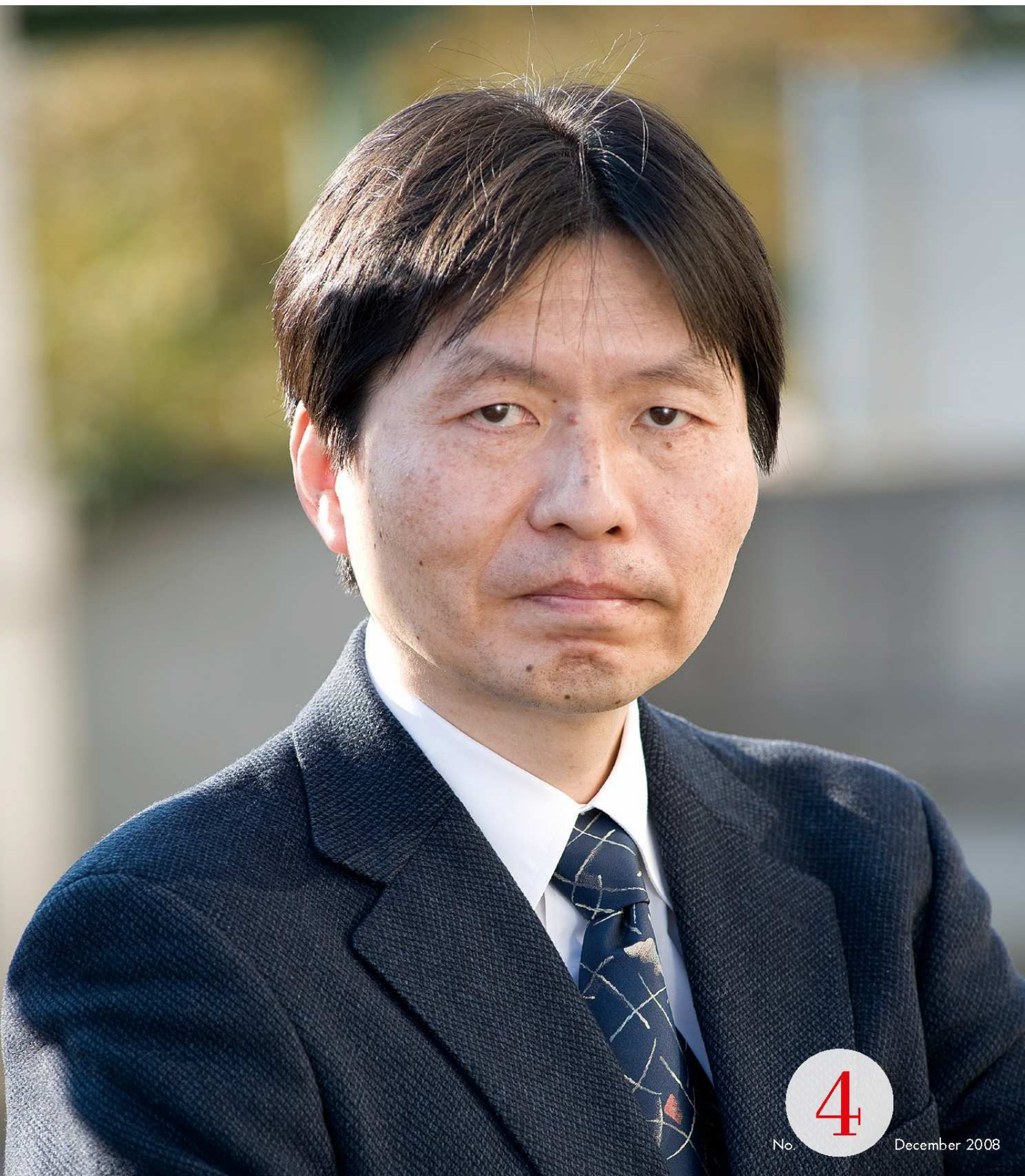


IPMU NEWS

Feature
Braids and 3-Dimensional
Geometry Interacting with Physics
Interview with Maxim Kontsevich



4

No.

December 2008

IPMU NEWS CONTENTS

English

- 3 **Director's Corner** Hitoshi Murayama
Recruitment and Retention
- 4 **Feature** Toshitake Kohno
Braids and 3-Dimensional
Geometry Interacting with Physics
- 8 **Our Team** Kentaro Hori
Kai Martens
Yen-Ting Lin
Domenico Orlando
Seong-Chan Park
Mikael Pichot
Susanne Reffert
Jan Schuermann
Kenneth Shackleton
Jing Shu
Jiayu Tang
- 13 **Workshop Report**
Focus Week: Messengers of Supernova Explosions
- 14 **IPMU Interview** with Maxim Kontsevich
- 18 **News**
- 22 **Constructing knot invariants
using conformal field theory**
Toshitake Kohno

Japanese

- 23 **Director's Corner** 村山 斉
研究者の「引っ張り」と「引き止め」
- 24 **Feature** 河野俊丈
組みひもと3次元幾何学、
その物理学との関連
- 28 **Our Team** 堀 健太郎
カイ・マルテンス
林 彦廷
ドメニコ・オルランド
朴 盛燦
ミカエル・ピショ
スザンネ・レッフエアト
ヤン・シューマン
ケネス・シャクルトン
舒 菁
唐 佳好
- 33 **Workshop Report**
フォーカスウィーク：超新星からのメッセンジャー
- 34 **IPMU Interview** マキシム・コンセビッチ教授に聞く
- 38 **News**
- 40 **共形場理論を用いて
結び目の不変量を構成する**
河野俊丈



Toshitake Kohno is Professor at the Graduate School of Mathematical Sciences, the University of Tokyo, and is a principal investigator at IPMU. He is a leading mathematician in geometry, topology, and related fields of mathematical physics. He received his Ph.D. from Nagoya University in 1985 and became a Lecturer at Nagoya University in 1988, and an Associate Professor at Kyushu University in 1990. He came to the University of Tokyo in 1992 as an Associate Professor, and has held the position of Professor since 1995.

河野俊丈：東京大学数理科学研究科教授でIPMU主任研究員を兼ねる。幾何学とトポロジー、及び関連する数理物理学の分野で指導的数学者の一人。1985年に名古屋大学から博士の学位取得。1988年に名古屋大学講師、1990年に九州大学助教授、1992年に東京大学助教授、1995年に同教授。

Recruitment and Retention

Director of IPMU

Hitoshi Murayama

The most important element to build an excellent research institution is *people*. The institution is only as good as its scientific membership. As I told you in the previous issue of IPMU News, we exceeded our goal of having a half of our scientific staff to come from abroad. More importantly people we hired are of very high quality, coming from leading universities like Harvard, Princeton, Max-Planck Institute, Kyoto University, University College London, or my own Berkeley.

The world took notice. We are already facing the problem that other institutions try to snatch away our young scientists. We successfully retained one by a promotion. The second one we lost to another university in Japan. Now the third one is being interviewed for a job in Germany. It is a tremendous challenge to attract world-class talents. To retain them is yet another challenge.

Given the challenge in both recruitment and retention, we decided to start a fundraising campaign. We need flexible funds to bring in the best scientists from around the world so that they can see IPMU in person and will consider our positions. We need funds to make exceptional arrangements to retain some of our young members. In addition, we also need to pay careful attention

to make sure that the spouses of our members are happy. The funding from the government, no matter how generous they may be, cannot be used for most of these purposes. In addition, we would like to start building endowment to ensure our future beyond the guaranteed funding of ten years. To maintain the current level of activity, we will need to build at least \$250M of endowment.

Here is the chicken-and-egg problem. We would also like to open a foundation *Friends of IPMU* to accept donations, which will require staffing and seed money. Unless there is a substantial amount of funds to begin with, we cannot even get started.

The University of Tokyo listened to us. They are setting up a new homepage where anybody can make a donation by a secure credit-card transaction. You access

https://payment.utf.u-tokyo.ac.jp/general2_eng.html

and can make contributions to IPMU, both in English and Japanese. Under the question “*How you would like your donation to be used*”, click the button “*other*”, and then make sure to specify IPMU in the blank space right under it. Remember Barack Obama: small donations can make a history. Yes, we *can*!

Braids and 3-Dimensional Geometry Interacting with Physics

Interactions between geometry and physics

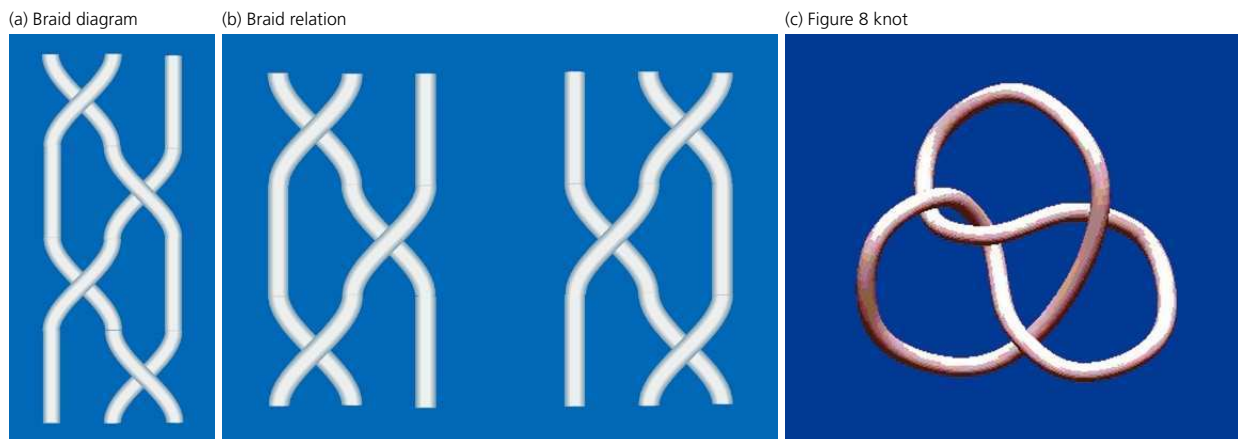
Geometry and physics have been developed with a strong influence on each other. It is well known that the differential geometry developed by Gauss and Riemann from the middle of the 19th century became the basis of Einstein's general relativity. The classical mechanics founded by Newton, through to the formulation of analytic mechanics by Lagrange and Hamilton, yields an important area of contemporary geometry called symplectic geometry. As we see in these examples the interactions between geometry and physics occur sometimes in an unexpected way. One of the most remarkable features of the new developments in the last few

decades is that the quantum field theory ties up with the deep properties of topology. In this article we shall take a glance at recent trends in these research areas, focusing on the theory of braids and 3-dimensional geometry.

Braids and the Dirac spinor

A braid is represented by a diagram with a bunch of vertical strands linked to each other as shown in Figure 1 (a). It is essential to distinguish over crossings and under crossings. We define the product of two braids by composing them in the vertical way. The braids shown in Figure 1 (b) are obtained one from the other by moving strands fixing the endpoints.

Figure 1



In general we shall identify braids obtained by such a continuous deformation of strands. Figure 1 (b) shows the most fundamental relation among braids. The notion of braids was defined by Artin in the middle of 1920's.

The beginning of the 20th century was the era of the establishment of quantum mechanics as well. Dirac was a physicist who noticed the importance of the notion of braids in an early stage. He effectively exploited braids for explaining the notion of spinors in quantum mechanics. The spinor is a multi-valued quantity so that it changes the sign by the rotation of 360 degrees and becomes identical by the rotation of 720 degrees. Let us perform a simple experiment using a belt as shown in Figure 2. We fix one end point and make two full twists by rotating the other end by 720 degrees. Then we move the end we have twisted as shown in Figure 2 and finally obtain a belt without twists. One full twist cannot be resolved in this way. This shows in terms of braids that a braid for the rotation of 360 degrees on the sphere cannot be trivialized by a continuous deformation, while a braid for the rotation of 720 degree can be trivialized, which is related to the existence of the spinor.

From braids to infinite-dimensional geometry

On the other hand, braids play an important role in topology. By closing braids we obtain knots or links. A knot is an embedded closed curve in the 3-dimensional space and a link is a disjoint union of embedded closed curves. For example, closing the braid shown in Figure 1 (a) we obtain the knot in Figure 1 (c). Knots are remarkably complicated objects and, even with all the sophisticated techniques of contemporary topology, they have

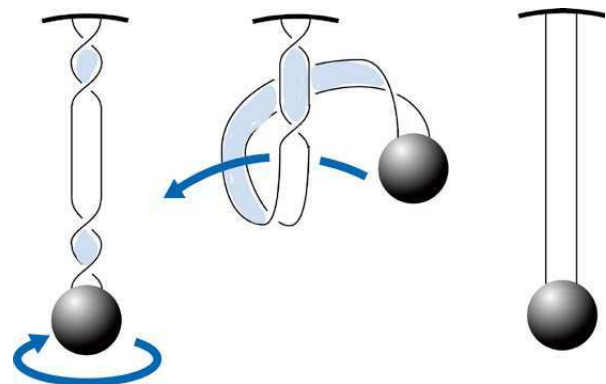
resisted a definitive treatment. We could say that difficulty in 3-dimensional topology is concentrated on the complexity of knots.

