



IPMU Interview

デイビッド・グロス教授に 聞く

聞き手：大栗博司

素粒子物理が金の鉱脈だった
1960年代、理論家は無力でした

大栗 あなたは漸近的自由性の発見で現在の素粒子物理学のパラダイムを確立され、ノーベル賞を受賞されました。また、弦理論のような、素粒子物理の野心的な分野にも大きな貢献をされました。これらの科学的な成果に加えて、過去10年ほどに渡り所長としてカブリ理論物理学研究所 (KITP) を理論物理学の世界的中心地に成長させました。私たちは日本でIPMUという新しい研究所を確立しようとしていますので、とりわけあなたから教えていただくことが多いと思います。今日はお話を伺って光栄です。最初に伺いたいことですが、科学一般、また特に素粒子物理学のような難解な学問に興味を持たれたのはいつ頃でしょうか。物理学者になりたいとお決めになったのはいつですか。

デイビッド・グロスさんはカリフォルニア大学サンタバーバラ校でW. Gluck理論物理学冠教授およびKavli理論物理学研究所長を務めています。グロスさんは2004年にデイビッド・ポリツァー、フランク・ウィルチェックと共に「素粒子の強い相互作用の理論における漸近自由性の発見」によりノーベル物理学賞を受賞しました。このほか、1988年にディラック・メダル、2004年にフランス科学アカデミーからフランスで科学上の最高の栄誉である最高金章を受賞するなど、多くの輝かしい受賞歴があります。

グロス 物理学がどんな学問かを知るよりずっと前のことです。13か14歳の頃に理論物理学者を志しました。

大栗 それはかなり早いですね。ほとんどの人は、その年頃ではそんな学問があることさえ知らないでしょう。

グロス 理論物理学者になるとはどういうことなのか知らなかったのですが、ガモフらの書いた一般向けの科学書を読んで刺激を受けました。思考の力で現実の世界の仕組みを理解したり、宇宙の謎を解いたりできるかもしれないということに感動して、理論家になろうと決めたのです。私は幸運だったと思います。たいていの人はずっと後にならないと何を本当にやりたいのかははっきりしないものだから。

大栗 そして当時素粒子物理で超一流だったパークレーの大学院に行かれたのですね。

グロス あの頃、パークレーは素粒子実験の中心でしたし、理論の大家もいました。当時、素粒子物理は本当に金の鉱脈でした。毎月のように多くの新粒子が発見されており、新粒子や新現象の発見は難しいことではありませんでした。実験的にはすぐエキサイティングな時代で、実験家がこの分野の支配者でした。理論家はまったく無力でした。

大栗 それでもあなたの理論物

理学への情熱は衰えなかったのですね。

グロス 解くべき多くの問題があったからです。ほとんど何も理解できていないこと、ほんの僅か理解していたことはその場しのぎで矛盾に満ちていたことが明らかでした。素粒子物理学に対する見方を変える新しい発見が相次いで、刺激的でした。

大栗 パークレーで大学院修了後、あなたはハーバード、続いてプリンストンに行き、大学院生の指導もうまくいきました。

グロス 多くの優秀な学生がいれば、大学院生を指導するのは簡単です。フランク・ウィルチェック（ノーベル賞受賞者）が私の最初の大学院学生で、エド・ウィッテン（フィールズ賞受賞者）が3番目か4番目だったと思います。それが普通だと思っていました。科学と数学では、未だに非常に古風な教育方法を保っています。私たちは学生を教えるのに、まるで絵描きの親方が弟子を教育のため工房に連れて行き、作品の制作に参加させるのと同じやり方をします。学生が誰でもいきなり研究に携われる訳ではありませんが、プリンストンのような優れた研究大学の最も優秀な学生は早い時期から研究を開始できます。

大栗博司さんはIPMUの主任研究員の一人で、またカリフォルニア工科大学Fred Kahl理論物理学冠教授を務めています。

大栗 パークレーから東海岸に移ったとき、研究の方向も変わりました。

グロス パークレーでは私の指導者だったジョフリー・チューが仕切っていました。

彼は、いわば理論の無い理論とも言えるブートストラップ（靴紐）の提唱者でした。それは場の理論と真っ向から対立するアプローチで、「場」は測定できないもの、物理的ではないものである。観測できない「場」を用いて理論を構成するべきではなく、観測できるS行列（散乱行列）を規定する一般の原理のみを考えるべきであるという考え方でした。そして、一般の原理と矛盾しないS行列が唯一存在するという仮説でした。この方法からは大した成果を得ることができなかったもので、私はパークレーを離れる前に飽き飽きしてしまいました。東海岸に移って良かったのは、まだ場の理論に対して寛大だったことです。

大栗 しかし東海岸でも場の理論はまだ主流ではありませんでした。

場の理論は役立たずを証明しようとしてうまくゆく理論を発見

グロス 確かに場の理論は主流



ではありませんでした。場の理論は無効だったからです。物理学者にとって、計算できること、理論の限界を探れること、アイディアの正否を判定可能な予言ができることは必須です。当時の場の理論では、摂動論的な手法であるファインマン図形でしか計算ができなかったのが、強い相互作用には全く不十分でした。

