

Institute for the Physics and Mathematics of the Universe
宇宙物理学研究所

WPI World Premier International Research Center Initiative
世界トップレベル国際研究拠点を形成促進プログラム

The University of Tokyo 東京大学

IPMU NEWS

Vision
Message
Our Team

Interview with David Eisenbud



No. **1**

March 2008

IPMU NEWS CONTENTS

English

- 3 **Vision** Hitoshi Murayama
Hiroaki Aihara
Yoichiro Suzuki
- 8 **Message** Hiroshi Komiyama
Kisaburo Tokai
Sir Michael Atiyah
David Gross
Saul Perlmutter
- 12 **Our Team** Masataka Fukugita
Kunio Inoue
Michio Jimbo
Takaaki Kajita
Stavros Katsanevas
Toshitake Kohno
Masayuki Nakahata
Mihoko Nojiri
Ken'ichi Nomoto
Hiroshi Ooguri
Kyoji Saito
Katsuhiko Sato
David Spergel
Henry W. Sobel
Naoshi Sugiyama
Akihiro Tsuchiya
Tsutomu Yanagida
- 21 **IPMU Map**
- 22 **IPMU Interview** with David Eisenbud
- 25 **News**
- 28 "On winning Inaugural prize from the American Mathematical Society, for research on black holes" Hiroshi Ooguri

Japanese

- 29 **Vision** 村山 斉
相原博昭
鈴木洋一郎
- 34 **Message** 小宮山 宏
渡海紀三朗
サー・マイケル・アティヤー
デイビッド・グロス
ソール・パールミュッター
- 38 **Our Team** 福来正孝
井上邦雄
神保道夫
梶田隆章
スタブロス・カサネバス
河野俊丈
中畑雅行
野尻美保子
野本憲一
大栗博司
斎藤恭司
佐藤勝彦
デイビッド・スパーゲル
ヘンリー・ソーベル
杉山 直
土屋昭博
柳田 勉
- 47 **IPMU Map**
- 48 **IPMU Interview** デイビッド・アイゼンバッド教授に聞く
- 51 **News**
- 54 **IPMU研究棟のイメージ図**
- 56 **アイゼンバッド賞 (アメリカ数学会) を受賞して** 大栗博司



Hitoshi Murayama is the founding director of IPMU. He is not only one of the leading physicist in elementary particle theory, but also one of the young leaders in the fundamental science community. He received his Ph.D. at the University of Tokyo in 1991, and has been in the United States since 1993. He came back to the University of Tokyo in January 2008.

村山 斉：数物連携宇宙研究機構の初代機構長。素粒子理論におけるリーダーの一人であると共に、基礎科学分野における若き指導者の一人でもある。1991年に東京大学で博士の学位取得後、1993年以来アメリカ在住。今年1月に帰国、機構長着任。

What do we want to do at this new Institute?

Hitoshi Murayama

Research Area: **Theoretical Physics**

Director of IPMU

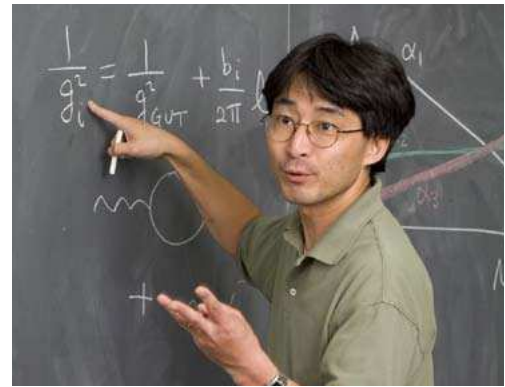
Childlike Curiosity

Researchers are just like young kids at heart. I bet you looked up at the starry sky in your childhood, wondered how vast the Universe was, and had an overwhelming feeling of how small you were. “How big is the Universe?” “Did it have a beginning?” “What are the stars made of, why do they shine?” We research scientists are still pursuing these simple questions from our childhood.

One thing that really impressed me when I started to study physics is that many such simple questions had answers. Our predecessors had worked so hard to solve them. As I went on to study further, I got addicted to this feeling of “Aha!”

Why does the Sun shine?

