

がん こう しゅ てい
眼高 手低

川野 輝彦 (京都市立医科大)

益川さんとの出会い

- 4回生(1989年5月) CERNから京大物理学教室に着任した延與(旦那)さんに課題研究P1「君たちは、小林・益川を知らないのか！」と他の学生が斜め後ろで言われているのを耳にして、人生で初めて「益川」という名を認識する。
- 4回生(1989年10月) 院試合格の後、顔なじみの友人に誘われて、素粒子論の修士向けの益川さん(@基研)の授業に潜り込む。ユニタリーゴマの量子化(黒板)やそれまでのセミナーで使ったと思われるトラペ(BKMUなどのトピック)を使った話をされた。
- M1(1990年4月) 素粒子論研究室(素論)に入った時に、益川さんも基研から素論に教授として着任された。

- PD3年目(1997年4月) 基研にポスドクとして3年目の時に、益川さんも所長として基研に着任された。
:
:
- 2018年1月 横田さんのお祝いの会に、益川さんも駆けつけてくださったのが最後にお会いする機会になった。足を悪くされていた益川さんが帰られる際に、「益川さん、大丈夫ですか？」とお声がけすると、「んぬあ、大丈夫、大丈夫」と返事をされたのが、僕にとって益川さんとの最後の会話になりました。

がん こう しゅ てい
眼高手低 (めたかく、てひくし)

- ・ ・ ・ 理想は高いが実行力が伴わないこと。
特に、批評する力はあるが創作力がないこと。
(小学館 大辞泉)



- ・ ・ ・ 目線を高く、問題意識や理想を高く保ちながら、
できることを見つけて、手を動かすこと。
(益川さん)

益川語の他の例

「時空の各点がとっきんときんになっている。」



第55回定例 仁科記念講演会
(東京大学理学部物理学教室主催、仁科記念財団後援)

益川 敏英 教授 (京都産業大学)
2008年度 ノーベル物理学賞受賞者

「70年の素粒子、混沌からパラダイムへ」

混乱の1960年代から収斂の1970年代、そして2010年代へ



2009年12月4日(金)
午後4時00分～午後5時30分

東京大学安田講堂
(午後3時30分開場, 入場無料)
会場へのアクセスは下記をご覧ください

<http://www.u-tokyo.ac.jp/> Useful Links 内のキャンパスマップをクリック



1905年にアインシュタインによりうち立てられた前期量子論も、1920年代には非相対論の枠の中での量子力学となり、ミクロの世界の法則としてハイゼンベルグとシュレディンガーにより完成を見る。この相対論化はすぐにハイゼンベルグとパウリの場の理論として成し遂げられるが、高次補正は発散を含みそれをどう処理して良いか分からず、混乱を極めた。60年代は各大家に一人一学説のオンパレードであった。これが1970年代初頭に統一理論、標準理論に収斂していく。この辺りの様子を、研究者の行動習性ととも語り、2010年代を考察してみたい。

※ 専門外、学生の方にもわかりやすくお話し頂く予定です。奮ってご来場下さい。

※ 問合せ先: colloquium2009@phys.s.u-tokyo.ac.jp

東京大学理学部物理学教室

専攻長 大塚孝治

事務 田中春美

益川さん：

「今、ヨーロッパの加速器(LHC)で行われている実験で、
時空の各点がとっきんときんになっているのが分かるだろう。」

とっきんときん・・・鋭く尖っているさま(名古屋弁)

(用例) 今、削ったばかりで、見てみい、この鉛筆、とっきんときんだがや

時空の各点が、鋭く尖っているとは？

益川さんは、LHCでsuperpartnerが見つかることを期待していたのだろう。

そのとき、時空がsuperspaceになり、多分、Grassmann oddの座標 $(\theta_\alpha, \bar{\theta}_{\dot{\beta}})$ のことを「鋭く尖っている」と表現していたと推測している。

➡ 益川語は難しい！

標準模型を超えた物理に対する益川観とは？

益川さん自身の眼高手低とは...

