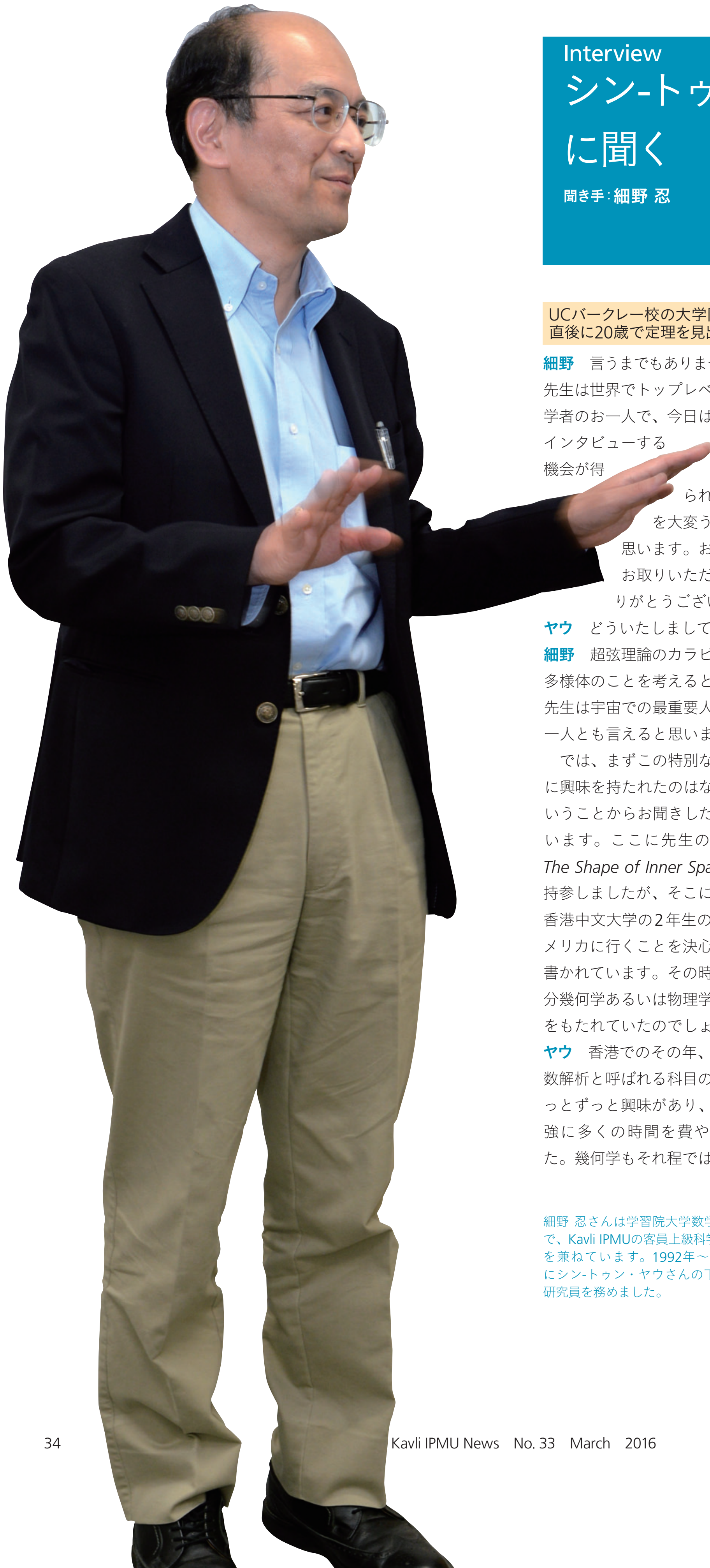

Interview
シン-トゥン・ヤウ教授に聞く

聞き手：細野 忍

UCバークレー校の大学院入学直後に20歳で定理を見出す

細野　言うまでもありませんが、先生は世界でトップレベルの数学者のお一人で、今日は先生にインタビューする機会が得られたことを大変うれしく思います。お時間をお取りいただき、ありがとうございます。

ヤウ　どういたしまして。

細野　超弦理論のカラビ - ヤウ多様体のことを考えると、私は先生は宇宙での最重要人物のお一人とも言えると思います。

　では、まずこの特別な多様体に興味を持たれたのはなぜかということからお聞きしたいと思います。ここに先生の著書の *The Shape of Inner Space** を持参しましたが、そこに先生は香港中文大学の2年生の時にアメリカに行くことを決心したと書かれています。その時既に微分幾何学あるいは物理学に興味をもたれていたのでしょうか?