大栗 そこであなたが漸近自由性を発見し、素粒子物理学を記述する言葉としての量子場の理論の有用性について認識を一変させました。

グロス 漸近自由性という現象は、強い相互作用が近距離で弱くなる理由を説明できる理論を探して得られた答でした。そこから強い相互作用の理論であるQCD（量子色力学）が導かれました。しかし、もっと一般的に言えば、紫外領域で振る舞いが十分に良く制御可能な理論を手に入れたことで、非常に高い計算能力が得られ、また紫外領域での発散のために量子場に付きまっていた疑念が解消されました。そこで私自身も含め、皆の考え方が全く変わってしまったのです。それ以前には、私自身も場の理論は強い相互作用の理論にはならないと確信していたのです。実際、私の最初の研究計画は、漸近的スケール則を記述する量子場の理論は存在しないことを証明しようというものでした。

大栗 すると場の理論は役立たずなことを証明しようと取りかかったのに、逆にうまくいく理論を発見してしまった訳ですね。

グロス 実際は3段階のプログラムでした。最初は観測されたスケール則を説明するには漸近自由性が必要なことを示すこと

でした。次は漸近自由性をもつ場の理論は存在しないことの証明で、非可換ゲージ理論を除けばそれが成り立つことをコールマンと共に示しました。最後はフランク・ウィルチェックと一緒にの仕事で非可換ゲージ理論について調べたのですが、驚いたことに漸近自由性を持つことがわかったのです。まるで、一、二、三、QCDでした。選択の余地はありませんでした。スケール則を説明しようとして、必然的に非可換ゲージ理論にたどり着いたのです。

大栗 その後、素粒子の理論家はほとんど量子場の理論に転向しました。

グロス 計算が可能になったから、もっと良いことにはその計算が正しかったからです。そして、すばらしい実験的検証がありました。しかし、私にとって主要な問題は、もはや漸近自由性あるいはQCDを調べる計算ではなく、もっとずっと難しいクォークの閉じ込めを理解することでした。

大栗 話を一気に80年代半ばに進めましょう。あなたは弦理論に戻ってきましたが、以前とは違う目的のためでした。

グロス 弦理論は1968年に誕生しました。その頃私は強い相互作用と近距離と深非弾性散乱についてちょうど考え始めていました。当時、強い相互作用を記述するには何か全く革命的なものが必要だと確信しており、弦理論がそれにちょうどはまったのです。

私は早い時期に弦理論に関わったのですが、ハドロンを説明するものではないことにも、すぐに気づいてしまいました。私は陽子内部の近距離で起きていることを理解しようという試みに集中していました。弦理論の

良い点の一つは相互作用がソフトなことでした。しかし、これは運動量が大きくなると断面積が指数関数的に小さくなることを意味するので、実験で観測されるべき乗則的に小さくなる振る舞いとは全く違います。ですから、弦理論は近距離での簡単なスケール則的振る舞いを理解するには向いていなかったのです。そこで私は弦理論を用いる研究は中止したのですが、その後の弦理論の暗黒時代さえ関心は持ち続けたのです。いつでも魅力的に見えましたよ。

1983年に私はサバティカル（研究休暇）でパリに出かけ、弦理論に立ち返りさらに研究する好機であると決心したのでした。

大栗 その1983年に何か感づいたのですか？ 超弦理論革命のちょうど1年前で、絶妙のタイミングのように思えます。

1984年に超弦理論革命が起きたときは準備済み

グロス 多少は気づいていたかもしれませんが、そのためばかりではありません。当時、弦理論から生まれた超対称を持つ理論に大きな進展がありました。その頃には素粒子理論分野では誰でも超対称理論に興味を持ったのです。プリンストンではエド・ウィッテンと私が弦理論に興味を持ち続けていました。ジョン・シュワルツは母親が住んでいたのに年に1回か2回プリンストンを訪れたものですが、その度に私たちの所に来て進展を話してくれたりセミナーをしてくれました。

ですから1年後にグリーンとシュワルツのアノマリー相殺が発見され、超弦理論革命が起きて、突然みんなが関心を

持ち始めたときには、私には準備ができていたのです。

大栗 そこであなたはヘテロティックな弦理論を構築しました。

グロス $E_8 \times E_8$ 群をどうやって実現するかという、すぐに思いつく問題に対する、意表をついた答えでした。弦の上を右と左に伝わる波を別々に扱ってよいことに気がついてしまえば、答えを得るのはそれほど難しいことではありませんでした。あの頃は実に興奮する時代でした。突然素晴らしいアイディアが一つにまとまり、合理的な統一ゲージ群とカイラルな（弱い相互作用で見られるように右と左を区別する）物質場が得られたのです。

大栗 そのとき私は大学院生で、カラビ-ヤウ多様体の幾何学的構造から実に自然に3世代の素粒子が現れるという事実に感銘をうけたことを憶えています。

グロス それ以前は、素粒子の世代数や湯川結合の階層性やフェルミオンの物質場のカイラル性などの説明は、ほとんどその場しのぎか大して意味のない対称性に基づくものでした。それが空間の幾何学的性質から説明できるとは、信じがたいほど美しいものでした。