Let us take this question, what are the stars made of, why do they shine? Nobody has been to a star and taken samples, not to mention getting inside one to find out the mechanism that powers it. But we can study the “color” of a star in great detail, and compare it to the “color” of light emitted from



all kinds of atoms and molecules studied in the laboratory. This way, we found out what the stars are made of without ever taking samples from them. It turned out that stars, including the Sun, are mostly made of hydrogen. You see it happens quite often in science that we have to study objects we can't touch directly. OK, then, why does the hydrogen shine?

The clue was in the famous equation suggested by Einstein: $E=mc^2$. It says that the mass (m) of an object is actually a kind of energy (E). This led to the idea that the Sun shines by converting its mass to energy. If so, the Sun is shedding a whopping four million tons of mass every second. But how do we

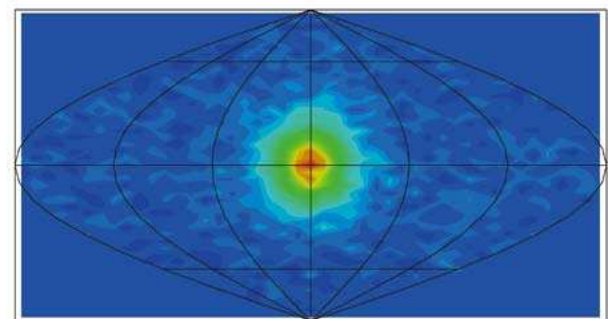


Figure: 1 The definitive evidence that the Sun is producing neutrinos from its core. This is a picture of the Sun's core taken three thousand feet underground in pitch darkness by Super-Kamiokande.

know if this idea is right? Actually, when the hydrogen's mass turns to energy, ghostly neutrinos are born as byproducts. We succeeded in capturing some of these neutrinos in Japan's Super-Kamiokande experiment, giving the definitive evidence that this theory is true. This way, we used observations with both light and neutrinos, in combination with Einstein's relativity and theory of quantum fields, and could figure out what is going on inside a star without ever touching it.

Big Bang

It is well known that the Universe started with a huge explosion called Big Bang. Nobody went back to see the beginning of the Universe, but we learned this by discovering the "fossil" of this explosion. Bright light that came out from this explosion is still moving around in our present dark space. It is just that the light got stretched by the expansion of the Universe and became microwaves that we can't see instead of visible light. It is the same kind of energy used in microwave ovens. This "fossil" is extremely interesting because it knows very well the shape, size, age, and the energy content of the Universe. Now in the new millennium, advances in technology and artificial satellites have made it possible to study it in great detail, and we began to learn amazing facts about the universe. For example, the universe is 13.7

billion years old, and its shape is "flat."

New questions

As I went on to study further, I was also surprised by how little we knew. I often felt, "*We don't have an answer to a simple question like that?*"

I explained how we came to know what the stars are made of, but we still don't know at all what the Universe is made of! Using the "fossil" microwaves I have mentioned already, in combination with many other observations and theoretical considerations in the last decade, we learned that the kind of objects we know, namely atoms, make up less than 5% of the Universe. Another 20% is "dark matter" we don't know, and the remaining 75% is "dark energy" we have no idea about. Both of them have names, but their true identity is a complete mystery.

What we do at this Institute

At the Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (IPMU), we pursue simple questions like "*How did the Universe begin?*" "*What is it made of?*" "*How did we come to exist?*" We cannot repeat the beginning of the universe, or see what is "dark." These are all very difficult questions to answer. This is why we are trying to gather top notch researchers from various disciplines (astronomy, particle physics, and mathematics) and use many different methodologies to attack the problems together. At the same time, these are questions common to all human kind, and we need to gather researchers from all over the world. We chose English to be the official language because of this even though IPMU is in Japan. It is also important to promote young minds that are flexible and not tied to a particular subfield so that we can create new ways of looking at things.

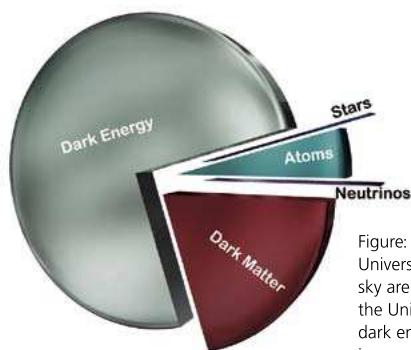


Figure: 2 Energy content of the Universe. Stars we see in the sky are a tiny fraction. Much of the Universe is dark matter and dark energy whose true identity is a complete mystery.