ヤウ　香港でのその年、私は関数解析と呼ばれる科目の方にもっとずっと興味があり、その勉強に多くの時間を費やしました。幾何学もそれ程ではありませんが多少は勉強していました。主に3次元の曲面と曲線を調べる古典的幾何学でした。私は多様体が何を意味するのか何も知らず、従って現代的な幾何学の知識は持ち合わせていませんでしたが、後に徐々に身につけました。

細野　物理学についてはいかがでしたか?

ヤウ　香港中文大学では、まずまずと言える程度の物理学のトレーニングを受けましたが、高校で受けた物理学のトレーニングは相当不満足なもので、それは今思うととても残念です。高校の時に習得しておくべきであったと思われる物理的な直感を、十分身につけることができませんでした。香港中文大学では物理の成績は結構良かったのですが、それにもかかわらず、私はいつも自分には物理のトレーニングが不足していると感じています。

細野　そして、1969年に20歳でカリフォルニア大学（UC）バークレー校に行かれて大学院に入学されたのですね?

ヤウ　その通りです。

細野 忍さんは学習院大学数学科教授で、Kavli IPMUの客員上級科学研究員を兼ねています。1992年～1993年にシン-トゥン・ヤウさんの下で博士研究員を務めました。

* *The Shape of Inner Space—String Theory and the Geometry of the Universe's Hidden Dimensions*, Shing-Tung Yau and Steve Nadis, Basic Books, New York, 2010：邦訳は「見えざる宇宙のかたち—ひも理論に秘められた次元の幾何学」、シン-トゥン・ヤウ、スティーヴ・ネイディス著、水谷淳訳、岩波書店、2012

細野　先生は大学院に入学後すぐに定理を発見されました。驚くべきことだと思います。それについて少しお話しいただけませんでしょうか。

ヤウ　バークレーに行って、私は現代数学の色々な分野で知らないものが多いと思いました。それで、数多くの講義を取り、幾何学に関心をもち始めました。バークレーの先生達からは非常に多くのことを学びましたが、最初の学期で多様体について勉強しました。リーマン幾何学でしたが、ほんの初歩的なもので十分とは言えませんでした。

　その後、クリスマスの期間でしたが、私はアメリカではこの時期学生も教授も皆帰省するということに気がつきませんでした。それで、私は基本的に一人で取り残されてほとんどの時間をバークレーの図書室で過ごしました。当時はオフィスをもってはいなかったのです。私は本と雑誌を全部ざっと見通して、とても読み易い*Journal of Differential Geometry*という雑誌を見つけました。その第２巻に、偉大な数学者のジョン・ミルナーが書いた数編の面白い論文があって、それを読んでとても興味深いと思いました。その論文は、曲率が多様体の基本群にどのような影響を及ぼすかについて書かれたものでした。私は多様体の基本群とは何を意味するのか代数的トポロジーの講義で学びましたが、曲率が何を意味するかは幾何学の講義ではほとんど学んでいませんでした。しかし、これら２つを結びつけることができると知り、そのことをとても面白いと思ったのです。

　そこで、私はミルナーの論文を勉強しました。それはとても良く書かれた論文で、全部理解することができました。ミルナーは参考文献としてアレクサンドル・プリースマンという人の書いた古い論文を挙げていたので、それも読んで理解しようと思いました。更に、単に理解するだけではなく、幾つかの議論をより一般的な場合に拡張を試みることにしました。私はそれを続け、自分でも驚いたのですが１週間ほどでかなり面白いことを導くことができました（後に「平坦トーラス定理」と呼ばれ

シン-トゥン・ヤウさんはハーバード大学数学科の教授で、中国の清華大学Yau Mathematical Sciences Center（丘成桐数学科学中心）所長、台湾の国立交通大学 Shing-Tung Yau Center（丘成桐中心）所長を兼ねています。1971年にカリフォルニア大学バークレー校から数学の博士号を取得し、その後ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校准教授、スタンフォード大学教授、プリンストン高等研究所教授、カリフォルニア大学サンディエゴ校教授を経て1987年より現職。1982年にフィールズ賞を受賞した他、1994年にクラフォード賞、1997年に米国国家科学賞、2010年にヴォルフ賞受賞などの輝かしい受賞歴があります。

るようになりました)。私は香港中文大学で偶々群論についてある程度勉強していたのですが、結果を導くには群論に基づいて多様体の基本群を調べたのでした。私は図書室を探しまくって、全ての参考文献を自分で調べたのでした。他の人たちから離れて一人で生活し、自分の時間全てを使って研究し、それは非常に興味深いとても楽しいものでした。

細野　アメリカに行かれてたった半年後ですね?

