

KAVLI IPMU

NEWS



World Premier International Research Center Initiative
世界トップレベル研究拠点プログラム

Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe
カブリ数物連携宇宙研究機構



Todai Institutes for Advanced Study



The University of Tokyo
東京大学国際高等研究所

Feature Minimal Model Theory, Derived Categories of
Coherent Sheaves, and Mirror Symmetry
Interview with Brian Schmidt



20

No.

December 2012

Kavli IPMU NEWS CONTENTS

English

- 3 **Director's Corner** Hitoshi Murayama
Science and Politics
- 4 **Feature**
Minimal Model Theory, Derived Categories of Coherent
Sheaves, and Mirror Symmetry
Yukinobu Toda
- 8 **Our Team**
Takeo Higuchi
Tanmay Deshpande
Satyanarayan Mukhopadhyay
Daniel Pomerleano
Kai Schmitz
Benedetta Vulcani
- 11 **Special Contribution**
The Kavli IPMU Orchestra
Cornelius Schmidt-Colinet
- 14 **Workshop Report**
Homological Projective Duality and Quantum
Gauge Theory
Kentaro Hori
- 16 **Research Report**
The MaNGA Prototype Sees First Light!
Kevin Bundy
- 18 **Interview** with Brian Schmidt
- 25 **News**
- 30 **Gromov-Witten invariants**
Todor Milanov

Japanese

- 31 **Director's Corner** 村山 斉
科学と政治
- 32 **Feature**
極小モデル理論、連接層の導来圏、ミラー対称性
戸田 幸伸
- 36 **Our Team**
樋口 岳雄
タンマイ・デシュパンデ
サティアナラヤン・ムコパティアイ
ダニエル・ポメラノー
カイ・シュミッツ
ベネデッタ・ブルカニ
- 39 **Special Contribution**
カブリIPMU室内管弦楽団
コーネリアス・シュミット-コリネット
- 42 **Workshop Report**
ホモロジー的射影双対と量子ゲージ理論
堀 健太郎
- 44 **Research Report**
MaNGAプロトタイプ、ファーストライトを観測！
ケビン・バンディ
- 46 **Interview** ブライアン・シュミット教授に聞く
- 53 **News**
- 56 **グロモフ・ウィッテン不変量**
トードル・ミラノフ



Yukinobu Toda is an Associate Professor at the Kavli IPMU. He graduated from the Department of Mathematics, The University of Tokyo in 2002. He received a Doctorate in Mathematics from the Graduate School of Mathematical Sciences, The University of Tokyo in 2006, and became a JSPS (the Japan Society for the Promotion of Science) postdoctoral fellow. He became an IPMU Assistant Professor in January, 2008. Since November 2008, he has been an IPMU Associate Professor. He was awarded the 2012 Geometry Prize from the Mathematical Society of Japan for "The study of the Donaldson- Thomas invariants by stability conditions in derived categories."

戸田幸伸：Kavli IPMU准教授。2002年3月東京大学理学部数学科卒業。2006年3月東京大学数理科学研究科博士課程修了、博士の学位を取得。2006年4月より日本学術振興会特別研究員PD。2008年1月にIPMU助教、同年11月よりIPMU准教授。「導来圏の安定性条件とDonaldson-Thomas不変量の研究」により2012年度日本数学会幾何学賞受賞。

Science and Politics

Director of Kavli IPMU

Hitoshi Murayama

Recently we have witnessed elections in many countries, including Japan, United States, Korea, one looming in Italy, and once-in-a-decade change of leadership in China. Newspapers have been busy reporting projections and results, with various predictions on what the new administrations will do in the near future. Even though what we do is trying to understand how the Universe works, we are actually not immune to changes in politics.

The kind of science we pursue at the Kavli IPMU is *basic research* without immediate payoff to solve problems in the society. It is an important question why taxpayers would support this type of research at all.

In old days, astronomy research was primarily supported by kings, emperors, sultans, and rich noblemen because of presumed predictive power of astrology as well as of need in navigation for imperialistic conquests. Mathematics research is said to have emerged from the need of land surveying after the floods of the Nile in ancient Egypt. And later it became important for cryptography in connection to national security. Physics was well-supported after WWII because of inventions such as radar, laser, transistors, and (gasps) nuclear weapons.

In fact, two months after I arrived in to Berkeley in 1993, a big particle-physics project called Superconducting Super Collider (SSC) was cancelled in the middle of construction, and hundreds of staffs were laid off. This incident is usually attributed to the lack of support for physical sciences after the end of

the Cold War.

What we hope at the Kavli IPMU is that taxpayers and politicians see values in addressing truly fundamental questions about the Universe, *where we came from, where we are going, and why we are here*. We believe that these deep questions inspire young minds to enter scientific and mathematical fields, who end up solving practical problems and create innovations in technology. We've been very encouraged by many young students attending our outreach events, getting excited about math and science. In addition, the goal of basic research is completely global, uniting people from countries that are potentially in conflict. The Kavli IPMU embodies this true nature of science.



Minimal Model Theory, Derived Categories of Coherent Sheaves, and Mirror Symmetry

Classification Theory of Algebraic Varieties

There is a research field in mathematics called Algebraic Geometry. In algebraic geometry, we study the geometric objects (called algebraic varieties) defined as the solution spaces of polynomial equations. For instance, lines, circles, and parabolas (Figure 1) are algebraic varieties. Since the algebraic varieties are geometric objects, we can study them via geometric intuitions. On the other hand, since they are defined by polynomials, it is also possible to study them via algebraic methods. Also, algebraic geometry is related to several other research fields such as number theory and string theory. For instance, an algebraic variety called an elliptic curve plays an important role in the proof of Fermat's last theorem in number theory, and the three-dimensional Calabi-Yau manifold appears as an extra dimension in string theory. In Japan, the classification theory of algebraic varieties is a central theme in algebraic geometry. The Fields medalists in Japan (Kunihiko Kodaira, Heisuke Hironaka, Shigefumi Mori) all contributed much to the classification theory of algebraic varieties.

The idea of the classification theory of algebraic varieties is, roughly speaking, as follows. First let us consider the simplest case: the one-dimensional case. Although we say one dimensional, the solution spaces of the polynomials are extended to the complex numbers in algebraic geometry, so the real pictures are two-dimensional surfaces (Figure 2). For instance,

if we extend the solution spaces to complex numbers, the lines, circles, parabolas become two-dimensional spheres with some punctures. By filling these punctures, (this process is called compactification,) the lines, circles, parabolas all become a two-dimensional sphere. This sphere is called a rational curve, which is the most fundamental one-dimensional algebraic variety. Also an elliptic curve, which is defined by a cubic polynomial, becomes a two-dimensional torus. It is known that all the one-dimensional algebraic varieties are surfaces with some doughnut type holes. The number of the doughnut type holes is called the genus, and the complexity of a one-dimensional algebraic variety depends on its genus: genus zero (sphere), one (elliptic curve), more than one (general type). The idea of the classification theory of one dimensional algebraic varieties is to study their geometric structures once we determine which of the above three types they belong.

Minimal Model Theory for Two-Dimensional Algebraic Varieties

In a higher (more than or equal to two) dimensional case, algebraic varieties are not classified in terms of the numbers of doughnut type holes as in the one-dimensional case. Instead, higher dimensional algebraic varieties are classified in terms of Kodaira dimension, which is different from the usual dimension. The complexity of a higher dimensional algebraic variety depends on its Kodaira dimension, so knowing it

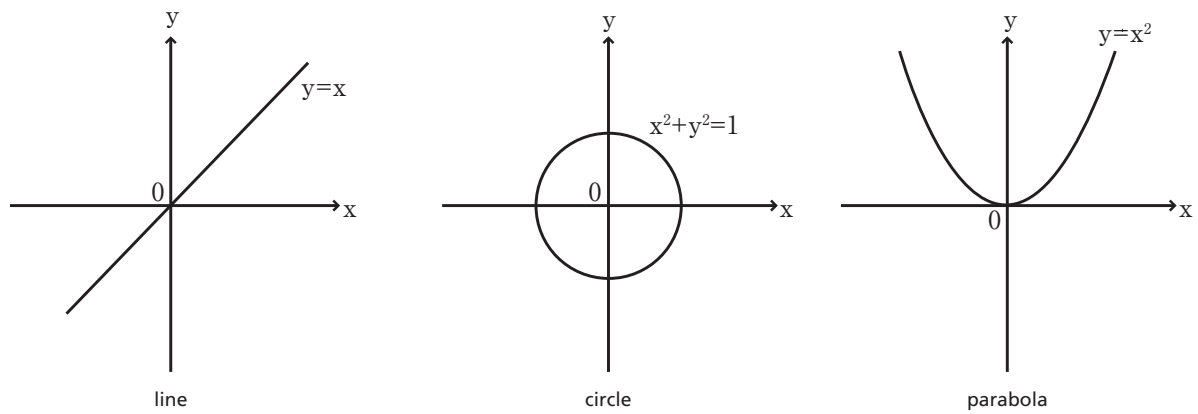


Figure 1

is a key step toward the classification. The global geometric structures of higher dimensional algebraic varieties are complicated, however, and they are not classified as simple as in the one-dimensional case, even if we knew their Kodaira dimension. The reason behind this complexity is that there are extra rational curves on the algebraic varieties that behave badly, so we try to contract an extra rational curve and obtain a new algebraic variety. If we can repeat this process and finally obtain an algebraic variety without such an extra rational curve (called minimal model), then we may try to study its global geometric structure. This is the idea of the higher dimensional classification theory. The above process finding the minimal model, on which there is no extra rational curve, is called the Minimal Model Program (MMP for short).

The MMP for two-dimensional algebraic varieties was completed by an Italian school at the beginning of the 20th century. In this case, there is a further classification of minimal models. For instance, minimal models of the Kodaira dimension zero are classified into four types: K3 surfaces, Enriques surfaces, Abelian surfaces and elliptic surfaces. In each case, there is an interesting geometry behind it. In particular, K3 surfaces are two-dimensional analogue of elliptic curves and three-dimensional Calabi-Yau manifolds, and their geometry is closely related to the lattice theory. Also, since the mirror symmetry of K3 surfaces is described in terms of the lattice, it is actively studied now as a toy model of mirror symmetry.

Minimal Model Theory for Three-Dimensional Algebraic Varieties

As we mentioned above, the two-dimensional minimal model theory was completed in a beautiful way. If we try to construct a similar theory for three-dimensional algebraic varieties, however, we find a serious problem which was not found in the two dimensional case. That is, if we contract an extra rational curve that behaves badly, then the resulting variety may have a singularity. Here we say that an algebraic variety has a singularity if we are not able to find a local coordinate. For instance, we are able to find a (real) two-dimensional coordinate on a one-dimensional algebraic variety since it is a surface with doughnut type holes. Such a coordinate system is not always found in the higher dimensional case. For instance, there is an algebraic variety that looks like a cone, and we cannot find a coordinate system at the vertex. It is difficult to study the geometry of algebraic varieties with singularities, and the three dimensional minimal model theory was not developed for a while.

The above problem was excluded in the 1980's, and the three dimensional minimal model theory was substantially developed. Through the efforts of Shigefumi Mori, Yujiro Kawamata, Vyacheslav Shokurov, and others, a class of singularities (called terminal singularities), which are rather mild and should make the three dimensional MMP work, was introduced and investigated. It is possible that we can contract extra rational curves for varieties with

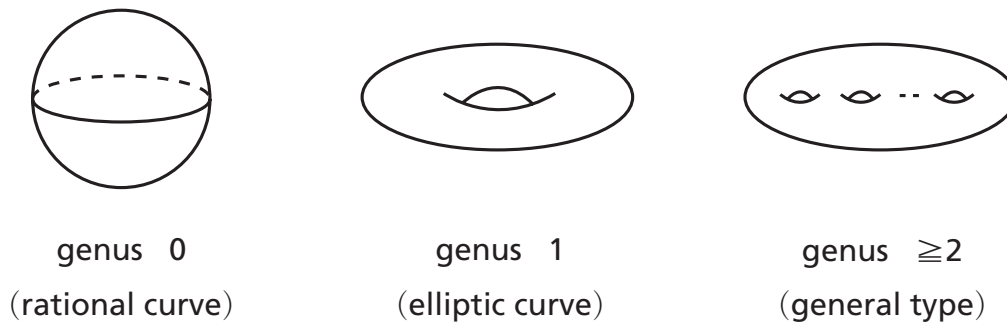


Figure 2

terminal singularities. If the resulting varieties also have at worst terminal singularities, then we can continue the program. Unfortunately, this is not true, since a very bad curve called a flipping curve is contracted to a non-terminal singularity. In this case, the program was shown to continue if we replace the flipping curve to another rational curve. This process is called a flip. The existence of flips was a serious problem, but shown by Shigefumi Mori in 1998, and the three-dimensional minimal model theory was completed.

One of the features of three dimensional minimal model theory is that the resulting minimal models are not unique, but any two of them are connected by a sequence of flops. A flop is very similar to a flip, which replaces a flopping curve that is not so bad as a flipping curve by another rational curve. It was known that flops preserve much geometric information. In the 1990's the ultimate of such a phenomena was found, that is the derived categories of coherent sheaves are equivalent under flops. This was first proved by Alexei Bondal and Dmitri Orlov for particular flops, and later proved by Tom Bridgeland for arbitrary three-dimensional flops.

Derived Categories of Coherent Sheaves

The notion of derived categories of coherent sheaves on algebraic varieties was introduced by Alexander Grothendieck in the 1960's. In order to explain this notion, we first explain coherent

sheaves roughly. The notion of coherent sheaves is a generalization of functions on algebraic varieties. For instance, the set of functions on an algebraic variety, which locally written as polynomials, gives a coherent sheaf called a structure sheaf. This is not a unique choice of a coherent sheaf, as structure sheaves on sub algebraic varieties also give more examples of coherent sheaves. There are many coherent sheaves on an algebraic variety, and if we consider each coherent sheaf as an "object" and introduce "morphisms" which relate pairs of coherent sheaves, then we obtain a mathematical system on the set of coherent sheaves. You can imagine this system by considering each coherent sheaf as a point, and a morphism as an arrow between two points corresponding to coherent sheaves. Such a mathematical system, with the notion of objects and morphisms, is called a category.

The category of coherent sheaves is defined as above, but it does not have a good property in some senses. Suppose, for instance, that there is a map between two algebraic varieties and consider the problem associating a coherent sheaf on one of them to one on another variety. There is a naive way of doing this, but it sometimes loses the information of a coherent sheaf. In order to solve this issue, Grothendieck considered complexes of coherent sheaves. Let us explain the complexes of coherent sheaves by comparing them with points and arrows as above. We first put the numbers 1, 2, 3, \dots on a finite number of points, and then draw

arrows between consecutive numbers from smaller numbers to bigger numbers. We associate coherent sheaves with the numbered points, and morphisms with arrows between consecutive numbers. Such a diagram satisfying a certain property is called a complex of coherent sheaves. The derived category of coherent sheaves is defined to be the category whose objects consist of complexes of coherent sheaves. The morphisms in this category are rather difficult, so we omit the explanation. If we consider the derived category of coherent sheaves, then we can solve the above issue associating a coherent sheaf on a variety to one on another variety. That is, if we associate an object in the derived category of coherent sheaves instead of a coherent sheaf, then we don't lose information.

So far, we have discussed a technical aspect of derived categories. The originally derived category was introduced in order to solve a technical problem, so it was not considered to be related to the geometry of algebraic varieties at the begging of its introduction. Such an idea drastically changed in 1994.

Mirror Symmetry and the Minimal Model Theory

In 1994, at the International Congress of Mathematics held at Zurich, Maxim Kontsevich proposed homological mirror symmetry conjecture. This conjecture predicts equivalence between the derived category of coherent sheaves on an algebraic variety and a certain category (called Fukaya category) determined by a symplectic manifold mirror to it. The idea behind this conjecture is to realize symmetry in string theory by regarding objects in derived categories of coherent sheaves, and Fukaya categories, as D-branes of different types. It was surprising that the derived category of coherent sheaves, which is a rather technical and abstract mathematical notion, was related to string theory. It was also surprising that algebraic geometry and symplectic geometry are predicted to be equivalent, as they seemed to be

different geometric theories.

Since the proposal of homological mirror symmetry conjecture, it has been recognized that the derived category of coherent sheaves is an essential mathematical object that realizes symmetry among algebraic varieties. Also through mirror symmetry, several equivalences of derived categories of coherent sheaves on different varieties have been predicted. The derived equivalence under flops is one of them. This is proved for three-dimensional flops, but it is still an open problem in higher-dimensional cases, and a new idea is required.

As a development of the idea of the derived equivalence under flops, it is a natural direction of research to study how derived categories of coherent sheaves behave under steps of MMP. At a special step of MMP, it is observed that the derived category gets smaller by Bondal-Orlov and Yujiro Kawamata. So we expect that the MMP is a program that makes the derived category smaller, and even if the minimal models are not unique, they are equivalent at the level of the derived category. It is a very difficult problem to show this in full generality since we have to deal with singular varieties. If the above idea is realized, however, then it not only provides a new viewpoint of MMP but also several applications are expected.

Now, by a slightly different viewpoint, I am trying to understand each step of MMP as a space of objects (called moduli space) in the derived category on the starting algebraic variety. The keyword is the notion of stability conditions on derived categories introduced by Bridgeland in 2002 inspired by the work of string theory. The results are not satisfactory at this moment, but once this idea is realized, I expect applications to several directions such as quantum invariants and mirror symmetry. In this way, although the minimal model theory was developed in order to classify algebraic varieties, it is now connected with several research fields through string theory and derived categories, and we see a new development of this theory.

Our Team

Takeo Higuchi

Research Area: **Experimental Physics**

Kavli IPMU Associate Professor

I have been involved in a high-energy experiment “Belle”, and have proved the Kobayashi-Maskawa theory, which is one of the pillars of the Standard Model (SM). Most behaviors of the elementary particles are known to match well to the SM. On the other hand, our Universe comprises yet-unanswered mysteries by the SM, like grand unification, dark matter, and the like. Most physicists believe that the SM is a low-temperature approximation and the mysteries may be answered by a new physics beyond the SM applicable to a much higher-temperature Universe. To elucidate the structure of the new physics, we upgrade our accelerator luminosity by a factor of 40 than Belle, because we



expect new-physics signatures should be very faint. In Kavli IPMU, we also contribute to the experiment through technical works by establishing an assembly procedure of a “silicon vertex detector”, which determines particle decay positions in $O(10\mu\text{m})$ accuracy, together with relevant software development.

Tanmay Deshpande

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

My current research interests are in the study of the structure of certain tensor/fusion categories and the theory of character sheaves on unipotent groups. Let G be an algebraic group over a field of positive characteristic. We consider the family of finite groups formed by taking points of G with values in various finite fields. The goal of the theory of character sheaves is to understand the representation theory of these finite groups in terms of the geometry of G (in terms of ℓ -adic sheaves). Character sheaves for



reductive groups were studied by G. Lusztig, and inspired by this work, V. Drinfeld initiated the study of character sheaves on unipotent groups. My work focuses on this theory and the study of various fusion and modular categories that arise naturally in this theory.

Satyanarayan Mukhopadhyay

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

My research focuses on the physics we can explore with the Large Hadron Collider. This includes both standard model physics like different aspects of QCD jet physics and also new physics that might be around the corner at the TeV energy scale. After the recent discovery of a Higgs-like particle, I am very much interested in the determination of its properties, which can serve as a window to TeV-scale physics. In addition, I am interested in pursuing the



cosmology and particle physics interface, in particular, the mechanism behind the matter-antimatter asymmetry in the universe and the nature of dark matter.

Daniel Pomerleano

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

My research centers around algebraic structures in two-dimensional topological quantum field theory, and in particular the deformation theory of dg-categories. This interest has led me in a couple of seemingly unrelated directions including the study of matrix factorization categories and curved algebras and the deformation theory of non-compact Fukaya



categories. Most recently, I have been thinking about specific cases of homological mirror symmetry.

Our Team

Kai Schmitz

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

As a particle cosmologist, I aim at constructing a consistent history of the early universe based on possible extensions of the two standard models of particle physics and cosmology. To this end, I build new physics models, explore their phenomenology and point out eventual signatures in the sky as well as in laboratory and collider experiments. Open questions that I am particularly intrigued by concern, i.a., inflation, preheating, reheating, the production of gravitational waves during cosmological phase

transitions, baryogenesis via leptogenesis, the phenomenology of the neutrino sector at low energies as well as elusive particle candidates for dark matter.



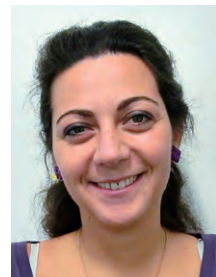
Benedetta Vulcani

Research Area: **Astrophysics**

Postdoc

My major research interest is to understand the most important factors that drive galaxy evolution through cosmic time, trying to disentangle and quantify the importance of galaxy mass, redshift and environment. I have been focused on characterizing the history of stellar evolution and structure development of galaxies in different environments, by tracing the star formation rate, morphology and total stellar mass of galaxies at different redshifts. In addition, I am particularly interested in understanding

how the galaxy stellar mass distribution can be affected by the environment in which galaxies reside, contrasting the role of the global and local environments.



The Kavli IPMU Orchestra

Cornelius Schmidt-Colinet

Kavli IPMU Postdoctoral Fellow

The orchestra at the Kavli IPMU grew out of a performance by some of its members on the occasion of the inaugural ceremony of the institute. Organised by dedicated staff of the institute administration, and borne by the interest and enthusiasm of its participants, its performances and weekly practice sessions continue to be one of the main social activities at the Kavli IPMU. In the following, the author collects some personal memories of his experiences in the orchestra.