For example, the beginning of the Universe is said to be a “singularity” where all known laws of nature break down. First of all, we need to use Einstein’s theory of relativity because of its incredibly strong gravity. At the same time, we need to use quantum field theory, another pillar of modern physics, because of its equally incredible energy. But we get nonsense predictions when we try to use both theories together, such as that the Universe cannot grow bigger than a millionth billionth billionth billionth inch. In actual fact, the Universe is wider than ten billion light years, and clearly the theories are totally wrong when used together.

The best candidate theory to solve this nonsense is called string theory (also called superstring theory). String theory combines both relativity and quantum fields, while it can do calculations without getting into contradictions like the one I have just mentioned. But it is technically very difficult to carry out explicit calculations with string theory because it says photons (particles of light) and electrons are actually a tiny little string like a rubber band, not as simple as a point. That is why we have to use very advanced mathematics. On the other hand, new areas of mathematics have developed recently because mathematicians have been inspired by string theory. This way, physics and mathematics make progress with the help of each other. In the traditional structure of departments at universities, it is not easy for mathematicians and physicists to meet and work together. IPMU will create an environment where mathematicians and physicists bump into each other all the time by sharing the same space. This is how we wish to attack naive but big questions like the beginning of the universe.

In a similar way, astronomy and particle physics have been exact opposites and have not had much

in common, because astronomers study big objects like stars and galaxies in the sky, while particle physicists break up objects into their smallest parts to understand how they work. But now that it is clear that our Milky Way galaxy is filled with dark matter based on precise astronomical observations, it has come to be thought that dark matter is made of elementary particles born and left over from the time when the Universe was less than a billionth of a second old. It is clear that we need to go over the traditional structure of the universities and work together among multiple disciplines to address the question of what the Universe is made of. For example, we are pursuing a project to build a new device underground in the Kamioka mine to directly capture dark matter particles in our galaxy. At the same time, the world’s largest particle accelerator, called LHC, will start taking data later this year, and it aims at creating dark matter particles in the laboratory. We will work hard to extract as much information as possible from the enormous and complex data set from the LHC. In addition, we are developing projects to observe many millions of galaxies in the Universe to understand the properties of dark energy better. Our strategy at IPMU is to approach mysteries of the universe by putting together data from astronomical observations and laboratory experiments, combined with theoretical physics and mathematics.

Conclusion

It is only about half a year since IPMU was established, but we are already seeing researchers in varied disciplines joining us from all over the world, particularly young researchers. I’m looking forward to seeing the fruits of IPMU in the next ten years solve some of the questions I’ve had since my childhood.

The launch of the IPMU

Hiroaki Aihara

Deputy Director of IPMU

Science is intriguing, but studying science is more intriguing. However, the pinnacle is to study the universe using mathematical and physical approaches. This simple mindset is the driving force behind IPMU, and is possibly the most important factor for attracting world-class researchers to IPMU. At IPMU, we conduct enthralling research, regardless of nationality, sex, and age. All that is necessary to be a part of IPMU is a devotion to science and a constant drive for exploration. We fully believe that such a research environment will naturally cultivate outstanding achievements and new discoveries. Whether IPMU develops into a truly world-renowned center depends on how seriously we take this mindset and our resolve to advance science.

The research topics to be pursued at IPMU are very challenging, and may not lead to immediate results. It is possible that twenty or thirty years will pass before we obtain significant results. However, we intend to persevere with our research objectives until we learn the true identity of dark energy and dark matter, fully understand the grand unified theory, and unlock the mystery of neutrinos. To reach our goals, we will employ all our current knowledge and technology, and develop new ones, if necessary. Moreover, we intend to combine the wisdom of people from around the globe in mathematics, physics, and astronomy, and

to reach beyond the constraints of existing systems and language barriers. These ideals are the guiding principles for designing and managing the research organization called IPMU.

