



Interview

ファビオラ・ジャンノッティ博士 に聞く

聞き手: 村山 斉

歴史的発見の発表まで、目の回るような1ヶ月

村山 今年7月4日にCERNのLHCにおける歴史的なヒッグス粒子発見を発表されましたね。私はインターネットを通じて見ていましたが、実に感動的な瞬間でした。あのセミナーで発表する直前はどんな気分でした？

ジャンノッティ とても強く感じていたのは満足感ととても集中したこと、それから…「疲れた」という気分だったと思います。それ以前の4週間から6週間というのは、昼も夜も働いていましたから。2012年のデータの解析は本物のデータを見ないブラインドで進めていましたが、ブラインドを解除したのは6月の初めてで、結果を発表したのが7月の初めてでした。

村山 7月4日でしたね。

ジャンノッティ その通りです。

ファビオラ・ジャンノッティさんは1989年にミラノ大学から博士の学位を取得、1996年にCERNの研究員になりました。ATLAS実験に1990年代初期のプロジェクト開始時から参加し、測定器の設計、建設及び物理能力予測の詳細スタディーに貢献、2009年から2013年3月まで同実験代表を務めました。2012年にイタリアの大統領からイタリア共和国功勳章グランデ・ウッフィチャーレを受章、またミルナー財団から基礎物理学特別賞を受賞、2013年にイタリア物理学会のエンリコ・フェルミ賞、ニールス・ボーア研究所荣誉メダルを受賞。ウプサラ大学およびスイス連邦工科大学ローザンヌ校から名誉博士号を贈られ、英国エジンバラ大学物理・天文学部から荣誉教授に任命されています。またイタリア科学アカデミー会員です。

ですから、初めて2012年のデータの「信号領域」を調べてから発表まで、全部で4週間でしたね。2011年の末までに私たちが 3σ のヒントと言えるものを得ていたことを覚えてますか？

村山 12月の会議(CERNのSPC¹)に出席してましたよ。

ジャンノッティ 125から126 GeVあたりに 3σ のピークがありました。勿論 3σ 程度のピークはデータの統計的な揺らぎによることが多く、その場合は現れたり消えてしまったりします。2011年12月のヒントは全然決定的とか確実とか言えるようなものではありませんでした。冬の停止期間の後、2012年の始めに加速器が運転を再開し、エネルギーが8 TeVに上がりました。(2011年は重心系エネルギー7 TeVでの運転でした。)発見に至った決定的要素の一つがその1 TeVの違いでした。データを取り始めたのは2012年の4月でしたが、科学者の取るべき慣行に従って、私たちはこれまでの実験結果でまだ排除されていない(「信号領域」といわれる)質量領域ではシミュレーションイベントを使った解析を最適化するまでデータを見ていませんでした。一方、主なバックグラウンドの過程についてはデータ

¹ SPC (科学政策委員会) はCERN理事会の2つの下部組織の一つ。村山機構長は2010年以来SPC委員を務めている。

を非常に注意深く調べ、バックグラウンド領域のデータを用いてシミュレーションの検証を行っていました。6月初めに積分ルミノシティ $1 \sim 1.5 \text{ fb}^{-1}$ (インバース・フェントバーン)程度を記録してから初めて信号領域のデータをブラインド解除しました。私たちは主にHiggs $\rightarrow \gamma\gamma$ と Higgs $\rightarrow 4$ レプトンの2つの過程を解析しましたが、最初にデータを用いて解析すべき過程としたのはHiggs $\rightarrow \gamma\gamma$ だったと記憶しています。

村山 その2つが一番探しやすい過程ですね。

ジャノツティ 6月の10日前後ですが、Higgs $\rightarrow \gamma\gamma$ の解析でブラインドを解除したとき、私はテバトロン衝突ビーム加速器の歴史を語るシンポジウムに出席するため米国のフェルミラボにいました。そこでATLASの解析結果を見て、私は椅子に座ったまま跳び上がりました。125 GeVから126 GeVにピークがあったのです。それは2011年のデータで 3σ のピークが見えたのと同じ質量の所であり、独立なデータセットで同じ所に見えたのです。

その結果を私に送ってくれたATLASの同僚と短いメールをてきぱきとやりとりをしたことを覚えています。私が「大変だ!」と送り、彼が「まったく!」と返事してきました。そんな様子でした。

それから1~2週間後にHiggs $\rightarrow 4$ レプトンの解析もブラインド解除しました。私たちはこのHiggs $\rightarrow 4$ レプトンでは幾つか候補があると予想していました。2011年の末には、125 GeV 付近の質量領域に4個のイベントがありました。しかし、2012年のデータには、最初にブラインド解除した時、新たなイベントの候補一つもなかったのです。それで、とても困惑しました。その後、6月下旬に突然9個のイベント候補が現れたのです。少数統計での統計的変動の格好の例というわけです。

村山 なんと!