It was shortly after my first arrival at the IPMU in November 2009 when I, passing by a seminar room late in the evening, perceived something that, after a second of doubt in which I was unsure whether I had not just witnessed the last scream of a bird being prey to a triumphant cat, could in fact be nothing else but the first tones of an aspiring violinist. Curiosity struck me, and upon entering the room I found one of our professors, indeed being engaged in the presumed activity. I expressed my admiration that he, being a little older than me after all and bearing all the duties of a professor at the IPMU, still had the energy to undertake such an endeavour as taking up an instrument, but was even more astonished to hear that not only had he begun taking classes, but even did so in order to participate at a musical event planned for the ceremony for the inauguration of the institute at Tokyo University which was about to take place in the following spring. Maybe my signs of



compassion had told him that it was in fact my own experience which made me not completely unaware of the hardships adepts encounter in the beginning of their violin education—and indeed I have been wrestling with the instrument at an earlier stage—but be this as it may, when I walked out of the room a little later I had received explicit orders to bring my own instrument from Europe, and to participate in the rehearsals and at the ceremony.

Hence I joined the IPMU orchestra in February 2010. At that time, the orchestra consisted of a flute, an oboe, a piano, a viola, a couple of violins, and a conductor. The director of the institute, Hitoshi Murayama, was to join in at a later stage with the contrabass. I do not know precisely how the orchestra has come to existence and if it was planned as a permanent institution from the very beginning, but I think that it was not really clear whether it would last beyond the ceremony it was initially created for. From the beginning it has been administered and organised by two of our secretaries, Rieko Tamura and Kotoe Kawajiri, who in their capacity as organisers form the heart and soul

of the orchestra, and have been regular participants.

By the time I joined, the pieces we had to practice were already decided, and roles and parts had largely been assigned. Time was precious—all of us being occupied with our individual duties we only managed to meet about once a week, but we set out to practise and play with assiduity. The members of the orchestra were at quite different levels; some had played in student orchestras before, were experienced and used to playing in groups, some were mere beginners, and still others, like me, had had some acquaintance with their instruments, but had not been touching it for a long time. Our conductor, who had just learned the technicalities of his trade from taking a crash course on youtube and had been asked by a slightly worried member of a different nationality whether conducting in a mirror-inverted way was “the usual style of conduction in America”, mastered the baton within a mere few weeks, and fortunately turned out to be gifted with a good feeling for rhythm and dynamics. He forced the orchestra to exercise the pieces measure by measure, until people were actually in tune, together, and listening to each other.

The ceremony was getting closer when we learned that the responsible administration had expressed uneasiness with our choice of pieces. It was in particular one of them, the Kindersymphonie from the time of the first Viennese school, that spurred concerns whether it would be a decent one to be played in front of all the high-ranking and distinguished guests expected at the ceremony. After all, the name, and in particular its English translation “Toy symphony”, was not precisely fit to inspire particular trust in its adequateness for the dignity of the event. It became clear to me only much later that while there is a certain and in fact astonishingly broad number of classical tunes that is very popular in Japan and can be heard everywhere from school

orchestra performances to wedding ceremonies and from TV entertainment to department store background music, the Kindersymphonie does not quite form part of this set. In addition, the event was important for IPMU; the responsible administration could certainly not let things run out of control—hence it is understandable that the issue was raised. However, for various reasons the orchestra liked the Kindersymphonie, we had put quite some work into its preparation, and we stubbornly stuck to our plan to perform it. Finally the event administration gave in—although it had taken some persuasive skills of members of the orchestra, and a final decision in favour of the tune by the director himself.

On the day of the performance we were supported by the director, and also by his daughter, whose cello provided the base so dearly needed both for a completion of the sound spectrum as well as a reference point for the other instruments. We also had support from a couple of professional players who had been hired for the occasion. Together we managed our first performance successfully.

Since this time, the orchestra has continued to practice and perform. Rehearsals take place every week in a seminar room at the institute. There is no particular pressure on people to attend the rehearsals, and while some members participate quite regularly, others flock in and out from week to week according to individual schedule, duties, and mood. We usually practice without a conductor now, and generally over the last two years the composition of the orchestra has changed quite substantially as people come and leave the Kavli IPMU. For a long time the orchestra was without any base instruments, but recently two cello players have joined in, which also adds to the stability and accordance of the other players. We have regular participation of a trumpet, and occasionally viola players, further oboes and other winds, singers, and even drummers who come



to rehearsals or join us during performances. The members include secretaries, students, professors and postdocs alike, and some of them now come from outside of the institute. In some occasions we even had support by professional musicians, who were related either to members of the orchestra or had heard us play at some performance.

Our repertoire—or, rather, the set of pieces we have played or dabbled with—has been as colourful as the composition of the orchestra members. It ranges from classical music—pieces from the baroque, classic, romantic, and modern periods—over jazz tunes, Christmas songs, and songs which are popular in Japan to compositions by members of the orchestra. The orchestra has always been open to suggestions of new pieces from all of its members, an attitude that has been exploited very actively. As we often had to overcome a rather unbalanced instrumentation, pieces were frequently rearranged, or we simply focused on those parts which could be played with the people at hand.

Naturally, as musicians keep coming and going there is not really a set of pieces that the orchestra holds ready on call. In fact the policy has rather been to play whatever comes up instead of working on a basic stock of pieces—an endeavour that would have been rather boring for long-term participants, and of little use for newcomers anyway. Nevertheless some pieces have emerged which have become some sort of standard by now, one of which consists of the

first few measures of Mendelssohn's wedding march. The reason for this is that the orchestra is frequently summoned to play at institute tea times if a member of the institute has entered the state of marriage, an act not completely uncommon as in particular many postdocs are in their early thirties. Besides performing at various occasions during tea time and on institute anniversaries, the orchestra has participated in so-called Waku-Waku concerts—some kind of musical potluck events organised on Today's Kashiwa campus twice a year. Towards the end of the year after the performance at the inauguration party, the orchestra played Corelli's Christmas Concerto at such a Waku-Waku event, and has since been a quite regular participant.

While in the earlier days it had been necessary to actively look for more participants and to advertise the orchestra to potential members, interested people from new generations of postdocs at the Kavli IPMU tend to find their way by themselves. Sometimes they know even before their arrival about the existence of the orchestra, since information can now be obtained from a dedicated Kavli IPMU website. The orchestra has become more visible as an institution for social interaction besides work, and especially due to its policy of non-commitment has always been a pleasant and exciting activity appealing to the broad variety of researchers at the Kavli IPMU.

Homological Projective Duality and Quantum Gauge Theory

Kentaro Hori

Kavli IPMU Professor

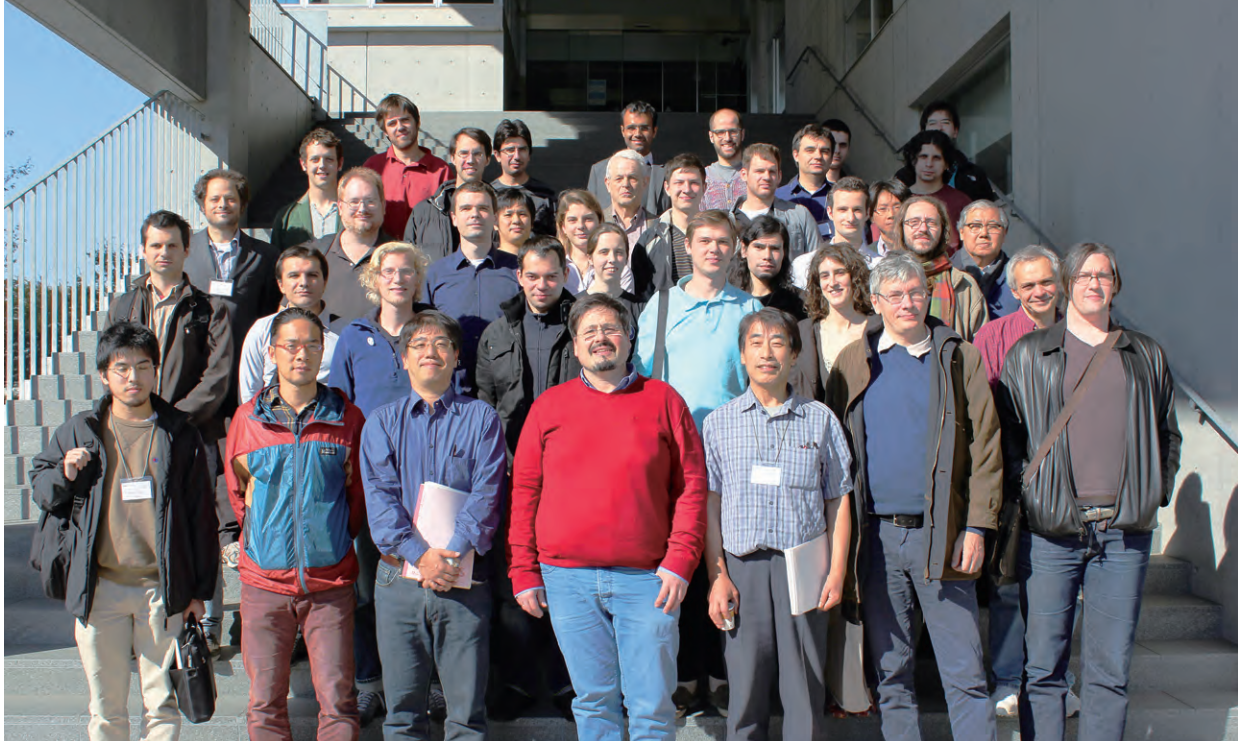
Recently, there has been intriguing and fruitful interaction between one area of mathematics and one area of physics. Physics provides mathematical predictions which mathematicians try to prove, while mathematical results stimulate physicists and sometimes lead to new discoveries. During November 12-16, 2012, this workshop was held in the middle of such interaction, and many of the key players participated.

The area of mathematics is algebraic geometry based on homological algebra and the one of physics is two-dimensional supersymmetric quantum gauge theory. The origin of the interaction goes back to the recognition that the language of category is suited very well to describe a class of objects in string theory, called “D-branes”. D-branes are interactions on the worldsheet boundary and they form a type of “category” where open string states play the rôle of “morphisms”. Such a category can be the subject of mathematical study, and quite often it is of the type studied earlier, such as “derived category of coherent sheaves”. On the other hand, a very powerful method to construct and study quantum field theories on the worldsheet is provided by a class of two-dimensional supersymmetric gauge theories called “linear sigma models”. Through this relationship, some facts in two-dimensional gauge theories have some consequences on categories, and some results on categories give some hints toward understanding two-dimensional gauge theories. Below are two examples of such interactions that motivated this

workshop.

(1) By a general principle of supersymmetry, the category of D-branes (“B-branes” to be precise) does not change as the parameters (Kähler moduli) are varied. This yields a mathematical prediction that two different categories, corresponding to D-branes at two different regions of the (Kähler) moduli space, must be equivalent. D. Orlov proved examples of such equivalences (2005). He proved that the derived category of coherent sheaves on a projective hypersurface $f=0$ is equivalent to the category of (graded and equivariant) matrix factorizations of f . This proof motivated physicists (M. Herbst, D. Page and myself) to study D-branes in linear sigma models in detail and led them to find the “grade restriction rule”, the condition on the gauge charge at the boundary as the theory is deformed from one region to another in the moduli space (2008). This physics result in turn stimulated mathematicians and led them to give a mathematical formulation of the grade restriction rule in much broader contexts (D. Halpern-Leistner, M. Ballard-D. Favero-L. Katzarkov, and W. Donovan and E. Segal, 2012).

(2) In 1998, a Norwegian mathematician E.A. Rødland wrote a mysterious paper which says that two different Calabi-Yau manifolds, call them X and Y , have the same Picard Fuchs equation as their mirror. I learned of this from D. Van Straten in 2003 and tried with D. Tong to explain it by constructing a linear sigma model whose Kähler moduli space has two regions corresponding to X and Y . We managed to do it but it required us to understand



the low energy dynamics of a class of non-Abelian gauge theory in two dimensions (2004-2006). In the meantime, E. Witten pointed out that, if our study goes through, X and Y must be derived equivalent. I mentioned it to A. Caldararu who was interested in finding examples of birationally inequivalent but derived equivalent varieties. Soon after, Caldararu and L. Borisov came up with a proof of the derived equivalence (2006). It turns out that the equivalence is a particular case of Homological Projective Duality by A. Kuznetsov who also gave a proof. Later, pairs similar to X and Y were found by A. Caldararu-J. Distler-S. Hellerman-T. Pantev-E. Sharpe (2007) and S. Hosono-H. Takagi (2011). I was naturally interested and tried to explain the new examples using linear sigma model. Again, this required me to understand the low energy dynamics of a different non-Abelian gauge theory. This time, however, it required a different level of understanding and led me to uncover a novel duality in two-dimensional supersymmetric gauge theory (2011), which is similar to Seiberg duality in four-dimensions. The duality provides a unifying scheme to understand many of the known derived equivalences and also produces more examples. This summer in

Moscow I discussed with Kuznetsov, and we found that the examples from gauge theory duality and Homological Projective Duality have a significant overlap but there are also some differences.

The workshop was attended by nearly 40 mathematicians and physicists, including many of the persons mentioned above, as well as others who work on different and important aspects of homological algebra, algebraic geometry and supersymmetric gauge theories. It was a great opportunity for all these people to get together in one place and exchange ideas. I very much look forward to seeing where the interaction leads us.

The Workshop was coorganized by Ludmil Katzarkov (Univ. Miami/Vienna), and by myself. It was financially supported by European Research Council (Generalized Mirror Symmetry), MEXT, Japan (Kekenhi: Collaboration of Mathematics and Physics for Superstring Compactifications), Ministry of Science of the Russian Federation (Laboratory of Algebraic Geometry and its Applications). The administrative part is taken care of by Kavli IPMU staffs, most dominantly Rie Ujita. We would especially like to thank Rie for her very efficient and devoted work.

The MaNGA Prototype Sees First Light!

Kevin Bundy

Kavli IPMU Assistant Professor

For the last two years, I've been leading a team of scientists that is designing a new instrument and survey to be carried out as part of the 4th-generation Sloan Digital Sky Survey (SDSS) starting in 2014. Instead of previous spectroscopic surveys like SDSS-I that have only measured light from a single point at the center of targeted galaxies, our goal is to obtain spectroscopic measurements at up to 127 distinct locations across each galaxy in an unprecedented sample of over 10,000 local galaxies. Our project is called MaNGA for Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory. In December, I visited Apache Point Observatory (New Mexico) to help install a prototype of the MaNGA instrument. MaNGA builds on the existing BOSS instrument, which has two telescope-mounted spectrographs that are fed by 1000 fibers, a similar concept to the Prime Focus Spectrograph that Kavli IPMU is designing for the Subaru Telescope.

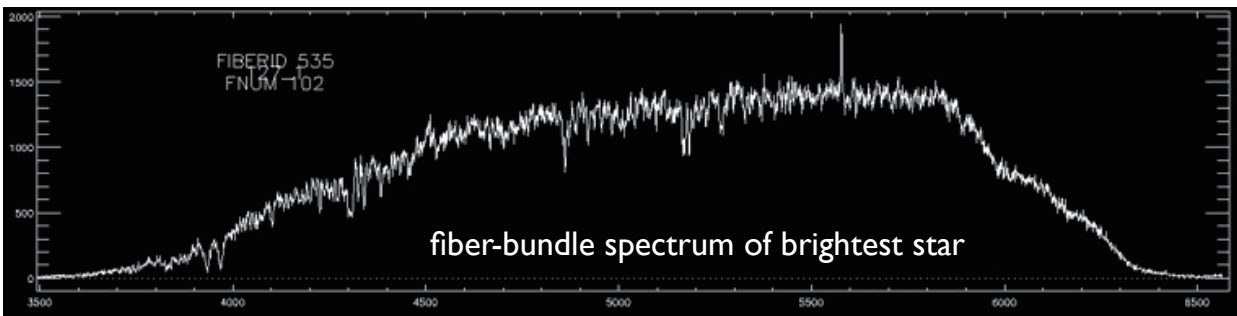
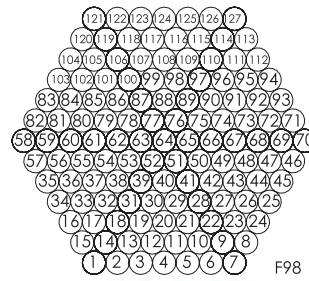
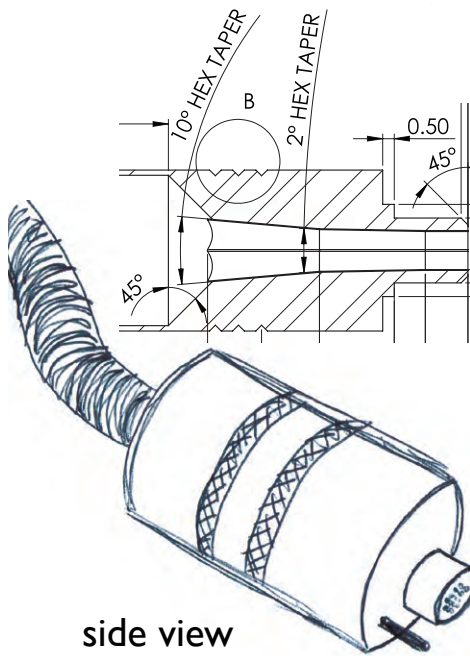
The key advance is the ability to "bundle" sets of BOSS fibers into hexagonal, closely packed arrays of 19 to 127 fibers per bundle. Engineering drawings by U. Washington grad student, Nell Byler, show examples of the 'fiber bundle' we have developed in work led by MaNGA's Chief Engineer,

Nick MacDonald. We have designed a metal ferrule with a hole that begins as a gently tightening cone and then transitions to a hexagonal shape. When a bundle of optical fibers is inserted, they arrange themselves in the optimal configuration. The ferrule, about 1cm across and one of 20 to be deployed in a single pointing, is then plugged into an aluminum plate which locates it on a galaxy target in the sky. Over the course of our 6-year survey, we will observe roughly 500 plates, each covering a circular area with a diameter spanning the equivalent of 6 full moons.

The prototype bundles performed even better than expected in our December tests. Afternoon calibrations determined that the sensitivity was high and on the night of December 20th, MaNGA achieved First Light. An example is shown below in which one of 127-fiber bundles targeted a close grouping of three stars. While MaNGA obtains a spectrum at each point across the bundle, we can integrate this "data cube" over the wavelength dimension to create a psuedo-image and compare it to an actual image of the same sky location (see below). An example of a spectrum extracted from the brightest star is also shown.

In January 2013, we will train the MaNGA

MaNGA Fiber-bundles' First Light



prototype bundles on galaxies for the first time. When the full survey begins, MaNGA will have the power to reveal patterns in the internal composition of galaxies and chart the motion of their stars and

gas, providing substantial new clues about their formation histories, evolution, and the physical laws that govern them.



Interview with Brian Schmidt

Interviewer: Melina Bersten

Interest in Supernova Study Dates Back to Undergraduate Days

Bersten: First of all, I'd like to congratulate you for the Nobel Prize.

Schmidt: Thank you very much.

Bersten: I can imagine you are very happy. I would like to go back to the origin of it all. How did you get interested in the study of supernova?

Schmidt: I was an undergraduate at the University of Arizona and there was a project run by John McGraw who was my undergraduate supervisor. (One of two. Tom Swihart was

my other one.) I was working for him on his project. After about a year, I was getting to the point where I could do something useful. One of the things they wanted to do was to discover supernovae in their data set. It was the first digital survey. It was like the Sloan Digital Sky Survey where the sky transited across the detector and they moved the information on the detector along with the sky, drift scanning as it's called. I liked the idea of discovering something new in the data. So I started looking for that as part of my work for him as an undergraduate.

Now, I had not intended to do that for my Ph.D. thesis and it was when Bob Kirshner visited to give the first Marc Aaronson Memorial Lecture at University of Arizona when I was finishing my last year of studies there and I was trying to figure out where to go to graduate school. Would I go to Caltech, would I go to Santa Cruz, or would I go to Harvard? Those were my three choices at the end and I just could not decide.

In the end, Bob came and gave a very good talk on supernovae and I said, "Well, I

Brian Schmidt is Distinguished Professor at the Research School of Astronomy and Astrophysics at the Australian National University, formerly known as Mount Stromlo and Siding Spring Observatories. He, together with Saul Perlmutter and Adam Riess, received the 2011 Nobel Prize in Physics "for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae". He has also received many other distinguished awards. In particular, he shared the 2006 Shaw Prize in Astronomy with Saul Perlmutter and Adam Riess. He received his Ph.D. from Harvard University in 1993. He was a postdoctoral fellow at the Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics from 1993 to 1994. He moved to the Mount Stromlo Observatory in 1995.

hadn't really thought of doing supernovae for my Ph.D. thesis, but I do find them interesting and here is someone who I can work with at Harvard." I said to him, "If I can work with you on supernovae then I'll come to Harvard." That's how I got started.

Bersten: At the beginning, you studied Type II supernova.