At IPMU, active researchers at the forefront of extremely segmentalized disciplines, including mathematics, physics, and astronomy, will come together to form one new, integrated organization. Questions that we will be answered include, “What will result from the unique approach of IPMU?” and “What breakthroughs will be made in science?” Although the approach of IPMU has many unknowns, advances in science have always involved risks. Thus, we believe that IPMU is an ideal environment for young, ambitious researchers, who are willing to expand their horizons, regardless of their original country of origin. Moreover, we strongly believe that young students in Japan no longer have the option of remaining indifferent toward science. Young Japanese students are extremely fortunate to have the rare opportunity for personal fulfillment by studying extremely interesting science, and perhaps changing the world through their endeavors at IPMU. Be ambitious, young people! We invite you to join us and become an engine for future science at IPMU.



I am an experimental particle physicist. My interests range from the search for new elementary particles using accelerators to dark energy survey using telescopes.

A model for new research in Japan

Yoichiro Suzuki

Deputy Director of IPMU

Our knowledge of the Universe has increased tremendously in the last decade and we now know that more than 95% of its substances are made of so-called dark energy and dark matter, though we do not know what they really are. The main subjects of the experimental groups of IPMU are to study dark energy and dark matter.

Although the neutrino mass shares only a tiny fraction of the substances of the Universe, the smallness of their masses, together with proton decay –another subject at IPMU– could provide clues to a unified theory of elementary particles, which would be an ultimate tool for studying the early Universe.

We will pursue those studies with the collaboration of the existing observatories. The study of dark energy will collaborate with the Subaru telescope. At the Kamioka Satellite of IPMU we will collaborate with Kamioka Observatory, the Institute for Cosmic Ray Research, the University of Tokyo and the Neutrino Science Center of Tohoku University, and then aim to make a significant jump in the area of observational particle experiments. IPMU is designed not only to provide common bases for the experiment, but also to bring scientists together. I hope that IPMU will provide a good environment to get experimentalists and theorists together and hold fruitful discussions.



My research interests are neutrino mass, dark matter and proton decay. Over the next few years I will particularly look for dark matter using a liquid xenon detector.

I will move to Kamioka after April and concentrate on research. The study of neutrino mass will enter a new era in a next few years with the T2K experiment, the second phase long baseline neutrino oscillation experiment from Tokai to Kamioka. Another immediate interest is to look for dark matter through direct interactions. The construction of the liquid xenon detector, which has the best sensitivity in the world, has already started and I expect that we will obtain new results to unveil dark matter in 5 years. I hope that we can also make a significant step forward to designing a realistic next generation proton decay and neutrino detector while we are conducting the above experiments.

This institute is established independent from any other department at the University. We must work our way up from the bottom. We need to establish a suitable personnel selection system, a world competitive salary system and a management organization to match the leadership of the director. These are difficult tasks, but worth doing.

Vision



Hiroshi Komiya

President of the University of Tokyo

The Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (IPMU) at the University of Tokyo was recently selected as a World Premier International Research Center. I am very pleased that the work of the Institute is now underway. Japan's universities are already in the thick of international competition. If all the personnel who make up the university –the faculty, students, and staff– are not of the highest caliber, we cannot prevail in this competition. I believe that an important key to success is internationalization of the university. The IPMU is located on the Kashiwa International Campus which is positioned as our model campus for pursuing internationalization. We have already established the Kashiwa International Office on the Kashiwa International Campus to provide information for daily living, Japanese lessons and other services to people from overseas. We also plan to build the Kashiwa International Lodge as residential accommodation for visiting researchers. It is in this environment that the IPMU is located as a place for world premier researchers to come together. Leading researchers in physics and mathematics from around the world will gather here under the youthful leadership of the Director, Hitoshi Murayama, invited from America.

The universe is said to have been created with the Big Bang. We entertain great hopes that the IPMU, rooted in the Kashiwa International Campus, will be the Big Bang that internationalizes Japan's universities.



Kisaburo Tokai

Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology

Recent years have seen fierce international competition to acquire the world's best brains. To sustain and raise the level of its science and technology amidst such competition, Japan must position itself within the global flow of intellectual mobility. To do so, it will be necessary to build research centers of a sufficiently high caliber of excellence to attract outstanding researchers to Japan from around the world.

Cognizant of this urgent need, this fiscal year MEXT established the program "World Premier International Research Center Initiative." It derives its impetus from the government's third S&T Basic Plan and the "Comprehensive Strategy for Fostering Innovation" formulated by the Council for Science and Technology Policy.