ヤウ　そうです。

細野　それは本当に驚くべきことと思います。

ヤウ　いや、それ程のことではありませんが、わくわくして面白かったです。

カラビ予想との出会い:長い間本当とは信じられなかった

細野　その後、カラビ予想に出会ったのですね。

ヤウ　その通りです。最初の年、私は今言ったことを含め、多くの時間を費やしてリーマン幾何学を研究しましたが、複素多様体も研究し、幾つかセミナーも聞きに行きました。それからシンシェン・チャン(S.S. チャーン)に指導教員になってもらおうと決めたのでした。彼は最初の年はサバティカルで不在でしたので、彼が戻ってから私は「あなたの学生にして下さい。」と頼みました。彼は承知してくれて、私はほとんどの時間を複素多様体の研究に費やし始めました。

それから、また私は図書室で過ごして、エウジェニオ・カラビの書いた論文を何篇か調べました。彼がカラビ予想と言っていたものは、私には魅力的でした。というのは、私は一般相対論の講義を取っていて、幾何学をリッチ・テンソルで記述するアインシュタインの場の方程式を調べていたからです。私が面白いと思ったのは、リッチ・テンソルは曲率の一部しか表していないのに、物理学では物質を意味していることです。それで、「もし物質が存在しないとして、重力は存在するのだろうか」と問いました。その意味は、リッチ曲率が消えるときにまだ非自明な重力が存在するかということです。この問題は純粋にリーマン幾何学の範疇で答えるには非常に難しいことでした。そこで私はカラビのこの論文を調べたのです。彼は、ケーラー幾何学と呼ばれる特別な種類の多様体の範疇でこの問題に答えることを試みるように提起し、その方法さえも与えていたのです。私はその論文に興味をそそられました。私はリッチ曲率についてより良く理解するために役立つであろうと感じ、カラビの論文に魅了されたのです。

私はとても興奮しました。なぜなら、最初リーマン幾何学を研究したのですが、リッチ曲率をどうやって調べるか、あるいはどう扱えば良いのか分からなかったからです。しかし、それを理解する方法をこの論文が与えてくれたのです。その後、私はこの問題を理解したいと思いましたが、当時、このような多様体の例は、ほとんど、というより実質的には全く存在しませんでした。そこにカラビが代数幾何学を用いて膨大な数のこのような多様体を見出すことができると提案したのです。ところが、話がうますぎるとして誰もそれが本当とは信じなかったのです。恐らく、私自身もそれが本当だろうとは信じていなかったと思います。私はそれが本当かどうか調べようとして、長い間悪戦苦闘しました。

細野　最初は先生もそれが本当と信じていらっしゃらなかったのですか?

ヤウ　随分長い間、本当とは信じていませんでした。私の友人達の多くは非常に優れた幾何学者ですが、誰も皆それが正しいとは信じていませんでした。

細野　誰も信じなかったのですか?

ヤウ　その通りです。

細野　それが最初の年ですね。

ヤウ　私がこの問題について知った、最初の年でした。私はその一方で、これは非常に本質的で重要な問題なので、何とかして解かなければならないと思いました。もしそれが真でなければ、反例を見つけなければならない。もし正しければ、素晴らしいことだ。私はその時点で、もし真であると証明されたならそれは最も偉大な定理となるであろうと本当に思っていましたが、一方でそれが真であろうとは信じていませんでした。

細野　先生は最終的には結論に到達され、証明を完成なさいました。

ヤウ　いや、それには長いことかかりました。

細野　非常に難しい問題だったということですね。

カラビ予想を理解するための基礎的な概念、幾何解析を開拓

ヤウ　そうです。実際、後でカラビが私に話してくれたのですが、彼がこの問題を解こうと試みていた時、20世紀の偉大な数学者の一人であるアンドレ・ヴェイユが、この問題を理解し、あるいは解くための主要なツールがまだ存在していないと彼に言ったそうです。ツールが存在していないため、この問題を解くには、時期尚早だったのです。実際、私がこの問題を肯定的に解決しようと試みていた時(初めは本当に一生懸命反例を与えようとしていたのですが、しかし、多分それは正しいだろうと考えを変えた時)は、問題を解くための基本的なツールを作り上げることが必要となりま

した。今日では誰もがほとんど自明だとみなしますが、当時は多様体上で微分方程式を解くことさえしていなくて、単に領域で方程式を解くだけでした。しかし、私はその問題を解くために全ての基本的なツールの開発を多様体上で行いました。それにはかなりの時間を要しましたが、私にはシャオユェン・チェン（S.Y. チェン）、それからリチャード・シェーン、レオン・サイモンのような良い友人がいて、一緒に研究しました。彼らは、皆本当に良い友人でした。私たちは、多様体上の解析が意味することを理解し始め、現在幾何解析と呼ばれている分野を開拓したのでした。これはカラビ予想を理解するために必要な基本的な概念でした。

細野　なるほど。その問題に何年かかりましたか?