Schmidt: As an undergrad, in Arizona, we were just looking for them. We didn't care what type they were. But, at Harvard for my Ph.D. thesis, I did study Type II supernovae. I measured distances with them in a way that Bob Kirshner did for his Ph.D. thesis. When I came to Harvard, Bob gave me a project to go and look at supernova 1987A. I said, "No, I don't want to do that. I want to do something else. I want to measure the Hubble constant and I want to do it using this technique that you developed back in your thesis." I was going to improve it. He had a postdoc who could model the supernovae very accurately and do it with a radiative transfer code and so I was going to work with Ron Eastman, and to improve the method to measure the Hubble constant. That's what I really did for my Ph.D. thesis.

Bersten: What was the main reason that made you change the focus into Type Ia supernova? In other words, what was the main reason that motivated you to form the High-Redshift Team?

Schmidt: When I finished my Ph.D. thesis, I'd measured the

Hubble constant to a level where the systematic error in the method was about the same as the statistical error. I felt I had got my answer and there wasn't much else to do with that method. I was looking to do other things. I was looking at how the explosions of Type II supernovae occur by measuring what their nucleosynthetic output was, relative to their mass, and to their explosion energy.

In 1994, Mario Hamuy visited us and showed us the work that they had done in Chile, which essentially said you could use Type Ia supernovae to make measurements that were roughly two to three times better than the supernovae I had used. At the same time, Saul Perlmutter called us up and said we have an object to look at, which we took a spectrum of with the MMT—I was actually at Harvard; it was Bob Kirshner, Pete Challis, and Adam Riess. When they said, "We think it's a High-Redshift supernova," I went and analyzed it. I got the same answer.

Eventually, we found out from Saul Perlmutter that that was one of seven objects they had discovered. They had been looking for them since 1988 and suddenly they found seven of them. That was a real eye opener

Melina Bersten is a postdoctoral fellow at the Kavli IPMU. She is an astronomer studying supernovae computationally and theoretically.



to me that you could discover them and we knew how to use them. I literally, when I found those things out, dropped everything that I was doing and said, "There is an opportunity to go and measure q_0 , the deceleration parameter, right now." To me, that was just the big thing to do and it was the most exciting thing I could think of doing. It was measuring what's the ultimate fate of the universe. I dropped everything I was doing to go measure that.

Bersten: At that moment you were quite young. Was that a problem for being a leader of the program?

**As a Young Leader,
Organized the High-Redshift
Team like Organizing a Party**

Schmidt: I was the leader of the team but not in a traditional sense. I wasn't a general telling everyone what to do. I was the consensus leader of a bunch of people working together as friends. I had to organize people, but it was like organizing a party. You'd just tell people to show up, and they do. They do that because that's just the way things work. It wasn't like I was a general.

Was there a problem being 27? There were some issues. I didn't have the ability to go out and write a grant that could pay for all of our activities. Every group got its own bit of money and showed up and worked together that way. That inability to have a bunch of

computer hardware that we could all use together was a problem. We got around it by working really, really hard. But that was part of the difficulty of having someone young like myself going and running things. The good part is that this was the one thing I was working on. And not just me, Adam Riess, Peter Garnavich, you know, we were young and we worked on this one thing. We worked on it night and day and that was the only thing we worked on. That was one of the reasons we were able to make progress—that we were not distracted by other things.

Bersten: Could you tell me a little about the methodology and how many telescopes you used—and also, identify which was the most difficult task during the program?

Schmidt: In 1994 when we started, we had these new CCDs, and I was down in Chile talking to Nick Suntzeff, who was one of the leads of the Calán/Tololo Survey that had figured out how to use Type Ia supernovae. We discussed using the CTIO 4-meter. CTIO 4-meter had a new 2k x 2k CCD, so, 4 million pixels. I knew that the weather at Cerro Tololo was pretty much cloud free from November through March. One of the problems that you have when you go out and try to find supernovae is that you need two images. You need a before image and an after image. If it's cloudy one of those days, then you're dead.

The second day is useless. If it's cloudy at the second day, then the first day image just sits there.

We needed to have a place that was guaranteed to give us two clear nights. Chile, the Atacama Desert, was really the only place that gives that good of weather, guaranteed. Plus that new detector meant we could do it. And, of course, the team at Cerro Tololo means we knew the instrument and telescope very well. So that's where we decided to work. Saul's team had not yet realized the possibilities at Cerro Tololo at that point. So we applied, and after we made our first discovery (SN 1995K), they realized the natural advantages of working at CTIO, and presumably thought, "Geez, that's a good place to work. We should do that too."

The challenge of actually discovering supernovae was hard. The software I had written wasn't very good. It worked, but I had written it in Australia and got it working in Australia. When it was shipped to the computers in Chile, many of the libraries didn't work. They had different operating systems. Everything broke. It was a nightmare. Every time I would show up there, things would break differently because the computer system had changed. I think in the end that was the hardest part. Then, I'd go to Hawaii and the same thing. Things would break again. The effort

that we would go through to discover these supernovae because we didn't have a home base we could ship them to—and just have stable software—that was a real, real nightmare.

The other problem in 1995 was that we didn't have access to the Keck 10 meter telescopes. Now in 1995, Bruno Leibundgut and Jason Spyromilio with the ESO NTT, in very good conditions, managed to get a spectrum of our supernova at a redshift of 0.48. They spent almost all night and it took them about a month to reduce the data and actually see that it was a Type Ia supernova. But that was an all-night affair in very good conditions—in reality the 4-meter telescopes were too small to get spectra of these high-redshift supernovae on a consistent basis.

In the meantime, Keck had come online and Saul Perlmutter's group had access to Keck and they completely killed us in 1995. They found all these objects at the end of 1995, and they were able to get spectra of all of them. We had a bunch of objects, but we couldn't get spectra of them. We ended up with two lousy spectra—where they ended up with like 11. I was very worried, "Oh my God, without Keck, we're dead." Alex Filippenko had asked to join our team early in 1995. Because the teams were competitive and he was at Berkeley I said, "No, you need to continue to work at

Berkeley—I wouldn't want to poach you." At the end of 1995, he called me up again and said, "I really want to work with your team—I am a supernova physicist like you guys." At that point I said, "Okay," because without Keck, we weren't going to be able to compete with Saul, and Alex had a lot to offer to our team in terms of his knowledge of supernova and their spectra.

Bersten: Did you need to be in Berkeley to have access to Keck?

Schmidt: Berkeley and Caltech had access to Keck, and all of the University of California schools. The only person who studied supernovae in the whole system was Alex Filippenko and, of course, Saul's group. For us, he was of the same culture that we were, and the fact that he came back and said, "I still want to come and join your team," saved us. Without Alex and his ability to get spectra, we weren't going to survive because we just couldn't compete.

Bersten: Which was your reaction when you found the acceleration of the universe? Did you immediately understand the implications of these results or...?

The Data Showed Accelerating Universe in 1997; Convinced in 2000

Schmidt: Yeah. We had known that the cosmological constant gave you acceleration. That was

the primary thing that the cosmological constant did. That was taught to me in school. It was taught to me as, "Look at these people who messed up, look at these people who messed up, they all had bad observations, and they thought it was the cosmological constant." I didn't really worry too much about it. It was sort of an ongoing joke within cosmology.

At the end of the 1997 when Adam sent me a figure that had the data clearly showing a cosmological constant, I just assumed that we had made a mistake. I didn't say, "Oh, a cosmological constant!" I said, "Ah, what have we done wrong?" We went through that bit-by-bit and it suddenly started sinking in, "No, this isn't going to go away." In the end when we had gone through everything several times, it didn't go away. Then, I was resigned to the fact, and I said, "Okay," then I got excited. We're going to have to tell the world about this. I was like, "No one is going to believe us."

At the same time, Saul Perlmutter's group had published a paper in 1997 saying the universe was decelerating. We were getting a crazy answer. He was getting something sensible. I didn't know what to make of it. Then suddenly, we realized Saul was getting more or less the same answer as us. He

didn't know we were getting the same answer as him, but we knew he was getting because he showed it at some talk in preliminary form—his data had changed effectively. I have to admit, still being unsure, I knew what our data said, but I kept on thinking there must be something we're missing. There must be something no one has thought of; not just us, but the whole field that we've left out.

Bersten: When did you change your feeling that something could have been wrong?

Schmidt: That feeling really didn't go away until 2000. I mean after 6 months, I said, "Okay, maybe we're right. We haven't done anything really stupid." Then in 2000, when the cosmic microwave background came out and showed that the universe was flat, definitively flat. When I saw that, I realized that it made it almost impossible for our observations to show anything other than acceleration. It pushed things, so the only sensible solution was that the universe was accelerating. At that point I said, "I'll be damned, we're right." That was in May of 2000 when BOOMERANG and MAXIMA came out and showed the first peak of the cosmic microwave background definitively. That's when I said, "Wow, we're right!" Before that I just wasn't sure.

Bersten: Did you expect the

Nobel Prize?

Schmidt: No, one does not expect a Nobel Prize. To my mind, I was genuinely surprised because when you make a discovery of acceleration—well, what causes the acceleration? Well, we give it a name—*dark energy*—but we don't understand it yet. I would not be surprised if we don't understand it during my lifetime. Without understanding it, I felt it wouldn't be worthy of a Nobel Prize. The fact that it was given pretty timely—you know, I was only 44 last year—was a bit of surprise. Put it this way, I wasn't waiting up for the call.

Bersten: How did you know that you obtained the Nobel Prize?

Received a Call from Stockholm While Cooking Dinner

Schmidt: They make the announcement at 11:45 am in Stockholm. I didn't used to know this, but I know it now. That is 8:45 pm in Australia. My son had been out at an athletic event and we had gotten home. My wife and I were cooking dinner. I was making a green Thai curry with my wife. I was stir-frying. The phone rang. I answered it and I had a Swedish accent saying, "Is this Schmidt?"

Now earlier in the day, I had my graduate student giving me his wedding invitation. His wedding was on the 10th of December. He said

to me, "When they call you tonight, just tell them you're busy." I looked at him and I had no idea what he meant. I said, "What do you mean?" He said, "When the guys in Sweden call you tonight, tell them you're busy," because his wedding turned out to be on the day that the Nobel Prize ceremony. Now, I have to admit I still was a little confused, but he explained it to me. When I got home and I got this call from a Swedish woman, I have to admit my first thought was, this is a practical joke by my graduate student who had set me up earlier in the day.

I said, "Yes, this is Brian Schmidt," and then she said, "Are you sure this is Schmidt? This is a very important phone call from Sweden." That was a kind of funny thing to say. I responded, "I am sure that it is," thinking this is a practical joke. Then she put on another person, a much older Swedish gentleman, and then I was like "Geez, I can't believe, my graduate student could have got two people from Sweden to do a practical joke." Then they told me and it became very apparent that it wasn't a practical joke. I have to admit I felt it's very much like when my first son was born. It was very exciting, but I felt sick in my stomach, too much excitement.

Bersten: I can imagine it was! In what sense does obtaining the Nobel Prize change your scientific career?

Schmidt: Well, the Nobel Prize

changes your opportunities, but does not necessarily increase your scientific opportunities. It actually hurts science because the fundamental thing that you need to make progress in science is time. That is the thing that young people have in the field, the time to focus and to answer questions. What the Nobel Prize gives you is the increase in scope of who will listen to your ideas. It gives you the opportunity to make representations to government about why science is important, why education is important, about the big directions that science is going in the country.

That doesn't help me make my little telescope (SkyMapper) run better, it turns out. But it does give me the opportunity, I think, to improve the way we approach science at the national level. A lot of my time has been spent doing things like that over the last year, meeting with people and government, explaining how they need to look at the education system, how we teach physics in high school, how we fund universities, how we fund research, why funding of research is important.

The other thing with the Nobel Prize is—in some way that doesn't really make sense to me, but I felt myself—quite inspirational to people. I met a few Nobel Prize winners when I was young and I was genuinely inspired by them. I don't know why. I just was.

Now that I am one of those people, I could see that being the Nobel Prize winner inspires people. It's like they were part of the discovery. It feels kind of weird to me. I feel like I am living in someone else's body. But, it's important. That inspiration is really important. I do feel I have a role of doing what Hans Bethe and Dudley Herschbach, and the people I met when I was young did for me, because it was an important part of my upbringing, meeting those people and being inspired by them.

Bersten: I hope you inspire me also.

Schmidt: Well, we'll see.

Bersten: I know that you didn't have much time to know the Kavli IPMU. But, what was your impression about this institute?

Diversity of Kavli IPMU Is Helpful to Work on the Question of Accelerating Universe

Schmidt: Well for me, it's great to see such a diverse group of people here. One of the features of coming to Japan, which I've been to many times, has been everyone has been Japanese, except for who is visiting on the day. When you come to the Kavli IPMU, it is incredibly diverse. People from all over the world, very clearly. It's a lovely building, very new and sleek, and seems to have very good facilities. There's lots of discussion at coffee. Not everyone holed up in their office like I used to see a lot. I

think it has a real vibrancy. It's surprisingly western for better and for worse. But, it's still Japanese. It's not so western as not to be Japanese.

Bersten: Yeah, we have tea—I mean green tea (laughs).

Schmidt: Yeah. I thought it was further out from Tokyo. It's actually much easier to get here than I expected. Of course, the autumn colors are beautiful. It's a great time to be here.

Bersten: I agree with that. Here in the institute, we have different fields together, people from string theory, people from mathematics and astrophysics. Do you think that this type of interaction can help to find a great discovery and so on, for example in the case of acceleration of the universe? Have you got some interaction with people in other fields that help to deeper understand the phenomenon?

Schmidt: The accelerating universe is a special case because it's very clearly a question that goes across astronomy and fundamental physics. As an astronomer, I know what the universe is doing. I know how to measure it. But, the real fundamental string theory or quantum field theories and gravity theories may link into it. Being able to solve a problem, like what is causing cosmic acceleration, really requires theory—which is more non-astronomy theory, but more particle physics theory—combined with the knowledge the astronomers

have. I think being able to work together on questions like that is very helpful.

There are some problems which are mainly astronomy. There are some problems which are mainly particle physics. But, there are techniques that have been developed in the different fields that are useful. There are techniques of how you build instruments that astronomers have done, that are useful within particle physics and vice versa. There are data reduction techniques that are useful. There are statistical techniques the mathematicians typically will know. As we're asking bigger and bigger problems, you really need to look at them from a broader perspective. I think having that expertise around is very helpful for everyone because you get insights of how to solve problems that are beyond your field, and that's where you're liable to have a revolution in understanding, when you take a new idea and bring it in. That's the advantage of having people in related fields, but not the same, all collocated.

Bersten: I agree. I would like now to ask something related to your current work. In which project are you working now and which is the fundamental question that you want to answer?

SkyMapper Project for Precise Photometric Survey of the Southern Sky

Schmidt: As an astronomer, I am always looking at places

where I can do something that I think is unique. In 2002, I started a project to map the southern sky in a way analogous to what the Sloan Digital Sky Survey did in the northern hemisphere. But my observatory burned down destroying the telescope and the instrument that was going to do this survey. Since 2003, I have been leading a project to rebuild a new telescope, a mapping facility called SkyMapper. SkyMapper is about a very precise photometric survey of the southern sky.

It is able to do supernovae and map them out in the nearby universe very accurately in a way that no one else is really doing. But, it also allows us to do galactic physics, that is how the galaxy formed, being able to pick out the most chemically poor stars in our galaxy that were formed right after the Big Bang, piece together how the supernovae enriched our galaxy and how our galaxy formed. That is a project which I am spending most of my time working on. It will take almost a petabyte of data. That's a lot of data.

Bersten: You say that you are not only focusing on supernovae, but on galaxies, which is the main goal of the project that you mostly work?

Schmidt: The project probably has several goals. The main goal of the Sloan Digital Sky Survey was to measure the large-scale structure of the universe, but much of

the expected science was actually done in Australia by the 2dF Redshift Survey before they got to it. But on the other hand, the Sloan Digital Sky Survey had even a bigger impact than they expected, because it made a huge impact in areas they did not expect. That was because it allowed them to do everything. They did large scale structure, they did asteroids, they did stars, they did galaxies. They even eventually did supernovae. And they did these things very well, indeed.

The thing that really interests me on SkyMapper is both the metal-poor stars tracing out the birth of our Milky Way, but, then there is also all this supernova stuff we can do. We're going to be able to discover several hundred supernovae a year and get really the most comprehensive set of data for a set of objects ever. Get spectra of all of them—every single one. That will be a wealth to understand supernova physics, and that is very close to my heart. But, I really think being able to go through and find every metal-poor star in the Milky Way so that we can figure out how the Milky Way formed and how supernovae, which make the heavy elements, enriched the universe right at the beginning. Well, that's really exciting to me too. That's one of the goals of that program.

And it really is meant to do lots of other things. It's meant

to find stars that are thrown out when they get too close to the supermassive black hole in the Milky Way. SkyMapper can go out and find those things systematically because there're stars out there that shouldn't be there and SkyMapper has the ability to measure the radius of the star, its temperature, and its chemical composition. The radius and the temperature tell you how bright it is, therefore how far away it is. We can go out and we can literally pick out and say, "That star is chemically rich out at a very large distance. Why is it there? It shouldn't be there." Then when you look at those things, those things inevitably are the stars that were thrown out by the black hole in the Milky Way's center. By getting a bunch of those things, we can measure, for example, how much they slow down on the way out because they've been thrown directly out from the center.

It also gives us an idea—is the Milky Way black hole binary or is it just one?

Because if it's a binary...

Bersten: The central black hole?

Schmidt: Yeah, the central super-massive black hole, it could be a binary. This is a good way to check it, because if it is a binary, the stars won't all be thrown out in all directions equally. They'll be thrown out in a plane. I think those are really cool things to do.

Bersten: Do you think that obtaining a Noble Prize in the

supernova field gives an extra motivation for new projects in supernova? In that sense, also, I would like to know your opinion related with the possibility to continue the use of Type Ia supernova for obtaining better precision.

Schmidt: Yeah. I think the supernova field has grown tremendously during my lifetime. When I finished my Ph.D. in 1993, I was literally the person in the world who finished their Ph.D. in supernovae of that year because there were only a handful of us. I mean I know everyone from that era, *everyone*, because there was only a few people doing it. Since the discovery of acceleration, there are many, many people studying supernovae. I don't know everyone anymore. I don't know all the work that's being done. It's so much, it's hard to keep track of.

I think the Nobel Prize itself probably won't change that. I think that had already occurred before the Nobel Prize. I do think that with Type Ia supernovae there are some interesting things they can still do. I think using them to do more work at high redshift is pretty tough now. The measurements have really been very well done out there and we are limited now by systematic uncertainties. But in the nearby universe, there is a sweet spot where we just don't have very many objects. The objects we have observed have not been observed as

carefully and as uniformly as a high redshift. I do think there's still an opportunity which I want to use SkyMapper to measure the expansion in the universe very accurately in the nearby universe so we can tie it in to the distant objects better. I think we can probably improve our constraints by about a factor of 2 by doing that well.

Bersten: By nearby, what do you mean?

Schmidt: Nearby, I mean out to a redshift of 0.1; beyond a redshift of 0.03, closer to the redshift of 0.1. I also think the other thing supernovae provide an opportunity to do is to measure how gravity behaves on large scales. One of the things where dark energy could potentially be lurking is that it isn't dark energy at all. If it's really Einstein's theory of general relativity being a little different than we expect out at large distances, that is something we can potentially test using supernovae. Because they measure very precise distances, it means that by comparing the expansion rate with the distance, we can measure a velocity that's been induced by gravity.

With hundreds of these objects, we can actually measure the average motion of every part of space using the supernovae as test particles. That gives us a way to measure how gravity is behaving at the scales of hundreds of megaparsecs. Supernovae are really the

only good way to do this right now. That is a way of testing general relativity in a regime where it hasn't been tested before. I think that's another interesting thing that we're going to try to do with SkyMapper.

Bersten: Can you identify a problem in the supernova field that, if solved, may lead to a revolution like the accelerating universe?

Scientific Revolutions Come from *Not* Knowing

Schmidt: I think that revolutions usually come as a surprise. You can't easily predict revolutions. If you could there wouldn't be any, it wouldn't be a revolution. There are some fundamental things. Today, we still don't understand what makes the Type Ia supernova. What causes the Type Ia supernova to explode? Now, do I think that's going to revolutionize dark energy? No. But, we have been working for 20 years now to try to figure that out and it's still a mystery. Is it one large star donating material to a white dwarf and then it reaches the Chandrasekhar mass and explodes? Is it two white dwarfs coming together to exceed the Chandrasekhar mass and exploding? Is it a star that donates material in the form of helium and the helium detonates and causes the thing to explode before it reaches the Chandrasekhar mass? Is rotation important and does the thing actually quit growing and blow up

a billion years later after the thing slows down a bit?

Those are all active scenarios and I can't tell you which one is right.

I just find that amazing, given how much effort has been put into it. There doesn't appear to be an answer that really works. I think that's a real big question. Is it a revolution? No. Revolutions come from surprises. What we do is we keep on doing the best job we can and then the surprise will come from someplace where we least expect it. That's the beautiful thing of basic research and why it's so important. The revolution comes from *not* knowing what the future is, not predicting it.

People say, "Well, why don't governments just fund the things that they know? Why do we spend money on basic research? Why don't we just fund how to make better X, Y, or Z?" Well, the answer is because if you always are trying to do what you already know, then you just make a better X, Y, and Z. You don't invent the Internet. You don't invent Wi-Fi, which was done by astronomers in Australia. You don't have that revolution that comes from basic research. You need to have both. The revolutions come from *not* knowing.