「素粒子論の基本的課題」

('90@京大物理教室発表会、'92@基研「弦理論の基礎的課題」)

素粒子論の基本的課題

京都大学・理学部 益川 敏英

0. はじめに

1970年代の半ばを境にして素粒子物理学をとりまく学問状況は大きく変わった。自然科学であり、実験・観測事実により検証を受けながら発展せねば成らない実証科学でありながら、自然から受け取ることが出来るシグナル・情報がとても少ないという、はなはだ奇妙な学問的フェーズに素粒子論は立ち到ったのである。

相対論的場の量子論においては結合常数の様な物理量はエネルギー（又はスケール）の対数に依存しており、それ等が一桁変化して質的变化・構造変化（新しい物理）の生ずることを期待しようとしても、エネルギーのレベルで見ればとてつもない桁数のエネルギーが必要となるのである。このことを見れば上記のことは如何ともし難い。

1960年代は溢れるデータの中で、それ等に振り回されながら素粒子論屋は物理を進めていた。今から考えると背景にクォークの閉じ込め機構が有り、何を通じて見るか、どの様な立場で解析をするかでハドロンの姿は実に違ったものに見えた。Chew の立場、Gell-Mann、坂田、湯川、等々の素粒子描像はそれぞれ共通部分が有るとは思えない程に違っていた。このような状況の中で実験事実を導き手としながら、それ等を取捨選択しつつ、今日のクォーク・レプトンに関する統一的な知見・クォークの閉じ込め機構と、弦理論に基礎を置いた超弦理論の到達したところまで

益川さんの認識：

1960年代 弱い相互作用やハドロンなどの素粒子論像は、各大家ごとに異なっており、共通部分があるとは思えないほど異なっていた。

1970年代 しかしながら、溢れかえる実験事実を取捨選択し、それを導き手としながら、1970年代にゲージ理論に基礎をおいた標準理論に到達した。

問題意識：

1970年代半ばを境にして、新しい実験・観測データがとてもしなくなつた危機感



このような状況で、如何に物理が発展するのか、何を重視すべきかを考察する必要性

I、 教訓があるとすれば何か？

II、 場の理論の課題

III、 Planck Scaleより少し下の物理

IV、 Planck Scaleでの物理

1. 教訓があるとすれば何か？

◇ 60年代の実験・観測データが溢れていた時代からの教訓があるとすれば何か

60年代の特徴：

- (溢れる)データに導かれて(溺れながら) → クォークの閉じ込め機構
- 場の理論に対する不信 (法則の適用限界の過剰意識)

60年代からの教訓：

- 自然からのシグナル → 人間のセンスは結構よい。

(例) 閉じ込め (64年にクォークが提案されて、翌年には「閉じ込め」が色々な機会で囁かれていた)

- 実験・観測データがないときはどうするか？

- 1915年のアインシュタインの「統一の思想（物理量の幾何学化）」に導かれて、

- 1922年にKaluzaは5次元空間の中に一般相対論の手法で重力と電磁気の埋め込みに成功している。

- 1954年のYang-Mills理論の発見は、逆に遅すぎる。

- 数学では、30年代にE. Cartanによって接続の考えは確立していた。

- QEDがゲージ理論であることも物理屋は知っていた。

- 場の理論に対する不信感が、場の理論の枠組みを発展させる研究を遅れさせた。

- 研究者のエネルギーが集中できるように、スローガンをたてること。

- 60-70年代の宇宙物理は、これをしていた。

◇ 法則の適用限界 → 今日あまりにも意識しなさすぎる

- 繰り込み可能性 … 低エネルギー領域での現象が繰り込み可能な理論で記述されれば良い。
高エネルギーの極限まで繰り込み可能である必要はない。
- 理論には説明されずに残るパラメータが必ずある。
→ これは、より下部の構造/理論から説明される。

◇ 基本法則の整合性(美しさ)と物質の多様性

- 理論 (モデル) の建設と Model Choosingの問題 → ダイナミクスの問題が常に絡む

例：* 弱い相互作用 — ゲージ理論のHiggs機構の発見が不可欠

* QCD — 閉じ込めを知らなければ、強い相互作用をする質量 0 の粒子の存在で、

理論を捨てているはず (実際に、'71~'73年はこの時期にあたる)