ジャノツティ そういうわけで、結局は両方の過程で信号が得られました。実に目の回るような1ヶ月でした。私たちはすごく興奮していましたが、ある意味、集中する気持が支配的でした。最高のデータを記録するため、電子とミュオン粒子と光子に対するイベント再構成の効率と測定器の性能を上げるため、また解析で一寸でも問題となる可能性があるものは全て理解するため、それは一生懸命動きました。どんな細かいことも徹底的に調べ、セミナーに間に合うようにあらゆる種類のチェックを

村山 齊さんはKavli IPMUの機構長で、カリフォルニア大学バークレー校の教授を兼務しています。



行いました。講堂に足を踏み入れると、聴衆で一杯でした。多くのATLASの共同研究者（別の部屋から、あるいは高エネルギー物理学国際会議が開催されているメルボルン²から、もっと多くの共同研究者が見守っていることを私は知っていました）、夏だったものでサマースチューデントも大勢、また、リン・エヴァンスやジョルジオ・ブリアンティのように加速器を建設してLHCの歴史を作った多くの科学者たちがいました。それから、LHCの装置や運転を受け持つチームの中心的な人たちも加速器責任者のスティーブ・マイヤーズと共にほとんどその場にいました。クリス・ルウェリン＝スミスとルチアノー・マイアニとロバート・エイマーなど、歴代の所長もいました。当然、CERNの現執行部もいました。

村山 では、緊張したり、神経質になったりしたんですか？

ジャノッティ そんなに神経質にはなりません。むしろ、とても楽しい時間でした。

村山 実際、とてもリラックスして自信たっぷりに見えましたよ。

ジャノッティ 私はやる気満々でした。結果が特別なものであるということ以上に、私は

ATLAS実験全体が如何に素晴らしく機能してきたか、またどの部分（つまり測定器、データ取得、ソフトウェア、計算機、解析）をとっても熱心で有能な何百人もの人たち—若い人たちも沢山います—が一生涯懸命働き、確実な仕事をしてくれたおかげで、如何に素晴らしく役割を果たしてきたかを示すことをとても誇りに思っていました。一人一人の貢献が極めて重要であると同時に、全体が完璧に揃ったオーケストラのように働いたのです。

村山 素晴らしいですね。

ジャノッティ とても素晴らしい時間でした…何千人もの人たちの20年以上にわたる努力の成果だったのです。

メルボルンへの出発延期を命じた
CERN所長

村山 CMS実験も同程度の信号をもっていることを知ったのはいつですか？

ジャノッティ CMS実験の代表者のジョー・インカンデラと私はいつも連絡を取り合っていました。お互いの結果の詳細は話していませんでしたが、多かれ少なかれ相手がどういう状況かは知っていました。私たちは、自分の共同研究者に相手の実験については何も言わないことを了解していました。

村山 その段階でどの程度の情報を共有していたのですか？

ジャノッティ 互いの実験で2012年のデータにも125 GeV付近でピークがあるということを知っていました。そのピークが時間と共に増えていることと、2つの主要な過程（ $\gamma\gamma$ と4レプトン）にピークがあることは知っていました。私たちが共有した情報はそういった類です。また、私たちは、CERNの所長にも常に情報を伝えていました。あなたは6月のSPCに出していましたよね？

村山 ええ、いました。

ジャノッティ その週はすごいことになりました。理事会のあった週です。その6月23日に理事会主催の夕食会で所長が私とジョーをそばに呼んで、「君たち、メルボルン行きを延期しなさい。理事会はCERNでセミナーを開催して欲しいと希望している。」と言ったことを覚えています。そこで私たちは日取りを相談して、とりあえず7月4日にすることで一致しました。