Bersten: Thank you very much. I wish I had more time to ask you more questions! Unfortunately we have to finish now.

Schmidt: Okay. Thank you.

News

Kavli IPMU Celebrates Its 5th Anniversary

The IPMU (now Kavli IPMU) celebrated the fifth anniversary since it was launched from scratch on the University of Tokyo's Kashiwa campus on October 1, 2007. During these five years, the IPMU has been attracting topnotch researchers from all over the world, producing a number of excellent scientific achievements, and increasing its international visibility. As a result, the IPMU was given the highest grade of "S" (superior) in the WPI Interim Review, which was carried out in 2011. Together with the completion of the IPMU Research Building in December 2009, admission to membership in the newly established TODIAS (Todai



Celebration lunch at the entrance hall of the Kavli IPMU Research Building



Kavli IPMU staff decorating the entrance hall of the Kavli IPMU Building at night on October 18



Kavli IPMU researchers photographed on October 19, 2012

Institutes for Advanced Study) in January 2011, and becoming the Kavli IPMU by obtaining an endowment from the Kavli Foundation, the IPMU has achieved a great step forward.

On October 19, researchers and staff of the Kavli IPMU gathered and celebrated the 5th anniversary at the institute's Research Building. After introductory talks on selected research topics and self-introductions by newly appointed researchers, Director Murayama gave a speech in which he expressed his hope as well as encouragement for further research prospects at the Kavli IPMU. A dinner party was held afterwards.

University of Tokyo's First International Shokumon Award to Mr. Fred Kavli

The "Shokumon Award" was instituted in 2002 to recognize and thank individuals, corporations, or organizations that made major contributions to the growth of the University programs through private donations, volunteer work and support, establishment of endowed chairs, or research centers. "Shokumon" is the name of the castle gate in the capital of the ancient Chinese state Qi during the civil war era (403-221 B.C.). Under King Wei (356-320 B.C.) and King Xuan (319-300 B.C.), the state treated academics very well, which brought the best minds to the capital Linzi of Qi and led to a flourishing of academic activities. The award is named after

this history.

The University of Tokyo presented the 2012 Shokumon Award to the Chairman of The Kavli Foundation, Fred Kavli, and the CEO of Nissin Foods Holdings Co., Ltd., Koki Ando. Mr. Fred Kavli is the first international recipient of the Shokumon Award. The award ceremony was held on October 2 at Ito Hall on the University's Hongo campus. From The Kavli Foundation, President Robert Conn attended the ceremony on behalf of Fred Kavli.

The prize was awarded to Mr. Kavli in recognition of the fact that annual returns in perpetuity from the endowment established by the donation from the Kavli Foundation will help sustain the Kavli IPMU as a permanent research institute within the University of Tokyo, and also that this is a major contribution to the University of Tokyo in striving toward a new vision of the national university.



Junichi Hamada, President of the University of Tokyo (left), and Robert Conn, President of The Kavli Foundation, (right). Sitting at the far left: Masako Egawa, Executive Vice President of the University of Tokyo.

2012 Open House at UT Kashiwa Campus

An annual open house on the Kashiwa Campus of the University of

Tokyo was held on October 26 and 27, 2012. During the two days, more than 1,700 people visited the Kavli IPMU Building, where various programs were presented, including Guided Building Tours that had proved quite popular in the last year, a Digital Space Theater presented by graduate students utilizing a 4-Dimensional Digital Universe viewer “Mitaka” released by the National Astronomical Observatory of Japan, a 3-D movie “*Story of the Origins of the Universe*” (produced by Sony ExploraScience, supervised by the Kavli IPMU), astronomy quiz sections, and experiencing the *Miura-Ori* (the Miura map fold, special technique for folding used on some solar panel arrays; quoted from *Weblio*). In particular, a lecture by Kavli IPMU Principal Investigator Hiroshi Ooguri, who spoke on “What is Gravity?,” attracted a capacity audience, both in the Kavli IPMU lecture hall where the lecture was delivered and in a seminar room where it was seen through live streaming video. Also, Kavli IPMU Director Hitoshi Murayama gave a lecture entitled “Higgs: Tightly Packed Mysterious Particles Filling the Universe” in the campus-wide Special Public Lectures held at the FS Hall. This lecture was also seen at the Kavli IPMU lecture hall through live streaming video. There were large audiences at both places, and a Q&A was conducted connecting both places. During the two days, more than 7,000 people visited the Kashiwa campus in total.



Professor Hiroshi Ooguri giving a lecture

Hiroshi Ooguri Chosen for Fellow of the American Mathematical Society

Hiroshi Ooguri, Kavli Professor at the California Institute of Technology (Caltech) and Principal Investigator at the Kavli IPMU, was selected to join the inaugural group of Fellows of the American Mathematical Society (AMS). The list of the Fellows was made public on the AMS website on November 1, 2012. Professor Ooguri is a theoretical physicist in particle physics. He is working on the development of theoretical tools for applying superstring theory, which attempts to reconcile general relativity and quantum mechanics to questions relevant to high-energy physics, astrophysics, and cosmology. He holds a professorship in both the Physics Department and the Mathematics Department of Caltech. He is working in the area of the interface of physics and mathematics, and his contribution is highly evaluated worldwide, which led to the inaugural Eisenbud Prize from the AMS. In recognition of these achievements, he was selected as an inaugural Fellow of the AMS.

The first group of Fellows of the AMS, including Professor Ooguri, will be officially inducted at the upcoming Joint Mathematics Meetings of AMS and MAA (Mathematical Association of America) in San Diego in January, 2013.

Kunio Inoue Wins Nishina Memorial Prize

On November 9, 2012, the Nishina Memorial Foundation announced that Kunio Inoue, Professor at the Research Center for Neutrino Science, Tohoku University and Principal Investigator at the Kavli IPMU, is a recipient of the 2012 Nishina



Professor Kunio Inoue

Memorial Prize for his “Observation of geologically produced antineutrinos.” His achievement of the first observation of terrestrial anti-neutrinos (geoneutrinos) in the KamLAND experiment, which has established the foundation of development of neutrino geophysics, has been recognized. The award ceremony was held on December 6, 2012.

7th Joint Kavli IPMU-ICRR Public Lecture “Approaching the Mystery of the Universe”

On November 10, 2012, the 7th Kavli IPMU-ICRR (Institute for Cosmic Ray Research) joint public lecture entitled, “Approaching the Mystery of the Universe,” was held at the Koshika Hall on the University of Tokyo’s Hongo campus, with an audience of about 150 people. This public lecture was also regarded as an event in cooperation with *Japan National Universities FESTA 2012*. Masato Shiozawa, an ICRR Associate Professor as well as a Kavli IPMU Scientist, spoke on, “Probing the World of Elementary Particles and the Universe with the Neutrinos,” and Naoshi Sugiyama, a Professor at Nagoya University and Principal Investigator at the Kavli IPMU, spoke on, “Darkness Dominates the Universe.” The audience listened enthusiastically to the exciting lectures, both experimental and theoretical. After the lectures, a discussion was held over the scheduled time limit to facilitate dialogue between the lecturers and the attendees.



Professor Naoshi Sugiyama giving a lecture

Special Public Lecture by 2011 Nobel Laureate Brian Schmidt

On November 19, 2012, three research centers of the University of Tokyo, the Kavli IPMU, the Research Center for the Early Universe, and the Institute of Astronomy jointly hosted a special public lecture, “The Accelerating Universe,” delivered by Brian Schmidt, 2011 Nobel Laureate in Physics, at the Yasuda auditorium on the University of Tokyo’s Hongo campus.

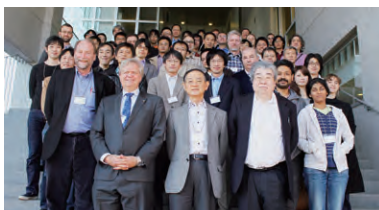
Though the lecture was given late in the afternoon on a Monday, the Nobel Laureate’s lecture attracted an audience of 650, including many high school and university students, who joined after school hours. The audience enjoyed Professor Schmidt’s lecture, which was given in English, with simultaneous interpretation provided in Japanese.

You can also find an interview with Professor Schmidt on pages 18 – 24 in this issue of *Kavli IPMU News*.

Workshop: Supernovae, Dark Energy and Cosmology

On November 20 and 21, 2012, a workshop, “Supernovae, Dark Energy, and Cosmology” was held at the Kavli IPMU lecture hall. This workshop was organized with Nobel Laureate in Physics Brian Schmidt as a guest. His talk was very well attended by researchers from the related fields as well as those from other fields.

During his stay at the Kavli IPMU, Professor Schmidt also joined tea time and communicated with a great many researchers.



Professor Schmidt is standing leftmost in the front row.

Six WPI Research Center Joint Symposium for High School Students Was Held in Tsukuba

On November 24, 2012, a Joint Symposium of the six WPI research centers entitled, “WPI High School Outreach Program: Inspiring Insights into Pioneering Scientific Research,” was held at the International Congress Center Tsukuba Epochal, hosted by the National Institute for Materials Science’s MANA (International Center for Materials Nanoarchitectonics), and co-hosted by other 5 WPI centers. From the Kavli IPMU, Assistant Professor Kevin Bundy spoke on, “How Galaxies Are Formed?,” in English with simultaneous interpretation in Japanese. He explained the mysteries of the galaxies and the universe, and also introduced his own research.

The audience of about 600 comprised mostly high-school students invited from Ibaraki and Chiba Prefectures, with some other participants as well. As the lecturers represented the wide research activities of the six WPI centers, the audience listened enthusiastically to their talks.

As with the first Six WPI Research Center Joint Symposium that was held in Fukuoka last year, each WPI center made poster presentations as well as other demonstrations outside of the lecture hall. After the symposium program was over, all the lecturers were present at the poster presentation space, and they communicated with the attendees. Kevin Bundy was surrounded by a number of high school students.



Kevin Bundy speaking with a high school student

They not only asked questions on his lecture, but also asked for advice on overseas research opportunities.

A New Constraint on Quantum Gravity Theories from Distant Gamma-Ray Burst Observations

Kenji Toma (Osaka University, JSPS Superlative Postdoc) Shinji Mukohyama (Kavli IPMU, Associate Professor), Daisuke Yonetoku (Kanazawa University, Associate Professor), and their colleagues have measured linear polarization in the gamma-ray emissions of distant gamma-ray bursts (GRBs) at the most precise levels to date, using the “GAP (Gamma-ray burst Polarimeter)” on board JAXA’s small solar power sail demonstrator “IKAROS” spacecraft, and they found that the polarization did not rotate during its journey, as long as several billion light years.

Some quantum gravity theories such as superstring theory predict that structures of space-time at extremely short distances may be totally different from what we think we know, and they predict a possible violation of CPT, which is one of the most fundamental symmetries. Previous measurements indicated that nature obeys CPT at least to a level of one part in 10 million. The new result leads to the most stringent constraint on CPT violation, a level of one part in 10^{15} , i.e., an improvement of 8 orders of magnitude over the previous limits. This result implies that a fundamental symmetry CPT is not violated at extremely small distances which quantum gravity theories deal with. It is expected that quantum gravity theories will be developed in line with this result.

This work was published in the *Physical Review Letters* on December 13, 2012, and highlighted in its online version.

Santa Claus is Coming to Dongri from the Kavli IPMU

This year again, on December 21, 2012, Kavli IPMU Professor Mark Vagins visited Donguri Nursery School on the Kashiwa campus, dressed up as Santa Claus. Professor Vagins had kept his beard growing for some time for this event. The children were delighted, just as if the real Santa Claus visited them.



Professor Vagins visited Donguri, dressed up as Santa Claus.

Kavli IPMU Seminars

1. "Tracing the effects of gas flows in interacting galaxy pairs"
Speaker: Jillian Scudder (Univ. of Victoria)
Date: Oct 02, 2012
2. "Three-dimensional Seiberg duality and generalizations of the Verlinde algebra"
Speaker: Anton Kapustin (Caltech)
Date: Oct 02, 2012
3. "Isocurvatons during inflation: the heavy, the quasi- and the light"
Speaker: Yi Wang (Kavli IPMU)
Date: Oct 02, 2012
4. "Hochschild classes and microlocal Euler classes of sheaves and D-modules (joint work with Masaki Kashiwara)"
Speaker: Pierre Schapira (Université Pierre et Marie Curie)
Date: Oct 03, 2012
5. "A Stringy Mechanism for a Small Cosmological Constant"
Speaker: Henry Tye (Cornell)
Date: Oct 03, 2012
6. "Neutrinos: Kage-Musha in nature which however have a key to understand her fundamental structure"
Speaker: Hisakazu Minakata (Tokyo Metropolitan Univ.)
Date: Oct 03, 2012
7. "The Wasteland of Random Supergravities"
Speaker: Liam McAllister (Cornell)
Date: Oct 09, 2012
8. "4D Wilson Loops, 2D Flux Tubes and Integrability"
Speaker: Pedro Vieira (Perimeter Institute)
Date: Oct 09, 2012
9. "Developments in massive gravity"
Speaker: Kurt Hinterbichler (Perimeter Institute)
Date: Oct 09, 2012
10. "S² partition functions: Coulomb vs Higgs localization and vortices in two-dimensional N=(2,2)"
Speaker: Francesco Benini (Stony Brook)
Date: Oct 10, 2012
11. "LHC Phenomenology of Type II Seesaw"
Speaker: Eung Jin Chun (KIAS)
Date: Oct 10, 2012
12. "New Perspectives on SCFTs"
Speaker: Masahito Yamazaki (Princeton)
Date: Oct 10, 2012
13. "Twisted Gromov-Witten invariants"
Speaker: Valentin Tonita (Kavli IPMU)
Date: Oct 11, 2012
14. "The pseudo-conformal universe"
Speaker: Kurt Hinterbichler (Perimeter Institute)
Date: Oct 16, 2012
15. "Galileons and their Generalizations"
Speaker: Mark Trodden (Univ. Penn)
Date: Oct 17, 2012
16. "Exact results in supersymmetric conformal field theories"
Speaker: Daniel Jafferis (Harvard)
Date: Oct 23, 2012
17. "Effective couplings of the Higgs boson in the light of recent LHC and Tevatron data"
Speaker: Satyanarayan Mukhopadhyay (Kavli IPMU)
Date: Oct 24, 2012
18. "Involutive bi-Lie infinity structure and Floer homology of arbitrary genus"
Speaker: Kenji Fukaya (Kyoto Univ.)
Date: Oct 24, 2012
19. "What turns galaxies off? – Revealing the links between galaxy color, structure and dark matter halo properties"
Speaker: David Wake (Yale)
Date: Oct 24, 2012
20. "Applications of Cardy relation to symplectic geometry"
Speaker: Kenji Fukaya (Kyoto Univ.)
Date: Oct 25, 2012
21. "Simulations of Type Ia Supernova Explosions"
Speaker: Ruediger Pakmor (HITS)
Date: Oct 25, 2012
22. "When and how much can Lagrangian Floer theory determine Gromov-Witten invariant?"
Speaker: Kenji Fukaya (Kyoto Univ.)
Date: Oct 26, 2012
23. "Geometric models of matter"
Speaker: Bernd Schroers (Heriot-Watt Univ.)
Date: Oct 26, 2012
24. "Revealing the origins and environments of Mg II absorbers with the SDSS and 3D-HST"
Speaker: Britt Lundgren (Univ. Wisconsin)
Date: Oct 29, 2012
25. "Conifold Transition in the Landau-Ginzburg B-model"
Speaker: Daniel Pomerleano (Kavli IPMU)
Date: Oct 29, 2012
26. "Two-Sphere Partition Functions and Gromov-Witten Invariants"
Speaker: Mauricio Romo (Kavli

- IPMU)
Date: Oct 30, 2012
27. "A Higgs Boson Near 125 GeV Beyond the Minimal Supersymmetric Standard Model"
Speaker: Steve F. King (Univ. Southampton)
Date: Oct 30, 2012
28. "Flavour Symmetry Models after Daya Bay and RENO"
Speaker: Steve F. King (Univ. Southampton)
Date: Oct 31, 2012
29. "Mathematical theory of mutually unbiased bases"
Speaker: Alexey Bondal (Kavli IPMU / Steklov)
Date: Oct 31, 2012
30. "Effects of Radiative Feedback on Reionization and the Local Universe"
Speaker: Marcelo Alvarez (CITA)
Date: Nov 01, 2012
31. "Construction of (quasi-)phantom categories on some surfaces of general type"
Speaker: Pawel Sosna (Hamburg)
Date: Nov 05, 2012
32. "A problem of Jacques Tits and Chevalley groups over F_1 "
Speaker: Oliver Lorscheid (IMPA)
Date: Nov 06, 2012
33. "A story of de- and re-coupling: supersymmetry breaking in string models"
Speaker: Lukas Witkowski (Oxford)
Date: Nov 07, 2012
34. "Detectable signature of first stars in 21-cm"
Speaker: Anastasia Fialkov (Tel Aviv)
Date: Nov 08, 2012
35. "Mirror Symmetry of Catalan Numbers and Quantum Curves"
Speaker: Motohiko Mulase (UC Davis)
Date: Nov 08, 2012
36. "The Wide-field Infrared Survey Explorer: Implementation and Solar System Science"
Speaker: Edward Wright (UCLA)
Date: Nov 12, 2012
37. "Higher Chow cycles on Abelian surfaces"
Speaker: Ramesh Sreekantan (Indian Statistical Institute)
Date: Nov 13, 2012
38. "Light dark matter: the motivation, the theory, the ongoing search"
Speaker: Alex Kusenko (UCLA / Kavli IPMU)
Date: Nov 14, 2012
39. "WISE Observations of Stars, Galaxies and Star Formation, and QSOs"
Speaker: Edward Wright (UCLA)
Date: Nov 16, 2012
40. "Understanding the shape of non-Gaussianity"
Speaker: Andrei Frolov (Simon Fraser)
Date: Nov 19, 2012
41. "War on Lambda: fighting the cosmological constant problem"
Speaker: Antonio Padilla (Nottingham)
Date: Nov 19, 2012
42. "part 1: Algebra, Geometry, and Hydrogen Atom
part 2: Wall-Crossing and Quiver Invariant"
Speaker: Piljin Yi (KIAS)
Date: Nov 20, 2012
43. "Supernovae, the Accelerating Cosmos, and Dark Energy"
Speaker: Brian Schmidt (Australian National Univ.)
Date: Nov 20, 2012
44. "Some Mutant Forms of Quantum Mechanics"
Speaker: Tatsu Takeuchi (Virginia Tech)
Date: Nov 21, 2012
45. "Quantum backreaction in string theory"
Speaker: Oleg Evnin (Chulalongkorn Univ.)
Date: Nov 21, 2012
46. "Experimental tests of R^2 -inflation and its minimal extensions"
Speaker: Dmitry Gorbunov (INR Moscow)
Date: Nov 22, 2012
47. "Quantum symmetry in homological representations of braid groups"
Speaker: Toshitake Kohno (U. Tokyo)
Date: Nov 22, 2012
48. "Ising Model D-Branes from String Field Theory"
Speaker: Martin Schnabl (Institute of Physics ASCR)
Date: Nov 26, 2012

Personnel Changes

Promotion

Keiichi Maeda, previously Kavli IPMU Assistant Professor, was promoted to Kavli IPMU Associate Professor on December 16, 2012.



Moving Out

The following people left Kavli IPMU to work at other institutes. Their time at Kavli IPMU is shown in square brackets:

Kavli IPMU postdoctoral fellow Scott Carnahan [September 1, 2010 – November 15, 2012] moved to Division of Mathematics, Graduate School of Pure and Applied Sciences, the University of Tsukuba as an Assistant Professor.

Kavli IPMU postdoctoral fellow Mircea Voineagu [August 1, 2010 – December 31, 2012] moved to the University of New South Wales in Australia as a lecturer.

JSPS postdoctoral fellow Johannes Schmude [October 4, 2010 – October 31, 2012] moved to Riken Nishina Center for Accelerator-Based Science as a Special Postdoctoral Researcher.

Gromov-Witten Invariants

Todor Milanov

Kavli IPMU Assistant Professor

A Gromov-Witten invariant of a projective manifold X is the virtual count of stable maps from a Riemann surface of a fixed genus g to X satisfying certain incidence constraints. Namely, we select several points on the Riemann surface, several cycles in X , and we require that the marked points are mapped to the cycles in such a way that the surface is tangent to the cycles with a certain degree of tangency. When we impose sufficiently many incidence constraints, the number of such maps becomes finite. Selecting different constraints we obtain an infinite sequence of numbers called the Gromov-Witten invariants of X . Probably the most mysterious conjecture about them is that they satisfy a recursion relation which can be formulated in terms of the representation theory of the Virasoro algebra. If in addition X has sufficiently many rational curves; then the recursion becomes stronger and one of the greatest achievements in that case is the discovery of new systems of differential equations called integrable hierarchies. One of the main challenges is to understand the significance of these integrable hierarchies in Mathematics. For example, there are some indications that such integrable hierarchies appear naturally in the settings of complex geometry as well as in the settings of representation theory of infinite dimensional Lie algebras.