The WPI Program, as it is called for short, provides concentrated support for projects to establish and operate research centers that have at their core a cadre of very high-level investigators. These centers are to create a research environment of a high enough standard to give them a radiantly visible presence within the global scientific community—that is, to create a vibrant environment that will be of strong incentive to frontline researchers around the

world to want to come and work at these centers. This fiscal year, five WPI center projects were selected for funding.

The University of Tokyo's center "Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (IPMU)" seeks to elucidate the origin and evolution of the universe by generating and integrating mathematical, physical and cosmological knowledge in research on dark energy and matter, neutrinos, and physics beyond the standard model of elementary particles (e.g., string theory, quantum gravity) in an effort to shed light upon the forces acting on particles and the relationship between the origin of gravity and space-time structure.

Under center director Dr. Hitoshi Murayama's youthful and vigorous leadership, the research capacity amassed by the University of Tokyo will be merged with expertise possessed by the world's top researchers in this field. As his team's work progresses in establishing a top-caliber international research center with high global visibility, great expectation will be placed in both its scientific impact and its role in vanguarding the reform of Japan's S&T system.

Message

Sir Michael Atiyah

Mathematics and Physics in the 21st century

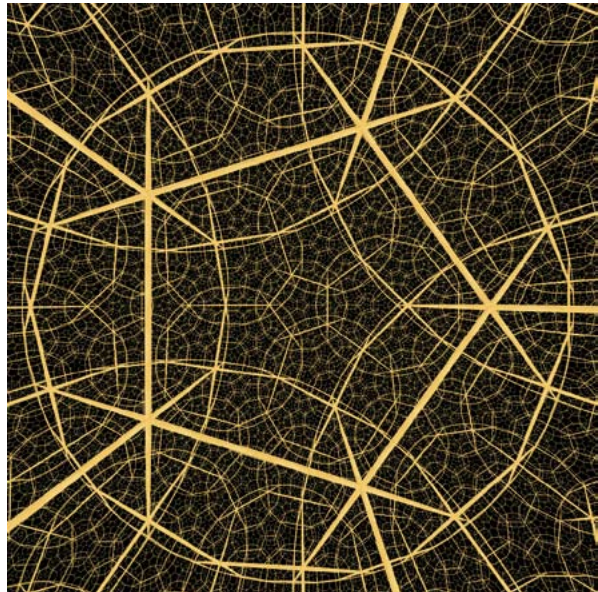
Over the past thirty years there has been a remarkable interaction between the most advanced areas of mathematics. Geometry in the broadest sense has become involved with the latest developments of quantum theory. So far the benefits have been seen on both sides and a whole new generation of young researchers have learnt a common language and are working together.

This joint activity is still in full flow and seems set to continue for some time. What will eventually emerge is uncertain. It may bring about a fundamental change in our view of the universe and it is certain to produce new perspectives in mathematics.

This is an exciting time for both physicists and mathematicians. These old disciplines are being revitalized and there are great challenges ahead for the next generation.



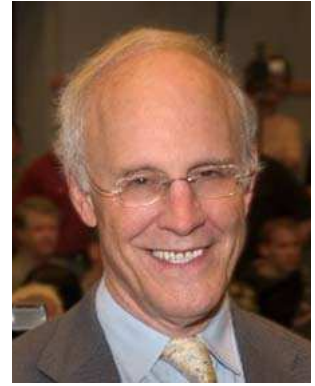
Sir Michael Atiyah has been Professor at Edinburgh, Cambridge, Oxford, and the Institute for Advanced Study at Princeton. He has also been the Master of Trinity College in Cambridge, the President of the Royal Society, and the Founding Director of the Newton Institute for Mathematical Sciences. Among numerous honors for his revolutionary contributions to mathematics are the Fields Medal in 1966 and the Abel Prize in 2004.



David Gross

I am delighted at the recent establishment of the Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (IPMU) at the University of Tokyo. The decision to concentrate on some of the most exciting questions facing science and to integrate mathematics with experimental and theoretical particle physics and cosmology, the excellent and dynamic leadership of the Institute and the generous support of the Japanese government, all auger well for the success of this bold initiative.