In the middle of 1980's, Jones invented a significantly novel technique in knot theory. This was the discovery of the Jones polynomial derived from the theory of operator algebras. Representing braids by linear operators Jones extracted new topological invariants for knots and links. This invariant was completely different from known invariants based on classical techniques in topology such as the Alexander polynomial.

A few year later Witten proposed a formulation of the Jones polynomial by means of the quantum field theory. He defined it as the partition function of the 3-dimensional Chern-Simons gauge theory. This is given as a certain average of infinitely many quantities and its topological invariance manifests in its form as far as it is mathematically well defined. Here the topological invariance means that the defined quantity does not depend on information derived from metrics such as length and angle etc., and is invariant under continuous deformation.

The Jones polynomial can also be interpreted as

Figure 2 Belt trick



Feature

the partition function in statistical mechanics. The braid relation shown in Figure 1 (b) is written as $ABA=BAB$ and is called the Yang-Baxter equation. It is an integrability condition in statistical mechanics and the algebraic structure behind it was formulated as the notion of quantum groups by Drinfel'd and Jimbo. Moreover, the theory of Witten formulated as 2+1 dimensional topological quantum field theory reveals a relationship with the 2-dimensional conformal field theory. The conformal field theory was initiated by physicists Belavin, Polyakov and Zamolodchikov as the theory for infinite dimensional symmetries in critical phenomena in statistical mechanics. Later on Tsuchiya and his collaborators established its mathematical foundation based on the notion of infinite dimensional Lie algebras. Chern-Simons theory, conformal field theory and quantum groups are intricately related with the key word of the Jones polynomial. Researchers in mathematics at IPMU have made a considerable contribution to the development of these areas.

Geometrization of spaces

Given a local geometric structure of a space, determining its possible global geometric structure is an important problem. This research area has

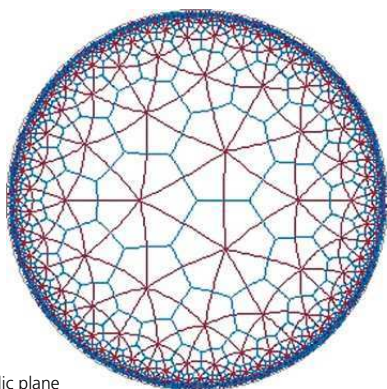
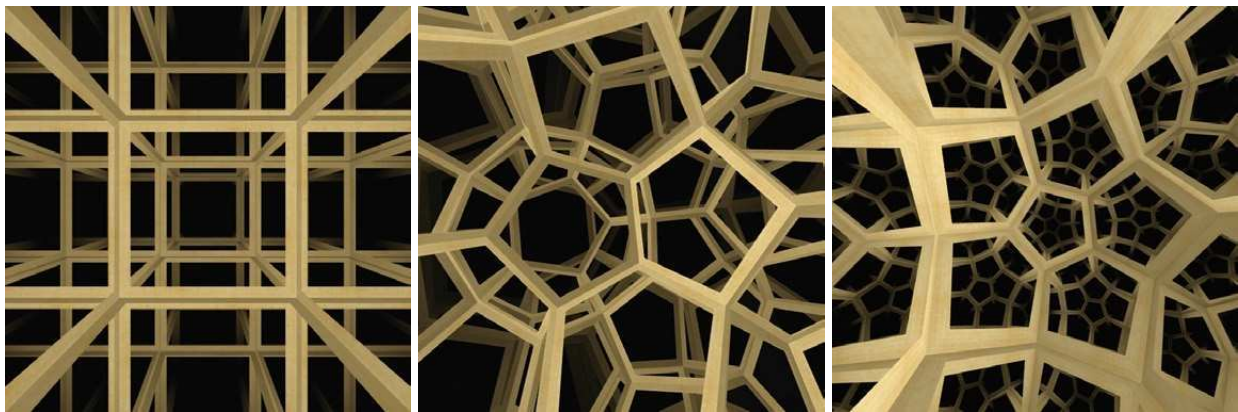


Figure 3
Tessellation of the hyperbolic plane

been developed as one of the principal trends in geometry since the 20th century. For example, a closed oriented surface with a metric so that it is locally isometric to the Euclidean plane is known to be a torus. Closed oriented surfaces are topologically classified into a sphere, a torus and surfaces of genus greater than 1, which are obtained as connected sum of tori. The number of tori appearing in the connected sum is called the genus. We shall say that a torus has a geometric structure modeled on the Euclidean plane. A surface of genus greater than 1 has a geometric structure modeled on the hyperbolic plane as shown in Figure 3. Figure 3 shows a tessellation of the hyperbolic plane by regular triangles. We consider the metric inside the disc so that all the triangles are isometric to each other. This model of hyperbolic geometry is called the Poincaré disc. In this way we see that there are 3 kinds of geometric structures for closed surfaces, spherical geometry, Euclidean geometry and hyperbolic geometry. The curvature is a positive constant for spherical geometry, is zero for Euclidean geometry and is a negative constant for hyperbolic geometry. The angle sum of a triangle is more than 180 degrees in the spherical case and is less than 180 degrees in the hyperbolic case.

The next issue is to investigate possible geometric structures for 3-dimensional spaces. This is the problem of geometrization of spaces. As in the 2-dimensional case there are 3 kinds of models of constant curvature, 3-dimensional spheres (positive constant curvature), Euclidean space (zero curvature) and 3-dimensional hyperbolic space (negative constant curvature). There are miscellaneous models constructed from 1-dimensional and 2-dimensional geometric structures and in total we have 8 kinds of models for 3-dimensional geometric structures. We



(a) Flat space

(b) Positively curved space

(c) Negatively curved space

Figure 4 These pictures are drawn by the software [3] developed by Weeks.

show in Figure 4 tessellations by regular polyhedra of the 3 kinds of model spaces of constant curvature. An approach to 3-dimensional topology by means of these geometric structures was initiated by Thurston in the 1980's with a huge impact on the research in topology.

It is known that the complement of the figure 8 knot shown in Figure 1 (c) is equipped with a complete hyperbolic metric. It was shown by Thurston that with finitely many families of exceptions the complements of almost all knots have such hyperbolic structures. This led to important progress in the theory of knots and braids. The geometrization for general 3-dimensional spaces was conjectured by Thurston and settled by Perelman a few years ago. Perelman's method exploits the asymptotic behavior of the solutions of the differential equation for the metrics called the Ricci flow. In this approach techniques derived from physics such as renormalization play an essential role in controlling divergent solutions. This is a new interaction between geometry and physics.

References:

- [1] M. Atiyah, *Geometry and Physics of Knots*, Cambridge University Press, 1990.
- [2] T. Kohno *Conformal Field Theory and Topology*, Translations of Mathematical Monographs, Amer. Math. Soc. 2002.
- [3] J.R. Weeks, <http://www.geometrygames.org/CurvedSpaces/>

Our Team

Kentaro Hori

Research Area: **Theoretical Physics**

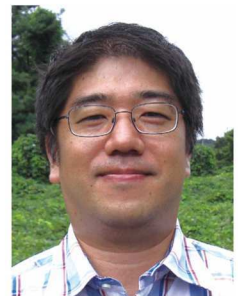
IPMU Professor

My research is motivated by two questions: What is the fundamental law of Nature? Which mathematics is used to describe it? The right theoretical framework must unify general relativity and quantum mechanics. It must be described, I think, by a language which unifies mathematical areas that were born and grew up individually with these two physics developments. String theory is a leading candidate for such a framework.

“Mirror symmetry” is an example that suggests “unification of mathematics.” It is a phenomenon that strings moving in two different spaces lead to exactly the same physics, in a surprising way in which symplectic geometry and algebraic geometry of the two spaces are exchanged. We have shown that it can be understood using duality in two-dimensional

quantum gauge theory. This work led to further development such as correspondence between D-branes.

Currently, I am studying string compactifications using various techniques including mirror symmetry. One big goal is to obtain a picture of totality of theories with minimal supersymmetry in four-dimensions. At the same time, I aim to develop the best language to describe the theory, in collaboration with mathematicians.





On October 3rd, 2008, IPMU full-time members gathered to celebrate the institute's first anniversary. By contrast, when IPMU launched on October 1st, last year, there was no full-time members. IPMU is ramping up very quickly.

Kai Martens

Research Area: **Experimental Physics**

IPMU Associate Professor

"Physics or philosophy?" was the question that got answered when, in 1994, I received my Ph.D. in physics from Heidelberg University in Germany. It was earned during five exciting years on a hyperon beam experiment at CERN.

In 1995 I came to the University of Tokyo to build the Super-Kamiokande detector. Five wonderful years of doing neutrino physics in Kamioka and preparing for K2K at KEK ended when in 2000 I joined the faculty at the University of Utah. Results from our HiRes experiment in Utah changed the paradigm in cosmic ray physics. The next generation Telescope Array experiment is now taking data, and I had a major role in bringing that about.

The biggest problem in particle astrophysics today is Dark Matter. I am really excited that at IPMU I have

the opportunity to work on the XMASS experiment in Kamioka. What will this new and challenging Dark Matter experiment teach us? Are there WIMPs out there? Working towards answers to these questions I also watch for Supernovae again with Super-Kamiokande and ultra high energy cosmic rays with Telescope Array. Experimental data are the foundation of knowledge, and at IPMU we seek knowledge - of the Universe.



Our Team

Yen-Ting Lin

Research Area: **Astrophysics**

Postdoc

I work on galaxy formation and clusters of galaxies. In the cold dark matter paradigm, the formation and evolution of galaxies are strongly coupled to that of the dark matter, and therefore a detailed knowledge of galaxy formation processes may serve as a fundamental check of the underlying cosmological model.

At IPMU, I plan to study ①the role of mergers and feedback from supermassive black holes in the

formation of massive galaxies, ②the evolutionary connection between the present-day galaxies and those at $z=1$, using data from the HyperSuprimeCam, and ③the constraining power on cosmology from galaxy clusters.



Domenico Orlando

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

One of the greatest strengths of string theory is the web of connections among seemingly unrelated areas of physics and mathematics. To this date, I have concentrated my research activity in two main directions: the study of exact conformal field theory (CFT) solutions in string theory and the study of topological strings. Regarding CFT, I am interested in how the world-sheet and target-space descriptions interact and how methods from conformal field theory can solve problems in supergravity and vice

versa. My interest in topological strings is mainly related to the exploration of the correspondence between crystal melting and the topological A-model.



Seong-Chan Park

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

I am looking for the physics beyond the standard model. The best chance will come from the Large Hadron Collider and from cosmological/astrophysical observations which show us the true nature of our mother universe.

Currently I am working on the higher dimensional models which might be responsible for the

deep mystery of electroweak scale physics and the quantum nature of space-time. The higher dimensional black hole is one of my favorite topics.



Mikael Pichot

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

I work on geometry, dynamical systems, and operator algebras. In other words, the study of spaces and the influence their geometry has on symmetry groups and operator algebras associated with them. Specifically, my recent achievements are concerned with geometric group theory (e.g. L2 cohomology, intermediate rank), nonpositively curved spaces (e.g. Bruhat-Tits buildings, polyhedral complexes of friezes),

foliation theory (e.g. concentration of transverse measures), and noncommutative geometry (e.g. property RD, Baum-Connes).



Susanne Reffert

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

I am trained as a string theorist, but my research has also taken me into the subjects of algebraic geometry, quantum algebra, knot theory, combinatorics, and various facets of statistical physics. Therefore, I have come to consider myself more generally a mathematical physicist. My primary interest is directed towards the interface between mathematics and physics, as well as the connections between several different subfields. Examples of such connections are

the relations between string theory and geometry or string theory and aspects of statistical physics, such as dimer models and integrable spin chains.



Jan Schuemann

Research Area: **Experimental Physics**

Postdoc

I am working to upgrade the Super-Kamiokande (Super-K) detector by introducing Gadolinium (Gd) to the water. This enhancement will enable the experiment to observe neutrons produced in neutrino (and other) interactions, which in turn will allow Super-K to observe relic supernova neutrinos and reactor neutrinos.

Currently, I am developing a device to precisely measure the transparency of liquid solutions, such

as the pure water of Super-K and a 0.1% (by mass) Gd solution. Additionally, I am performing studies of data quality and background estimates for the Gd upgrade.



Our Team

Kenneth Shackleton

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

In low-dimensional topology and geometric group theory, an exciting strategy is to associate to a compact manifold or a finitely generated group a connected graph: Witness Gromov's programme to study the large-scale geometry of groups (via their Cayley graphs), or Minsky et al's solution to Thurston's ELC, or Hatcher-Thurston's algorithm giving finite presentations of surface mapping class groups. The aim always is to elicit an underlying

principal. These objects then take on a life of their own...