$\text{Riemann surface w/ } n \text{ marked points}$
 $\xrightarrow[\text{holomorphic map}]{f}$
 $X \text{ w/ } n \text{ cycles } \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$

$$\langle \tau_{k_1}(\phi_1), \dots, \tau_{k_n}(\phi_n) \rangle_{g,n,d} = \int_{\mathcal{M}_{g,n}(X;d)} \text{ev}^*(\phi_1 \otimes \dots \otimes \phi_n) \psi_1^{k_1} \dots \psi_n^{k_n}$$

\uparrow tangency constraints \uparrow moduli space of stable maps

科学と政治

Kavli IPMU 機構長

村山 斉 むらやま・ひとし

最近では日本、アメリカ、韓国など多くの国で選挙があり、近々イタリアでもあります。そして中国で十年に一度の指導者交代がありました。新聞は予測や結果を報道し、新政権がどのような方向へ向かおうとするのか、様々な予想もありました。私達の研究は宇宙がどういう仕組みなのかを理解することですが、実は政治の世界と無縁ではありません。

Kavli IPMUで行っている研究は「基礎研究」なので、社会の問題にすぐさま解決を与えるようなものではありません。そもそもこのような研究を税金でサポートするべきなのかどうか、は大事な問題です。

かつては天文学の研究は国王、皇帝、スルタン、裕福な貴族等が資金を出しましたが、これは占星術のためだったり、帝国主義的な目的の航海術のためだったりしました。数学はエジプトでナイル河が氾濫した後、土地の測量の必要から発達したと言われています。そして、後には国防のための暗号への応用も重要になりました。物理学は第二次大戦のあとアメリカでは手厚く支援されましたが、これはレーダー、レーザー、トランジスター、そして原子爆弾(!)といった発明のためだったと言われています。

実際、私が1993年にパークレイに到着した二月後、素粒子物理学での大きなプロジェクトであるSSCが建設途中でキャンセルされ、何百人もの研究所員が解雇されました。これは冷戦が終わったため、物理学研究の必要性が低く考えられるようになったためだと言われています。

私達がKavli IPMUで期待していることは、「私達はどこから来たのか」、「どこへ向かっているのか」、「ど

うしてここにいるのか」、といった真に根源的な疑問に迫ることに納税者も政治家も価値を見出してくれることです。こうした深い疑問が若い頭脳を触発して科学や数学の分野に興味を持たせ、いずれは社会の実際的な問題やテクノロジーのイノベーションを生み出してくれると信じています。今までのアウトリーチのイベントに多くの生徒や学生が来てくれて、数学や宇宙の話にワクワクしてくれた様子にはとても力づけられました。しかもこうした基礎研究は完全にグローバルで、政治的にはもめている国から来た人たちでも一つにします。Kavli IPMUはこうした科学の精神を実現する場所だと思っています。



極小モデル理論、連接層の導来圏、ミラー対称性

代数多様体の分類理論

数学の専門分野の一つに、代数幾何学と呼ばれる分野があります。代数幾何学とは、幾つかの多項式の解集合として定義される図形（代数多様体）を研究する学問で、例えば直線、円、放物線（図1）といった図形は代数多様体の例となります。扱っている対象は図形なので、幾何的な直感を用いて研究することもできますが、多項式で定義されているという点に着目して代数的なアプローチも可能です。また、代数幾何学は整数論や超弦理論など様々な分野と関わりをもちます。例えば、整数論におけるフェルマーの最終定理の証明には楕円曲線と呼ばれる代数多様体が活躍しますし、超弦理論においては3次元カラビ・ヤウ多様体が余剰次元に出現すると考えられています。日本では代数幾何学は代数多様体の分類理論を中心に発展してきました。日本におけるフィールズ賞受賞者（小平邦彦氏、広中平祐氏、森重文氏）は皆、代数多様体の分類理論に大きく貢献しています。

代数多様体の分類理論の考え方は、大雑把に説明すると以下の通りです。まず最も簡単な1次元の代数多様体を考えましょう。1次元といっても、代数幾何学では多項式の解集合を複素数まで拡張して考えるので、実際に絵に描くと2次元の曲面（図2）が現れます。例えば上記の直線、円、放物線といった代数多様体は解集合を複素数まで拡張すると幾つかの穴の空いた球面になります。この穴を埋める操作をコンパクト化するといいますが、コンパクト化すると直線、円、放物

線は全て球面になります。この球面は有理曲線といって、最も基本的な1次元代数多様体です。また楕円曲線は3次式で定義される1次元の代数多様体ですが、これに対して上記の操作を施すとドーナツ状の曲面ができます。全ての1次元代数多様体はこのように幾つかのドーナツ状の穴が開いた球面になることが知られています。ドーナツ状の穴の個数は種数と呼ばれますが、1次元の代数多様体はその種数が0の場合（球面）、1の場合（楕円曲線）、2以上（一般型）の場合に応じてそれぞれ複雑さの度合いが違います。そこでまずは上の3通りのいずれに属するのか決定してから、その代数多様体の幾何的構造を調べましょうというのが分類理論の考え方です。

2次元代数多様体の極小モデル理論

より高次元（2次元以上）の代数多様体の場合は、1次元の時と同様にドーナツ状の穴の数で分類することはできません。その代わりに高次元では（通常の次元とは異なる）小平次元と呼ばれる不変量を用いて分類されます。高次元代数多様体においても、その小平次元の値に応じて幾何構造の複雑さの度合いが異なるので、まずは小平次元の値を知ることが分類の鍵となります。しかしながら、高次元代数多様体の大域的な幾何構造は複雑な形をしていて、小平次元が分かっても1次元の場合のように単純に分類することはできません。その要因を探っていくと、代数多様体上に悪い振る舞いをする余分な有理曲線が存在しているからで

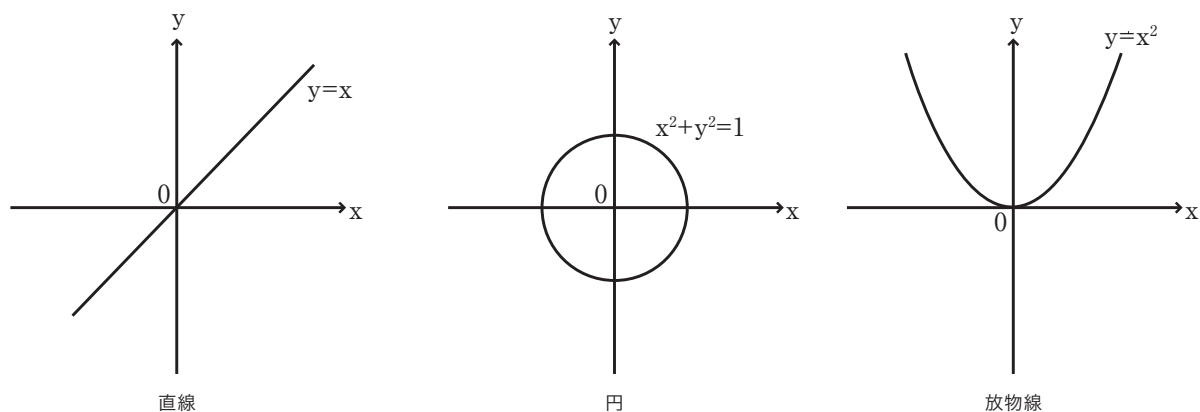


図1

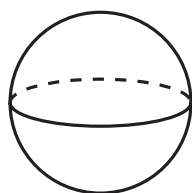
あることが分かります。そこで、その余分な有理曲線を潰して新たな代数多様体を得ることを考えます。この操作を繰り返して、余分な有理曲線がない代数多様体（極小モデルと呼ばれる）を得ることができるなら、その極小モデルの大域的な構造を調べて代数多様体を分類しようというのが高次元における分類理論の考え方です。このように余分な有理曲線が存在しない極小モデルを見つけてくる操作は極小モデルプログラム（Minimal Model Program、略してMMP）と呼ばれています。

2次元代数多様体のMMPは20世紀初頭にイタリア学派によって完成されました。この場合、極小モデルを更に詳細に分類することができます。例えば小平次元が0の極小モデルはK3曲面、エンリケス曲面、アーベル曲面、楕円曲面と4種類に分類され、それぞれ背後に興味深い幾何学が存在します。中でもK3曲面は前述した楕円曲線や3次元カラビ・ヤウ多様体の2次元における類似物と考えられ、その幾何学は格子の理論と密接に関わっています。また、後述するK3曲面のミラー対称性も格子の言葉で記述できるため、ミラー対称性のトイモデル（簡単なモデル）として現在でも活発に研究が進められています。

3次元代数多様体の極小モデル理論

上で述べたとおり、2次元代数多様体の極小モデル理論は非常に美しい形で完成されました。ところが3次元代数多様体に対して同様の理論を構築しようとすると、2次元の場合には発生しない重要な問題点が発生してきます。それは、悪い振る舞いをする余分な有理曲線を潰してしまうと、潰した先の代数多様体に特異点が生じてしまうことです。ここで代数多様体の特異点をもつとは、局所的に座標系を取ることができないという意味です。例えば前述の1次元代数多様体の場合にはドーナツ状の曲面になっているので、局所的に（実）2次元座標を取ることができます。代数幾何で扱う代数多様体は必ずしもこのような座標系が取れるとは限らず、例えば円錐のように尖った空間を考えると頂点の近くで座標系を取ることができません。特異点を持った代数多様体の幾何学は難しく、暫くの間は3次元極小モデル理論の進展は滞っていました。

上記の問題点は1980年代に取り除かれ、3次元極小モデル理論が大発展します。森重文氏、川又雄二郎氏、V.V. Shokurovらを中心として3次元MMPが機能する比較的マイルドな特異点（端末特異点と呼ばれる）の概念が整理され、それらの特異点の解析が進みまし



種数 0
(有理曲線)



種数 1
(楕円曲線)



種数 ≥ 2
(一般型)

図2

た。端末特異点しかもたない3次元代数多様体に対しては、余分な有理曲線を潰すことができます。仮に潰した結果得られた代数多様体も端末特異点しかもたないなら、プログラムを進めることができます。実際はフリップ曲線と呼ばれる非常に厄介な有理曲線を潰すと端末特異点の範囲から外れてしまうのですが、その場合はフリップ曲線を取り除いて別の有理曲線に置き換える操作（フリップと呼ばれる）を行うことでプログラムが進んでいくことが示されました。このフリップの存在が大問題だったのですが、1988年に森重文氏によってフリップの存在が示され、3次元極小モデル理論が完成されました。

3次元極小モデル理論の特徴の一つに、得られた極小モデルが唯一つには定まらず、高々フロップと呼ばれる操作で移りあうことがあります。フロップとはフリップと良く似ている操作で、フロップ曲線と呼ばれるフリップ曲線ほど厄介ではない有理曲線を取り除いて別の有理曲線に置き換える操作です。このフロップという操作で様々な幾何的情報が保たれることは知られていましたが、1990年代にその究極とも呼べる現象が発見されました。3次元フロップによって連接層の導来圏が同値になるという現象です。これはA. BondalとD. Orlovによって特殊なフロップの場合に証明され、T. Bridgelandによって全ての3次元フロップで成立することが示されました。

連接層の導来圏

代数多様体の連接層の導来圏とは1960年代にA. Grothendieckによって導入された概念です。連接層の導来圏について説明するために、まずは連接層について大雑把に解説します。連接層とは、代数多様体上の関数の概念を抽象化した概念です。例えば代数多様体上で局所的に多項式の形で書ける関数全体を考えると、それは構造層という一つの連接層を与えます。しかし連接層はこれだけではなく、例えば代数多様体の部分代数多様体上の構造層も一つの連接層を与えます。代数多様体上には多くの連接層が存在するのですが、一つ一つの連接層を「対象」とし、更に二つの連接層を関係づける「射」を考えることで、連接層全体に一つの数学的体系を与えることができます。イメージとしては、連接層全体とそれらの間の射を、点の集合とそれらの間の矢印として捉えると良いでしょう。この様に「対象」及びそれらの間の「射」の概念が存在する数学的な体系は「圏」と呼ばれています。

連接層の圏は上の様に定義することができますが、この圏はこれだけではあまり良い性質をもたないことが分かります。例えば二つの代数多様体の間に写像が存在した時に、一方の代数多様体上の連接層から他方の代数多様体上に連接層を与えることを考えましょう。この時、単純にその様な操作を行うと情報が失われて

しうことがあるのです。そこで Grothendieck が考案したのは、接続層ではなく接続層の複体を考えるということです。接続層の複体を前述の点と矢印の例に例えて説明します。まずは幾つかの有限個の点に1, 2, 3・・・と番号を振り、それぞれの番号の点からそれより1つ大きい番号の点に向けて矢印を引きます。番号付けした点に接続層を対応させ、矢印に接続層の間の射を対応させます。このような図式である特別な性質を持つものを接続層の複体と呼びます。接続層の導来圏とは、対象が接続層の複体からなる圏のことです。射についてはもう少し難しいので、ここでは解説しません。接続層の導来圏を考えると、上述の問題点がクリアできます。つまり、一方の代数多様体上の接続層から他方の代数多様体上に接続層を与える際、代わりに導来圏の対象を与えると情報が失われないのです。

さて、導来圏についてはこれまで非常に技術的な話をしてきました。元々、導来圏とは接続層の圏を考えるだけでは不足だった技術的な点を解消するために導入されたので、それが代数多様体の幾何学と関連しているとは当初全く考えられていませんでした。こうした考え方が変わったのが1994年のことです。

ミラー対称性と極小モデル理論

1994年、チューリッヒで開催された世界数学者会議において、M. Kontsevich がホモロジカル・ミラー対称性予想を提唱しました。これは、代数多様体の接続層の導来圏と、それとミラー対称の関係にあるシンプレクティック多様体から定まる深谷圏と呼ばれる圏が等価であるという予想です。背景となったアイデアは、超弦理論における対称性、及び導来圏の対象、深谷圏の対象をそれぞれタイプの異なる D-ブレインとみなすということです。導来圏の様に技術的かつ抽象的な数学的对象が超弦理論と関わるというのも驚きですし、また代数幾何学とシンプレクティック幾何学という全く様子が異なる幾何学理論の等価性が予想されたのも驚きでした。

ホモロジカル・ミラー対称性の提唱以降、導来圏は代数多様体の間に存在する対称性を本質的に実現する数学的对象であると認識されるようになりました。またミラー対称性を通じて、異なる代数多様体の間の導来圏の同値も予言されるようになり、代数幾何学に新たな視点、問題をもたらすことになりました。上述のフロップによる導来圏の同値も、ミラー対称性から予言された予想です。3次元フロップの場合にはこの予想は既に解決済みですが、より高次元の場合には特別な場合を除いて未解決で、完全な証明には新たなアイデアが求められています。

フロップによる導来圏の同値のアイデアを更に推し進めて、MMP の各ステップで導来圏がどのように振る舞うかを調べるのは自然な考え方です。MMP のステップの特別な場合では、Bondal-Orlov や川又雄二郎氏らによって導来圏が小さくなるという現象が観察されています。そこで、MMP は導来圏を小さくする操作であり、極小モデルが一意的ではなくても導来圏のレベルでは一意的に定まることが期待できそうです。ここで述べたことを特別な場合に限らず一般の場合に示すには、特異点を持った代数多様体の導来圏をどのように扱うのかという問いに答えなければいけないため、非常に難しい問題です。しかしこのアイデアが実現されたら、極小モデル理論の新しい視点をもたらすのみならず、様々な応用も期待できそうです。

現在私は少し見方を変えて、MMP の各ステップを出発点の代数多様体の導来圏の対象の集まりの空間（モジュライ空間と呼ばれる）として理解できないかと考えています。キーワードは、2002年に Bridgeland によって導入された導来圏の安定性条件の概念で、これも超弦理論に端を発する概念です。現時点では満足のいく形の結果は得られてはいませんが、このアイデアが実現されれば量子不変量やミラー対称性等、様々な方向への応用が見込めると考えています。このように、かつては純粋に代数多様体を分類しようとして発展した極小モデル理論が、超弦理論や導来圏を通じて様々な研究分野と結び付き、新たな進展を迎えようとしています。

Our Team

樋口 岳雄

ひぐち・たけお 専門分野: 実験物理学

Kavli IPMU 准教授

私はこれまで高エネルギー加速器実験Belleに参加し、素粒子標準理論の柱のひとつである「小林-益川理論」の証明などに従事してきました。現在では、私たちが知っている素粒子の振る舞いは標準理論によってほぼ完全に説明できます。他方、現在の宇宙には力の大統一や暗黒物質の正体など標準理論だけでは説明できない謎も残されています。多くの研究者は、標準理論とは低温宇宙での近似に過ぎず、それを内包した高温宇宙でも成立可能な未知の理論がこれらの謎に答えられると予想しています。ただ、未知の理論の現象は低温宇宙ではとても微かなはずです。そこで私たちはBelle実験用の加速器の性能を40倍に増強したBelle II実験によって微かな現象を捉え、未知の理論の構造を明らかにします。またKavli IPMUでは実験への技術



的な貢献として、粒子の崩壊位置を数 $10\mu\text{m}$ の精度で決定できる能力をもった崩壊点検出器を製作します。

タンマイ・デシュパンデ Tanmay Deshpande 専門分野: 数学

博士研究員

私の現在の研究対象はある種のテンソル圏とフュージョン圏の構造、及びユニポテント群の上の指標層の理論です。 G を正標数の体上の代数群とします。種々の有限体に値を取る G の点より構成される有限群の族を考えます。指標層の理論の目標はこれらの有限群の表現論を G の幾何学から（ ℓ 進層の面から）理解することです。簡約群の指標層はG. Lusztigにより研究され、これに刺激を受けてV. Drinfeldがユニポテント群



の上の指標層の研究を開始しました。私の研究はこの理論と、理論に自然に現れる種々のフュージョン圏およびモジュラー圏に焦点を合わせています。

サティアナラヤン・ムコパッティアイ Satyanarayan Mukhopadhyay 専門分野: 理論物理学

博士研究員

私はLHCで調べられる物理に焦点を合わせた研究を行っています。これには、例えばQCD（量子色力学）ジェットの物理の色々な側面といったような標準模型の物理と、TeVエネルギー領域で今にも見つかるかもしれない新しい物理の両方が含まれています。最近のヒグスらしき粒子の発見の後、私がはその性質の決定に非常に興味をもっています。これはTeV領域の物理への窓口として役立ちます。これに加えて、私は宇宙



論と素粒子論の境界、特に宇宙の物質・反物質非対称性の裏に潜むメカニズムとダークマターの性質に興味をもっています。

ダニエル・ポメレアーノ Daniel Pomerleano 専門分野: 数学

博士研究員

私は2次元のトポロジカル量子場の理論の代数的構造、特にDG圏の変形理論を中心に研究しています。この興味から私は行列分解の圏や、curved代数、非コンパクトな深谷圏の変形理論のような幾つかの一見無関係な方向に至りました。ごく最近はホモロジカルミラー対称性の特定のケースについて考えているところです。



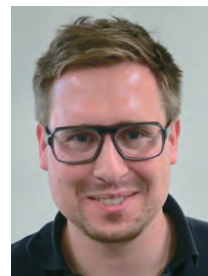
Our Team

カイ・シュミッツ Kai Schmitz 専門分野: 理論物理学

博士研究員

素粒子的宇宙論研究者として、私は素粒子論と宇宙論の2つの標準模型に可能と考えられる拡張を施して初期宇宙の無矛盾な歴史を構築することを目指しています。この目標に向けて私は新たな物理模型を構築し、その現象論を調べ、天文観測、実験室やコライダーでの実験で観測される信号について予言を行っています。未解決の問題の中でも、インフレーション、プレヒーティング（大きな密度揺らぎが生じるインフレーションの終了期）、リヒーティング（インフレーションの終了時に真空のエネルギーが放射に転換し、宇宙が再加熱され高温になること）、宇宙の相転移で発

生する重力波、レプトン数の生成を経由するバリオン数の生成、低エネルギーでのニュートリノの現象論、および捉えるのが困難な素粒子のダークマター候補、などに関係する問題に特に興味をもっています。



ベネデッタ・ブルカニ Benedetta Vulcani 専門分野: 天体物理学

博士研究員

私の主たる研究対象は、ビッグバン以来の宇宙の歴史を通じて銀河を進化させる原動力となった最も重要な要素を理解することです。そのため、銀河の質量、赤方偏移、および周辺の環境の重要性の解明と定量化を試みています。これまで私は異なる赤方偏移にある銀河での星形成率、形態学、および星の総質量を調べることで、異なる環境にある銀河での星の進化と構造の発展の歴史を特徴付ける研究を行ってきました。さらに、私は銀河中の星の質量分布がその銀河の

存在する環境によってどのような影響を受ける可能性があるかを、大域的な環境と局所的な環境の役割を対比させながら理解することに特に興味があります。



カブリ IPMU 室内管弦楽団

コーネリアス・シュミット-コリネット Cornelius Schmidt-Colinet

Kavli IPMU博士研究員

カブリ IPMU のオーケストラは、研究棟の落成式典に皆で演奏しようと声を挙げた一部のメンバーによって結成されました。機構の事務スタッフが音頭を取り、賛同したメンバーのやる気と熱意に支えられ、気がつけば週一回の練習とオーケストラの演奏は、ここカブリ IPMU で確固たる市民権を得るに至ったのです。それではこれから、筆者がこのオーケストラで体験した思い出を織り交ぜながらこのオーケストラの話を楽しみましょう。