- 基本構成要素(その時点での素粒子)の特徴、種類、相互の関係が問題になる時点で、

必ず、そのバラエティーが豊富になる。

— 下部構造が見えてきたり、問題の視野に入ってくるからである。

— 自然は多様で、自然の (基本) 法則はシンプル (美しい) である。

- 美しい理論は、自然との（現時点での）直接的な接点がなくとも重視すべき。

例：* Yang-Mills理論 — アイソスピンのゲージ化による ρ mesonの記述に失敗する。

* Higgs機構 — u, dクォークとsクォークとの質量差からくる効果を対称性の破れで

説明しようとの試みで不要となるNGボソンを消去するために発案された

が、役に立たなかった。

— 統合的な理論はそれほどバラエティーはなく、別の局面で自然が利用している確率が高いということかもしれない。

- ダイナミクスを理解するとは、物理的な描像が描けるということ。

例：QCDの閉じ込め — 証明されていないが、't Hooftの2次元ゲージ理論のLarge N による

mesonのスペクトラム、Wilsonの格子ゲージ理論による強結合展開

により、物理的な描像を描くことが可能になった。

- データが少なければ、より一層、理論の役割が重要になる。→ 原理的諸問題を重視せよ。
否定的な証明が出てくるまで、現在の理論の枠組みを尊重せよ。この枠組みを使い切って、
変革すべき点・方向性が明らかになる。 朝永の言葉：「反動ならざる保守」

例：場の理論における発散の問題

— スローガンを作り、理論研究のエネルギーの集中を図る。

— 教訓：* 弱い相互作用に関する理論的諸問題としての60年代の緊張

(’68 Christ, ’69 Gell-Mann, Goldberger, Kroll, Low, ’70 Glashow, Iliopoulos, Maiani)

* Yang-Mills理論の量子化についての一部の人々の執念と“いばらの道”

→ この中から、Weinberg-Salam模型と’t Hooftのくりこみ理論が生まれた。

- 発見の契機

Higgs機構の発見は、60年代のはじめに、 u, d, s クォークの対称性からのずれを自発的対称性の破れにより説明しようとした時に、現れるストレンジネスを持つ強い相互作用をする不必要なNGボソンを消す機構の探求から生まれた。

弦理論もはじめはハドロンの理論として現れた。Yang-Mills理論も ρ mesonの理論であった。

他にも、このような事例は多くある。

- 素粒子論の発展は場の理論の新しい知見が加わるごとに新しい局面が切り開かれてきた。

そして、場の理論の新しい現象・機構は、発見の契機となった問題意識とは別に、違った局面で使われることがしばしばある。また、逆に、作業仮説のないところから新発見はない。

- 上のことは、遊び心は適度に必要であり、それを許す広い心が求められている。

理論的探求については、その物理的利用局面を性急に求めてはならないと歴史は語っている。

- 物質の多様性と法則の整合性

自然の持つ性質・属性について、「それは何故か」と問うことが許されるならば、全ての法則には適用限界がなければならない（坂田の階層性の哲学）。最終法則があれば、その理論の枠組、使用されている概念、属性について何故かと問えなくなる。全ての法則は下部構造から基礎づけられることを期待している。下部とは、空間的な内部構造を必ずしも意味しない。空間の性質自身ミクロに行けば、空間的属性を失う適用限界があり、その階層を記述する法則から空間の属性が導かれると期待する。

一 法則には美しさを求めてよい。より広い適用領域をもつ理論は、可能で多様な状況の全てに整合的であるためには、複雑で込み入ったものではなく、ある意味で美しいものしか許されないだろうと考えられるからである。

— 逆に、物質(法則で記述されるもの)のバラエティにシンプルさを求めてはならない。

ギリシャの4元説は9 2の元素に、クォークも3から6に。

歴史は常に登場人物を増やす方向に動く。これは、下部構造があることと無縁ではない。

下部構造が問題になりだすと、構造の変化・バラエティを通じて、多様さが見えてくる。

11. 場の理論の課題

◇ 構成的場の理論の視点

- 繰り込まれた量に対する許容領域の存在。摂動的くりこみ理論との大きな違い（これでは任意の繰り込めてしまう）。極端な場合には、裸の量が何であれ、free理論になってしまう (Grimm & Jaffe, Newman, Aizenmann, Froelich)。許容範囲の境界上にある理論を臨界モデルと名付ける。これは、許容範囲の内点にあるモデルと比較して、発散の状況が異なり、俗に、“くりこみ不可能と言われているモデル”とか、free理論に対応している。
 - 中心極限定理 (Universal Class) ← Main “Theorem” (Maskawa’s Conjecture ?)自然にある相互作用で理論の適用限界が十分遠方(高エネルギー)であれば、これは、場の理論として有効理論が構成可能である(はずである)。