Jing Shu

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

Our current description of microscopic structure in Nature is the Standard Model (SM) of particle physics, where all elementary particles gain their masses through electroweak symmetry breaking (EWSB). Theorists have come up with many new models to address the origin of EWSB with different predictions at the TeV energy scale to confront the experimental data from the Large Hadron Collider (LHC). The origin of dark matter and the existence of baryon asymmetries in our universe also require new physics

beyond the SM.

My research has been focused on model building to interpret EWSB, deciphering collider signals at the LHC, and understanding general aspects of weak scale cosmology such as dark matter and baryon asymmetries.



Jiayu Tang

Research Area: **Cosmology**

Postdoc

Great progress has been made in observational cosmology, which has led to more astounding discoveries in cosmology than we ever expected, i.e., the existence of so-called dark matter and dark energy. To explore the nature of the dark universe has become the common task of observational and theoretical cosmology. My current research interest

is to investigate the dark universe with cosmology experiments.



Focus Week: Messengers of Supernova Explosions

Ken'ichi Nomoto
Principal Investigator

Keiichi Maeda
IPMU Assistant Professor

Some stars end their lives with a gigantic “supernova explosion.” They become so bright, typically as bright as the host galaxy that contains more than 10 or 100 billions of stars, that the light even from the supernovae taking place far away in the Universe is detectable on the Earth. Observations such as these led to the discovery of dark energy in the Universe. To identify the nature of this enigmatic dark energy, it is necessary to deepen our theoretical understanding of supernovae, as well as to perform very accurate observations.

A supernova explosion is a complex phenomenon, with various branches of physics taking roles in it. As such, our understanding of supernova explosions is still far from satisfactory. From 17 to 21 November, 2008, we hosted an IPMU Focus Week entitled “Messengers of Supernova Explosions,” with the aim of identifying unresolved problems and then coming up with new ideas to solve them. We successfully gathered researchers working at the forefront of supernovae for this purpose. For invited speakers, we intentionally selected young researchers from various backgrounds, from both the theoretical and observational sides, to motivate new, synergistic approaches.

The following is a brief summary of the talks presented at this Focus Week. A supernova is triggered by a catastrophic gravitational collapse of a star, producing a large amount of neutrinos. Direct observations of such neutrinos will lead to the discovery of new neutrino physics (George Fuller/UCSD, Alexander Kusenko/UCLA). The accumulation of neutrinos emitted in a number of past supernovae is expected



to be detected by Super-Kamiokande in the near future, which will provide an insight on how many supernovae have taken place in the Universe (Mark Vagins/IPMU). Spectroscopic observations of supernovae in optical and infrared wavelengths are strong tools to investigate the still-unknown mechanism of supernova explosions (Christopher Gerardy/Florida State Univ., Lifan Wang/Texas A&M, Keiichi Maeda/IPMU). Recent developments in observational methods have led to the discovery of new types of supernovae, which are either extremely bright or faint (Peter Nugent/LBNL, Giuliano Pignata/Chile, Sergei Blinnikov /ITEP · IPMU). Studying these phenomena will provide hints on stellar evolution theory (Marco Limongi/Roma Obs. · IPMU) and on the explosion mechanism (Steve Bruenn/Florida Atlantic Univ., Chris Fryer/LANL). We also expect improvements in supernova cosmology (Mario Hamuy/Chile, Mamoru Doi/U.Tokyo · IPMU). Supernovae are the origins of various elements in the Universe (Shinya Wanajo/IPMU, Hideyuki Umeda/U.Tokyo), which can be directly tested by observing Galactic supernova remnants (Hiroshi Tsunemi/

Osaka Univ.). The variety of information mentioned above was summarized in terms of supernova luminosity and the masses of the progenitor stars (Ken'ichi Nomoto/IPMU), which motivated intensive discussion on how to tackle the unresolved problems clarified during this Focus Week.

Each talk was followed by plenty of time for discussion following the successful format of the previous Focus Week workshops. Discussion hours of about two hours were held in the afternoon, with offices and WLAN available for the participants. Holding the discussion hours turned out to be very fruitful, as the participants planned new collaborative projects during this free time. In organizing the Focus Week, we managed to create an atmosphere in which everyone felt relaxed. The participants took dinner together every evening, and also went on an excursion to Tokyo on the Thursday afternoon. These efforts were welcomed by the participants. The Focus Week was very successful; most participants presented really new, unpublished results, and everyone became involved in intense discussions based on these new results.



IPMU Interview with Maxim Kontsevich

Interviewer: Kyoji Saito

Received the special education in mathematics for gifted students in Russia

Saito: I really enjoyed your seminar today. In spite of its title, “Wall-Crossing”, your talk covered many recent developments in mathematics in interaction with physics and, in particular, with string theory. It was really exciting and I enjoyed it very much. But let’s come back to that later, and start with a more general story. Let’s begin with your general background. You were born during the Soviet era. Later, during your studies, the system changed and now you are working in Western countries.

Kontsevich: Actually, the system changed after my studies.

Saito: Could you briefly describe your education? How did you become a scientist and mathematician?

Maxim Kontsevich is permanent professor at the Institut des Hautes Études Scientifiques (IHÉS) in France. He was awarded the Fields Medal, the world’s highest honor in mathematics, in 1998. He was also awarded the 2008 Crafoord Prize in mathematics by the Royal Swedish Academy of Sciences, jointly with Edward Witten, for their important contributions to mathematics, inspired by modern theoretical physics.

Kontsevich: There was a system of special mathematics schools in Russia, created as early as the 1960s by Kolmogorov. The system was open to students with mathematical talent for their last three years of school, from the ages of 14 to 16. There were three or four schools in Moscow and some in Leningrad. My older brother also studied in one of the schools. It was he who gave me my interest in mathematics. My parents are not mathematicians. My mother was a rocket engineer and my father was a specialist in Korean language and history.

Saito: An academic family.

Kontsevich: It’s academic, but first-generation academic. My grandfather on my father’s side was from a peasant family, but he became a self educated engineer. He was a kind of inventor.

Saito: In the Soviet era?

Kontsevich: In the Soviet era, yes. My grandparents on my mother’s side were accountants, but not academic. So my parents were first-generation... Actually, only my father, because my mother was not academic; she

was in engineering. I also got some good results quite early, when I was only ten years old. I was a participant in some Olympiads and impressed my teachers, so I skipped one year in school. Then, also at the age of 14 or 15, I attended one of the special schools in Moscow. I participated in the Mathematical Olympiad and studied at Moscow University.

I have to say that this part of my life in Russia was quite happy. I was under the protection of some of my older colleagues. After university I worked for the Institute for Problems of Information Transmission for five years in a very good laboratory whose theme is the mathematics of information theory, coding theory, dynamics of large systems, etc. In 1988, at the beginning of Perestroika, I went to France for one month. I was 24. I went at that time as a specialist in statistical physics. So I went essentially to Marseilles, but also to the IHÉS in Paris. Then in 1990 I was invited for three months to the Max Planck Institute. This was kind of an interesting development. At the end of my stay, there was a traditional meeting of mathematicians in

Europe called "Mathematische Arbeitstagung." Michael Atiyah gave the first talk and explained Witten's conjecture about matrix integrals and intersection theory. I somehow got an idea how to approach it. The next day I explained the idea to Atiyah. People got so excited, and they invited me to the Max Planck Institute.

Then in the beginning of 1991 I came to Max Planck. Actually I got my Ph.D. in Germany. For some reason I didn't get it in Moscow.

Saito: So the change in the system didn't have much of an influence on your development?

Kontsevich: No, I left kind of early, before that.

Omnivorous mathematician

Saito: Of course you had

Kyoji Saito is a Principal Investigator at IPMU. Since April 2008, he has been Project Professor at IPMU. He is also Professor Emeritus of the Research Institute for Mathematical Sciences (RIMS), Kyoto University. He served as Director of RIMS from April 1996 to March 1998.



an interest in the Witten conjecture earlier. How did you get into this branch of mathematics? Obviously Kolmogorov and Gelfand were really big names in mathematics.

Kontsevich: Actually, I was a student of Gelfand.

Saito: Gelfand! You could claim they were doing mathematics, but there was a very strong interaction with mathematical physics. What do you think about this?

Kontsevich: Yes. Mathematical physics made a very strong impression on me. In my last year at university, in about 1984 or 1985, there was a big discovery in theoretical physics - conformal field theory, initiated by Belavin, Polyakov, and Zamolodchikov in Moscow. It was a discovery of critical behavior in two-dimensional systems. It was influenced also by the work of mathematicians, I have to say, because Feigin and Fuchs worked out the characters of Virasoro algebra by really formal reasons. It was not related to physics at the time.

Saito: You started on Gelfand-Fuchs cohomology and then came to more...

Kontsevich: Yes, I was studying this as well. But the Gelfand Seminar covered

a very wide subject. All of mathematics was covered. Two hundred participants came every Monday. The Gelfand Seminar started in 1942 or 1943. It was in World War II, during the evacuation, when he started the seminar. It continued for more than 50 years. It was the major seminar in Moscow. There were 200 or 300 participants. It was also very long. It started at 7:00 in the evening and went on till midnight, almost till the last train on the metro. Great participants. Unpredictable.

Saito: You have described your history up until you came to the Witten conjecture. Since then you have been involved in so many very big subjects.

Kontsevich: Even before I was covering many subjects and doing many projects which are not yet written. Omnivorous mathematician, I have to say.

Saito: Yes, I understand these tendencies. But how do you choose these subjects? Do you have some global picture of what you want to do, perhaps unconsciously? Or are you just attacking the problems you find in front of you?

Kontsevich: I'm not attacking problems. I'm just trying to formulate for myself

what is going on. The Witten conjecture was one of the few things which I really solved as a problem.

Saito: I understand very well. At least in this seminar today, you described a new general framework to understand many aspects. From my side, it looks like the study of periods over some vanishing cycles, but of course there are so many other aspects to this you have described. In my case, I have a goal of describing a period map for a certain primitive form, but in your case...

Kontsevich: No, no. I do not have any particular goal. Just to understand the mathematics of physics of quantum field theory. It has been a great source of inspiration for the last twenty years.

The interaction between mathematics and physics: from Witten to the future

Saito: That's very nice. Now we are coming to a more central topic in our discussion, the Institute for the Physics and Mathematics of the Universe. In this sense, there is an interaction between physics and mathematics. How do you describe this interaction?

Kontsevich: It was very

successful. During the forties, fifties, and sixties, there was not much interaction between theoretical physics and mathematics. But then various ideas started to flow in both directions. Gauge theory in fundamental particles, quarks, is related to bundles with connections in mathematics. Then there were super-symmetry and integrable systems. There were different periods and different directions. Then there came the Witten era. Before that it had been quantum groups, conformal field theories, and the beginning of topological theories. It's a very fruitful relationship. But many things go not only in one way. It's not just from physics to mathematics; it's also from mathematics to physics.

Saito: It is influential for both sides. And this relationship is very fruitful. I agree. But could you describe, as you see the prospects, how it should go further? At least for me, we can't yet see the end.

Kontsevich: It seems that at the end of the day, this great structure that was discovered from string theory, M-theory, is kind of like a huge analytic function. If you know in detail one point you know all points.

All theories in physics of various dimensions seem to be related to limiting cases of this big universal object, which will keep mathematicians occupied maybe for several hundred years. [Laughs] Maybe less; I don't know. But it's really one of the major things which will happen to mathematics.

Grasping the essence of problems from a single sign

Saito: Could you describe a little how you would like to work further in this interaction?

Kontsevich: Yes, it's very hard to predict. I don't really make any plans, I have to say.

Saito: You don't make any plans.

Kontsevich: Yeah. At work I usually have many, many unfinished projects, so I try to think of them as they are probably related.

Saito: That shows that you are really in the middle of working hard and actively where things are still moving.

Kontsevich: Oh yes. There are plenty of interesting directions.

Saito: Could you give some more explicit examples?

Kontsevich: One very broad theory which constantly appears in my work is the relationship

with noncommutative geometry, noncommutative algebra, and string theory. I have many projects related to this relation between, say, the multiplication of matrices (it is associative but non-commutative) and the geometry of surfaces. There are really an amazing number of relations between geometric and algebraic intuition. From the past I remember that from 1992 and 1993 I proposed homological mirror symmetry by formal algebraic analogies. This was a few years before string theorists had D-branes. So they reinvented it several years later in physical terms. But as a result of this discovery of homological mirror symmetry, which was described with a language of very abstract algebraic theory of triangulated categories, now it's actually used by physicists. That was completely unexpected. Yes, it's one of the most abstract mathematical theories.

Saito: You didn't expect that it could be used more in physics?

Kontsevich: No. I came to this theory because it looked like an ultimate formulation of the phenomenon of mirror symmetry. But physicists

really put it into a different framework. It's something which potentially can calculate physical quantities in string theory models.

Saito: This is one typical point of your work. But I find that in much of your work, by hearing one symptom you capture the central point of the problem and then give some general big framework. That's my general impression of what you are doing.

Kontsevich: Yeah, I really don't work on examples at such a level.