I and all the members of the Kavli Institute for Theoretical Physics extend congratulations to the IPMU on its establishment and look forward to fruitful collaboration and healthy competition.



David Gross is the Director of the Kavli Institute for Theoretical Physics at the University of California, Santa Barbara. He was awarded the 2004 Nobel Prize in Physics jointly with David Politzer and Frank Wilczek for the discovery of asymptotic freedom in the theory of the strong interaction.

Saul Perlmutter

It is wonderful to hear about the establishment of the Intitute for the Physics and Mathematics of the Universe at the University of Tokyo. This is a perfect time to dedicate a center to study the fundamental physics of our universe, with such wonderful new mysteries as dark energy and dark matter to explore.

It is great to have an institute that can showcase the leadership roles that Japanese scientists are playing in this exciting field. The international nature of IPMU will also foster the international collaborative work that has played such an important role in developing this field.

As a collaborator myself for many years with Tokyo experts in cosmology and supernovae, I look forward to an exciting decade of opportunities and discoveries at the IPMU, as the Universe offers us new surprises and insights. My best wishes on the occasion of the establishment of the new Institute!



Saul Perlmutter is a Professor at Lawrence Berkeley National Laboratory. He organized Supernova Cosmology Project and clarified the accelerating universe in 1999. He won the Department of Energy's 2002 E. O. Lawrence Award in the physics category.

Message

Our Team

Masataka Fukugita

Research Area: **Astrophysics**

Principal Investigator

I have worked in astrophysical cosmology, both theoretical and observational, over the last two decades. Around 1987 I began to study the thermal history and consistency tests of the Friedmann model of the Universe. In particular, I was concerned with the cosmological constant Λ , the need of which I realised when I worked on the galaxy number count, which witnessed significant progress with the advent of charge coupled devices. A non-zero Λ was also consistent with the view I obtained from the work to assess the determination of the Hubble constant from nearby galaxies. I raised the issue of the cosmological constant being non-vanishing, but this was an anathema at the time, something that should be avoided at any rate, and I was subsequently strongly criticised by all.

While I tried to assemble observational data, I realised that there was a serious lack of data that could be used for cosmology. Having felt that we could not make progress without more extensive observations, I became engaged in observations. While I was carrying out observational programmes, I was invited by my friends in the US to join a digital sky survey project they conceived (later named the Sloan Digital Sky Survey: SDSS). Having organised a group of Japanese astronomers, and having secured necessary funds, we joined the project in 1992 as its fifth initiating member and worked for this



project from the design stage. Since then I have dedicated myself to SDSS for more than a decade. Our contribution has been mostly in instrumentation and preparation for photometry. After completion of the instrument in 1999, I worked mainly on galaxy science and cosmology deduced from the survey. It took 15 years to reach fruition, but the results seem rewarding. The most important results are the verification and advancement of the cosmological model based on the Λ CDM universe, and the data themselves, which can be used for a multitude of precision astrophysical sciences for many years to come.

Along with work for SDSS, I also worked on theories and observations with the Subaru telescope. My most recent work, still under way, is to make an inventory of all energies present in the Universe and study transactions among the entries. This is a synthesis of the data and knowledge obtained over many years, and it shows the accuracy of our knowledge in many different astrophysical processes and observations.

Kunio Inoue

Research Area: **Experimental Physics**

Principal Investigator

The former Kamiokande was replaced by KamLAND. It holds 1000 tons of liquid scintillator and is especially sensitive to anti-electron-neutrinos. I'm leading the experiment and studying neutrino physics and applied neutrino physics with the detector. KamLAND observes anti-neutrinos from nuclear reactors about 180 km away. It has obtained evidence for reactor neutrino disappearance and explained why detected neutrinos from the Sun are much less than expected. It also observed that neutrinos disappear and reappear repeatedly giving clear evidence of neutrino oscillation. This also provides a precise measurement of the neutrino mass. Thanks to these measurements, information brought by neutrinos from the interior of the

obstacle objects can be constructed via a neutrino observation. KamLAND has successfully been applied to measure geologically-produced anti-neutrinos and pioneered a new field, "neutrino geophysics." It is also aiming at observing low energy solar neutrinos.