それは IPMU に来て間もない 2009 年 11 月のことでした。夜も更け始めた頃、セミナー室を通りかかったところ、牙を剥き出した猫の餌食にされようとしている鳥の断末魔にも似た音を聞きつけ、自分の目を、いや耳を疑いました。実はそれが何と、やる気満々のバイオリニストが奏でる習い始めたばかりのバイオリンの音だったのです。好奇心でその現場に足を踏み入れた私の目に飛び込んできたのは、普段の研究活動でよくお見受けする教授の姿だったのです。彼はどう考えても私よりは年上で、IPMU の教授としての責務もこなし、その上でさらに楽器の演奏に挑戦しようという意欲に驚きました。聞いてさらに驚いたのは、バイオリンのレッスンを受け始めただけでなく、来る春に東京大学 IPMU 主催で行われる予定の新棟落成式祝賀会で一緒に演奏するために習い始めたと言うのです。私は彼のためを思って、例えバイオリンの名手と言われ

た人であってもバイオリンを始めたばかりの頃は大変な苦勞をいただろうことを、またそれを嫌という程思い知らされた経験を話しました。（実際に習いたての頃は悪戦苦闘しました。）しかし気がつけば、ヨーロッパから自分の楽器を持ってくるよう半強制的に指示を受けて部屋を後にしており、リハーサルにも式典にも参加することになってしまいました。

かくして私は、2010 年 2 月に IPMU オーケストラの団員となりました。当時、オーケストラはフルート、オーボエ、ピアノ、ビオラ、バイオリンが数名と指揮者で構成されていました。そして本番直前には多忙の村山斉機構長もコントラバスとして参加しています。ただオーケストラがどのようにしてできたのか、設立当初から永続的な活動として扱われていたのか正確なことは知りません。そもそも式典のために結成されたオーケストラ、式典後のことは実ははっきり決まって

Special
Contribution

いなかったのだと思います。結成当初からオーケストラは田村利恵子と川尻小登江という二人の職員によって管理運営されてきました。彼らはオーケストラの中心的な存在としてとしてその運営を取り仕切っていましたし、いつも一緒に練習をする仲間でもあります。

私が入団する時にはすでに曲目もパート分けなどの大まかな分担も決まっていました。メンバーは皆、其々に多忙な仕事の中から週に一度の集まる時間を捻出し、その時間は集中して練習する貴重な時間でした。各々の技量にも大きな差があり、学生オーケストラで活躍していた者は合奏することに慣れているけれど、全くの初心者や、心得はあっても楽器に長い間触りもしていなかった私みたいな者もいました。指揮者はといえば、急遽、Youtubeにアップされている演奏を見ることが指揮者としての短期集中特訓コースを受け、国籍の違うメンバーからは鏡面対象な指揮の振り方は『アメリカにおける指揮法』なのかと質問を受けながらも、わずか2～3週間で指揮棒の振り方を習得し、また運よくリズムと躍動感の絶妙な感覚に恵まれていることが分かったのです。指揮者は、互いの音をもっと良く聞くことで音程を合わせられるようになるまで一小節ずつ丁寧に練習させたのです。

ところがもう式典も間近に迫った頃になって、機構の式典担当者が私たちの選曲に異論を唱えてきました。選曲の1つ、古典派音楽時代からの『Kindersymphonie』が当日招待している高い地位にある来賓の方々の前で演奏する曲として相応しくないのでは、との懸念が出たというのです。どうやら曲名、特にその英語訳『Toy symphony（おもちゃの交響曲）』が議論に拍車をかけ、厳かな式典の祝賀会で演奏されるには相応しくないとなったようでした。日本では驚くほど幅広いクラシック音楽を日本中の至るところで耳にします。学校のオーケストラの演奏から結婚披露宴に至るまで、またテレビ番組でもデパートのBGMでも良く使われています。でも『おもちゃの交響曲』は、そういった曲とはちょっと違うのだと捉えられていることをはっきり知ったのはずっと後のこ

とでした。さらに、その式典はIPMUにとっては大変重要なものでしたから、思うに式典担当者は余計なことをされるのを恐れてそのようなことを言い出したのではないのでしょうか。それでもオーケストラのメンバーは、この『おもちゃの交響曲』に特別な思いをもって演奏に工夫を凝らし準備を進めてきていたので、この曲を演奏することに頑固にこだわったのです。オーケストラ・メンバーの説得もあったでしょうけれども、最後は機構長の支持も得た曲であることで押し切ることができました。

演奏当日、機構長のコントラバスと機構長のお嬢さんのチェロが低音部を支え、他の楽器が奏でる旋律と共に曲に深みを与えました。その他にも式典の演奏を担当した東大オーケストラのカルテットメンバーが演奏に合流してくれ、私たちの初演は大成功したのです。

これ以降もオーケストラは練習と演奏を続けています。練習は毎週セミナー室で行っています。練習への参加は極めて自由です。毎回参加しているメンバーもいれば、自分のスケジュールや仕事やその日の気分に合わせて参加したりしなかったりの者も。いつもの練習は指揮者なしでやっています。過去2年間を振り返ると、採用者と退職者に伴ってオーケストラのメンバーも相当変化しています。長い間、オーケストラには低音楽器のメンバーがいまいませんでしたが、この度、新たに2人のチェロ奏者が加わり、他のメンバーも含めて安定してきています。トランペットはレギュラー・メンバー、ビオラは時々参加してもらえます。最近オーボエも加わり、他にも吹奏楽器、ヴォーカル、パーカッションで演奏に参加する不定期メンバーがいます。メンバーには職員、学生、教員やポスドクなどなど。カブリIPMUメンバー以外からの参加もあります。実際今までに、メンバーの知り合いだったり、私たちの演奏を実際に聴いたプロの音楽家の方との共演も実現しています。

私たちのレパートリーは、というか、今までに演奏したり音合わせをただけの曲も含めると、オーケストラのメンバー構成と同じくらい様々です。バロック、



古典、ロマン派から近代音楽まで、またジャズやクリスマスソング、日本のポピュラー音楽からオーケストラ・メンバーの作曲した曲まであります。演奏曲はメンバーの誰もが自由に持ち寄れますので、今までいろいろな曲が積極的に提案されています。時に楽器の編成が偏ることがありますので、そんな時は曲のアレンジを変えたり、誰でも単純に参加できる楽器で演奏できるように楽器パートを変更したりしています。

だいたい演奏メンバーからして途中から参加する者もいれば途中で抜ける者もいるのだから、要請に応じていつでも演奏できるようなレパートリーは持ち合わせていません。実際、必要に応じて何でも演奏する主義で、手持ちの曲をひたすら練習するなどという、長く参加しているメンバーには退屈だし、新しいメンバーにはどのみちほとんど役に立たない、そんな努力はしないのです。それでも何曲かが定番になりつつあります。一つはメンデルスゾーン『結婚行進曲』冒頭部分で、理由はカブリIPMUのポスドクの多くが30代前半までの結婚適齢期にあり、研究員が結婚すると毎日のティータイムに召集されお祝いの演奏をするか

らです。このようなティータイムでのイベント演奏以外にも、カブリIPMUの周年記念行事や、年に二回東大柏キャンパスで行われる、自由にみんなで音楽を演奏してワイワイしましょう! という『わくわくコンサート』に参加しています。記念式典祝賀会で演奏した年の年末の『わくわくコンサート』ではコレルリのクリスマス・コンチェルトを演奏し、それ以降はコンサートの常連になっています。

結成から間もない頃は積極的にメンバーを勧誘し、メンバーになるかもしれない人達にこのオーケストラを宣伝することも必要でした。しかし、音楽に興味がある新しい世代のカブリIPMUのポスドクは、自分でそのルートを見つけてくる傾向にあるようです。カブリIPMUのホームページにオーケストラのリンクが貼ってあるため、日本に来る前からオーケストラの存在を知っている人もいます。オーケストラは仕事以外の社会的交流の場として市民権を得てきています。特にその強制されないゆるい参加を掲げていることが、楽しくてエキサイティングな活動として、カブリIPMUの研究者達からの幅広い支持に繋がっているのです。

ホモロジー的射影双対と量子ゲージ理論

堀 健太郎 ほり・けんたろう

Kavli IPMU 教授

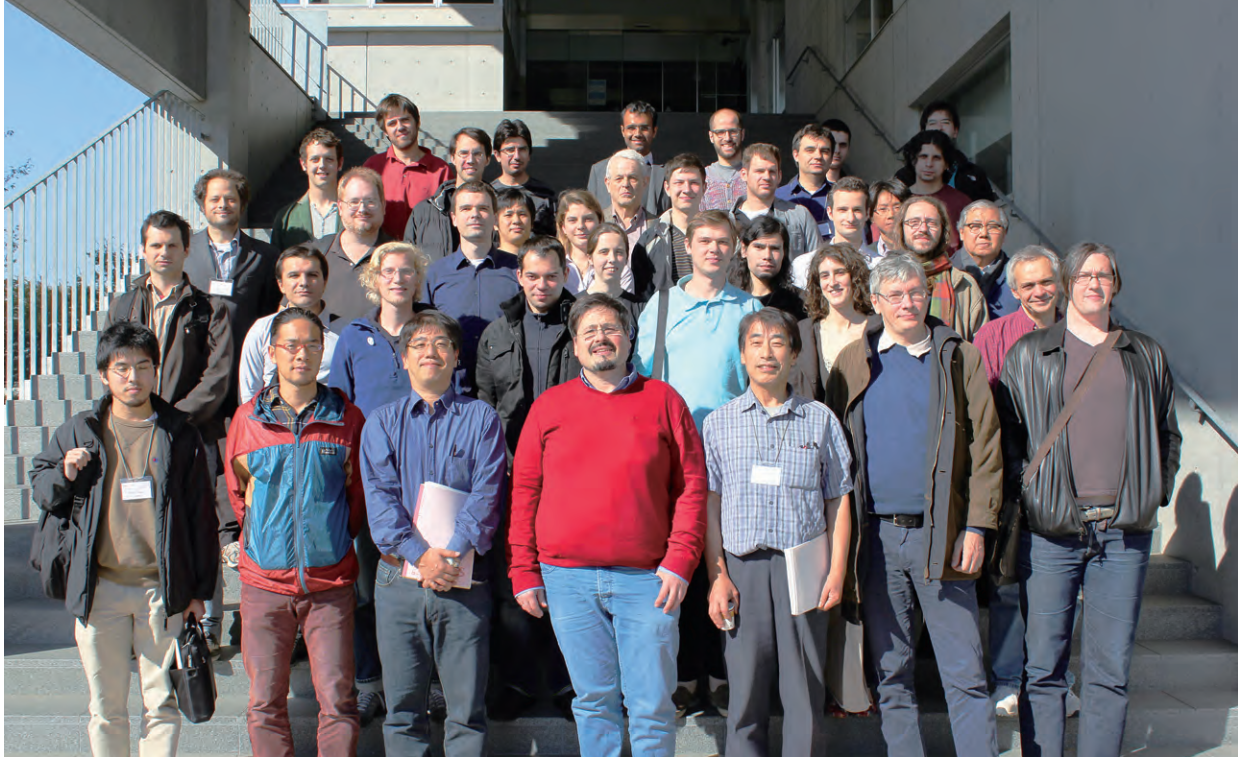
近年、数学の一分野と物理の一分野の間に、魅力的かつ実りの多い相互作用が起こっています。物理の研究は数学的な予想を生み出し、数学者たちはそれに証明を与えようと頑張っています。一方、数学における結果は物理学者たちの好奇心をそそり、時には新発見につながっています。2012年11月12日から16日に開催されたこのワークショップはそのような相互作用の真ただ中で、中心人物の多くが参加する形で行われました。

当該の分野とは数学においてはホモロジー代数に基づく代数幾何学、物理においては2次元の超対称量子ゲージ理論です。相互作用のきっかけは、弦理論における「Dブレーン」と呼ばれる対象を記述するのに数学における「圏」の言葉がとても良く当てはまると認識したことにあります。Dブレーンとは弦の世界面の境界上の相互作用のことであり、それらの全体は、開いた弦の状態を「射」とするようなある種の「圏」を構成します。これは数学的な研究の対象となり得るので、しばしば「接続層の導来圏」のような以前から調べられていたものと一致します。一方、世界面上の場の理論を構成、解析する極めて強力な方法として「線形シグマ模型」と呼ばれる2次元の超対称ゲージ理論があります。この対応関係を通じ、2次元ゲージ理論において知られている事実は圏に関する帰結を生み出し、また、圏に関する結果から2次元ゲージ理論を理解するためのヒントを得ることができます。以下に本研究会の動機となった二つの例を述べることにします。

(1) 超対称性の一般原理により、Dブレーンの圏（正確には「BタイプのDブレーンの圏」）は理論の（ケー

ラー）パラメータを動かしても変化しないことが知られています。このことから（ケーラー）モデュライ空間の相異なる領域に対応するDブレーンの圏は同値であるはずだという数学的帰結が導かれます。2005年にオルロフはそのような圏同値の例を証明することに成功しました。彼は射影超曲面 $f = 0$ の接続層の導来圏が f の（次数付きで同変な）行列分解の圏と同値であることを示したのです。この証明に動機づけられて物理学者たち（ヘルプスト-ページ-筆者）は線形シグマ模型におけるDブレーンを調べ、モデュライ空間の相異なる領域を自由に行き来するための境界電荷に対する条件として「次数制限則」を発見しました（2008年）。この物理の結果は今度は数学者たちを刺激し、彼らは「次数制限則」を数学的に定式化し、我々が考えていたよりもずっと一般的な状況に拡張しました（ハルパーンライストナー、バラード-ファヴェロ-カツアルコフ、ドノヴァン-シーガル、2012年）。

(2) 1998年ノルウェーの数学者ロドランドが奇妙な論文を書きました。ある二つの異なるカラビ-ヤウ多様体（ X と Y としましょう）がミラーとして同一のピカル-フックス方程式を持つ、ということです。筆者はその論文のことを2003年にファン・ストラタンから教わり、友人のトン氏と共にモデュライ空間の二つの領域に X と Y が対応するような線形シグマ模型を構成することにより説明しようと試みました。2004年から2006年にかけての仕事で成功しましたが、それは非可換ゲージ理論の低エネルギー物理について理解することを伴う高度な作業でした。その最中にウィッテンは、我々の試みがうまくいくのであれば X と Y は



導来同値であるはずだということを指摘しました。このことを双有理非同値かつ導来同値な多様体の例を探していたカルダラルに伝えたところ、ほどなくして彼はボリソフと共に導来同値性を証明することに成功しました（2006年）。そこで明らかになったのはこの圏同値がクズネツォフの提唱する「ホモロジー的射影双対」の一例となっているということでした。（クズネツォフ本人もこの圏同値を独立に証明しています。）その後、 X と Y のような組は2007年にカルダラル、ディストラー、ヘラーマン、パンテフ、シャープのグループにより、また2011年には細野と高木により発見されました。筆者はこれらの新しい例を線形シグマ模型により説明しようと再び試みました。前回と同様に非可換ゲージ理論の低エネルギー物理について理解することが必要でしたが、今回は更に高度なレベルの理解が要求され、遂には2次元超対称ゲージ理論における双対性の発見に至りました（2011年）。これは4次元のサイバーク双対性と似たタイプのものです。この双対性はこれまで知られている導来同値の多くを統一的に理解する枠組みを与え、さらに新しい例も生み出します。この夏モスクワで筆者はクズネツォフと意見交換し、ゲージ双対性から出てくる圏同値の全体と

ホモロジー的射影双対には著しい重なりが見られること、また、微妙な違いも存在すること、を確認しました。

本ワークショップには40人近くの数学者と物理学者が参加しました。上記に名前のがった人々の多くの他、ホモロジー代数、代数幾何学、超対称ゲージ理論に関する別の重要な問題に取り組んでいる人々が来しました。これらの人々が一堂に会し、アイデアを交換した素晴らしい機会であったと思います。この相互作用が我々をどんどこに導いてくれるのか非常に楽しみです。

本ワークショップの組織委員はマイアミ大学とウイーン大学兼任のルドミル・カツアルコフ氏と筆者が務めました。また日本の文部科学省（科研費：超弦理論のコンパクト化における数学と物理学のコラボレーション）、ヨーロッパ研究諮問会議（一般化されたミラー対称性）、ロシア連邦の科学省（代数幾何学とその応用に関する研究所）による援助を受けています。事務的には宇治田理恵さんをはじめとするカブリ数物連携宇宙研究機構のスタッフにより運営されました。宇治田さんの効果的かつ献身的な働きには特に感謝したいと思います。

MaNGAプロトタイプ、ファーストライトを観測！

ケビン・バンディ Kevin Bundy

Kavli IPMU 助教

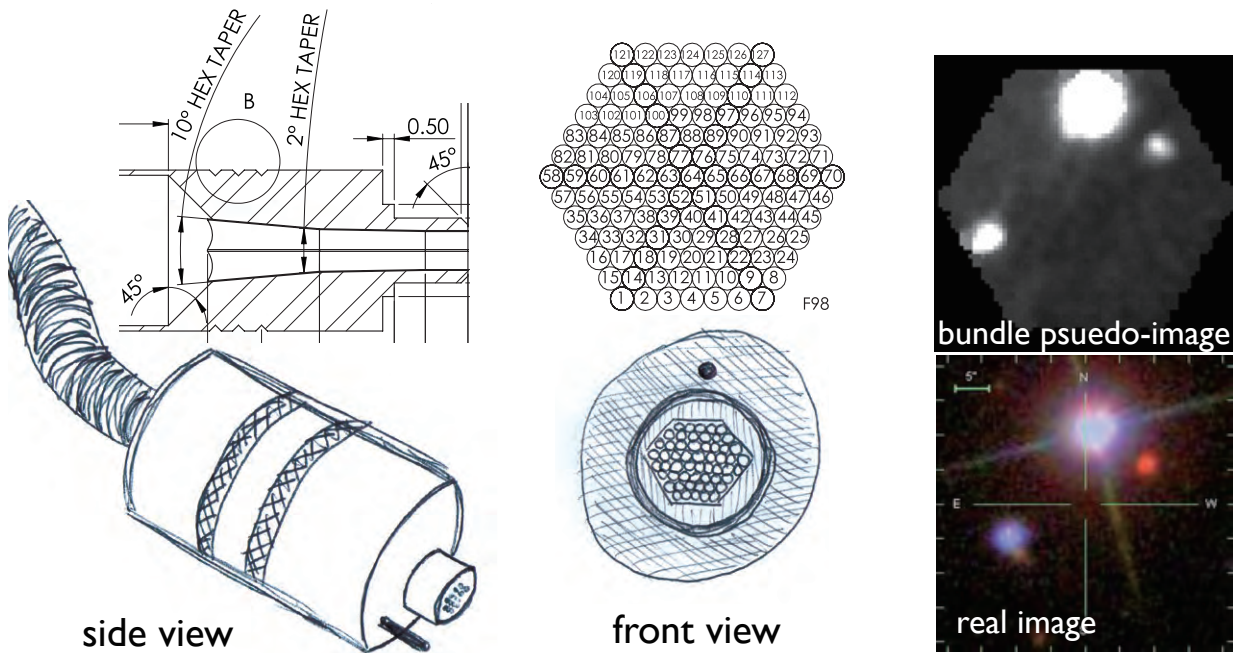
私は過去2年間、2014年に開始される第4世代スローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS) の一部として実施されるサーベイとそのための新しい装置を設計する研究者チームを率いてきました。分光観測のターゲットの銀河について、その中心領域一点からの光だけを測定してきた従来のSDSS-Iのような観測とは違って、私たちの新サーベイのゴールは、10,000を超える近傍銀河の巨大サンプルの各々の銀河について、127もの異なる領域の分光観測を行うというものです。私たちのプロジェクトはMapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory (アパッチ・ポイント天文台における近傍銀河のマッピング) を略してMaNGAという名前で呼ばれています。12月にMaNGAの試作(プロトタイプ)装置の搭載を手伝うため、私は米国ニューメキシコ州のアパッチ・ポイント天文台に出張しました。MaNGAは現存するBOSS(バリオン振動分光サーベイ)装置をもとに製作されています。BOSS装置は、1,000本もの光ファイバー(1,000個の天体の分光が可能になる)で敷き詰められた分光器を2台搭載した可視光光学望遠鏡で、カブリIPMUがすばる望遠鏡の次世代装置として設計を進めている主焦点多天体分光装置(Prime Focus Spectrograph)と同様の装置です。

MaNGAで重要な発展要素は、BOSS装置の光ファイバー19本ないし127本を一束(バンドル)として、六角形の小さな領域にパックする能力です。MaNGA

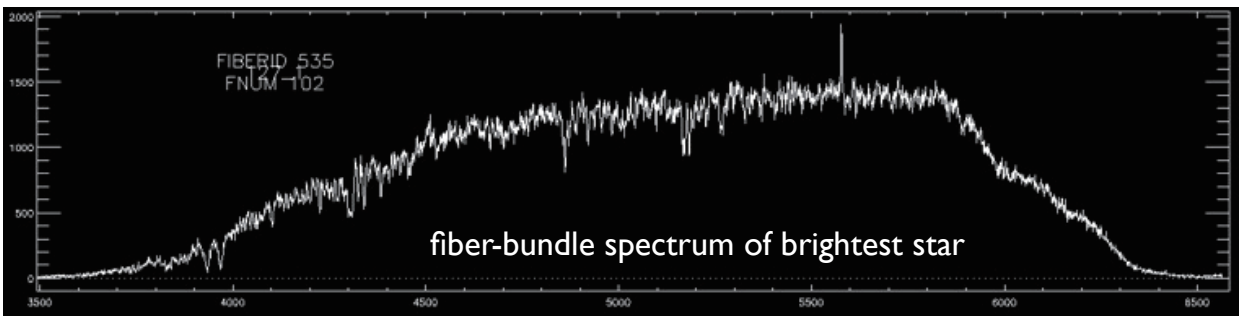
プロジェクトの主任技術者ニック・マクダーナルの指導により私たちが開発してきている「ファイバーバンドル」の一例として、ワシントン大学の大学院生ネル・バイラーによる設計図を示しておきます。私たちは緩やかに狭まる円錐から六角形に移行する穴をもつ金属製のフェルールを設計しました。これに光ファイバーの束を挿入すると自然に最適な配置に収まります。フェルールは約1cm径で、1回のポインティングで20個のフェルールがアルミプレートに穴あけられた穴に挿入されます。アルミプレートの穴の位置は光ファイバー束が望遠鏡の視野内でターゲットにする銀河の位置に決められます。6年間のサーベイ期間中に、それぞれが満月の6倍の面積に相当する円形の視野をカバーするアルミプレート500枚程度を用いて観測を行う予定です。