Saito: How can you work in that way?

Kontsevich: For myself sometimes I work on one or two examples, but...

Saito: You already keep some examples in mind, but still you construct theory.

Kontsevich: Yes. And generally I find examples sometimes to be misleading. [Laughter]. Because often the properties of examples are too special, you cannot see general properties if you constantly work too much on concrete examples.

Saito: I know one very famous example, Grothendieck. He's a person who can make a big, big framework without any examples. Actually this

framework is not general nonsense, but profoundly captures the mathematics. I find what you are doing similar. You give a big framework which captures the core of the subject. It's really an amazing ability; not many mathematicians are doing this. So I repeat the question again: How do you do it?

Kontsevich: I don't know. I think it is just an experience, nothing special. A friend of mine and I kind of jokingly call ourselves "specialists in general questions."

Saito: Today in the seminar I have already seen that you are currently working on this new framework. I hope that you continue working in this direction and that you are successful.

Kontsevich: I would like to thank you for the invitation. It was a great pleasure to give talk at IPMU with a very active audience and a relaxed atmosphere. In fact it is my first visit there, and I see that you have an excellent research group. I wish the brightest future to the Institute, and hope to come to Kashiwa again, maybe next year.

News

IPMU Celebrates First Anniversary

October 1, 2008, was the first anniversary for the IPMU. At a press conference held on October 2 to mark the occasion, Director Murayama noted that the institute is now “visible worldwide.” The institute has become a successful international research center with more than half of the staff scientists from abroad. A party was held on October 3 following a staff meeting and a PI (principal investigator) meeting.



Press conference



Birthday cake prepared by an IPMU volunteer

News from Kamioka Satellite

The IPMU Kamioka Satellite Office began operations on September 16, 2008 in Higashi-Mozumi, Kamioka, Hida City in Gifu Prefecture, about ten minutes drive from the Super-Kamiokande and KamLAND. Currently, the satellite office is within the Kamioka Observatory Office of the Institute for Cosmic Ray Research.

A new IPMU satellite building is under construction and expected to be completed by the end of this fiscal year.

Shigeki Sugimoto Co-winner of 2008 Yukawa-Kimura Prize

On October 7, 2008, the Yukawa Foundation announced that this year's (2nd) Toshiei Kimura Theoretical Physics Prize (Yukawa-Kimura Prize) has been awarded to Shigeki Sugimoto of IPMU and Tadakatsu Sakai of Ibaraki University for their contributions to the development of a holographic dual of QCD based on gauge/superstring-gravity correspondence. This is an achievement to describe strong interactions among hadrons (such as protons, neutrons, and mesons) using superstring theory. Their pioneering work has attracted significant attention and their two papers have garnered nearly five-hundred citations. The award ceremony will take place on January 23, 2009.

The Yukawa-Kimura Prize is given to those who make a significant contribution in fundamental theoretical research in the areas of gravity/space-time theory, field theory, and related areas. Winners of the prize are expected to continue to take leading roles in these areas.

Ken'ichi Nomoto and International Colleagues Resolve Supernova Puzzle Using Subaru Telescope

Prof. Ken'ichi Nomoto (IPMU principal investigator) and international colleagues have confirmed that the supernova observed by Danish astronomer Tycho Brahe in 1572 was a standard type Ia supernova. Their findings are based on a spectroscopic analysis of visible-light echoes from the Tycho supernova remnant and were published in the December 4, 2008, issue of Nature.

Type Ia supernovae are an important tool in observational cosmology. Studies of them revealed the existence of dark energy. They are also a dominant source of the heavy elements around us. “Echo” light may allow the mechanism of type Ia supernova to be studied in three dimensions.

Second Meeting of the External Advisory Committee

The second meeting of the IPMU External Advisory Committee was held on November 18, 2008. The six participants (including those attending via video conferencing) offered useful advice regarding future activities for IPMU.



External Advisory Committee

Public Lecture by Director Hitoshi Murayama on “The Mystery of the Missing Antimatter”

A two-day open house was held October 24-25, 2008, at the Kashiwa Campus of the University of Tokyo.

On October 25, IPMU Director Hitoshi Murayama gave a public lecture at the Media Hall in the University's Kashiwa Library. The lecture, entitled "The Mystery of the Missing Antimatter," covered the Kobayashi-Masukawa theory that had won the 2008 Nobel Prize in Physics as well as other topical subjects. The lecture was very well received by the audience of two hundred and eighty people.



Director Murayama's lecture at Media Hall was well attended.

Director Murayama later gave a lecture on the same subject at Miraikan (National Museum of Emerging Science and Innovation) during "Science Agora 2008," which was held November 22-24, 2008 in Odaiba, Tokyo. The lecture was jointly organized by the IPMU and the Study Group for Communications in Science and Technology, which is a network of people in charge of communications at various research centers and universities. The Study Group promotes the development of expertise by encouraging members to share problems and information with others outside their affiliations.

After the lecture, Director Murayama and two others from different institutions exchanged opinions. Through his participation in this event, Director Murayama showed his strong support for scientific communication.

Conference Report

Workshop: Exceptional Collections and Degenerations of Varieties

This workshop was held September 1-5, 2008, in the IPMU seminar room.

Focus Week: Quantum Black Holes

Held September 12-16, 2008, in the Media Hall at the University of Tokyo's Kashiwa Library, this event was organized to foster further progress in understanding quantum black holes and developing a new language - new mathematics - to describe quantum gravity. Seventy people, many from abroad, attended the 5-day event.



Discussing quantum black holes

Focus Week: Micro-Local Analysis on Symplectic Manifolds

This workshop was held September 16-18, 2008, in the IPMU seminar room.

Focus Week: Messengers of Supernova Explosions

Held November 17-21, 2008, in the Conference Room at the Kashiwa Library, this event allowed supernova researchers to summarize and discuss their various areas of current research. Further details are reported on page 13.

Future Conferences

Workshop: Supersymmetry in Complex Geometry

This six-day workshop will be

held January 4-9, 2009. Physicists have used supersymmetry to invent many new kinds of generalized Kähler structures, which are useful in the study of complex geometry. The workshop will provide mathematicians and physicists working in supersymmetry and generalized complex geometry the opportunity to discuss their progress and perspectives.

Focus Week: Determining the Masses and Spins of New Particles Found at the LHC

This 5-day event will be held March 16-20, 2009. If new particles are found at the LHC, the main challenge will be to correctly determine their masses and interactions amid a huge background as well as huge production and decay processes. The aim of this focus week will be to review and compare the many methods that have been proposed in recent years for determining the mass and spin of a new particle and to explore the physics that may emerge from these analyses.

Seminars

The IPMU hosts regular seminars every Wednesday at 3:30. Speakers from around the world are invited. Information is posted on the IPMU website at <http://ipmu.jp/seminars>.

One purpose for these regular seminars is to encourage researchers from different fields to understand a variety of specialties.

Separate seminars are also held for each research field. At present, seminars for particle physics and astrophysics are held every Thursday at 1:30 p.m. Seminars for mathematics and mathematical physics are held every Thursday at 3:30 p.m. All seminars are in English. Mathematics

seminars are also held at Komaba Campus. (See IPMU Komaba Seminars)

IPMU Seminars

1. "The FZZ-Duality Conjecture—A Proof"
Speaker: Yasuaki Hikida (KEK)
Date: September 3, 2008
2. "Abundance of Thermal Relics in Non-standard Cosmological Scenarios"
Speaker: Mitsuru Kakizaki (Bonn University)
Date: September 9, 2008
3. "Black Hole Entropy in String Theory—A Window into the quantum Structure of Spacetime"
Speaker: Atish Dabholkar (University Paris 6)
Date: September 10, 2008
4. "Testing origin of neutrino mass at the LHC"
Speaker: Kai Wang (IPMU)
Date: September 10, 2008
5. "Topological Interactions at the LHC and Generalized Landau-Yang Theorem"
Speaker: Jing Shu (IPMU)
Date: September 17, 2008
6. "What we know and may ever know about inflation"
Speaker: Brian Powell (IPMU)
Date: September 18, 2008
7. "Holographic non-local operators"
Speaker: Shuji Matsuura (University of Tokyo / Perimeter institute)
Date: September 18, 2008
8. "A Holographic Dual of Bjorken Flow"
Speaker: Shin Nakamura (Center for Quantum Spacetime (CQEST), Sogang University)
Date: September 19, 2008
9. "Effects of particle production during inflation"
Speaker: Antonio Enea Romano (YITP)
Date: September 22, 2008
10. "The Phenomenology of Gravity"
Speaker: Simon Dedeo (Chicago)
Date: September 24, 2008
11. "The View from UChicago"
Speaker: Simon Dedeo (Chicago)
Date: September 25, 2008
12. "A possible observational signature of the weight of vacuum energy"
Speaker: Cosimo Bambi (IPMU)
Date: October 1, 2008
13. "SO and USp Kähler and HyperKähler Quotients and Lumps"
Speaker: Sven Bjarke Gudnason (University of Pisa)
Date: October 2, 2008
14. "CP Violation for the Heaven and the Earth"
Speaker: George Hou (National Taiwan University)
Date: October 2, 2008
15. "Combining Lensing, X-ray, and galaxy dynamic Measurements in Clusters"
Speaker: Doron Lemze (Tel Aviv)
Date: October 7, 2008
16. "Formation of dust in primordial supernovae and its survival within the supernova remnants"
Speaker: Takaya Nozawa (IPMU)
Date: October 8, 2008
17. "Results on the proton structure from HERA"
Speaker: Shima Shimizu (ZEUS)
Date: October 9, 2008
18. "Testing LCDM with Subaru Observations of Cluster Mass Profiles"
Speaker: Tom Broadhurst (Tel Aviv/Visitor)
Date: October 10, 2008
19. "Conformal field theory and vertex operator algebras"
Speaker: Akihiro Tsuchiya (IPMU)
Date: October 14, 2008
20. "Matching QCD radiation in gluino and squark production at the LHC"
Speaker: Johan Alwall (SLAC)
Date: October 14, 2008
21. "Wall Crossing"
Speaker: Maxim Kontsevich (IHES)
Date: October 14, 2008
22. "Jet angular correlation in vector-boson fusion processes at hadron colliders"
Speaker: Kaoru Hagiwara (KEK)
Date: October 16, 2008
23. "Quantum Crystals and Topological Strings"
Speaker: Domenico Orland (IPMU)
Date: October 16, 2008
24. "From the whistle of a kettle to the asymmetric explosion of supernovae"
Speaker: Thierry Foglizzo (Service d'Astrophysique & Waseda)
Date: October 22, 2008
25. "A new dimension for the AdS/CFT correspondence"
Speaker: David Berenstein (University of California, Santa Barbara)
Date: October 22, 2008
26. "Echoes of supersymmetry from the early universe: bayrons, dark matter, and gravitational waves"
Speaker: Alex Kusenko (UCLA)
Date: October 23, 2008
27. "Poisson groups and differential Galois theory of Schroedinger equation on the circle"
Speaker: Michael Semenov-Tian-Shansk (University of Bourgogne)
Date: October 27, 2008
28. "Dunkl operators and quadratic algebras"
Speaker: Anatoli Kirillov (University of Bourgogne)
Date: October 27, 2008
29. "Properties of Bayrons in Holographic QCD"
Speaker: Shigeki Sugimoto (IPMU)

- Date: October 29, 2008
30. "The Fermi Gamma-ray Space Telescope"
Speaker: Hiromitsu Takahashi (GLAST)
Date: October 30, 2008
31. "Conjectures on motives: case of simple threefolds"
Speaker: Sergey Gorchinskiy (Steklov Mathematical Institute)
Date: November 5, 2008
32. "Predictions from the Multiverse"
Speaker: Lawrence Hall (UC Berkeley)
Date: November 5, 2008
33. "Identifying Weakly Interacting Massive Particles from Direct Dark Matter Detection Data"
Speaker: Chun-Lin Shan (Seoul National University)
Date: November 6, 2008
34. "Cosmological unification of string theories"
Speaker: Simeon Hellerman (IPMU)
Date: November 6, 2008
35. "What can you do with Cosmic Microwave Background as a Backlight?"
Speaker: Shirley Ho (Princeton)
Date: November 10, 2008
36. "Modified gravity as an alternative to dark energy"
Speaker: Kazuya Koyama (Portsmouth)
Date: November 17, 2008
37. "The Dark Energy Puzzle"
Speaker: Pisin Chen (National Taiwan University & Stanford)
Date: November 19, 2008
38. "Hierarchy Problems in String Theory: An Overview of the LARGE Volume Scenario"
Speaker: Joe Conlon (Oxford)
Date: November 20, 2008
39. "Quantum groups at roots of unity and invariants of links"
Speaker: Nicolai Reshetikhin (UC Berkeley & Amsterdam)

- Date: November 20, 2008
40. "Toward a Proof of Montonen-Olive Duality via Multiple M2-branes"
Speaker: Seiji Terashima (YITP)
Date: November 27, 2008
41. "Groups of intermediate rank"
Speaker: Mikaël Pichot (IPMU)
Date: November 28, 2008

IPMU Komaba Seminars

The IPMU Komaba seminars bring together researchers from the IPMU and the University Tokyo's Graduate School of Mathematical Sciences to exchange ideas. The seminars are held about twice a month at the Komaba campus.