Michio Jimbo

Research Area: **Mathematics**

Principal Investigator

In statistical physics and field theory, there are a few models which admit exact solutions, such as the Ising model, one dimensional spin chains or two dimensional conformal field theory. They are known as integrable systems. These systems are special but often have deep mathematical structures, and are useful also as toy models. Another example is the so-called soliton equations, systems of differential equations which have abundant exact solutions. They are called classical integrable systems. My research interests are these integrable systems as well as the algebraic structures which lurk behind and control the symmetries of the system, such as infinite dimensional Lie algebras or quantum groups.

My research achievements include: ①correlation

functions of the two dimensional Ising model and monodromy preserving deformation of linear differential equations, ②transformation groups for soliton equations, ③formulation of quantum groups and their application to the Yang-Baxter equation, ④space of states for solvable lattice models and integral representations for correlation functions, ⑤elliptic analog of quantum groups. My current interest is to continue ④, with the aim of giving a purely algebraic description for correlation functions of one dimensional spin chains.



Our Team

Takaaki Kajita

Research Area: **Experimental Physics**

Principal Investigator

I have been working on the observation of atmospheric neutrinos and the study of neutrino oscillations. Information to be obtained by neutrino oscillation experiments is believed to be important for a deeper understanding of the laws in nature of both the elementary particles and the Universe. Therefore, I will continue working on neutrino physics.

I will work on the T2K experiment, which is a long baseline experiment between the J-PARC high intensity proton accelerator and the Super-Kamiokande detector. The main objective of this experiment is the search for yet-unobserved muon neutrino to electron-neutrino oscillations. Also, I will continue working on atmospheric neutrinos,

which could give us unique information on neutrino oscillations that could not be obtained by accelerator based long-baseline experiments. Finally, I will work on R&D towards a future very large neutrino detector for a large-scale long-baseline neutrino oscillation experiment.



Stavros Katsanevas

Research Area: **Experimental Physics**

Principal Investigator

My research interests include supersymmetry, neutrino physics, astroparticle physics, novel photodetectors and distributed systems of smart sensors.

My major achievements in the last 10-15 years are:

1. Authorship of the main supersymmetry generator of the LEP experiments: SUSYGEN and supersymmetry phenomenological papers
2. Co-authorship of the design of the neutrino beam from CERN to Gran Sasso
3. Design and realisation of a new hybrid photodetector of high sensitivity, high spatial and time resolution
4. Design of a very large distributed system for "intelligent" sensors for the neutrino

experiment OPERA

Since several years my science policy efforts are concentrated on the coordination of the European programs in astroparticle physics (network ASPERA) and my scientific efforts on the R&D in view of very large megaton-type detector for proton decay and neutrino physics and astrophysics.



Toshitake Kohno

Research Area: **Mathematics**

Principal Investigator

I am working in the area of geometry and topology in mathematics. My interests cover 3-dimensional manifolds, braid groups, knot theory, and the geometry of configuration spaces and moduli spaces. The fundamental group reflects the geometric structure of the space. A starting point of my research is to understand this non-commutative group in a geometric manner by means of differential forms on the space.

In attempting to construct representations of braid groups based on iterated integral of logarithmic forms, I found a relation between the monodromy of the KZ equation in conformal field theory and quantum groups. My recent research achievements include integral representation of the space of

conformal blocks by multi-variable hypergeometric functions, geometry of infinite dimensional spaces such as the space of knots and the loop spaces of configuration spaces and the algebraic structure of their homology. In particular, the latter is closely related to string theory.



Masayuki Nakahata

Research Area: **Experimental Physics**

Principal Investigator

My research interests are neutrino particle physics, neutrino astronomy, the search for the character of dark matter, and the experimental verification of the Grand Unified Theory (GUT). The observation of atmospheric, solar and accelerator neutrinos at Super-Kamiokande (SK) demonstrated that neutrinos have masses and change their species while traveling in space. I will perform a precise measurement of solar neutrinos, and investigate neutrino masses and mixings. If a supernova happens to appear in our galaxy, SK is able to detect about 10,000 neutrino events, and it would reveal the detailed mechanism of the supernova explosion. And if the supernova neutrinos accumulated from the beginning of the universe (called supernova relic neutrinos) are

observed, they should tell us about the history of star formation in the universe. It is well known that dark matter accounts for 20% of the energy of the universe, but the character of dark matter is not known yet. I want to unravel its character by a low background underground experiment. I would also like to find experimental evidence of GUT through proton decay.