村山 実際、その時のSPCで、発表はメルボルンよりも現場のCERNで行うべきだと議論しました。

ジャノッティ その通りです。セミナーの前の6月29日、金曜日に私とジョーは所長室に呼ばれ、こう言われました。「さて、何 σ か教えて欲しい。」私たちはテーブルの上で書きました。ATLASは5.1でした。

村山 CMSは4.9だったと覚え

ています。本当にエキサイティングだったに違いないと思います。

ジャノッティ あの頃のことを決して忘れないでしょう。

村山 ということは、その瞬間までロルフ（CERN所長のロルフ＝ディーター・ホイヤー）は信号がどの程度有意なのか知らなかったのですか？

ジャノッティ 実際にはCERNでセミナーをすることに決めた6月23日には、所長は両方の実験の結果を併せれば信号が 5σ を超えるであろうということは知っていました。しかし、個々の実験の信号が何 σ なのか、正確には知りませんでした。

村山 それは面白い。では、彼はいつピーター・ヒッグスとフランソワ・アングレールとトム・キップルを招待したのですか？

ジャノッティ 正確には知りませんが、セミナーの数日前に招待したのではないかと思います。

村山 なるほど。では、彼は本当に自信があったのですか？

ジャノッティ 両方の実験を併せれば 5σ を超えるであろうということは自信があったと思います。発見したと公表するのには十分ですから。

村山 実際は個別に 5σ だった訳で、本当に素晴らしい。私は予想していませんでした。

ジャノッティ 私たちは解析した過程の両方で明らかな信号を

² メルボルンで2012年7月4日から11日まで第36回高エネルギー物理学国際会議が開催された。

得ていました。6月初めに2012年のATLASのデータにHiggs → $\gamma\gamma$ 過程ではピークが見えていましたが、Higgs → 4レプトンの新たなイベント候補はありませんでした。その時、私は自分にこう言い聞かせました。「もし2つの主要な崩壊過程の両方で共に信号が見えなかったら公表するのはやめよう。」その後データが増えると共に両方の過程で徐々に信号が増えていきました。強調しておきたいと思いますが、その6月はLHC加速器の調子が実に素晴らしく、それまでの3年間で最高の月間運転記録を達成した月でした。この性能が出なかったら、こんなに速くヒッグス粒子を発見することはできなかったでしょう。

村山 見事でしたね。実に、実にエキサイティングな瞬間だったと思います。

ジャンノッティ チームワークとチームスピリットのおかげでした。実験グループと加速器グループ全員と一緒に、協動的に、効率的に働きました。

村山 私は発表の様子をパークレーの自宅でインターネットを通じて見ていました。真夜中を過ぎていましたが、全く眠れませんでした。すごく興奮させられて、あなたの最後のスライドで 5σ と聞いて…涙が出ました。本当に涙が出ました。すごい感動でした。

ジャンノッティ 新粒子の質量に

も感激しました。自然はとても親切でした。125 GeVのヒッグス粒子は $\gamma\gamma$ 、ZZ、WW、bb、 $\tau\tau$ など多くの異なる終状態に崩壊します。ですから私たちはLHCと将来建設されるであろう加速器の両方で色々な崩壊様式を調べることができます。もしもっと重かったらヒッグス粒子が見られるのはWWとZZだけになって、ヒッグス粒子の性質を調べられる機会が圧倒的に減ってしまったことでしょう。

村山 本当にそういう終状態全部を調べることができるということは、とても幸運です。

ATLAS全メンバーが一糸乱れずに

ジャンノッティ あの7月4日のことを私がとても誇りに思うもう一つの理由は、私たちが実験チームとして成し遂げたことです。ATLAS実験グループはそれまで何年も、また特に発見とその公表に先立つ数週間、素晴らしい働きを見せました。7月4日にATLASとCMSが示した結果に含まれるデータは、6月18日まで記録されたものでした。6月18日は月曜日で、次の日曜日、6月24日には私たちは既に7月4日に見せることになる全データセットに基づく予備的な結果を手にしていました。それはこういうことを意味しています。つまり、6月18日の午後6時まで取ったデータが、既にキ

ャリレーションが済み、生データの処理が終わり、運動学的に再構成され、世界中の共同研究者に分配され、解析され、ヒッグス粒子の各種の崩壊過程で統計的足し合わせを完了していたのです。