1. "A pair of non-birational but derived equivalent Calabi-Yau manifolds from non-Abelian gauge theories"
Speaker: Kentaro Hori (IPMU)
Date: December 1, 2008

In this seminar, Kentaro Hori presented his recent work. Following the seminar, many of the mathematicians and physicists engaged in stimulating discussions.



Promotions

Yukinobu Toda, previously an IPMU assistant professor, was promoted to IPMU associate professor. Satoshi Kondo, previously an IPMU postdoctoral fellow, was promoted to IPMU assistant professor. The two new appointees provided the

following statements regarding their research plans.

Yukinobu Toda

My research area is algebraic geometry, specifically the derived categories of coherent sheaves on algebraic varieties. Recently, I introduced counting invariants of objects in the derived category (generalized Donaldson-Thomas invariants) and am now studying their wall-crossing phenomena as well as how they relate to Gopakumar-Vafa invariants via wall-crossing formula.



Satoshi Kondo

The computation of higher algebraic K-theory of varieties in number theory interests me. Recently, I used motivic homotopy theory for the computation. I plan to perform an explicit computation of other cohomology theories of varieties that appear in both number theory and physics.



Personnel Changes

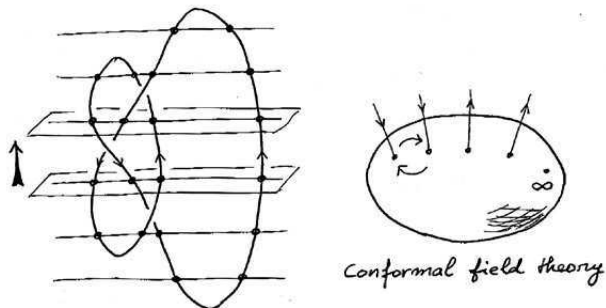
Sugumi Kanno, previously an IPMU postdoctoral fellow, has taken a position as a postdoctoral fellow at Durham University in England. She was at the IPMU between April 1 and September 30, 2008.

Yuuji Sano, previously an IPMU postdoctoral fellow, has taken a position as an assistant professor in Kyushu University's Global COE Program (Education and Research Hub for Mathematics for Industry). He was at the IPMU between February 1 and October 31, 2008.

Constructing knot invariants using conformal field theory

Toshitake Kohno Principal Investigator of IPMU

Knots are important objects in topology. By decomposing a knot diagram into the birth, death, and braiding process of points in a plane and applying conformal field theory, we obtain a general framework for constructing knot invariants. The Jones polynomial, which satisfies the relationship below with respect to local modifications of knots, is derived in this manner.



The Jones polynomial satisfies :

$$\frac{1}{t} V(\text{crossing}) - t V(\text{crossing}) = \left(\sqrt{t} - \frac{1}{\sqrt{t}} \right) V(\text{link})$$

研究者の「引っ張り」と「引き止め」

IPMU 機構長

村山 斉 むらやま・ひとし

トップレベルの研究所を作るのに一番大事な要素は「人」です。前回のIPMUニュースでお伝えしましたように、外国人の研究者の比率は目指していた半分を超えました。しかしもっと大事なことは、採用した研究者の質です。ハーバード、プリンストン、マックス・プランク研究所、京都大学、ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン、パークレイ等、世界のトップの大学・研究所から来てくれているのです。

そこで周りの人たちがIPMUの研究者に目をつけはじめました。他の大学がIPMUの若い優秀な研究者を引っ張りにくるようになったのです。一人目はランクを上げることで引き止めることができました。二人目は別の大学へ移っていきました。三人目はドイツのポジションに引っ張られようとしています。世界レベルの頭脳を引っ張ってくることは大変な努力が要りますが、彼らを引き止めていくこともまた大変なことです。

「引っ張り」と「引き止め」がどんなに大変なことを一年間経験してきて、寄付を集めることがどうしても必要なことに気付きました。海外のトップの科学者たちを招待し、IPMUを自分の目で見てもらい、このポジションに就くことを真剣に考えてもらうためには、自由に使える資金が必要です。若いメンバーを引き止めるためには、やはり補助金では出来ない色々な工夫をしてあげないといけません。それから、研究者の配偶者が日本の生活で充分満足できるかどうか、気を配る必要もあります。政府から補助金をいただいてIPMUを運営しているわけですが、国民の税金から

出ているため、個人や家族のために特別な使い方をすることはできません。また、補助金は10年間しか約束されていないので、その後どうするのかという深刻な問題もあります。折角来てくれたトップの研究者たちが路頭に迷うようなことがあってはなりません。そのために基金を作っていく必要がありますが、現在と同じレベルの予算を確保するには250億円必要だという計算になってしまいます。

そして鶏と卵の問題が出てきました。資金を集めるためには、寄付を受け付けることの出来る*Friends of IPMU*財団を設立しないといけませんが、そのために人員と元手が必要です。つまりある程度の資金がまずは手元に無いと、資金集め自身が出来ないということです。

この問題に東京大学の本部が取り組んでくれるようになりました。東大のホームページから、クレジット・カードや銀行振込を使って寄付が出来るようになったのです。

<https://payment.utf.u-tokyo.ac.jp/general.html>

にアクセスしていただければ、英語でも日本語でもIPMUに寄付をすることができます。ホームページの指示に従いご入力頂き、「寄付の目的（必須）」の項目の「その他」をチェック後、下の欄にIPMUと指定して下さい。バラク・オバマのように、こうした草の根の支持による資金集めの活動が大きな力になっていくことを願っています。Yes, we can!

組みひもと3次元幾何学、 その物理学との関連

物理学と相互作用する幾何学

幾何学と物理学は互いに影響を与えながら発展してきた。19世紀半ばのガウスからリーマンにいたる流れの中で創成された微分幾何学はアインシュタインの一般相対論の基礎となったことはよく知られている。また、ニュートンに始まる古典力学は、ラグランジュ、ハミルトンによる解析力学の定式化を経て、シンプレクティック幾何学とよばれる現代の幾何学の重要な分野を形成している。このように、幾何学と物理学の関わりは、時とし予期しない形で、双方の向きに現れる。

この数十年の幾何学と物理学の相互作用において顕著な点は、量子場の理論が、位相幾何学における深い性質と結びついている点である。ここでは、組みひもの理論と3次元幾何学に焦点をあてて、このような研究の流れを瞥見しよう。

組みひもとディラックのスピノール

組みひもとは、図1(a)に示したように、縦方向の何本かのひもを絡み合わせてできる図形である。ここでは、交差点におけるひもの上下を区別することが重要である。2つの組みひもを縦につなぎ合わせることで、組みひもの合成を定める。図1(b)の2つの組みひもは、端点を固定して、ひもを動かすことによって互いに移り合う。一般にこのような連続的な変形で互いに移り合う組みひもを同一視する。図1(b)は組みひもの間に成立する最も基本的な関係式を示している。組みひもの概念は1920年代にアルティンによって定義された。

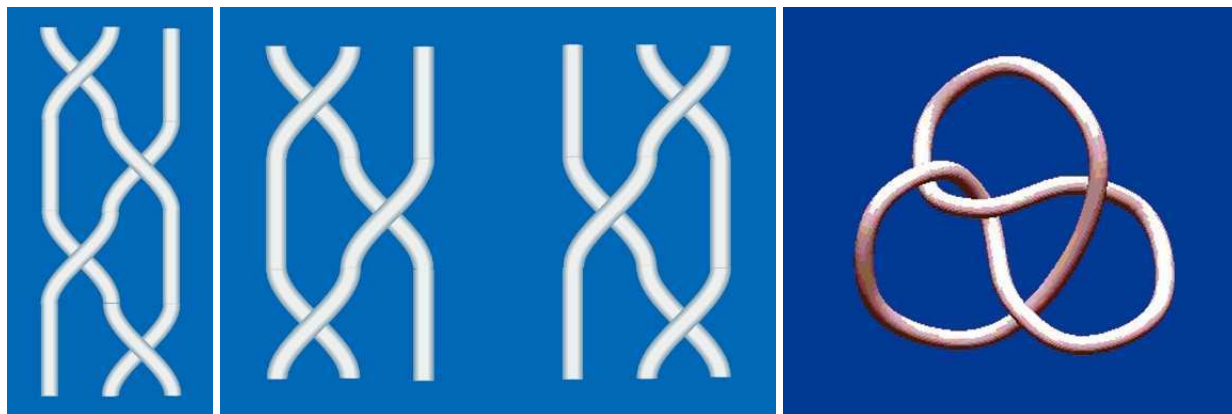
20世紀初頭は、量子力学が確立された時期でもあった。早い時期から組みひもの重要性に着目していた物理学者がディラックである。ディラックは量子力学に現れるスピノールの概念を説明するために、組みひも

図1

(a) 組みひもの図式

(b) 組みひもの関係式

(c) 8の字結び目



を有効に用いた。スピノールとは1回転すると-1倍になって、2回転すると元に戻るような多価性をもつ量である。ディラックのアイデアを説明するために、図2に示した簡単な実験を試みよう。まずベルトを用意して、片方の端を固定し、もう一方の端を2回転して、ひねりのあるベルトを作る。次にひねった方の端を回転させずに図のように動かすと、ひねりのないベルトに戻ることができる。1回転したベルトでは、このようにひねりを解消することはできない。これは組みひもの言葉では、球面上で360度回転に対応する組みひもは連続的な変形で自明にできないが、720度回転に対応する組みひもは自明にできることを意味していて、スピノールの存在と関わっている。

組みひもから無限次元の幾何学へ

一方、組みひもは位相幾何学において重要な役割を果たす。組みひもの両端を閉じると、結び目あるいは絡み目が得られる。結び目とは、3次元空間内の交わらない閉曲線であり、絡み目とは、互いに交わらない、いくつかの閉曲線の和集合である。例えば、図1(a)の組みひもの両端を閉じることによって、図1(c)の結び目が得られる。結び目は非常に複雑な対象であり、現在の位相幾何学の高度な技法をもってしても、その全貌は解明されていない。3次元トポロジーにおける困難さが結び目の複雑さに凝縮されている。

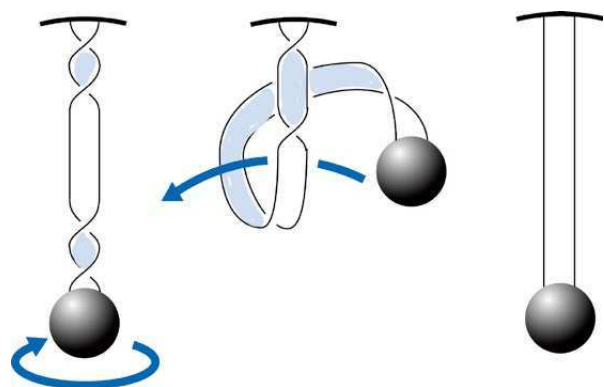
1980年代半ばに、ジョーンズによって結び目理論の研究に革新的な進歩がもたらされた。作用素環の理論に由来する、結び目のジョーンズ多項式の発見がそ

れである。ジョーンズは組みひもを線形作用素として表現することにより、結び目と絡み目の位相不変量を抽出した。それは、これまで位相幾何学の古典的手法を用いて構成されてきたアレクサンダー多項式などと基本的に異なる新しい不変量であった。

ジョーンズ多項式は、数年後、ウィッテンによって、場の量子論による定式化が提唱され、3次元のチャーン・サイモンズゲージ理論の分配関数として定式化された。これは無限個の量のある種の平均値として与えられていて、これが数学的にうまく定義できるならば、位相不変であることはその形から明らかである。ここで、位相不変とは、定義した量が長さや角度など計量の情報によらず、連続的な変形で変わらないことを意味する。

また、ジョーンズ多項式は統計力学モデルの分配関数としての解釈も可能である。図1(b)に示した組みひもの関係式は $ABA = BAB$ の形で表され、ヤン・バックス

図2 ベルトのトリック



ター方程式とよばれる。これは、統計力学模型における可解条件であり、その背後にある代数的な構造は、量子群としてドリンフェルトと神保道夫によって定式化された。さらに、ウィッテンの理論を2+1次元の位相的場の理論として展開すると、2次元共形場理論との関係が明らかになる。共形場理論は1980年代半ばに、物理学者ベラビン、ポリヤコフ、ザモロジコフによって、統計力学の臨界現象における無限自由度の対称性を記述する理論として創始された。その後、土屋昭博と共同研究者によって、無限次元リー環の概念を用いて共形場理論の数学的基礎が構築された。ジョーンズ多項式をキーワードとして、チャーン・サイモンズ理論、共形場理論、量子群などの概念が有機的に関わっていて、これらの分野の発展には、IPMUの数学研究者が多くの貢献をしてきた。