ヤウ　解くためにですか?

細野　そうです。最初は否定しようと考えられました。

ヤウ　1970年から1973年にかけて、1973年の9月から11月頃まで私はそれが間違っていると考え、反例を与えようとしましたが、11月頃からそれは正しいに違いないと考え始めました。それまで私はずっと反例を与えようと悪戦苦闘してきましたが、1973年にスタンフォード大学で行われた大きな国際会議で反例ができたと公表し、それが間違いだと分かったのです。私は最悪の気分でした。重要な公表をしたつもりが間違っているということになったのですから。2週間というもの、私は基本的に昼も夜も反例を挙げようとする以外何もせずに過ごしました。反例を考える度に非常に微妙なところでうまくいきませんでした。それで、神の仕業でなければそんなに微妙ではあり得ない、従ってそれは正しいに違いないと思ったのです。私は完全に考えを変え、その問題を解こうとするために必要なものを全て準備しました。そして、1973年の秋から3年後の1976年に問題を解決しました。ですから、準備し、推論を積み重ねた3年間でした。

細野　なるほど、必要なもの全てを準備されたのですね。

ヤウ　研究しつつ、ツールを準備したのです。

細野　なるほど。とても興味深いお話しです。1982年にその定理でフィールズ賞を授与されました。同時に受賞したのはアラン・コンヌとウィリアム・サーストンでしたね。

ヤウ　その通りです。

細野　私たちにとって非常に興味深いのは、そのすぐ後に物理で歴史的な大事件である超弦理論のブレイクスルーが起きたことです。一体、どんな状況だったのでしょうか。つまり、その頃の数学者と物理学者のコミュニケーションはどんな様子だったのでしょうか。

1984年にカラビ・ヤウ多様体と超弦理論が出会った

ヤウ　実は、1973年が始まりでしたが、スタンフォード大学で開催された大きな国際会議で、私は一般相対論について講演した数人の物理学者に会いました。彼らは重力についてのある問題を提起しました。正質量予想と呼ばれるものです。それはアインシュタインから始まる古い問題で、アインシュタイン方程式が安定であることを証明することです。その意味するところは、アインシュタインが設定した仮定の下で時空の全エネルギーが正であるということです。もし全エネルギーが負だったとすると、その系は不安定で、宇宙全体が消え去ってしまうでしょう。問題は、そうはならないと確証を与えるという基本的なものでした。また、それ自体が幾何学の美しい問題でした。私は1977年から1978年頃までその問題に取り組み、以前私の学生だったシェーンと一緒にそれを解きました。彼のことはバークレー時代から知っています。そういう訳で、私は一般相対論の研究者と密接な関係を保っていました。カラビ予想に取り組んだ後のことです。実際、1979年にプリンストン高等研究所に行きましたが、そこには有名な物理学者のマルコム・ペリーや、他にも一般相対論に興味をもつ研究者が大勢いました。1年後に私はプリンストン高等研究所の教授になり、ポスドクを採用しました。私の最初のポスドクはゲイリー・ホロヴィッツでした。私は彼を一般相対論のポスドクとして招いたのです。同じ年、私はアンドリュー・ストロミンガーにも会いました。1年後、エド・ウィッテンがやってきて、正質量予想の別の証明法を示してくれました。そういった人たちが皆そこに集まっていたのです。私は、現在カラビ-ヤウ多様体と呼ばれる多様体を構成したことを話し、「私にとって、これは物理学に触発されたものです。真空にも重力が存在するのですよ。これは物理学にとっても役に立つに違いない。」と伝えたのでした。しかし、それは当時の物理学では十分成熟していない事柄でした。それで、誰もそれが本当とは信じなかったのです。面白いことです。

1984年に私はまだプリンストン高等研究所に所属していましたが、当時UCサンディエゴに勤務していた妻を訪ねていました。サンディエゴは美しい街です。私は美しい青い海を見下ろす彼女のオフィスにいましたが、そこにホロヴィッツとストロミンガーとウィッテンから電話がかかってきました。「興奮してます。超弦理論と呼ばれる