村山 それはすごく速い。

ジャンノッティ 驚くほどです。そして6月24日にはもう私は自分のラップトップに完全な結果を…いえ、まだ最終ではなくやることが…

村山 何かちょっとした手直しとか。

ジャンノッティ ええ、些細な手直しとかクロスチェックとか、することが…でも実際はほとんど変わることはありませんでした。ですから、これは一人一人が一連の、測定器から最終的なプロットや数値を得るまでのものすごく長い色々なステップのそれぞれの場所でベストを尽くし、目覚ましい速さで、全員が一糸乱れず働いたことを示しているのです。本当に素晴らしいことでした。大きな感銘を受けました。

村山 そして最後のスライドを終えた直後、聴衆から総立ちの拍手かっさいを浴びましたね。

ジャンノッティ はい、すごく感動しました。LHCが一それに関わる実験、加速器、国際協力、CERNの意味ですが一非常に重要で記念すべき業績を上げたことを実感させられました。

村山 ピーター・ヒッグスさんと一緒に有名な写真があります。彼がこの驚くべき研究成果を祝福しているところです。あなたは、多分その時初めて彼に会ったのではないですか？

ジャンノッティ その通りです。私は偉大な輝かしいアイデアを讃えて、おめでとうございましたと言いました。

村山 彼は正しかった。

ジャンノッティ ええ、彼は正しかったです。ヒッグスさんはとても謙虚で感じの良い人です。私は、彼の科学上の偉業だけでなく、人間的な面でもとても感銘を受けました。彼からはATLASの偉大な業績にお祝いの言葉をいただきました。私は彼の功績を讃え、彼は実験の功績を讃えてくれました。

村山 素晴らしいですね。

ジャンノッティ 忘れられない瞬間でした。

村山 フランソワ・アングレルさんについても一言お願いします。

ジャンノッティ 私はアングレルさんとは以前にお会いしています。彼は全く異なる個性の持ち主で、とても才気煥発な人です。

村山 それから記者会見に移動したのでしたね。

記者会見直後、日常業務に戻る

ジャンノッティ 記者会見は1時間



でしたが、刺激的な質問が沢山あって、とても興味深いものでした。そこで私たちの発見が人々の心に与える衝撃について、私は初めて多少の予感を覚えました。午後1時に終わって、私は毎週水曜日の午後の開かれるLMCと呼ばれる「LHC装置委員会」のミーティングに行きました。LMCミーティングでは運転チームと装置を受け持つチームを含む加速器の専門家と各実験の代表者達が集まって、前の一週間の実績と問題点をレビューし、次の週の予定を決めるのです。7月4日の水曜日也不例外ではなく、私はいつもの水曜日のようにLMCミーティングに出席したのです。

村山 なんと、いつも通りに業務を!

ジャンノッティ いつも通りの業務でしたが、その日のミーティングは超現実的とでもいう雰囲気、一寸何か特別の感じがしました。誰も午前中のことは触

れず、特にお祝いしたりすることもなく、出席者同士がおめでとうと言うこともありませんでした。全く何も無しでした。通常通りの業務、日常に戻ったのです。

村山 本当ですか? それはすごい。

ジャンノッティ スティーブ・マイヤーズがいつもの水曜日のようにミーティングを始めました。前回の議事録、実施項目、その他。唯一、LHC運転チームリーダーのマイク・ラーモントが示した運転状況報告の最初のスライドに発見を暗示するものがありました。表題がいつもの「LHC運転報告」ではなく「ヒッグス・ファクトリー運転報告」だったのです。英国流のユーモア。そんな具合でした。

村山 とても洒落てますね。

ジャンノッティ その通りですね。LMCミーティングの途中で私は携帯の電源を記者会見中にオフにしてそのままオンにするの

を忘れていたことに気がつきました。オンにした途端、パオラ・カタパノ（CERNの広報チーム所属）が「どこに隠れてるの? ジャーナリストが探し回っているわよ」と聞いてきました。私が「LMCミーティングに出ているの」と答えたら、「どうかしてるんじゃない、ヒッグス粒子を発見した日に、世界中から報道陣が来ているというのにLMCミーティングに行くなんて」と叫んだんです。それで、こう返しました。「パオラ、私たちは新粒子を発見したわ。それは素晴らしいこと。でも、さあ、続きを始めましょう。」

村山 仕事に戻る。

ジャンノッティ LMCが終わってから私はメルボルン行きの荷物をスーツケースに詰め込むため、家に戻りました。南半球は冬だということを忘れるわけにはいきませんでした。

村山 その日はシャンパンで乾杯しなかったのですか?