空間の幾何化

局所的な幾何構造を与えたときに、空間が大域的にどのような構造をもつかという問題は重要であり、

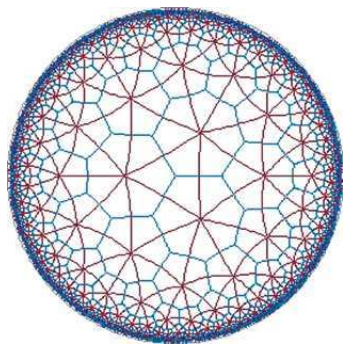


図3 双曲平面のタイルばり

20世紀以来の幾何学の大きな潮流として発展してきた。例えば、向き付けられた閉曲面で、局所的にはユークリッド平面と合同な距離の構造が入るものは、トーラスに限ることが知られている。向き付けられた閉曲面は位相的には、球面、トーラス、さらにトーラスをいくつか連結した種数2以上の曲面と分類される。ここで、連結するトーラスの個数を種数とよぶ。トーラスにはユークリッド平面をモデルとする幾何構造が入る。また、種数2以上の曲面には図3に示した双曲平面をモデルとする幾何構造が入る。図3は、双曲平面の正三角形によるタイルばりを示していて、円の内部に、それぞれの正三角形がすべて合同となるような計量が入っている。図3に示した双曲幾何のモデルはポアンカレ円板とよばれている。このように閉曲面については、その幾何構造として、球面幾何、ユークリッド幾何、双曲幾何の3通りが存在する。これらの曲率は、球面幾何では正の定数、ユークリッド幾何では0、双曲幾何では負の定数である。また、三角形の内角の和は、球面幾何では180度よりも大きくなり、双曲幾何では180度よりも小さくなる。

3次元の空間については、どのような大域的な幾何構造が考えられるだろうか。これが、「空間の幾何化」の問題である。3次元の場合にも、3次元球面（正の定曲率空間）、ユークリッド空間（曲率0の空間）、双曲空間（負の定曲率空間）の3通りの定曲率空間のモデルがある。それ以外に1次元と2次元の幾何構造から構成されるものがあり、3次元では合計8通りの幾何構造のモデルが存在することが知られている。図4に示したのが3通りの定曲率空間の正多面体による分割である。幾

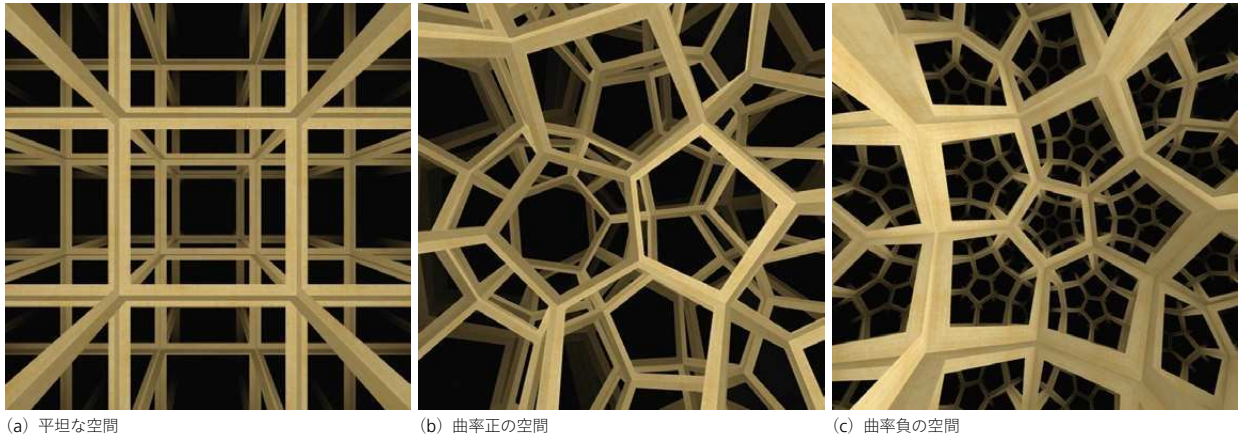


図4 ウィークスによるソフトウェア[3]を用いて作成した。

何構造の視点からの3次元トポロジーへのアプローチは1980年代にサーストンによって創始されトポロジーの研究に大きなインパクトを与えた。

図1(c)の8の字結び目の補集合には、双曲幾何構造が入ることが知られている。サーストンにより、いくつかの例外を除くほとんどすべての結び目の補集合に双曲幾何構造が入ることが示され、これは、結び目と組みひもの理論に飛躍的な発展をもたらした。一般の3次元空間に対する幾何化はサーストンによって予想され、数年前に、ペレルマンによって解決された。ペレルマンの手法においては、リッチ流とよばれる、計量についての微分方程式の解の漸近的な挙動が用いられるが、発散する解を制御するために、くりこみなどの物理学の手法が本質的な役割を果たす。これは、幾何学と物理学の新たな相互作用である。

参考文献：

- [1] M. Atiyah, *Geometry and Physics of Knots*, Cambridge University Press, 1990
- [2] 河野俊丈, *場の理論とトポロジー*, 岩波書店, 2008
- [3] J.R. Weeks, <http://www.geometrygames.org/CurvedSpaces/>

Our Team

堀 健太郎 ほり・けんたろう 専門分野: 理論物理学

IPMU 教授

自然界の基本法則は何なのか？それはどんな数学によって記述されるのか？これらの問いが私の研究する動機となっています。正しい理論的枠組は一般相対論と量子力学を統一したものであるべきです。更にこの2つの物理学の発展にともなってそれぞれ独自に成長してきた数学の分野を統合するような言葉で記述されなければならないと私は考えています。弦理論はそのような枠組の最有力候補です。

「数学分野の統合」を示唆する例として『ミラー対称性』があります。これは2つの全く異なる空間を動きまわる「ひも」の物理が全く同じであるという一見信じがたい現象で、2つの空間のシンプレクティック幾何学と代数幾何学が入れ換わるという驚くべき形で成り立っています。私達はミラー対称性が二次元ゲージ場の量子論における双対性を用いて理解できること

を示しました。この仕事はDブレーンの間の対応関係など更なる発展につながっています。

現在私はミラー対称性等を駆使して弦理論のコンパクト化の解析に取り組んでいます。特に四次元で最小限の超対称性を持った理論の全体像を把握することが大きな目標です。同時に数学者と協力して理論を記述する適切な言語を開発することも目指しています。





2008年10月3日に1周年を記念してIPMUの専任メンバーが集まりました。昨年10月1日にIPMUが発足した際には専任メンバーは誰もいなかったことを考えると、IPMUはこの1年で大きく成長しました。

カイ・マルテンス Kai Martens 専門分野: 実験物理学

IPMU 准教授

「物理学を取るか哲学を取るか?」という問いに答えが得られたのは、1994年にドイツのハイデルベルク大学からPh.D.の学位を授与された時です。それはエキサイティングな5年間であった、CERNでのハイペロンビームを用いた実験によって獲得したものです。

1995年に、スーパーカミオカンデ測定器を建設するため、私は東京大学に来ました。そして、神岡でニュートリノ物理学の研究に、また高エネルギー加速器研究機構(KEK)でK2K実験の準備に費やした素晴らしい5年間の後、私は2000年に米国ユタ大学の教員になりました。ユタでは、宇宙線物理学のパラダイムを変える結果をもたらしたHiRes実験に従事しました。HiResの次の世代に位置づけられる望遠鏡・アレー実験は現在データを取得していますが、私はこの実験を実現するための中心的役割を果たしました。



今日、素粒子天体物理学の最大の問題はダークマターです。IPMUで神岡におけるXMASS実験に参加する機会を得て、私は非常に興奮しています。この新しい挑戦的なダークマターの実験は、何を教えてくれるのでしょうか? WIMP (weakly interacting massive particle, 相互作用が弱くて重い素粒子)が見つかるのでしょうか? これらの問いに答えるための研究を行いつつ、私はスーパーカミオカンデで再び超新星を、望遠鏡・アレーで超高エネルギー宇宙線を待ち続けます。実験データは知識の源泉であり、私たちはIPMUで宇宙についての知識を探し求めるのです。

Our Team

林 彦廷 リン・イェンティン 専門分野:天体物理学

博士研究員

私は銀河形成と銀河団を研究しています。CDM (cold dark matter, 冷たいダークマター) のパラダイムでは、銀河の形成と進化はダークマターのそれと強く結びついています。従って、銀河形成過程を詳しく知れば、恐らくその裏にある宇宙論的モデルの根本的なテストになるでしょう。

IPMUにおける私の研究計画は次の通りです。①巨大銀河の形成において、銀河同士の衝突合体の役割と超巨大ブラックホールからのフィードバックについて

②HSC (ハイパー・スプリーム・カム)からのデータを用いて、現在および赤方偏移 $z=1$ の時代の銀河の銀河進化論的關係について③宇宙論に対して銀河団がどのような制約を与え得るかについて。



ドメニコ・オルランド Domenico Orlando 専門分野:理論物理学

博士研究員

物理と数学それぞれの一見関係のない分野が網目のようにつながっていることが、弦理論の最大の強みの一つであることは間違いありません。今日まで、私は研究活動を主として2つの方向に集中してきました。弦理論における共形場理論の厳密解の研究と位相的弦理論の研究です。共形場理論に関しての私の興味は、世界面とターゲット空間という2つの記述法がいかに関係し合うか、また、共形場理論の方法により、いかに超重力の問題を解決できるか (また、その逆の場合) に

あります。位相的弦理論については、主として結晶の溶解とtopological A-modelの対応を調べることに興味をもっています。



朴 盛燦 パーク・ソンチャン 専門分野:理論物理学

博士研究員

私は標準模型を越える物理を探究しています。LHC実験と宇宙論的、あるいは天体物理学的観測がベストチャンスを与えてくれ、母なる宇宙の真の姿を示してくれることでしょう。

現在、私は電弱相互作用スケールの物理や時空の量子的性質といった深遠な謎を作り出しているかもしれない高次元の模型について研究しています。高次元のブラックホールは私の好むトピックスの一つです。



ミカエル・ピシヨ Mikael Pichot 専門分野: 数学

博士研究員

私は、幾何学、力学系、および作用素環を研究しています。言い換えると、空間と、その幾何がその対称性から定まる群とそれに付随する作用素環に及ぼす影響についての研究です。具体的に言うと、最近の私の仕事は、幾何学的群論（例えばL2コホモロジー、中間階数）、非正曲率空間（例えば、プリューア・ティッツビルディング、フリーズの多面体複体）、葉層構造論（例えば横断的測度の集中）、非可換幾何学（例えば、性質RD、バウム・コンヌ予想）に関するものです。



スザンネ・レッフエアト Susanne Reffert 専門分野: 理論物理学

博士研究員

私は超弦理論の理論家としての教育を受けましたが、研究では代数幾何、量子代数、結び目理論、組合せ理論、統計物理の様々な局面、などの問題も手がけました。ですから、私は、自分をもっと一般的な数理物理学の研究者であると考えようになりました。私は主として数学と物理学の境界に興味をもっていますが、同時に数学、物理学の中での異なる分野間の関係にも興味があります。その例としては、弦理論と幾何

学の関係、あるいは弦理論と統計物理学のある局面—例えば二量体（ダイマー）モデルと可解スピン鎖—の関係があります。



ヤン・シューマン Jan Schuermann 専門分野: 実験物理学

博士研究員

私は、純水中にガドリニウムを導入することによりスーパーカミオカンデ測定器を改良するための研究に従事しています。この能力改善によりニュートリノ（あるいは他の粒子）の相互作用で生じた中性子の検出が可能となり、スーパーカミオカンデによる過去の超新星爆発からのニュートリノや、原子炉からのニュートリノの観測が可能となります。

現在、私はスーパーカミオカンデの純水に、質量比で0.1%のガドリニウムを溶かした溶液などの透明度

を測定する装置を開発しています。加えて、ガドリニウムを導入した場合のデータの特徴やバックグラウンドの推定に関して研究を進めています。



Our Team

ケネス・シャクルトン Kenneth Shackleton 専門分野: 数学

博士研究員

低次元トポロジーと幾何学的群論で面白い戦略は、コンパクトな多様体、または有限生成群に対し、連結したグラフを対応させることです。それは、群の大域的な幾何構造を（ケーリーグラフを通じて）研究するグロモフのプログラム、ミンスキーらによるサーストンのELC（終端層状構造予想）に対する解、あるいは、ハッチャー・サーストンによる曲面の写像類群の有限表示を与えるアルゴリズム、などを見れば明かです。その



目的は、常に、陰に隠れた主役を引き出すことなのです。そうすると、それらは一人歩きし始めるのです。

舒 菁 シュー・ジン 専門分野: 理論物理学

博士研究員

現在、自然を微視的に記述するものは素粒子の標準模型であり、全ての素粒子は電弱対称性の破れを通じて質量を獲得します。理論家たちは電弱対称性の破れの起源に迫るため、多くの新しいモデルを提案していますが、それらはTeVエネルギースケールで異なる予言を与え、LHCからのデータによりテストされます。また、ダークマターの起源と、我々の宇宙のバリオン非対称性の存在は、標準模型を超える新しい物理を要求します。