量子重力の新しい分野を切り拓いているところです。素晴らしい理論ですが、モデルの真空を構成しているところで、真空解について一つ知りたいのです。それはどんな多様体なのかです。6次元の多様体で必要な条件を満たすもので、余り自信はないのですが、どうもそれらしきものをあなたから聞いたような気がします。」彼らは、私にどのようにすれば良いのか知っているかと尋ねました。私は「それは正に私が以前話したものですよ。正に私にできることです。」と答えました。それで彼らは非常に喜びました。実は、エド・ウィッテンはもっと詳しいことを知りたくて、1日中私と話すためにプリンストンから飛行機でやってきました。私たちは丸1日非常に有益な議論を交わしました。それから同じ1984年に、シカゴのアルゴンヌ国立研究所で超弦理論に関する大きな国際会議が開催されました。私はその会議に出席し、このテーマに非常に興奮しているもっと多くの人たちに会いました。それ以後、私はカラビ-ヤウ多様体にそれまでよりもずっと興味をもち始めたのです。それ以前は、実のところ私たちは余り多くの例を知らなかったのですが、一方、物理学者が参加してからこの分野は巨大産業となり、私は彼らのためにもっとずっと多くのカラビ-ヤウ多様体を構成し始めました。ある時点で、少なくとも10,000はあると言ったところ、彼らは少しがっかりしていました。最初、彼らはたった3個しかないと考えたのです。

細野　たった3個と考えたのですか?

ヤウ　そうです。そこに私がもっとたくさんあると言ったのです。しかし、とにかくその後私たちはこれらの多様体の性質を明らかにするため、それまでより緊密に協力するようになりました。

1980年代末頃に発見されたカラビ-ヤウ多様体のミラー対称性

細野　なるほど、興味深い話です。そうこうして超弦理論に対する研究活動が開始されたのですね。1980年代の終わり頃、大発見の一つがカラビ-ヤウ多様体のミラー対称性でしたね?

ヤウ　その通りです。

細野　数学者にとってミラー対称性は不思議なことに思えます。先生はどう思われましたか?

ヤウ　全くその通りです。始まりは1984年でしたが、私たちはカラビ-ヤウ多様体に興味をもちました。構成法を調べ、性質を調べました。ポスドクも含め、私たちは皆一緒に議論し、幾つか進展がありました。1988年頃、私はUCサンディエゴからハーバード大学に移りましたが、同じ1988年にブライアン・グリーンという若手がいて、ポスドクになりました。勿論、彼は今非常に有名です。私たちはカラビ-ヤウ多様体について議論し、論文を書き、研究は非常に順調でした。ある日、突然彼が私のオフィスに来て言いました。「カラビ-ヤウ多様体には、それぞれミラーがあるようです。」私は考えて、こう言いました。「それは真ではあり得ない。」

細野　なんと、先生は、それは真ではあり得ないと仰ったのですか?

ヤウ　そうなのです。それは誤りでした。なぜそうなったかと言うと、私たちが構成したほとんどのカラビ-ヤウ多様体は、負のオイラー数をもっていたからです。私は「ミラー多様体は異なる符号のオイラー数を意味するので、これでは対称にならない。」と言いました。「負のオイラー数の方が正のオイラー数より多いのだから。」しかし、私は紙の上で計算しただけで、それでは大規模な計算をするのは簡単ではなく、その時は私の間違いでした。それからフィリップ・カンデラスと彼の共著者がコンピューターで大規模な探索を行い、対称なダイアグラムを発見しました。

細野　有名なダイアグラムですね。

ヤウ　その時起きていたことについての良い手がかりが得られ始めました。そしてブライアン・グリーンと、カムラン・ヴァッファの学生だったローネン・プレッサーが、ゲプナー模型と呼ばれる、特別な部類の多様体の上でのミラー対称性の理論を展開しました。彼らの仕事は対称性に関する物理的な直感と推論に基づいていました。彼らは実際は5次超曲面に対するミラーが良い性質を持つことを「物理的に」証明し、興味深い幾つかの例で正しいことを確かめました。私はその性質が非常に良いこと、自分が言ったことが間違っていたことを納得しました。しかし、最も驚いたのは、カンデラスが言ったことです。1年間の計算の後に、彼らはミラー予想から出発して実際に正確に計算したと言いました。彼らは多くの興味深い計算結果を出し、私を驚かせました。

細野　あの有名な5次超曲面の計算ですか?