ジャンノッティ ビルディング40（ATLAS およびCMS実験チームのオフィスがある）で簡単なシャンパンパーティーがありましたが、記者会見の最中でした。

村山 では、参加できなかったのですね。

ジャンノッティ ええ、できませんでした。後で、とても良かったことと、非公式だったことを聞きました。自然に人が集まってきたそうです。

村山 さて、あなたはヒッグス粒子を発見してATLASの代表者を退いたわけですが、これから何をしますか?

ジャンノッティ 代表者を退いた後、まだ幾つか片付けなければならないことを終えてから、私はヒッグス粒子の結合定数の測定についてのATLASの論文の主編集者を務めてきました。その論文は、2013年7月4日（発見を公表した日から丁度1年後!）に、ヒッグス粒子のスピン決定に関する論文と一緒に「双子の論文」として投稿しました。

村山 どちらも見事な論文です。

ジャンノッティ ヒッグス粒子の論文を仕上げる仕事はとても楽しいものでした。何人もの若手研究者と一緒に働き、解析の詳細を調べる機会が得られました。ところで、村山さん、ヒッグス粒子のこういった測定の実験誤差は、幾つかの場合、理論的不定性と同程度になりつつあ

ります。これは理論の側からの何らかの進展を要求するものとなっています。

村山 知っています。理論にはかなりの改良の余地があるということがデータから要求されています。

ジャンノッティ 今、日本に来ているのは、全く違う理由で、LHC加速器とATLAS実験の両方の増強計画への日本の参加を評価することに関わっています。日本はLHCに対して、測定器及び加速器のハイテク部品の製作からHiggs $\rightarrow \gamma\gamma$ 過程でのヒッグス粒子探索を含む物理解析まで、強かに貢献してきました。この数か月はもう一つ多忙にしていることがあって、講演なのですが、主としてアメリカで行っています。私は教えることがとても好きなのですが、代表者の任期中はそういうことをする余裕がありませんでした。

村山 P5にも関わっていますね。

ジャンノッティ ええ、それが旅行と相当の作業を要するもう一つの引き受け仕事なのです。P5 (Particle Physics Project Prioritization Panel、素粒子物理学プロジェクト優先付けパネル) は、ご存知のようにアメリカの今後10年から20年の素粒子研究のロードマップを提案するためにエネルギー省によって設置された委員会です。非常に興味深く、また刺激的な委員会



で、宇宙のサーベイ観測、ニュートリノ物理、ダークマター探索の地下実験、衝突加速器等々を含む私たちの学問分野のトピックスと施設・設備全体をカバーしています。今、それで少し忙しくなっていますが、私はLHCの第2ラウンドに備えて、もうすぐATLASでの活動を再度立ち上げようと計画しています。実際、2015年にはLHCのエネルギーが1.5倍以上に上がり、³「新しい物理」発見と、新しく加わったヒッグス粒子を含む既知の素粒子の精密測定を行う両方の能力が著しく改善するからです。

村山 それは良いですね。間違いないく楽しめるでしょう。

高校では文科系を勉強し、並行してピアノを学ぶ

村山 ここで一寸話題を変えて、あなたご自身のことを伺いたいと思います。実は音楽を専攻したのですか？ ミラノ音楽院

の修了証書を持っていますね。**ジャンノッティ** 10年間ピアノを習い、修了証書ももらいました。でも、並行して高校で文科系の勉強をしました。ラテン語、古代ギリシャ語、文学、芸術史、哲学など、それと数学と物理をほんの少しです。

イタリアの教育システムの良い点の一つは、高校で何を学んだかによらず、大学レベルではどんな専門でも選べることです。高校で文科系を勉強したとしても大学で理科系に移れるのです。それはとても良いことで、なぜなら13歳かそこらで高校に入るころ、人生で何をやりたいのか、はっきりは分かりません。それから、例えば13歳から18歳というのは子供から大人に精神的にも大きく成長するとても重要な時期です。ですから、教育システムに柔軟性もたせて、ティーンエイジャーにもならないうちに将来の職業を決めてしまうことを強制されな