12月の試験観測で、光ファイバー束試作品は予期した以上の性能を示しました。12月20日の午後に行われたキャリブレーション(較正)で感度の高さが確認され、その夜にMaNGAはファーストライト観測(夜空の最初の観測)に成功しました。下に一例を示したのは127本の光ファイバー束の一つが狙ったもので、接近した3個の星がある空の領域の観測結果です。MaNGA本来の目的は、ファイバー束の各々の光ファイバーが見る空の領域の分光スペクトルを測定することですが、各分光スペクトルを波長方向に積分することで、いわ

MaNGA Fiber-bundles' First Light



左：MaNGAの光ファイバー束用フェルールの断面図(上)と外形のスケッチ(下)。中：127本の光ファイバー束の配置(上)とフェールールおよび挿入されたファイバー束を正面から見たスケッチ。右：ファーストライトで観測した3個の星の「疑似イメージ」(上)と実際のイメージ(下)。



ファーストライトで観測した3個の星の中で、最も明るい星の領域の分光スペクトル。

ば（天体の）「疑似イメージ」を得ることができ、得られたイメージを実際の空の画像と比較することができます。図をご覧ください。3つの星の中で一番明るい星の領域の光ファイバーから得られた分光スペクトルも示しておきます。

2013年1月に、私たちはMaNGAの光ファイバー束試作品を初めて銀河に向けて観測することになっています。

す。本格的にサーベイ観測が開始されると、MaNGAは銀河の内部構造のパターンを明らかにし、その星やガスの運動を直接的に測定することができ、銀河の形成の歴史や進化やそれらを支配する物理法則について多くの新たな知見をもたらすでしょう。

Interview

ブライアン・シュミット教授 に聞く

聞き手：メリーナ・バーステン

学部時代から超新星に興味を抱く

バーステン ノーベル賞の御受賞、おめでとうございます。

シュミット どうもありがとうございます。

バーステン さぞかしお喜びのことと思います。どういうところから始めて受賞に至ったのかをこれから伺いたいののですが、なぜ超新星の研究に興味をもたれたのですか？

シュミット 私はアリゾナ大学で学部教育を受けたのですが、私の二人の指導教員の一人がジョン・マグローで、あるプロジェクトを進めていました。もう一人の指導教員はトム・スウィハートでした。私はジョン・マグローのプロジェクトを手伝ったのですが、1年もするとちょっとは使い物になるようになってきました。プロジェクトの一つの狙いは、観測デ

ータから超新星を見つけることでした。そのサーベイは初のデジタルサーベイでした。スローン・デジタル・スカイ・サーベイのように望遠鏡を動かさずに固定しておき、天球の回転に同期させて受光素子CCD上でデータを移動させ、積分するものです。私はデータから新しいものを発見するというアイデアが気に入りました。それで学部生の研究の一部として超新星の探索を始めました。

とはいえ、その仕事を博士論文のテーマにするつもりはありませんでした。ボブ・カーシュナーが第1回のマーク・アーロンソン記念講演のためアリゾナ大学を訪れたのは、ちょうど私が最終学年を終える頃で、大学院はどこへ行こうかと考えていた時でした。カリフォルニア工科大学にしようか、カリフォルニア大学サンタクルーズ校にしようか、それともハーバード大学にしようか、最終的にこの3大学に絞ったのですが、どれとは決めかねていました。

結局はボブが来て超新星についてとても良い講演をしたので、私は「超新星を研究して博士論文にする気は全くなかったのだけれども、実に面白いことが分かったし、ハーバードに行けば彼と一緒に研究できる」と思いました。それで彼にこう言ったのです。「あなたと一緒に超新星を研究できるなら、ハーバードに行きます。」

ブライアン・シュミットさんは、元「ストロムロ山及びサイディング・スプリング天文台」として知られるオーストラリア国立大学天文・天体物理学研究科の特別荣誉教授です。「遠方超新星の観測による宇宙の加速膨張の発見」により、ソール・パールマター、アダム・リースと共に2011年のノーベル物理学賞を受賞しました。他にも多くの輝かしい受賞歴があり、特にソール・パールマター、アダム・リースと共に2006年のショウ賞を受賞しました。1993年にハーバード大学から博士号取得、1993年-1994年にハーバード・スミソニアン天体物理学センターで博士研究員、1995年にストロムロ山天文台研究員。

超新星の研究を始めたのはそういうわけです。

バーステン 最初はII型超新星の研究でしたね。

シュミット アリゾナ大学で学部生のときは、私たちはどのタイプかは気にせず、とにかく超新星を探しました。しかしハーバードでは、確かに私は博士論文のためにII型超新星を研究しました。私はボブ・カーシュナーが博士論文の研究に使った方法で、II型超新星を用いて距離を測定しました。私がハーバードに来たときボブが勧めたのは超新星1987Aを調べるプロジェクトでしたが、私は「いや、それとは別のことをしたいのです。ハッブル定数を測定したいのですが、昔あなたが博士論文の研究で開発した方法を使ってやりたいのです。」と言いました。それで私はその方法を改良することになりました。ボブには放射輸送のプログラムを用いて超新星爆発を非常に精度良くモデル化できるポスドクがいて、そこで私はロン・イーストマンと一緒にハッブル定数を測定する方法の改良に取り組んだのです。私が博士論文のために実際にやったのはそういうことです。

バーステン なぜ研究対象をIa型超新星に変えたのか、その主な理由を伺いたと思います。言い換えると、なぜHigh-Redshift（高赤方偏移）研究チームを立ち上げたのか、その動機となった主な理由を教えてください。

シュミット 私が博士論文を終えた時には、ハッブル定数の測定方法に伴う系統誤差が統計誤差とほぼ同じレベルで測定しました。私が感じたことは、既に得るべき答えは得て、その方法で他にやれることは余りない、ということでした。ですから、私は他にやることを探して、II型超新星の元素合成量と質量及び爆発エネ

ルギーとの関係を測定することにより爆発がどのように起きるかを調べていました。

1994年にマリオ・ハムイが訪れて、彼らがチリでやった研究を見せてくれましたが、本質的な点は私がII型超新星を使って得た結果より、大雑把に言えば2倍か3倍良い精度で距離を測定するためにIa型超新星が利用できるということでした。同じ頃、ソール・パールマターが電話で我々に調べてもらいたいものがあると言ってきたのでMMT (Multiple Mirror Telescope、アリゾナ州のMt. Hopkinsにあり、スミソニアン協会とアリゾナ大学が共同運営) でスペクトルを測定しました。その時私は実際はハーバードにいて、測定したのはボブ・カーシュナーとピート・チャリスとアダム・リースでしたが、彼らが「これは高赤方偏移の超新星だと思う。」と言うので、私も行って解析しました。そして同じ答えを得たのです。

やがてソール・パールマターから探り出したのですが、我々が測定した高赤方偏移の超新星は、彼らが発見した7個のうちの1個であることがわかりました。彼らは1988年から探し続けていて、突然7個も見つけたのです。高赤方偏移の超新星を発見できるのだということは私にとって本当に目を見張るようなできごとでしたし、私たちはどうやってそれを利用するか知っていたのです。こういったことがわかった時、私はその頃やっていたこと全てを文字通り放り出し、「今こそ減速パラメーター q_0 を測定する好機だ」と言ったのです。私にとってそれは絶対やるべき大仕事で、考えら

メリーナ・バーステンさんはKavli IPMUの博士研究員で、超新星爆発の計算機シミュレーション及び理論的研究を行っています。



れる限り最高にエキサイティングなことでした。宇宙の究極の運命を測定することだったのですから。その測定のために私はやりかけの研究を全て投げ捨てました。

バーステン その時あなたはとても若かったですね。それが研究計画のリーダーになる上で問題になりましたか？

若さの特権、パーティーでも計画するように高赤方偏移チームを組織

シュミット 確かに私はチームリーダーでしたが、従来とは違う意味でのリーダーでした。皆に何をせよと命令する司令官ではなく、一緒に働く友達同士の合意で選ばれたリーダーでした。人を組織する必要はありましたが、パーティーでも計画するようなものでした。「来てよね」と声をかけるだけで来てくれます。単にそういうものですから。それはもう全く私が司令官なんてものではありません。

27歳が問題だったかと言えば、そういうこともありました。私には外に出て行って我々の活動全体を賄う研究助成金を手に入れる力はありませんでした。それぞれのグループは自前で多少の資金を手に入れて参加し、一緒に働いたのです。私たち全員が一緒に使える計算機ハードウェアをまとめて揃えられなかったことは問題でした。私たちは本当に本当に一生懸命働いて何とかそれを乗り越えました。しかし、それは私のような若輩が何かを成し遂げようとする場合に出会う困難の一部にしかすぎません。良かった点は、私はこの研究だけに集中したことです。私だけでなく、アダム・リースもピーター・ガーナヴィッチも皆若くて、この研究に集中しました。私たちは

日夜を問わず唯一この研究に集中して働きました。私たちは他のことに邪魔されることがなかったこと、それこそ私たちが研究を進展させることができた理由の一つです。

バーステン 方法論について少しお話しただけでないでしょうか。それから望遠鏡を何台使ったのでしょうか。また、研究を実施する上で何が一番困難な作業だったのでしょうか。

シュミット 1994年に研究を開始した時には新しいCCDが出ていましたが、私はニック・サンツェフと話すためにチリにいました。彼はどうやってIa型超新星を使うかを明らかにしたカラン/トロロ・サーベイ(チリ大学とセロ・トロロ汎米天文台の共同超新星サーベイ)の主役の一人でした。私たちはCTIO(Cerro Tololo Inter-American Observatory、セロ・トロロ汎米天文台)の4メートル望遠鏡を使う議論をしました。CTIOの4メートル望遠鏡は新しい2000×2000、つまり400万ピクセルのCCDを搭載していました。私はセロ・トロロでは11月から3月までほとんど晴れるということを知っていました。超新星を探索する場合、一つの問題は爆発前と爆発後の2つの画像が必要なことです。もしどちらかが曇りの日に当たったらどうしようもありません。もう一方の日は無駄になります。もし2日目曇りなら、1日目の画像は放置されます。

私たちが必要とするのは、2夜ともに晴れることが保証される場所です。チリのアタカマ砂漠はそういう良い天気保証される本当に唯一の場所でした。加えて新しいCCDをもっているということは、私たちのやりたいことができるということを意味していました。そして、勿論、セロ・トロロの研究チームといえば、私

たちは彼らの測定器と望遠鏡を熟知していました。私たちはそこで観測することに決めました。その時点ではソールの研究チームはまだセロ・トロロの可能性に気づいていませんでした。私たちが観測を申請し、最初の発見(超新星1995K)をした後、彼らもCTIOで観測する当然の利点に気がつき、多分こう考えたでしょう。「うーん、なんと良い場所なのだろう。我々もあそこでやるべきだ。」

実際に超新星を発見するのはとても困難な作業でした。私の書いたソフトウェアはあまり良いものではありませんでした。動くことは動きましたが、書いたのも動かしのもオーストラリアでした。しかし、チリの計算機に持ち込むと動かないライブラリーがたくさんありました。OSが違うことが原因で、あらゆるものが動かなくなりました。それはもう全くの悪夢でした。計算機システムが変わるので、私が現地に行く度に違うトラブルが起きたものでした。結局、それが一番大変なことでした。それからハワイに行きましたが、同じことが起きました。やはりいろいろ動かないものが出ました。私たちにはソフトウェアを移植し安定に働かせるホームベースというものがあったので、超新星を発見するために乗り越えなければならなかったその努力というのは、本当に、本当に悪夢でした。

1995年にはハワイのケック(Keck)天文台の10メートル望遠鏡を使う権利が私たちにはないという別の問題が起きました。さて、1995年にESO(European Southern Observatory、欧州南天文台)のNTT(New Technology Telescope、新技術望遠鏡)を使って、ブルーノ・ライプントグートとジェイソン・スピロミロが私

たちの赤方偏移0.48の超新星のスペクトルを非常に良い条件で何とか測定しました。彼らはほとんど一晩中かけて測定し、データ処理にほぼ一ヶ月かけて、その超新星が実際Ia型であると分かりました。しかし、非常に良い条件で一晩中かかったわけで、実際問題として4メートル級の望遠鏡では、こういった高赤方偏移の超新星のスペクトルを首尾一貫したやり方で測定するには小さすぎるのです。

そのうち、ケック望遠鏡が稼働し始めました。ソール・パールマターのグループはケック望遠鏡を使えたので、1995年には完全に私たちを圧倒してしまっただけです。1995年の末には高赤方偏移超新星の探索を終え、全部のスペクトルを測定できたのです。私たちは一群の高赤方偏移超新星を見つけていましたが、そのスペクトル測定はできなかったのです。私たちはそのうちの2個についてお粗末なスペクトルを得るだけで終わり、彼らは多分11個についてスペクトルを得ていました。「参った、ケック望遠鏡なしではとてもかなわない」と私はとても悩みました。実は1995年の始めにアレックス・フィリペンコが私たちの研究チームに入れて欲しいと頼んできたのです。彼は私たちの研究チームと競っているパークレーの所属でしたから、私はこう言いました。「いや、あなたはパークレーで研究を続けなければいけないよ。私はあなたを引き抜くようなことはしたくない。」1995年の末に再び彼から電話がありました。「是非あなたの研究チームに入れてくれませんか。私はあなた達と同じ超新星の物理屋なんですよ。」その時点で私は「オーケー」と言いました。なぜならケック望遠鏡なしではソールにかなわないし、ア

レックスは超新星とそのスペクトルに関する知識で私たちの研究チームに大きく貢献できたからです。

バーステン ケック望遠鏡を利用するにはパークレー所属であることが必要だったのですか？

シュミット パークレーとカリフォルニア工科大学、それからカリフォルニア大学の各校がケック望遠鏡を利用できました。その組織全体で、超新星を研究していたのはアレックス・フィリペンコだけでした。いや、勿論、ソールのグループもですが。私たちにあって、彼は同じ文化を共有する者であり、彼が再度電話してきて「私はまだあなたの研究チームに入れてほしいのです」と言ってくれたおかげで、私たちは救われました。アレックスとスペクトルを測定する彼の能力がなかったら、私たちは全く競争できず、生き残れなかったでしょう。

バーステン 宇宙の加速膨張を発見したとき、どんな感じを受けました？ その結果の意味することを即座に理解したのですか？

1997年にデータが示した加速膨張を確信できたのは2000年

シュミット そうですね、私たちは宇宙定数が宇宙を加速的に膨張させることは知っていました。それが宇宙定数の主要な効果です。それを私は大学で学びましたが、こういう風に繰り返し教えられたのです。「へまをした連中を良く見ろ。皆いい加減な観測をして宇宙定数だと思い込んだのだ。」実のところ、私は余り気にしなかったのです。宇宙論で流行している冗談のようなものだったですね。

1997年の末にアダムがはっきり宇宙定数を示している図を私に送ってきましたが、私は単に何か間違いをしたのだと決めてかか

りました。「おっ、宇宙定数だ!」とは言わず、「あ、何を間違ったのだらう?」と言ったのです。私たちは一つ一つチェックしていったのですが、そのうち突然「いや、これは消えないぞ」ということがはっきりし始めました。何度も何度も全てを洗い直しましたが、どうしても消えませんでした。そこで私は事実を認めて「オーケー」と言い、それから「これを発表しなければならないけれど、誰も信じてはくれないだろう」と震えてきました。

同時期、1997年にソール・パールマターのグループが宇宙は減速膨張していると主張する論文を発表しました。私たちのほとんどでもない結果で、彼はまともに見える結果を得つつある。私はどう考えたら良いのか分かりませんでした。そして、私たちは突然、ソールの答はほぼ私たちの答と同じになるということに気がついたのです。彼はそれを知りませんでした。私たちに分かったのです。というのは、彼が予備的な形でしたが、ある講演でそれを示したからです。彼のデータは実質的に変わっていたのです。正直に言うと、私は自分たちのデータのもつ意味を知っていましたがまだ確信が持てず、何か私たちが見落としているものがあるに違いないと考え続けました。「何かあるに違いない。私たちだけでなく、私たち以外にもこの研究分野で誰一人として思いつかかったことが。」

バーステン 何か間違っているかもしれないという感覚が変わったのはいつのことですか？

シュミット 2000年まではその感覚は完全には消え去りませんでした。実は6ヶ月後に私はこう言ったのです。「オーケー、多分我々は正しいだろう。全くばかげたことをやってはいない。」2000

年になって宇宙マイクロ波背景放射の観測結果が出て、宇宙は明らかに平坦だということを示しました。それを見た時、私は気がつきました。私たちの観測結果が示すものは宇宙の加速膨張以外ではあり得ないと。宇宙マイクロ波背景放射の結果が後押しをしてくれて、考えられる唯一の解は宇宙の加速膨張となったのです。その時点で私は言いました。「何ともはや、我々は正しかった!」それは2000年の5月で、ブーメラン実験とマキシマ実験の結果が出て、宇宙マイクロ波背景放射の最初のピークをはっきりと示したのです。私は「ワーオ、我々は正しいぞ!」と言いました。それ以前は全く確信が持てませんでした。

バーステン ノーベル賞の予感はありませんでしたか？

シュミット いやいや、誰もノーベル賞を予期したりしませんよ。私にとっては本当に驚きでした。なぜなら、宇宙が膨張加速していることを発見したら、当然何が原因なのかとなりますよね。ダークエネルギーと呼んではいるけれどまだ全然分かっていません。私が生きている間に分からなくて驚きませんよ。それが分からない限りノーベル賞には値しないだろうと思っていました。それなのに見事に間に合って生きている間に、私は去年まだ44歳だったのですよ、受賞したことはちょっとびっくりしました。言い換えれば、私は電話を待ったりはしていませんでした。

バーステン ノーベル賞を受賞したことはどうして分かったのですか？

夕食の料理中にストックホルムから電話

シュミット ノーベル委員会はストックホルム時間の午前11:45

に受賞者を発表します。私は当時知らなかったのですが、勿論今は知っています。オーストラリア時間では午後8:45です。息子の運動会での外出から帰宅して、私は妻と夕食を料理していました。一緒にタイ風グリーンカレーを作っているところで、私は強火で炒め物をしていました。そこに電話が鳴ったので出たところ、スウェーデンなまりで「シュミットさんですか?」と言うのです。

実はその日早い時間に、私の大学院学生が結婚式の招待状を届けに来たのですよ。彼の結婚式は12月10日でした。その彼がこう言ったのです。「今夜電話がかかってきたら、用事があると言って下さいね。」私は彼の顔を見ましたが、何を言っているのか分かりませんでした。で、「どうしてだね?」と聞いたら、彼は「今夜スウェーデンの連中が電話してきたら、用事があると言って下さい。」と言うのです。なぜなら、彼の結婚式はノーベル賞の授賞式の日だからということが分かりました。実は私はまだ少し混乱していたのですが、彼がそう説明してくれたのです。帰宅後私が受けた電話はスウェーデン人の女性からでしたが、正直に言えば、最初これは私の学生のいたずらだと思いました。つまり、私をだましてやろうと朝方仕組んでいたなと思った訳です。

私が「はい、ブライアン・シュミットです。」と言うと、彼女は「本当にシュミットさんですか? 今スウェーデンから電話をかけていますが、とても大切な用件なのです。」と言うのです。変な言い方ですね。まだこれは冗談だと思って「シュミットに間違いありません。」と答えました。そうしたら、彼女はずっと年配のスウェーデン男性に代わって電話に出るように頼んでいるので、私は



「ウーン、あいつがいたずらするためにスウェーデン人を2人も手伝わせたことができたとは信じられないな。」みたいな感じでした。それで彼らの話を聞いたところ、それはいたずらではなかったことが極めて明白になった訳です。あのところ、私は最初の子供が誕生した時と非常に良く似た気分でした。とても興奮して、興奮すぎて胃がむかむかしてきました。

バーステン 想像できます。ノーベル賞を受賞して、あなたの研究者生活はどんな風になりましたか？

シュミット そうですね、ノーベル賞によっていろいろな機会に遭遇するという点が変わります。でもそれは必ずしも研究上の機会が増えるという訳ではありません。実際は研究に対しては差し障りがあると言えます。というのは、研究の進展には本質的に時間が必要だからです。若い人たちはそれをもっています。つまり現場で問題に集中し、答を出す時間です。ノーベル賞がもたらす

ものは、色々な人たちに自分のアイデアを話す機会が増えるということです。政府に対して科学の重要性、教育の重要性、国の科学の進め方の大方針等について建議する機会を与えてくれます。