ヤウ　そうです。5次超曲面の

計算です。見事に計算できたことが判明した（湯川結合に対する）インスタントン補正です。これに私は非常に大きな感銘を受けました。

細野　カンデラスたちの仕事のすぐ後で進展がありました。

転換点となったバークレー国際会議

ヤウ　その直後にイサドール・シンガーがミラー対称性のことを知らずに、私にこういうことを頼んできました。UCバークレーの数理科学研究所で数理物理学のある特別な研究集会が催されるので、それを組織してほしいということでした。私は彼に、最近ミラー対称性についての計算が行われたので、これを主題とする会議とするのが非常に適切と思うと言いました。物理学者と数学者の双方が集まって、今後何をするべきか、何はするべきではないのかを見極めるため、意見を交わすのです。当初の計画では別の数理物理学の主題、主として当時のゲージ理論についての会議でした。その当時、シンガーはゲージ理論の方に興味をもっていたのです。私たちはそれをミラー対称性についての会議に変更しました。それがミラー対称性についての最初の会議でした。

細野　その会議の後、多くの数学者が考え方を改めたと思います。

ヤウ　その会議は、私が次のようなことにしたため、非常に劇的なものになりました。初めのうちは、かなり形式的な講演の後で参加者はそれ程意見を交わすことはしませんでした。そこで、私はある晩の夕食後に物理学者と代数幾何学者に集合をかけ、2時間にわたって議論を交わしました。一番劇的だったことは、カンデラスとそのグループの計算で得られたインスタントン数が2人のノルウェーの代数幾何学者の計算結果と大きく食い違っていることが判明したことです。代数幾何学者は、計算を非常に厳密に、各段階で正しく行い、間違いの入り込む余地はないと考えたため、激しい論争になり、彼らはカンデラスたちの考え方は間違っているとその面目を失わせるようなことを言い始めました。

私ははっきり覚えていますが、実際は物理学者達は湯川結合の規格化等、諸々の理由で、もっとずっと控えめでした。私はブライアン・グリーンと話をし、カンデラスと話をしました。そして、修正が必要に見えた全ての規格化因子その他を検討し、その結果問題は何も見つけられませんでした。私たちは何が間違っているのか分からず、困惑しました。何かを修正しなければならないと考えたのですが、どうやって修正するのか分からなかったのです。会議は疑問を残して終了し、解散しました。2ヶ月後のことです。素晴らしいことがありました。ノルウェーの2人の数学者が非常に正直な人で、私たちに次のような手紙を送ってきました。彼らは計算に必要なコンピューターのプログラムを自分たちで開発して使ったのですが、それに何か欠陥があり、それを修正した結果、カンデラスが得たものと完全に一致する数が得られたのです。これは簡単なクイズとは違います。その数は非常に大きな数で、それが完全に一致したのです。今や、我々の友人の代数幾何学者にとって、この計算の物理には何か重大な意味があるということが非常に説得力のあるものとなりました。多くの代数幾何学者、特に当初その計算に非常に批判的だったデイビッド・モリソンは、直ちに…

細野　彼は批判的だったのですか?

ヤウ　もう非常に批判的でした。彼は「君たちは間違っている」と言ったのですが、その後180度方向転換して、非常に誠実にこの研究課題全体を支持するようになりました。そして、それ以来非常に多くの貢献をしてきました。特に、彼はブライアン・グリーンと一緒に研究を始めました。ブライアン・グリーンは、なんと言っても筆の立つ人です。私のポスドクを終えた後、私はブライアン・グリーンにコーネル大学に行くように勧め、彼はコーネルに勤務していました。そこで彼と一緒に研究するためにモリソンはコーネルに行き、何が起きているかを理解し始めたのです。後にブライアン・グリーンはコロンビア大学に行きました。私は彼がその職を得るのを助けましたが、それ以来彼は非常に満足しています。

細野　それは良かったですね。ミラー対称性の進展にとってその会議が間違いなく非常に大きな転換点だったのですね。

ヤウ　全くその通りです。その後ブライアン・グリーンとモリソン、それからカンデラスは非常に良い成果を出し続けました。そして、多くの人々がその研究を始め、問題を調べ始めたのです。

細野　その後、人々はミラー対称性とは何かを理解しようと試み、現在、それを理解するための主要な方法が2つあると思い

ます。一つはSYZ（Strominger-Yau-Zaslow）ミラー構成と呼ばれる先生の構成法です。非常に魅力的な方法で、非常に有望に見えますが、まだまだ非常に謎に満ちているように思われます。

