCD 特有の sum rule のようなものを出してみるのがよい。Adler-Weisberger のような。例えばパートンモデル特有なある sum rule がなければならないというのを昨日岩崎さんから教わったのですが、今ここで書くことは出来ないが、そういういくつかの具体的な公式を QCD でまず理論屋が出すことが大事だ。それを実験でテストする。それをあと100年かか

って出すのではなく、7年間で理論屋が出す義務がある。

座長： 山口さんのこれからの質問は「一般討論」の中へくりこみ可能でしょうか（笑）。

吉川： 可能です。

座長： さっき、吉川さんが「基研に於ける物理学」はないと言われたが、私も同感で、冒頭で申し上げたようにこの session は本当は「物理学における基研」ということでしたので、もう一度了承願います。

討 論

司会 益川 敏 英， 三 輪 浩， 山 村 正 俊

益川（司会）： 今まで4人の方から、かなりつつこんだ、そして方向性のあるようなお話を伺いました。

基研でどういう物理が面白い物理になって行くかということで、佐藤さんは X-ray 物理学というようなものは大きな分野になっているので、基研でやらなくても良くて、物理屋がちょこちょこ集まってできるような、重力物理学とかニュートリノ・アストロノミーみたいなことをやったらどうかということを話の片すみで言われたように思う。そういうことも議論の一つの材料になると思う。森先生は統計物理学は今まで物性物理学と共に歩んできたが、かつて100年前と同じような場面に相当していて非平衡系相転移というようなところで、現在の統計力学等に相当する新しい phase がありそうである。それは新しい学問分野を形成しそうであるということで、面白いいくつかの example をあげて頂きました。丸森先生も、原子核物理学というのは、今まさしく新しい phase に突入しているのだと、それは基研のような物性とか、素粒子とか、天体とか、そういうところにあってはじめてでき得る、いいかえれば、非常に力強く発展できる学問なんだ、そういう新しい phase と出会うとともに基礎物理学としてやって行ける学問になってきているというお話があった。最後に吉川さんから PANS の相互にボンドが伸びている絵が示されて、まさしくこの4つの分野が非常に強く結合していると、その中でこの関連を重視した研究ができるようなものへ基研は向うべきだ、というような提案があったように思う。以上が、私の印象で、そんなことは言っていないとおっしゃるかもしれないが、その辺も含めて活発な討論をお願いします。

山口： 吉川さんに質問したことで言いたいことですが。先月、スイスで 20TeV の proton, $p\bar{p}$ あるいは、数百 GeV の e^+e^- colliding beam についての Workshop があったときに、あまり実験屋が理論過信を振り回すので、腹が立って言ったことを、くりかえして言いたいのですが、かつて統一場の理論というのは Einstein と Infeld が電磁場と重力場を基にして試みたわけですが、Weyl もやった。しかしこれは物理としては完全な失敗で、Weyl がこれを新しい数学の 1 Chapter を拓