いようにすることは非常に重要なことです。

村山 あなたはどういう訳で専攻を変えたのですか？

ジャンノッティ 色々理由がありました。まず第1に、私はいつもとても好奇心の強い子どもで、ありとあらゆることを質問しました。どうして高い所にある星が落ちてこないの？ どうして星は空にくっついているの？ 当時、インターネットはありませんでしたから、今みたいに手軽で即座に情報を得ることはできませんでした。私はいつも大人に質問しましたが、その答には満足できないことがしばしばありました。それで、私は自分で答を見つけたい、少なくとも答を見つけるために何らかの役割を果たしたいと思っていました。それが一つの動機です。

³ 進行中のLHCの増強では、それぞれの陽子ビームのエネルギーを4 TeV から 6.5 TeVへ(重心系エネルギーで8 TeV から 13 TeVへ)増強するもので、2015年初期に完成予定。

村山 もっと知りたいと思ったのですね。

ジャノッティ ええ、そうです。それから16か17の時でした。私はマリー・キュリーのとても素晴らしい伝記を読んで衝撃を受けました。とりわけ、家事の傍ら研究するようなやり方に強い印象を受けました。彼女は自宅のキッチンのおぼの部屋を小さな実験室らしきものにしていたので、夕食のスープを用意しながら放射性物質を観察できました。私には、この簡単で家庭的な科学のやり方がとても魅力的に見えました。勿論、私がすることになったことは大違いますが…私のキッチンにATLAS実験は持ってこられません!

村山 ATLASのすぐ隣にもキッチンは持ってませんね。

ジャノッティ 実はATLAS実験の現場にも小さなキッチンはありますよ。ま、私の言っているのとは違いますが。私を物理に進ませることになったもう一つは、高校の最後の年に物理の先生が光電効果について説明してくれたことです。勿論私たちは量子力学や基本的な物理学の詳細を理解するための十分な数学的基礎は持ち合わせていませんでした。しかし、私はアインシュタインによって与えられた光電効果についての説明、適切な周波数の光子が金属サンプルに当たった時だけ(つまり、光子の量子化されたエネルギーが金

属中の電子の束縛エネルギーに等しいか、それより大きい場合)電子が放出されるということにとっても強い印象を受けました。私にはその説明がすごく分かり易く、すごく説得力があり、すごくエレガントで、すごく簡単に見えました。それで私は「物理学こそ私のやりたいことだ!」と思いました。

村山 あなたは波動と粒子の2重性には戸惑ったりしなかったのですか?

ジャノッティ それほど戸惑うことはありませんでした。なぜなら、その時はまだその概念に本当に触れていなかったからです。量子力学がほとんど直観と相いれないことは知っています。

村山 とにかく、感銘を受けたのですね。

ジャノッティ 今言ったこの3つの要素にとっても強い影響を受けて私は物理学に進みました。哲学も大きな問題を見出してそれに取り組もうとするわけですから、私は哲学も好きでした。でも、私は物理学の方がもっと直接的だという印象を持ちました。なぜなら、物理学では問題を実験と観測と測定によって一つ一つ解決しようと本当に努力します。それで私は物理を勉強することに決めました。勿論、私は確信していたわけではありません。これが本当に私の…

村山 生涯情熱を燃やすことになるもの?

ジャノッティ ええ。でも、それほど長く躊躇していたわけではありません。数学や力学や熱力学、その後量子力学と量子場の理論を勉強し始めてすぐに、これが本当に私の進むべき道だと思いました。

素粒子物理学の次の課題は?

村山 素晴らしい! さて、もっと将来を展望することにして、素粒子物理の次の課題は何だと思えますか?