- Low Energy 現象 (scaleのhierarchyがある場合) は、結果として繰り込み可能なモデルで記述できる(はずである)。これは繰り込み可能な相互作用しかLow Energy 現象として残れないことを意味している。(くりこみ可能性は原理ではない。)
 - 上記の意味で繰り込み可能な有効理論は、どのようなものがありうるのか
 - Low Energy Theoremにより保証されるもの…。
 - M(ain) Conjecture (by T. Awaksam : Low Energy 現象は、通常の意味での繰り込み可能な理論、または、その臨界モデルで記述できる。)

◇ (Chiral, ...) Anomaly の困難

- 本質的困難か？ 技術的困難か？ (技術的な困難では？ Model Buildingへの影響は大きい)
- くりこみ理論の理解・発展との関連

◇ Asymptotic Non Free な理論 分かっていない

— QED + (4-Fermi)の分析は少々進んでいるが…。

— 数値実験と理論の協力が必要 (計算機的能力TFLOPSまでそう遠くない)

(注：TFLOPSとは、コンピュータの処理性能を表す単位の一つで、

浮動小数点演算を1秒間に1兆回行うことを表す単位のことである。)

◇ M Theoremの証明 (数値実験での実証も含めて)

◇ 新しい物質の存在様式の発見・定式化 (stringの様な)

◇ 新しい現象・機構の発見（Higgs機構、Ginzburg-Landau機構、
Monopole、閉じ込め、Anomaly、…の様な）

— 遊び心がこれらの発見につながる。遊びは広い心で許せ。しかし、遊ぶ側はセンス良く！

◇ 技術開発の重視

— 同じことの言い替えの様でも、綺麗なものは見えないものを見えるようにしてくれる時がある。

III. Planck scale より少し下の物理

- ◇ GUT, Kaluza-Klein その後どうなった？
- ◇ 宇宙物理との相互作用
- ◇ 固有の物理があるか？ （このエネルギー領域で、説明されるべき固有の(多様な)物理現象、特徴的な力学現象を期待できるか？）

IV. Planck scale での物理

いずれにしても、量子重力。重力を含む理論の(計算可能な)形式を作り上げることが第一。

◇ Dynamicsの特徴を知ること (重力→引力強い！宇宙項のshielding phase?)

— '84 Hawking, '82, '83 Rajeev

— モデル分析、数値的分析 (QCDからの教訓が色々ある)

— QEDの構成問題との関連 (UVに強い引力がある場合の非摂動論的取扱の技術の取得)

◇ Einstein GravityをLow Energy現象としてもつモデルの構成・分析

(Main Conjectureの視点、通情の場の理論の意味で繰り込み可能である必要はない。)

— V.の課題への影響

◇ 原理的諸問題（解決せよとは言っていない。考えることにより、
現実との接点で課題が生まれる。）

- 接続を超える幾何学概念は？（stringはgauge symmetryを結果するが、説明する迄もなく、
そのことが見える透明な論理があるはず）
- Multi-Universeと背景空間（大域的性質は計量のみでは決まらない。宇宙のトポロジーが変化
するような状況を考えると、causality, unitarity等から背景空間
を考えたいくなる。Einsteinから見ると後退のようにも見えるが）

◇ 法則の適用限界 (Planck Scaleの意味? 弱い相互作用を特徴づけるスケールは、法則の適用限界を意味しなかった。Planck Scaleはどちらか?)

— データから可能か? (その特徴を含めて、遠い将来は別として、適用限界を認識できると期待できるか?)

— 理論のみから可能か? (1970年代までの教訓: 殆ど不可能。なぜなら、

* 変更の方向が恣意的になる。

* 腰が入らない。困難を解決するだけのエネルギーが集中されない。)

— だとすれば、どのような方法があり得るのか?

◇ Super Symmetry(Grassmann変数)に深い幾何学的・物理学的意味があるか?

◇ その他

益川さん、またお会いできるのを楽しみにしています！