私は電弱対称性の破れを説明するモデルの構築と、



LHCでの衝突実験のデータの解析法、また、ダークマターやバリオン非対称のような弱い相互作用スケールの宇宙論の一般的様相の理解に研究の焦点を合わせてきました。

唐 佳妤 タン・ジアユ 専門分野: 宇宙論

博士研究員

観測的宇宙論は大変に進歩しましたが、その結果、想像もしなかった驚くべきことが発見されました。すなわち、ダークマター（暗黒物質）とダークエネルギー（暗黒エネルギー）の存在です。今や、“暗黒宇宙”の性質を調べるのが、観測的宇宙論と理論的宇宙論の共通の任務となっています。私は、現在、宇宙論的な観測により暗黒宇宙の研究を行うことに興味をもっています。



フォーカスウィーク：超新星からのメッセンジャー

野本憲一 のもと・けいいち
IPMU主任研究員

前田啓一 まえだ・けいいち
IPMU助教

星のなかには、その生涯の最期に華々しい爆発を起こすものがあります。その明るさは、もともとの星の所属する銀河（約100～1000億個以上の星の集まり）の明るさにも匹敵し、それゆえ私たちの住む地球から遠く離れた宇宙のかなたで起こった超新星でさえも観測が可能です。そのような遠方で起こった超新星の観測が、暗黒エネルギーの発見へと導いてくれます。この謎の暗黒エネルギーの正体を見極めるには、超新星の一層精密な観測とその理論的モデルとが必要とされています。

超新星爆発は非常に複雑な物理現象であり、いまだその正体の解明への道のりは遠いとされます。2008年11月17日～21日の5日間にわたり、私たちはIPMUフォーカスウィーク「超新星からのメッセンジャー」を開催しました。超新星研究において世界の第一線で活躍する理論・観測双方からの比較的若い専門家を集め、現段階での理解を概観することで未解決問題を浮き彫りにし、それらを解決するためのアプローチを開拓することが主要な目的でした。

超新星爆発の引金となる星の重力崩壊では、ニュートリノが大量に放出されます。その観測は新たなニュートリノ物理の解明に繋がり得るとされます（George Fuller／UCSD、Alexander Kusenko／UCLA）。また、過去の超新星から放出されたニュートリノ背景放射は近い将来スーパーカミオカンデでの検出が期待され、これは宇宙における超新星発生の頻度に大きな制限を与えるでしょう（Mark Vagins／IPMU）。超新星からの可視光や赤外線のスpekトルの観測は、未解明の超新星爆発機構の物理の解明への足掛かりとなります（Christopher Gerardy／Florida State Univ.、Lifan Wang／Texas A&M、前

田啓一／IPMU）。観測手段の進歩とともに、以前は知られていなかった極端に明るい超新星や、極端に暗い超新星が発見されました（Peter Nugent／LBNL、Giuliano Pignata／Chile、Sergei Blinnikov／ITEP・IPMU）。これは星の進化（Marco Limongi／Roma Obs.・IPMU）や超新星爆発の機構（Steve Bruenn／Florida Atlantic Univ.、Chris Fryer／LANL）の理解に大きなヒントを与えます。超新星観測をもとにした宇宙論も、より精密なものへと発展の余地を残しています（Mario Hamuy／Chile、土居守／東京大学・IPMU）。超新星爆発は宇宙にあふれるさまざまな元素の起源であり（和南城伸也／IPMU、梅田秀之／東京大学）、これは例えば爆発後数100年以上経った超新星爆発の残骸の観測でも直接検証できません（常深博／大阪大学）。こうして新たに得られた超新星の観測的、理論的情報を、超新星の明るさと星の質量のダイアグラム上で

整理することで（野本憲一／IPMU）、新たに提起された課題の解決にどうアプローチしていくかが、活発に議論されました。

講演と、講演の合間にはたっぷりと時間をとって活発な議論・質疑応答を保証しました。

毎日の講演終了後には、2時間程度の“Discussion hour”を設定し、参加者に個別の机とWLANを提供しました。この時間帯は、参加者が新たな共同研究について議論する絶好の機会となりました。また、ほぼ毎晩、参加者の会食の機会を設け、また木曜の午後には都内エクスカッションも企画して、終始リラックスしたムードを生み出すを試みて、大変好評でした。結果として、ほとんどの参加者がまだ論文になっていない最新・最前線の結果をもとに議論を深めることができたことは大きな収穫でした。



Workshop



IPMU Interview

マキシム・コンセビッチ教授 に聞く

Maxim Kontsevich

聞き手・斎藤恭司

ロシアで受けた数学の英才教育

斎藤 今日のセミナーは“Wall-Crossing (壁越え)”というタイトルですが、数学において物理学特に弦理論との交流によりもたらされた最近の多くの発展をお話いただき、非常に刺激で太いに楽しませていただきました。しかし、このセミナーについての話は後に回し、もっと一般的なことから伺いたいと思います。まず、経歴についてですが、あなたはソビエト時代に生まれ、後に学生時代に政治体制が変わったと思います。そして現在は欧米で活動されていますね。

コンセビッチ いや、政治体制が変わったのは学生時代を終えた後のことです。

斎藤 どのような教育を受けたか、どのようにして数学者になったか簡単にお話いただけますか。

コンセビッチ ロシアには1960年代にコルモゴロフが創始した数学の特別教育を行う学校があ

りました。この制度は数学に優れた才能を有する生徒を14歳から16歳までの3年間受け入れるもので、モスクワに3～4校あり、レニングラードにも何校ありました。私の兄もこういった学校の一つで学びました。私の数学への興味をかき立ててくれたのは、この兄です。両親は数学者ではありません。母はロケットエンジンの技術者、父は朝鮮の言語と歴史の専門家でした。

斎藤 学者の一家ですね。

コンセビッチ そうですが、学者としては両親が第一世代です。父方の祖父は小作農一家の出身でしたが、独学で技術者になりました。発明家と言って良いと思います。

斎藤 ソビエト時代にですか？

コンセビッチ はい、ソビエト時代にです。母方の祖父は会計士でしたが、学究ではありません。母は技術者でしたから、実は父だけが学者の第一世代と言うべきでしょう。さて、私のことですが、かなり早くから良い成績を上げました。まだ10歳の時に何かのオリンピックのようなものに参加して先生を感心させ、おかげで1年飛び級をしました。14歳か15歳でモスクワの特別学校の一つに入りました。数学オリンピックに参加し、そしてモスクワ大学で学びました。

ここまでのロシアにおける生活は私にとって非常に幸福だっ

マキシム・コンセビッチさんはフランス高等科学研究所の正教授で、1998年に数学で世界最高の栄誉とされるフィールズ賞を受賞しました。また、2008年には、スウェーデン王立科学アカデミーが授与するクラフォード賞を、数学分野でエドワード・ウィッテンとともに受賞しました。受賞理由は「現代理論物理学に着想を得た、数学に対する重要な貢献」です。

たと言うべきでしょう。何人かの年上の仲間たちが私の面倒を見てくれました。大学を出た後、私は情報伝達問題研究所のとても素晴らしい研究室で5年間働きました。そこでは情報理論の数学、符号理論、大きな系の力学等が研究課題でした。

ベレストロイカが始まった1988年に私は1ヶ月フランスに行きました。24歳の時でした。その時、私は統計物理学の専門家として、主としてマルセーユを訪問しましたが、パリのフランス高等科学研究所にも行きました。その後1990年にドイツのマックス・プランク研究所に3ヶ月間滞在しました。ここで実に興味深い展開があったのです。滞在期間の終わりにアルバイツターグンクと呼ばれるヨーロッパの数学者の伝統的な学会があり、マイケル・アティヤーが冒頭の講演で行列積分、および交差理論に関するウィッテン予想を説明しました。私はなぜかこの問題解決に迫るアイデアを思いついたのです。翌日これをアティヤーに説明したのですが、皆非常に興奮しました。そして私はマックス・プランク研究所に招かれました。1991年初めに行きましたが、実はドイツで博士号を取得したのです。モスクワではある理由で学位を取得していませんでした。

斎藤 では、政治体制の変革はあなたの研究の展開には余り影

響しなかったのですね。

コンセビッチ しませんでした。変革の起きる前に、早めに国を離れたのです。

何でも屋の数学者

斎藤 勿論、あなたはもっと前からウィッテン予想に興味を持っていましたね。どのようにしてあなたは数学のこの分野に関わったのですか。

コンセビッチ 実は私はゲルファントの学生だったのです。

斎藤 ゲルファントですか。多分彼らは数学をやっていたとあなたは言われるでしょうが、実際は数理解物理との非常に強い交流がありました。この点について、どうお考えですか？

コンセビッチ その通りですね。数理解物理は私に非常に強い印象を与えました。私が大学の最終学年だった1984年か1985年頃、モスクワで理論物理の大きな発見がありました。ベラビン、

斎藤恭司さんはIPMUの主任研究員の一人です。2008年4月からIPMU特任教授。京都大学数理解析研究所名誉教授。1996年4月から1998年3月まで数理解析研究所長。



ポリヤコフ、ザモロジコフによる共形場理論です。それは二次元系の臨界現象の発見でした。正直に言えば、それは数学者の仕事に影響を受けたものでもありました。というのは、フェイギンとフックスが全く形式的な理由によりヴィラソロ代数の指標を計算したからなのです。その時は物理との関係はありませんでした。

斎藤 あなたはゲルファント・フックス・コホモロジーを発展させる研究を始め、その後さらにいろいろな発展があったのですね。

コンセビッチ はい、私は当時その研究もしていました。しかし、ゲルファントのセミナーは非常に広いテーマ、いわば数学全般を取り上げるものでした。毎週月曜日に行われ、200人もの参加者がありました。ゲルファントのセミナーは既に1942年から1943年に始まっているのです。その頃は第2次大戦のさなかで、モスクワは政府機関や工場等が疎開中でした。ですから、このセミナーは50年以上も続いたのです。それはモスクワにおける大きなセミナーで、毎回200人から300人が参加し、とても長時間のものでした。夜の7時に始まり、地下鉄の終電間際の深夜まで行われました。熱心な参加者たちで、何が起きるか予想が付きませんでした。

斎藤 ユーリ・ウィッテン予想に出会う

までのことをお話しいたしましたが、それ以来、あなたは非常に多くの大きなテーマに関わってこられましたね。

コンセビッチ それ以前も私は多くの問題を取り上げ、まだ論文にしていない研究課題を数多く進めてきました。正直に言えば何でも屋の数学者なのです。

斎藤 そうですね。そういう傾向のあることは分かります。しかし、どうやってテーマを選ぶのですか？ 多分無意識にでしょうが、やりたいことの大きな描像をお持ちなのでしょうか。それとも単に目の前に見いだした問題を解こうとするのですか？

コンセビッチ 問題を解こうとはしません。私は自分で現状の定式化を試みるだけなのです。ウィッテン予想は、私が実際に解いた数少ない問題の一つです。

斎藤 良く分かります。少なくとも今日のセミナーで、あなたは多くの側面を理解する新しい一般的枠組みを話してくれました。私の側からは、ある消滅サイクル上の周期の研究のように見えましたが、勿論あなたの話には他の多くの側面がありました。私の場合はある種の原始形式に対する周期写像を記述するという目標がありますが、あなたの場合は？

コンセビッチ いえ、私には特別な目標といったものはありません。単に場の量子論の物理の数学を理解することです。過去

20年間、それは常にインスピレーションの宝庫でした。

数学と物理学の交流： ウィッテンの時代から将来へ

斎藤 それは素晴らしいですね。さて、今日の話の本题に入ってきましたが、数物連携宇宙研究機構では物理学と数学の交流が行われています。この物理学と数学の交流についてどのようにお考えですか。

コンセビッチ 大変うまくいっていると思います。1940年代、50年代、60年代と理論物理学と数学の間には余り交流がありませんでした。しかし、その後様々なアイディアが双方向に流れ始めました。基本粒子であるクォークに関するゲージ理論は、数学におけるベクトル束の接続に関連しています。そして、超対称性と可積分系がありました。色々な時期と色々な方向の交流の後で、ウィッテンの時代になったのです。その前には量子群、共形場理論、それに初期のトポロジカルな理論がありました。非常に実りの多い関係です。交流の方向は決して一方通行ではありません。物理から数学へ向かうだけでなく、数学から物理へ向かう方向もあるのです。

斎藤 相互に影響を及ぼしあう非常に実りの多い関係であることは、全くその通りであると思いますが、今後どのように進む

のか、将来を展望していただけないか。少なくとも私にとってはまだ結末が見通せません。

コンセビッチ 最終的には、超弦理論から発見されたM理論という大構造が、巨大な解析関数のようなものということになるのかもしれませんが。もし1点を完全に理解すれば、全ての点が理解できるでしょう。様々な次元における物理の理論は、全てこの普遍的で巨大な数学の対象の、ある極限の場合に関連づけられるように見えます。これは数学者にとって何百年もかかる仕事かもしれません。ひょっとすると、もっと短いかもしれませんが(笑)。とにかく、間違はなくこれが数学に起きる大きな出来事の一つなのです。