大栗 それ以来、弦理論は素粒子の統一理論に向けて進歩をもたらしただけでなく、物理学の他の多くの分野にもつながりを持つことが明らかになってきました。例えば、KITPでは今まさに弦理論を物性物理学に結びつける研究会を開催中です。研究会に参加している物性物理学者はこの進展に大変興奮しているよう

に見えます。

グロス 弦理論は量子場の理論と密接に関連していることがはっきりしました。量子場の理論は単に素粒子物理だけではなく、物性物理の理論に重要な量子多体系の理論を記述する言語でもあります。弦理論は豊かで大きく、実に多くのものを含んでいます。

最近数年間の大きな進展の一つは、弦理論によって強い相互作用を理解しようという昔の夢が実現したことです。大きな円を描いてもとに戻ったわけです。しかし私にとっては、究極の目標は力の統一です。それは素粒子物理の究極的な目標であるとともに宇宙物理の新たな目標でもあります。

大栗 将来の宇宙論や天体物理学の実験の幾つかは、力の統一という目標に直接関係があるかもしれません。例えば、マイクロ波宇宙背景放射の偏極やインフレーション時代からの重力波の観測は、プランクスケールの物理について情報をもたらしてくれるかもしれません。

学際的共同研究の成功には適切な問題と適切な研究者が必要

グロス プランクスケールの物理についてはほとんど手がかりがないので、このように極端に短い時間または長さのスケールで起きたことについてあらゆる方法で追究すべきです。天体物理学と宇宙論、素粒子実験の研究者たちの夢は実に壮大で、そのため信じられない程困難な実験や観測を実行しようとするに私は強い感銘を覚えます。このような英雄的努力はどうしても必要なのです。というのも、

私たちの分野にとっては、美しく強力な数学的理論を作り上げようとするだけでなく、自然自身からも手がかりを得ることが重要であるからです。IPMUの研究は、そうした実験と理論の両面での試みを全て含んでいますね。

大栗 おっしゃる通りです。宇宙の暗黒物質の検出のような実験に関わっている研究者と会って話をする事で啓発されます。理論家が何をすべきか、道筋を指し示してくれるのです。また、時には新しい関係を生み出すこともあります。例えば、統計学者と天体物理学者が集まって新しい統計的解析法を開発しようというフォーカスウィーク（村山機構長の発案によるIPMUに独特の研究会）を計画していますが、数学者と実験家の協力という新しい学際的方法が生まれるかもしれません。また、物性物理学と弦理論との交流を目指したフォーカスウィークも企画しています。

グロス KITPやIPMUのような研究機関が果たすことのできる最も重要な役割の一つは、異なる分野の研究者を結集して、共通の問題を解く手助けをすることです。大学はこういうことは余り得意ではありません。大学の学科は閉鎖的で、他の学科のことはほとんど無視しています。そうすることに意味がないわけではありません。例えば、科学を前進させるためには、時には一つのことに集中することも必要です。しかし、我々の研究機関には学際的な協力を促進する能力と責任があるので。

大栗 KITPは学際的な協力の手本となりましたが、これにはあなたのリーダーシップが

特に際だっています。何がよかったとお考えですか

グロス 重要な点が幾つかあります。一つは適切な問題を見出すことです。他の人の問題に無理やり興味を持たせることはできません。まず、問題に興味を持ってもらうことが必要です。

また、適切な人を選ぶ必要があります。他の分野の研究者に、理解できるように説明する意欲が必要です。研究者は問題に集中し、研究に集中するので、適切な問題とそれに適した雰囲気があれば、全てが可能となります。はずかしい質問も気後れせずに行き、当たり前のことを説明し、時間をかけ、わくわくする冒険として一緒に科学に対して取り組む、そういう雰囲気を作り上げることが必要です。

大栗 それは私たちIPMUの研究者にとって大きな教訓です。

グロス IPMUの出発は極めて順調だったと思います。この夏、あなたの研究所の数人の博士研究員に会い、とてもよ

い評判を聞きました。若手研究者がうまくいっていることが一番です。素晴らしい努力をしていますね。

大栗 最後に、日本にいるIPMUの友人たちにメッセージをいただけますか。

グロス 私は新しく発足したIPMUと、今までIPMUについて知ったこと全てについて嬉しく思っています。数学から実験的な宇宙論に至る研究グループを一つ屋根の下に集結させたという事実に感銘を受けました。素晴らしい研究組織と素晴らしい人たちが集まっています。

日本政府が、このような高水準の科学を、成果を上げるために本当に必要なレベルで支援したことは、実に賢明な措置であると思います。あなたたち全員の熱意は多くの成果を生み出すでしょう。私は、この構想は成功し、科学に対して大きく貢献するであろうと感じています。あなたたちは素晴らしいスタートを切ったのです。



グロス教授は2008年3月11日、12日に行われた数物連携宇宙研究機構発足記念シンポジウムに出席し、講演されました。