ヤウ　その通りです。

細野　将来どのような進展があると期待されておられますか？あるいは、進展するためには何が必要でしょうか？

物理学者の直感が数学者の幾何学的課題の理解を助けた：さもなければ不可能だった

ヤウ　私たちはずっとミラー対称性に興味をもっていました。1990年代初期に君が来て、アルブレヒト・クレムが来ましたね。SYZ構成はどうやらジョー・ポルチンスキーや他の人達が発展させたブレーン理論に関係がありました。私はポスドクのエリック・ザスローと議論しました。それからトリエステを訪れ、そこでエド・ウィッテンから次のように質問されました。「アンディー・ストロミンガーとカトリン・ベッカー、メラニー・ベッカーが丁度カラビ-ヤウ多様体の超対称サイクルを提案したところですが、それが正しいことなのか確信がもてません。あなたのご意見を聞かせていただけますか？どのように考えられますか？随分長い間、アンディーがこういうサイクルを得ようとしていることを話していましたが、今回は面白そうに見えます。」彼は何であれ、黒板にそれがどのように見えるかを描くのが常でした。私は「これは非常に良さそうに見えます。つまり、これは極小部分多様体です。」と答えました。私は非常に長い間極小部分多様体を研究してきていました。それは特殊ラグランジュサイクルで、その時点では超対称サイクルと呼ばれていました。それは私たちがこの研究のある部分は何年も前にブレイン・ローソンとリース・ハーヴェイによって独立に行われたことを知らなかったためです（私は知っているべきでしたが、忘れていました）。しかし、彼らはそれが物理に何を意味するか何も分かっていませんでした。ストロミンガーとベッカー姉妹は、彼らが展開したブレーン理論が以前にも発表されていたことを知りませんでした。それで、私は大変良い研究のように見えるので、一度調べるように勧めました。

それから、私がハーバード大学に戻ったところにストロミンガーが訪ねてきました。彼は当時ブラックホールのコニフォールド転移に関する非常に重要な研究をしたところで、ハーバード大学は彼を採用することを考えていました。彼は私のオフィスにやってきて、私たちは超対称サイクルが何かについて長時間議論し、ブレーン理論の観点からブレーン双対性を使って構成されるミラーがあるべきであると結論しました。このようにして私たちはT双対性が（ミラー対称性の）正しいものであろうというSYZ構成のアイディアを見出しました。これは色々な意味で良いことでした。なぜなら丁度機が熟しており、その後ブレーン理論が発展したのです。私たちはそれが正しいことであると感じたのでした。

それは何かの幾何学的解釈であり、私はいつも幾何学と物理学が何らかの形で混じり合ったものが好きなので、大変興奮しました。しかし、勿論問題は、全ての進展を通じて常に何らかの量子補正が必要なことで、それは多くの直感に頼ることを必要とします。この量子補正は常に重要でありながら理解されていないものであり、単純に真であることと、取り組まなければならないことに関してヒントを与え続けてくれています。しかし、決して数学的に正確ではありません。従って、私たちはそれを理解するための数学を展開し続けています。基本的に、正しい方向に進む度にそこから何か非常に興味深い数学が現れてきます。現れた数学はその都度正しく、この予想を支持します。これまでに何度も何度もこの予想を支持する結果が積み重ねられてきたと思います。

これには私は非常に驚き、また非常に喜んでいると言わざるを得ません。物理的直感に助けられて私たちは幾何学的な課題を理解しましたが、問題の多くは特異点を処理しなければならないものであり、このような物理的直感がなければ理解は不可能であったでしょう。SYZファイブレーションには多数の特異点があり、これまでのところそれをどのように扱えば良いのか分かっていません。しかし、どういうわけか、場の量子論は特異点があるけれどもそれは基本的には問題無いということを直感的に主張します。計算してみると、いつも問題を克服できる方法が見つかるという結果になるのです。私たちはその事実に対して、今でも非常に興奮しています。また、現在はマキシム・コンツェヴィッチによって提案されたホモロジカル・ミラー対称性（HMS）についてももっとずっと多くの進展が見られています。私は、これら2つのアプローチが融合し、多分非常に優れた直感的な洞察を与えてくれ、そして、そこから重要な命題の数学的証明が生まれてくるであろうと思います。先程言ったように、このような物事の理解からとても多くの興味深く美しい数学が出現しているのです。出現すること自体がまったくの驚きであるものもありますが、出現した数学が実際に正し