一つの兆候から 問題の核心を捕らえる

斎藤 この交流の中で、あなたは今後どのように研究を進めて行きたいのか、少しお話しただけませんか。

コンセビッチ 先のことを言うのはとても難しいですね。正直なところ、私には全く計画というものはないのです。

斎藤 計画を持たないのですか。

コンセビッチ はい。私はいつも未完成の研究課題を数多く抱えています。そして、それらは多分関係があるのではないかと考えてみるのです。

斎藤 なるほど、まだ物事が流

動的な場で一所懸命活発に研究されるあなたの様子を良く表していますね。

コンセビッチ そうなのです。興味深い方向が数多くあります。

斎藤 幾つか具体的な例を挙げていただけませんか？

コンセビッチ 私の研究でいつも現れる非常に幅広い理論の一つは、非可換幾何、非可換代数、および弦理論の間の関係についてです。私はこの、例えば行列の積（結合則は成り立つが非可換）と表面の幾何学の間の関係について、数多くの研究課題を抱えています。幾何学的直感と代数的直感の間には実に驚くほど多くの関係があります。過去の例で思い出すのは、1992年と1993年から私が形式代数的類推によりホモロジカル・ミラー対称性を提案したことです。物理学者がDブレーンを言いだす数年前でした。ですから、ストリングの理論家たちは同じものを数年後に物理の言葉で再発見したのです。しかし、この発見により、三角圏という非常に抽象的な代数理論の言葉で記述されるホモロジカル・ミラー対称性が、今や物理学者によって実際に使われているのです。これは全く予想外でした。何しろ、それは最も抽象的な数学理論の一つですから。

斎藤 ではあなたはそれが物理の方で使えるだろうとは期待しなかったのですか。

コンセビッチ しませんでした。私がこの理論に到達したのは、ミラー対称性という現象の究極的な定式化に見えたからです。しかし、物理学者たちは実際にはそれを違う枠組に持ち込みました。弦理論の模型において物理量を計算できるような可能性をもつものです。

斎藤 あなたの仕事に見られる典型的なポイントの一つですね。しかし、私の見るところ、あなたは多くの仕事で、一つの徴候を聞いただけで問題の核心を捕らえ、次に何らかの一般的で大きな枠組を提示していると思います。それがあなたの仕事に関する私の全般的な印象です。

コンセビッチ そうですね。私はそういう段階では実例について調べたりはしません。

斎藤 どうやってそういう風に研究できるのですか？

コンセビッチ いや、時には自分で一つか二つの実例を調べることもありますけど…

斎藤 あなたは何か実例を思い描きながら、しかし一般的理論を構築するのですね。

コンセビッチ はい。一般的に言えば、実例は時に人を誤らせるものだということを知りました（笑）。実例の性質はしばしば特殊に過ぎますから、ずっと具体的実例を研究していたのでは一般的な性質は見つけられません。

斎藤 グロタンディークも実例を考えずに非常に大きな枠組

を作ることの出来る人としてとても有名ですね。実際、その枠組は深く数学を捕らえたもので、無意味なものなどありません。あなたも同じようなことをされていますね。問題の核心を捕らえた大きな枠組を提示する点です。実に驚くべき能力で、そういうことをするのは限られた数学者だけです。そこで、再度伺いますが、あなたは一体どのようにしてそうするのですか？

コンセビッチ よく分かりませんが、単に経験の問題で、何も特別なことはないのではないかと思います。友人の一人と私は、冗談めかして自分たちを「一般論のスペシャリスト」と呼んだりします。

斎藤 今日のインタビューに先立つセミナーで、あなたがこの時代の新しい枠組について活発に研究されていることがよく分かりました。この方向で研究を続けられ、成功されることを期待しています。

コンセビッチ ご招待いただき、ありがとうございました。IPMUでのセミナーは、とても熱心な参加者とくつろいだ雰囲気で、本当に楽しいものでした。実は、今回初めてIPMUを訪問しましたが、優れた研究グループであることが良く分かりました。私はIPMUの将来は輝かしいものであると期待しており、多分来年ですが、また柏に来たいと思っています。

IPMU発足1周年

2008年10月1日をもって、IPMUが発足1周年を迎えました。既に専任研究者のうち、外国籍の研究者が5割を越え、国際的拠点として非常な成功を収めています。これを受け、10月2日に記者会見、3日に事務部門を含むIPMU構成員の全体会議とPI（主任研究員）会議、パーティーを開きました。記者会見では村山機構長が「世界から見える研究拠点」構築への取り組みを強調しました。



IPMUボランティアが記念ケーキを作ってくれました。

神岡サテライトの近況

2008年9月16日、岐阜県飛騨市神岡町東茂住に、IPMU神岡サテライト事務室がオープンしました。神岡サテライトのオフィスは、現在、ニュートリノの研究などで知られるスーパーカミオカンデおよびKamLANDまで車で約10分の場所にある東京大学宇宙線研究所の神岡宇宙素粒子研究施設内に間借りしていますが、今年度中を目処

にIPMUサテライトの研究棟が完成する予定で工事が始まっています。

IPMU杉本茂樹特任教授、平成20年度湯川記念財団・木村利栄理論物理学賞受賞者に

2008年10月7日に湯川記念財団から、IPMUの杉本茂樹特任教授と茨城大学理学部の酒井忠勝准教授を平成20年度（第2回）湯川記念財団・木村利栄理論物理学賞共同受賞者に決定したことが発表されました。受賞理由は、超弦理論を用いて陽子・中性子・中間子などの強い相互作用をする粒子（ハドロン）の性質を解析する方法を開発した功績「ゲージ理論／超弦・重力理論対応に基づく量子色力学（QCD）の双対ホログラフ模型の構築」です。

杉本、酒井両氏の成果は先駆的な研究として非常に注目され、発表された2論文の引用数は延べ500に迫っています。なお、授賞式は2009年1月23日に行われます。

IPMU野本憲一主任研究員らを中心とする国際チーム、超新星の謎をすばる望遠鏡で解明

IPMUの野本憲一主任研究員らを中心とする国際研究チームは、すばる望遠鏡を用いて、超新星残骸ティコの周囲で発見された可視光の「こだま」を分光観測することにより、この光が1572年にデンマークの天文学者ティコ・ブラーエによって肉眼で観測された超新星の爆発当時の光そのもので、この超新星爆発が標準的なIa型であったことを証明しました。

今後さらに、超新星残骸の周囲で観られる光の「こだま」を分光観測することにより、Ia型超新星爆発のメカニズムを、空間三次元的に調べる事が可能になります。

この成果は2008年12月4日の英国科学雑誌『Nature』に掲載されました。

第2回外部諮問委員会

2008年11月18日に、IPMUの外部諮問委員会が開かれ、テレビ会議も含め計6名の委員会メンバーが参加しました。委員会からは今後の発展を図るための有益な提言がなされました。



村山機構長が「消えた反物質の謎」について講演

2008年10月24日～25日の2日間にわたり、東京大学柏キャンパスの一般公開が行われました。25日には図書館メディアホールで3人の講師による特別講演会が開催され、村山機構長は「消えた反物質の謎」と題して講演を行いました。この講演は、延べ280名の一般来場者が聴講し、ノーベル物理学賞の受賞が決定した小林・益川両氏の理論解説も含むなど、タイムリーな話題も多く、非常に好評を博しました。



満員の講演会会場

また、2008年11月22日～24日に東京お台場で科学技術と社会のあり方について多角的に考える機会を提供する「サイエンスアゴラ2008」イベントが開催されましたが、その一環として24日に日本科学未来館で行われた講演会で、村山機構長は再び「消えた反

物質の謎」について講演しました。

研究会報告 ——フォーカスウィーク： 量子ブラックホール

2008年9月12日－16日の5日間、東京大学柏キャンパス図書館メディアホールにて、「フォーカスウィーク：量子ブラックホール」が開催されました。このフォーカスウィークは量子ブラックホールの理解と新たな分野、新たな数学のさらなる発展を狙いとして組織・開催されました。70名の参加者のうち、海外からも多くの研究者が講演のため訪れました。



研究会報告 ——フォーカスウィーク： 超新星からのメッセンジャー

2008年11月17日－21日の5日間、東京大学柏キャンパス図書館カンファレンスルームにて、「フォーカスウィーク：超新星からのメッセンジャー」が開催されました。さまざまな超新星に関する研究者が国内外から多数参加し、現時点での研究を包括しながら新しい見解を広げる議論を活発に行いました。詳しくは33ページをご覧ください。

今後の研究会 ——ワークショップ： 複素幾何学における超対称性

2009年1月4日－9日の6日間、「ワークショップ：複素幾何学における超対称性」が開催されます。ケーラー構造は複素多様体の研究において重要な役割を果たすものですが、これまでに、物理学者によって超対称性の観点から、さまざまなケーラー構造の一般化が提唱され、これらは複素幾何学

の研究においても有用であることが分かってきました。このワークショップでは、超対称性と一般化された複素幾何学に焦点をあてて、これらの話題に興味をもつ数学者と物理学者が一同に会して議論し、相互理解を深めることを目的とします。

今後の研究会 ——フォーカスウィーク： LHCにおける質量・スピンの決定

2009年3月16日－20日の5日間、「フォーカスウィーク：LHCにおける質量・スピンの決定」が開催されます。

LHCにおいては、今までに知られていなかった素粒子が生成されますが、膨大なバックグラウンドがあり、また様々な生成、崩壊過程があるために、質量や相互作用を決定することは容易ではありません。この会議ではこれまで知られている質量の決定方法を検討し、そこから明らかになる物理について考察します。

セミナー

IPMUでは世界中から研究者を招き定期的にセミナーを行っています。また、東京大学駒場キャンパスの数理科学研究科棟で、月に2回程度IPMU駒場セミナーが開催され、IPMUと数理科学研究科の研究者の交流が行われています。セミナー情報についてはIPMUのホームページ上にあるセミナー情報のページ<http://www.ipmu.jp/seminars/> でご覧いただけます。また、2008年9月から11月に行われたセミナーについては、本誌20ページを参照してください。



IPMU駒場セミナーの様子

人事異動

昇任

IPMU助教の戸田幸伸さんがIPMU准教授に、IPMU博士研究員の近藤智さんがIPMU助教にそれぞれ昇任されました。お二人に、現時点での研究内容と、今後の研究目標について語っていただきました。

IPMU准教授 戸田幸伸

「私の研究領域は代数幾何学で、特に代数多様体上の接続層の導来圏について研究しています。最近は導来圏の対象の数え上げ不変量（一般化Donaldson-Thomas不変量）を導入し、それらの壁越え現象を調べています。今後は壁越え公式を応用してGopakumar-Vafa不変量との関係を調べようと思っています。」



IPMU助教 近藤 智

「数論に現れる多様体の代数的K群を計算してきました。最近はスキームのホモトピー論を使う機会がありました。これからは、数論と物理にまつわる多様体のより難しいコホモロジー理論について、やはり具体的な計算がしたいと考えています。」



転出

IPMU博士研究員の菅野優美さんが、イギリスのダラム大学博士研究員に転出されました。IPMUの在任期間は2008年4月1日－9月30日でした。

また、IPMU博士研究員の佐野友二さんが、九州大学大学院数理学研究院グローバルCOEプログラム マス・フォア・インダストリー教育研究拠点助教に転出されました。IPMUの在任期間は2008年2月1日－10月31日でした。

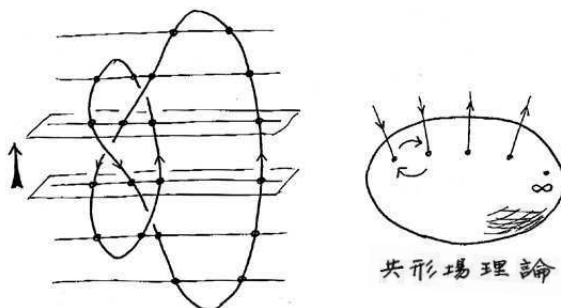
お二人の今後のご活躍とご健康をお祈りします。



共形場理論を用いて 結び目の不変量を構成する

河野俊丈 IPMU主任研究員

結び目は位相幾何学における重要な対象です。結び目の図式を平面内のいくつかの点の生成、消滅、および組みひもによるひねりに分割して、共形場理論を用いることにより、結び目の不変量を系統的に構成することができます。結び目の局所的な変形について下に示した関係を満たすジョーンズ多項式もこのような方法で得られます。



ジョーンズ多項式は次の関係式を満たす。

$$\frac{1}{t} V(\text{crossing}) - t V(\text{crossing}) = \left(\sqrt{t} - \frac{1}{\sqrt{t}} \right) V(\text{link})$$