でも、すぐ分かりますが、私がスカイマッパーという小さな望遠鏡の性能を向上させるための役には立ちません。しかし、科学に対する私たちの取り組み方を国家レベルで改善する機会を与えてくれると思います。昨年一年間を通じて、私はそういったことのため、つまり、政府要人と会合をもち、教育システムを重視すべきこと、高校での物理の教育法、大学への資金配分法、研究資金の配分法、なぜ研究への財政支援が重要か、等々の説明のため、多くの時間を費やしました。

ノーベル賞について別の観点ですが、結構影響力のある存在だということです。私にとっては何というか、無意味なのですが、しかし自分がそうであるという感じは受けました。私は若い頃何

人かノーベル賞受賞者に会いましたが、本当に刺激され啓発されました。なぜかは分かりませんが、全くそうだったのです。今や私がその一人となって、ノーベル賞受賞者であることが影響力をもつ理由が分かったと思います。彼らはまるで発見の一部分のようなもののなのです。まるで私が私ではなくて誰か他人の体を借りているような奇妙な感じなのですが、でも大事なことなのです。人を啓発するような影響を与えることは本当に大事なことです。ハンス・ベーテやダドリー・ハーシュバックやその他私が若いときに会った人たちが私に対して与えてくれたことをするのが私の役割であると思っています。彼らに出会い、啓発されたことが私の成長の重要な要素だったからです。

バーステン 私も刺激を受け啓発されたと思います。

シュミット まあいづれ分かるでしょう。

バーステン あなたに Kavli IPMU を十分知っていただけるだけの時間は無かったと承知していますが、どんな印象をもたれたか聞かせていただけますか？

加速膨張宇宙を研究する上で有益なKavli IPMUの多様性

シュミット そうですね、私がすごいと思うのは、ここでは色々な人たちに会うことです。私は度々日本に来ています。いつも思うことの一つは、日本人ばかりいて、違うのは偶々その日に来ている人だけだということです。それがKavli IPMUでは信じ難いほど多様で、世界中から人が来ているのが一目瞭然です。建物はピカピカに新しく素敵だし、設備もとても良いですね。コーヒータムには活発に議論が交わされます。皆オフィスに閉じこもりきりというのを私は随分見かけたも

のですが、ここではそういうことはありません。本当に活気にあふれていると思います。良くも悪くも驚くほど西洋的です。しかし、それでも日本的ですね。つまり、日本的でないと言えるほど西洋的だという訳でもないですね。

バーステン ええ、お茶が出ます。緑茶ですよ(笑)。

シュミット そうですね。私は東京から随分離れていると思っていましたが、実際はここに来るのは予想していたよりずっと簡単ですね。それと、勿論紅葉がきれい、良い時に来ました。

バーステン 私もそう思います。ここでは超弦理論の人たち、数学の人たち、天文の人たちなど、違う分野の人たちが一緒に研究しています。こういう形の交流が、例えば宇宙の加速膨張を例にとってみると、大きな発見とかをするのに役立つと思われますか？あなたご自身、それについての深い理解を得るのに、他の分野の人たちの交流が役立つということはありませんか？

シュミット 加速膨張宇宙は天文学と基礎物理学にまたがる問題ということが極めて明白なため、特殊なケースと言えます。天文学者として私は宇宙がどのような動きをしているか知っています。しかし、その観測法を知っています。しかし、多分そこには全く基礎的な超弦理論、あるいは場の量子論と重力理論が関わっています。一体何が宇宙の加速膨張を引き起こしているかといったような問題は、理論を…天文学の理論ではなく、素粒子物理学理論ですが…天文学者のもつ知識と結びつけない限り解決できません。私はそういった問題を天文学者が他の分野の研究者と一緒に研究できるということは非常に役に立つと思います。

主として天文学の問題もあり、

ホールですか？

シュミット ええ、中心の巨大ブラックホールで、それはパイナリーかもしれません。もしパイナリーだとすると、投げ出される星の方向は全方向等しいということにはならず、平面内に投げ出されるので、パイナリーかどうかを調べるには良い方法です。こういう研究は最高ですね。

バーステン 超新星の研究分野でノーベル賞を受賞したことで、新しい超新星の研究プロジェクトを進めようという機運が強まるとお考えですか？ その意味でもう一つご意見を伺いたいのですが、今後もIa型超新星を使ってもっと精度を上げる可能性はあるのでしょうか。

シュミット そうですね、私が研究してきた間、超新星の研究分野はものすごく発達しました。私は1993年に博士号を取得しましたが、文字通り世界でただ一人その年超新星で学位を取った人間でした。超新星研究者は数えるほどだったからです。その当時超新星の研究をしていたのはごく僅かでしたから、その頃からやっている人たちは全員知っています。宇宙の加速膨張の発見以来、超新星研究者はとても増えました。もはや全員を知っている訳ではありません。行われている研究を全て知っている訳でもありません。多すぎるので絶えず注意している訳にはいかないのです。

ノーベル賞がそういう状況を変えとは思いません。既にノーベル賞受賞以前から起きていたことです。Ia型超新星については、まだ面白いことができると思います。ただし、Ia型を使って更に高赤方偏移を研究することは、もうかなり困難だと思います。既に行われた観測は十分に良いもので、今や系統誤差によって限界にき

ています。しかし、近傍宇宙にはまだそれほど多くのIa型超新星が観測されていないスイート・スポットというべき領域があります。観測されてはいても、高赤方変移のIa型超新星のように注意深く一様に観測されてはいません。私はそこにまだ好機があると睨んでいて、スカイマッパを用いて近傍宇宙の加速膨張を非常に精度良く観測し、遠方のIa型とより良く結びつけることができるようにしたいと思っています。うまくやれば、宇宙の加速膨張についての誤差を恐らく現在より2倍程度改善できると思います。

バーステン 近傍とは具体的に？

シュミット 赤方変移で0.03から0.1までです。超新星が研究の機会を与えてくれるものがもう一つあると思います。遠方での重力の様子を測定することです。ダークエネルギーに潜む問題の一つは、実はダークエネルギーなどというものではないかもしれないということです。非常な長距離では実はアインシュタインの一般相対論がほんの少し違っているということであれば、もしかすると私たちがテストすることは可能です。超新星は距離を非常に精度良く測れますから、距離と膨張率を比較することにより重力によって誘起された速度が測れることになります。

数百個測定すると、実は超新星を試験粒子として宇宙の各点の平均的な運動を測定できるのです。それにより数百メガパーセクという長距離での重力の振る舞いを測定する途が開けます。現在のところ、これを行う良い方法としては事実上超新星を用いるのが唯一の途です。これは今までテストされなかった領域で一般相対論をテストする方法で、私たちがスカイマッパでやって

みようとしているもう一つの面白い研究です。

バーステン 超新星研究の分野で、もしも解決したら宇宙の加速膨張のように革命につながるかもしれないという問題を特定できますか？

未知から起きる科学的革命

シュミット 革命とは普通は驚きとして姿を現すと思います。簡単に予言できるようなものではありません。もし予言できるとすればそれは革命ではありません。基本的なことは幾つかあります。現在まだ、何がIa型超新星を発生させるのか、分かっています。Ia型超新星を爆発させる原因は何でしょうか。それが分かったらダークエネルギーに革命が起きるかといえば、そんなことはありません。しかし私たちはそれを解き明かそうともう20年も研究を続けてきましたが、未だ謎のままです。連星系の一方が白色矮星で、そこに大きな伴星から物質が供給されてチャンドラセカール質量に達して爆発するのでしょうか？二つの白色矮星が接近してチャンドラセカール質量を超え、爆発するのでしょうか？一方からヘリウムが供給され、チャンドラセカール質量に達する前にヘリウムの爆轟によって吹き飛ばされるのでしょうか？回転が重要で、やや遅くなってから10億年後に成長が止まって吹き飛ぶのでしょうか？これらは皆議論に上がっているシナリオで、どれが正しいか分かりません。

これほど多大な努力が払われてきていることは、ただただ目を見張るばかりです。しかし、本当にうまくゆくかはまだないように見え、それこそ大きな問題だと思います。では、これは革命でしょうか？ いや、革命は驚きから

来るものです。私たちはでき得る限り最善の努力を続けてゆくべきであり、そうしているうちに全く思いもよらない所から驚きが姿を現すでしょう。それこそ基礎科学の美しい点であり、基礎科学が重要な理由です。革命は予言できるものではなく、将来が未知であることから来るものなのです。

世間では「なぜ政府は良く分かっていることだけに予算をつけないのだろう？なぜ基礎科学に投資するのだろう？なぜXやYやZの改良に資金を投じないのだろう？」といったことが言われます。その答はこうです。もし分かっていることだけをやろうとするなら、単にXやYやZが改良されるだけです。インターネットは発明されないでしょう。オーストラリアの天文学者が発明したWi-Fiが発明されることはないでしょう。基礎科学から得られる革命というものは起きないでしょう。応用と基礎のどちらも必要ですが、革命は未知から起きるものです。

バーステン どうもありがとうございました。もっと伺いたいことはあるのですが、そろそろ時間のようです。

シュミット そうですね。ありがとうございました。

Kavli IPMU、設立5周年を迎える

2007年10月1日に東京大学柏キャンパスでゼロの状態からスタートしたIPMUは、2012年10月1日に5周年の節目を迎えました。この間、世界中から優れた研究者を集め多くの研究成果を上げ、高い国際的知名度を獲得し、2011年に行われたWPIの中間評価では最高のS評価を受けました。また2009年12月に研究棟完成、2011年1月に新たに設立された東京大学高等研究所に所属、2012年4月にカブリ財団からの基金を受け入れKavli IPMUとなったことなども相まって、大きな発展を遂げました。



Kavli IPMU研究棟のエントランスホールで行われた昼食会



前夜、会場の準備をするKavli IPMUスタッフ



5周年記念の集合写真

10月19日には研究者およびスタッフが集まり、内輪で5周年を祝う会が催されました。研究内容の紹介、新任研究員の自己紹介に続いて、村山斉機構長から更なる研究成果への期待と激励の言葉があり、その後祝賀パーティーが行われました。

カブリ財団会長に東京大学稷門賞

東京大学は、私財の寄附、ボランティア活動及び援助等により、東京大学の活動の発展に大きく貢献した個人、法人又は団体に対し、平成14年度より毎年度、中国の故事に因む稷門賞を贈呈し表彰しています。「稷門」とは、中国の戦国時代の齊（現在の山東省）の首都の城門の名前で、齊の威王、宣王が学者を厚遇したので、齊の都に天下の賢者が集まり、学問が栄えたということです。

平成24年度の稷門賞はカブリ財団会長フレッド・カブリ氏と日清食品ホールディングス株式会社代表取締役社長・CEO安藤宏基氏に贈られ、10月2日に伊藤国際学術研究センター伊藤謝恩ホールにおいて授賞式が行われました。カブリ財団からはカブリ氏の代理としてロバート・コン理事長が出席しました。

カブリ氏の受賞理由は、カブリ財団からの寄附により基金を設立し、基金から果実を永続的に得られることにより、カブリ数物連携宇宙研究機構を恒久的な組織として運営する見通しがたったこと、そして、これは東京大学の目指す新しい大学像に向けて大きく弾みをつけることとなったことです。



濱田純一東京大学総長（中央左）とロバート・コンカブリ財団理事長（中央右）。左端は江川雅子東京大学理事。

東京大学柏キャンパス一般公開

2012年10月26日と27日の2日間に渡って、恒例の東京大学柏キャンパスの一般公開が行われました。Kavli IPMU研究棟では、昨年度から始まり人気の高い研究棟見学ツアーに加え、大学院生の解説によるデジタル宇宙シアターやKavli IPMUが監修を担当した3Dムービー「宇宙のはじまりの物語」（提供：ソニー・エクスプローラサイエンス）の上映を行い、また天文

クイズやミウラ折り体験などのコーナーも好評で、来場者は1,700人を超えました。中でも27日に行われた大栗博司 Kavli IPMU 主任研究員の講演「重力とはなにか」は、会場の大講義室に加えて用意した中継会場も満席になる盛況でした。また、柏キャンパス全体の行事として新領域環境棟のFSホールで開催された特別講演会での村山機構長の「宇宙にぎゅっと詰まった謎の粒子：ヒッグス」と題する講演は、会場からKavli IPMU大講義室にも中継、質問も受け付け、両方で多くの聴衆を集めました。キャンパス全体では2日間で7,000人を超える来場者がありました。



講演する大栗博司主任研究員

大栗博司主任研究員、アメリカ数学会初代フェローに選出される

アメリカ数学会（AMS, American Mathematical Society）は今年度よりフェロープログラムを開始し、2012年11月1日に初代のフェローを発表しましたが、その一人としてカリフォルニア工科大学のカプリ冠教授で、Kavli IPMUの主任研究員を兼ねる大栗博司さんが選ばれました。大栗さんは一般相対性理論と量子力学を融合する超弦理論を使い、高エネルギー物理学、天体物理学、宇宙論に関連した問題を解き明かすための理論的手法の開発に取り組んでいる物理学者ですが、カリフォルニア工科大学では物理学と数学の両学科の教授を務め、アメリカ数学会のアイゼンバッド賞の初代受賞者に選ばれるなど、物理学者でありながら

数学における業績も非常に高く評価され、今回の選出となりました。

大栗さんは2013年1月に米国サンディエゴで開催されるアメリカ数学会とアメリカ数学協会（MAA, Mathematical Association of America）合同大会で正式にフェローとして任命される予定です。

井上邦雄主任研究員、仁科記念賞受賞

2012年11月9日、仁科記念財団は東北大学ニュートリノ科学研究センター教授でKavli IPMUの主任研究員を兼ねる井上邦雄さんに、2012年度仁科記念賞を授与することを発表しました。



井上邦雄教授

井上さんの受賞業績は「地球内部起源反ニュートリノの検出」で、カムランド実験において地球内部で生じたニュートリノを初めて検出し、ニュートリノ地球科学研究の発展の礎となったことが評価されての受賞となりました。授賞式は12月6日に行われました。

第7回Kavli IPMU・ICRR合同一般講演会「宇宙の謎にせまる」

2012年11月10日に東京大学本郷キャンパスの小柴ホールにおいて、東京大学宇宙線研究所（ICRR）とKavli IPMUが毎年春と秋に開催し、今回で7回目を迎える合同一般講演会「宇宙の謎にせまる」が開催され、約150名が来場しました。なお、この講演会は「国立大学フェスタ2012」のイベントとしても位置づけられています。講演はICRR准教授でKavli IPMUの科学研究員を兼ねる塩澤真人さんが「ニュートリノで探る素粒子の世界と宇宙」、名古屋大学教授でKavli IPMU主任研究員を兼ねる杉山直さんが「暗黒が支配する

宇宙」と題して行いました。実験と理論の両分野からの講師の熱のこもった講演に会場は大いに盛り上がり、講演会後の懇談会では終了予定時間を過ぎても講師を囲む参加者からの質問が続きました。



講演する杉山直教授

2011年ノーベル物理学賞受賞者ブライアン・シュミット博士一般講演会

2012年11月19日に東京大学本郷キャンパスの安田講堂において、Kavli IPMUと東京大学理学系研究科付属ビッグバン宇宙国際センター、同天文学教育センターとの共催で、2011年ノーベル物理学賞受賞者のブライアン・シュミット博士を講師に迎え、一般講演会「The Accelerating Universe – 加速する宇宙」が開催されました。

ノーベル物理学賞受賞者の講演とあって、月曜日の夕方という時間にも関わらず、学校帰りの高校生や大学生など若い世代の来場者も多く、650名の聴衆は同時通訳付きの講演を楽しみました。

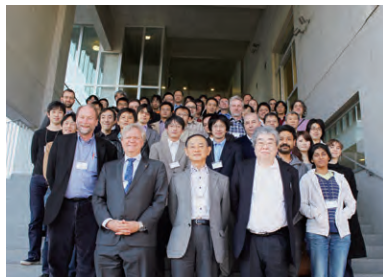
なお、博士には本誌46～52ページのインタビューにも登場していただきました。

ワークショップ: Supernovae, Dark Energy and Cosmology

2012年11月20日と21日の2日間、Kavli IPMUの大講義室においてワークショップ「Supernovae, Dark Energy and Cosmology」が開催されました。このワークショップは、前日の一般講演会に続いてノーベル物理学賞受賞者

のブライアン・シュミット博士を迎えて行われたもので、シュミット博士の講演には研究分野が異なる研究者も集まり、大講義室が満席になる程の盛況でした。

シュミット博士はKavli IPMU滞在期間中、ティータイムにも出席し、多くの研究者と言葉を交わす姿がみられました。



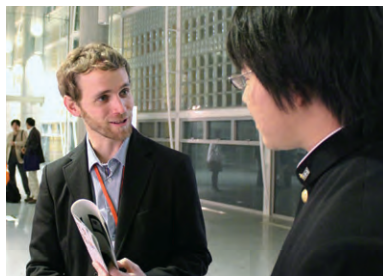
最前列左がシュミット博士

つくば国際会議場で「高校生のためのWPIプログラム6拠点合同シンポジウム」開催

2012年11月24日、茨城県つくば市のつくば国際会議場でWPIプログラム6拠点合同シンポジウム『世界トップレベルの科学を楽しむ』が開催され、Kavli IPMUからは特任助教のケビン・バンディさんが同時通訳付きの「銀河はどのようにしてできるのか?」と題する講演を行い、銀河や宇宙の謎や自身の取り組む研究を紹介しました。

聴衆は茨城県、千葉県の高校生を中心とした約600人で、多彩な研究に取り組むWPI拠点の特長を活かした幅広い研究分野からの講師の話に熱心に耳を傾けていました。

講演会場の外では、昨年福岡で行わ



高校生の質問に答えるケビン・バンディ助教

れたWPI6拠点合同シンポジウムに倣って各拠点がポスター等の展示を行い、講演会終了後は各拠点の講師も参加して質問などを受け付けました。ケビンさんは周りを高校生に取り囲まれ、講演内容に関する質問だけでなく、海外での研究についての相談も飛び出していました。

遠方のガンマ線バースト観測結果から量子重力理論に新たな手掛かり

大阪大学の眞賢二研究員、Kavli IPMUの向山信治特任准教授、金沢大学の米徳大輔准教授らからなる研究チームは、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の保有する小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」に搭載された偏光検出器「GAP」を用いて、非常に遠方で起こったガンマ線バースト現象からの偏光を従来より高い精度で検出し、数十億光年という長い距離において、光の偏りが測定できるほど回転していないことをつきとめました。

超弦理論などの量子重力理論では、超ミクロのスケールにおいては時空構造が通常考えるものとは全く異なり、基本的な対称性であるCPT対称性が破れている可能性もあると予測されていますが、同研究チームは今回の観測結果をもとに、従来1000万分の1程度とみられていたCPT対称性の破れが千兆分の1以下であることを明らかにしました。この研究は、量子重力理論が対象とするミクロのスケールにおいても基本的な対称性であるCPT対称性が保たれていることを示すもので、今後量子重力理論がこの結果に沿うように発展することが期待されます。

この成果は2012年12月13日付で米国の学会誌 *Physical Review Letters* に掲載され、同誌オンライン版においてハイライトとして紹介されました。

今年もどんぐり保育園にカプリIPMUからサンタクロースがやってきた!

2012年12月21日、今年も柏キャンパス内のどんぐり保育園のクリスマス会に、Kavli IPMUのマーク・ウェイギンズ特任教授がサンタクロースとなって現れました。ウェイギンズさんはこの日のためにひげも剃らないで伸ばしてきており、本物のサンタさんが訪れたようで、子供達は大喜びでした。



今年もサンタクロースに扮してどんぐり保育園を訪れたウェイギンズ教授

人事異動

昇任

Kavli IPMU助教の前田啓一さんが2012年12月16日付けでKavli IPMU准教授に昇任されました。



転出

次の方々が転出しました。[括弧内はKavli IPMU在任期間です。]

Scott Carnahanさん [2010年9月1日 - 2012年11月15日]、Kavli IPMU博士研究員から筑波大学数理工学研究所 数学専攻助教へ。

Mircea Voineaguさん [2010年8月1日 - 2012年12月31日]、Kavli IPMU博士研究員からオーストラリアのニューサウスウェールズ大学講師へ。

Johannes Schmudeさん [2010年10月4日 - 2012年10月31日]、日本学術振興会特別研究員から理化学研究所特別研究員として理化学研究所仁科加速器研究センターへ。

グロモフ・ウィッテン不変量

トードル・ミラノフ Kavli IPMU 助教

射影多様体 X のグロモフ・ウィッテン不変量とは、種数 g 一定のリーマン面から X への或る接触拘束条件を満たす安定写像の仮想的な数え上げ数です。その拘束条件とは、リーマン面上に標識付けした点の集合を選び X 上にサイクルを選んだときに、標識付けした点をサイクルの中に写像し、かつ更にその点でリーマン面がサイクルに或る次数で接するような条件です。十分多くの接触拘束条件を課すと、このような写像の数は有限になります。異なる拘束条件を選ぶことにより、 X のグロモフ・ウィッテン不変量と呼ばれる無限数列が得られます。恐らくグロモフ・ウィッテン不変量に関する最も神秘的な予想は、それらがビラソロ代数の表現理論を用いて定式化される再帰的關係を満たすことです。更に、もし X が十分多くの有理曲線をもつなら再帰的關係は強くなり、その場合について最も大きな成果の一つは可積分階層と呼ばれる微分方程式の新しい体系の発見です。数学において可積分階層が有する重要性を理解することは主要な課題の一つです。例えば、このような可積分階層が複素幾何学の枠組みや無限次元リー代数の表現論の枠組みに自然に現れる兆候が見られます。