ジャノッティ あなたからそういう質問が出るとはびっくりです。あなたは理論物理学者ですから、私たち実験物理学者を導いてくれるはずでしょう! 冗談はさておき、LHCの第1ラウンドからの主だった結果が3つあると思います。第1に、新たなエネルギー領域での膨大な測定により、標準模型を揺るぎないものとししました。標準模型は見事に成り立っています。第2にヒッグス粒子を発見して標準模型を完結させました。ヒッグス粒子の証拠となる特徴の一つはスピンが0のスカラー粒子であるということです。私たちの測定結果はすべてこの仮定と極めて良い一致を示しました。しかし、この新粒子がミニマルな(最小の)標準模型のたった一つのヒッグス粒子なのか、ある

いはもっと複雑な理論が予想する素粒子群に属するのか、それは未だ分かっていません。かなりの程度標準模型のヒッグス粒子のようにも見えますが、しかし、現在のATLAS実験とCMS実験による測定には(典型的には20%のレベルの)大きな誤差があります。とにかく、標準模型の予想する素粒子は今や全て実験的に観測されました。

LHCの第1ラウンドからの第3の重要な結果は、これまでのところ標準模型を超える物理の証拠が何も見られないことです。ただし、これは新しい物理の存在を否定するものではありません。LHCが13 TeVで運転されるようになる2015年に、あるいはそれ以降に、新しい物理に迫ることができるかもしれないのです。ひょっとすると、予想されたほどはっきりは見えないけれども、既にこれまで取ったデータに潜んでいることだってあるかもしれないのです。そうだとすれば、それを特定するにはもっと時間をかけてもっと一生懸命働くことが必要になります。

村山 例えばスペクトルが縮退しているとか。

ジャノッティ その通りです。あるいは、非常に変な信号であるとか。明らかなように、既に私たちはデータを徹底的に調べ、また調べられる限りのイベント・トポロジーを調べ、多く

の簡単にわかるシナリオは排除しました。しかし、データを色々な角度からもっと詳しく調べると、とても分かり難いところで何か見つかることだってあるかもしれません。そういったものの探索のためには（勿論、それだけではありませんが）、LHCの13 TeVでの運転がすごい御利益があることは間違いありません。

何が分かるかと期待できるでしょうか？標準模型が、基礎的物理学の問題の全てには満足できる形で対処できないことが知られています。ダークマターの組成は分かっていますし、宇宙の物質・反物質非対称の起源が何かも分かっています。ダークエネルギーはもっと大きな問題で、何も手がかりがありません。宇宙の加速膨張は重力を修正すれば説明がつくのか、あるいは未知の形態のエネルギーによるものか？実はヒッグス場は、問題をさらに大きくします。

村山 ヒッグス場はダークエネルギーの一部です。

ジャノッティ さらに、量子重力理論を定式化できず、そのため重力と他の3つの力との折り合いをつけられません。こういった理由や、その他の理由により、標準模型は完全な理論ではなく、新しい物理が必要なことが知られています。問題は「それがどこにあるのか？」ということです。LHCあるいは将来の

より高エネルギーの加速器で到達可能なエネルギースケールにあるのか？あるいは、そのスケールは高すぎて、人類により建設されると想像される加速器では決して到達できないのか？

いずれにせよ、素晴らしいことは、私たちには今や詳細な研究と測定が必要とされるヒッグス粒子という新粒子があることです。それは新しい物理への入り口かもしれません。というのは、新しい物理はこの粒子の性質（生成過程と崩壊過程、他の粒子との相互作用の強さ等）を修正するかもしれないからです。例えば、LHCはヒッグス粒子の結合定数の測定精度として、最終的には（ある仮定のもとに）2～5%のレベルに到達できます。その結果、新しい物理のシナリオの幾つかを排除できるでしょう。もっとよく調べるには0.1%の数倍程度の測定精度が必要で、これが可能なのはILCのような電子・陽電子衝突加速器だけです。また、電子・陽電子衝突加速器によってのみ、模型に依存せずにヒッグス粒子の絶対的な結合定数の測定を行うことが可能です。

今後のもう一つの重要な研究は、標準模型は本質的に閉じていなければなりません、そのテスト（closure test）で、高質量でのWW散乱に関連しています。

村山 散乱のユニタリ性を示す

こと。

ジャノッティ ヒッグス粒子が高質量のWWシステムの悪い振る舞いを修正するのか？あるいは新しいダイナミクスが存在しているのか？これは非常に興味深い研究領域で、その研究にはまたLHCの最高エネルギーが必要とされます。その理由は…

村山 断面積がとても小さいからです。

ジャノッティ そうです。ですから、この先は興味深い時が待っています。

村山 最高の結果を期待しましょう。

ジャノッティ その通り、最高の結果を期待しましょう。新しい物理に乾杯！

村山 賛成。どうもありがとう。

ジャノッティ ありがとうございます。ありがとうございました。