いと証明できて、更に大きな驚きとなるのです。

細野　その通りだと思います。なぜか数学側からは、数学者、例えばハーヴェイとローソンが特殊ラグランジュ部分多様体の理論を発展させ、一方物理学者はブレーンといった類のアイディアを得ました。それから先生がこれら2つのアイディアを同一のものとして結びつけました。

ヤウ　それは良い例だと思います。

細野　先生のご意見を伺いたいのですが、これは数学と物理学の間の関係として典型的なものでしょうか。歴史的には長い間この2つの学問分野に異なる点はありませんでしたが、どういうわけか20世紀に入って違う方向に進んでしまいました。

ヤウ　初めはそうでした。

細野　しかし、どうも超弦理論は私たちに、それが正確には何なのか分からないのですが、重要なことを示唆していると思います。数学と物理学の関係をどのようにお考えでしょうか。

21世紀には量子重力の理解を可能とする幾何学の構築が求められる

ヤウ　非常に魅力的だと思います。つまり、それは常に多くの偉大な数学者が進歩を得るため両方を理解しよう、両方からアイディアを得ようと努めたテーマでした。私は、21世紀には量子重力の理解、即ち重力つまりアインシュタイン方程式に支配される非常に大きなものと量子力学に支配される非常に小さなものの理解を可能とする幾何学の構築が求められていると思います。この大問題は、勿論アインシュタインが解決したかったものです。しかし、このためには物理学者だけでは十分ではなく、優れた幾何学者を必要とし、また極めて深遠な物理的直感を必要とするため、幾何学者だけで済むものでもないと思います。数学と物理はそれぞれの側で更なる理論の構築を進め、最後にはその間に橋を架けることができると期待したいと思います。

しかし、今現在は正しい量子幾何学を構築するにはまだ十分に機が熟していないと思います。例えばカラビ-ヤウ多様体と多岐にわたるそのディテールのような重要な問題を理解していないためです。物理の側でもまだ私たちが理解していないことが数多くあります。つまり、多くのパラドックスを生み出すブラックホールや、まだ理解しなければならない諸々のことです。多分、20年ないし30年後にはもっとずっと理解が進んでいると思います。私たちは、整然とした景色の中に架かる橋を見ることでしょう。私は、それが多くの数学者と物理学者を糾合して目指すゴールであると信じます。これは、たった一つの分野ではなく、幾何学の側からは代数幾何学、解析、表現論、数論などの多くの分野、物理学の側からは、勿論、場の量子論、統計物理学、その他数多くの分野からの多くのアイディアを必要とするものです。そして、非常に多くの人々を必要とするものです。たった一人の人間が全てを理解できることはあり得ません。私は、これは歴史上美しく重要な時期になると思います。

細野　仰る通りと思います。最後に、IPMUとはthe Institute for the Physics and Mathematics of the Universeの略称です。先生のご経験に基づいてKavli IPMUで物理学と数学に関連した研究を行っている人たちにメッセージをいただけませんでしょうか。

ヤウ　2008年の発足記念シンポジウムに出席しましたが、その名前通りの研究センターを立ち上げているところで、私も大変興奮を覚えました。数学者と物理学者と天文学者が集結し、理論を発展させるために互いの話に耳を傾けることは非常に良いことであるだけでなく、本質的に重要であると考えます。私たちは強い好奇心をもち、互いに触発しあうことが必要です。例えば、私について言えば、物理学科にセミナーを聞きに行くのが好きでした。大多数のセミナーは理解できませんでしたが、10回も聞くと分かり始める何かがあり、その何かが私が数学を進展させる上で非常に役に立ったことがあり、あるいは結局物理に対してさえ役に立ったことがあります。私たちは忍耐強くあるべきで、「今日この問題を解くことはできないので、私はもう降参する。」とは言うべきではありません。それは正しいやり方ではないのです。外国語のようなものなのですから。外国語でも1年も聞いていると話せるようになるものです。同じ類の問題なのです。（数学者が）物理学科に行くには言葉を知る必要がありますし、その逆の場合も同じことです。数学者は自然を理解する上で驚嘆するようなことを数多く生み出すし、物理学者も同様です。Kavli IPMUの皆さんがそれを実現なさることと期待しています。

細野　ありがとうございました。過去50年間数学と物理学相互の関わりを経験された偉大な数学者である先生から頂いたお言葉は、Kavli IPMUの研究者と、それだけでなく私たち全てに大きな影響を与えてくれます。このインタビューをお受けいただき、本当にありがとうございました。

ヤウ　どういたしまして。私からもありがとうございました。