Mihoko Nojiri

Research Area: **Theoretical Physics**

Principal Investigator



We now have evidence that most of the matter in our universe is unknown particles about which we understand very little. These particles must have been created in the early universe through high energy collisions of the standard model particles. Starting from 2008, the Large Hadron Collider (LHC) at CERN will reproduce such high energy collisions so that we have a chance to see the evidence of dark matter (DM) production in our universe.

My current research focuses on the discovery and reconstruction of DM at LHC. The direct production of such particles is very difficult to see, but in many models DM is produced with a set of new particles and production of DM can be observed as the missing energy. We may even be able to learn

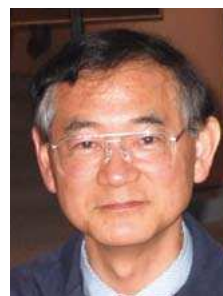
deeper reasons why these particles are needed by understanding such events carefully.

Half of my research activity involves collaboration with other experimentalists. The LHC is a big project which needs the coherent work of theorists and experimentalists, and I hope IPMU can play a key role in increasing communication between the two.

Ken'ichi Nomoto

Research Area: **Astronomy**

Principal Investigator



I am working on Supernovae, which are the stellar explosions at the end of their lives. These are the key events in the evolution of stars, formation of neutron stars and black holes, and origin of heavy elements. Supernovae occur under extreme conditions, whose studies could lead to finding a new physics.

My current focuses are: ①Type Ia Supernova Cosmology: These supernovae have revealed the presence of cosmic acceleration and Dark Energy. Clarifying the progenitors and explosion mechanism of these supernovae can contribute to precision cosmology. ②Evolution and Explosion of First Stars and Cosmic Chemical Evolution: Nucleosynthesis of stars with initially no heavy elements is compared with the chemical abundances of old stars.

③Gamma-Ray Bursts and Hypernovae: Studied are the production mechanisms of huge explosion energy from black holes and neutron stars. Studies of nucleosynthesis in Hypernovae would clarify the important contribution of hypernovae in the origin of elements.

Hiroshi Ooguri

Research Area: **Theoretical Physics**

Principal Investigator

In the past few hundred years, scientists have searched for fundamental laws of nature by exploring phenomena at shorter and shorter distances. Surprisingly, there are reasons to think that the hierarchical structure of nature will terminate at 10^{-35} meter, the so-called Planck length. Space and time do not exist beyond the Planck scale, and they should emerge from a more fundamental structure. Superstring theory is a leading candidate for a mathematical framework to describe physics at the Planck scale since it contains all the ingredients necessary to unify general relativity and quantum

mechanics and to deduce the Standard Model of Particle Physics. I am trying to develop theoretical tools to apply superstring theory to questions relevant to high energy physics, astrophysics, and cosmology.



Kyoji Saito

Research Area: **Mathematics**

Principal Investigator

To understand the arc length 2π of a unit circle is one of the most ancient mathematical subject. Since the unit circle C is given by the quadratic equation $x^2 + y^2 = 1$, using the complex variable $z = x + iy$, one has $\oint_C dz/z = 2\sqrt{-1}\pi$. This integral is called a period integral, since the inverse function of the indefinite integral $\int dz/z$ is the exponential function with period $2\sqrt{-1}\pi$. This period integral can be described by the Lie algebra of type A_1 . Period integrals over complex curves defined by cubic or quartic equations are called elliptic integrals, whose inversion functions are the elliptic functions. These elliptic integrals can be described by the Lie algebras of type A_2 , B_2 and G_2 of rank 2. In this way, several interesting mathematical structures are crossing in the study of period integrals. In order to construct a higher dimensional generalization of the elliptic integrals, called the integral of primitive forms, categorically, I introduced

certain infinite dimensional Lie algebras associated with infinite root systems. The flat structure (or, Frobenius manifold structure) and the flat coordinates, which appeared as a by-product of this study, is nowadays one of the standard languages used to describe mirror symmetry. It is an important theme to determine the automorphic forms obtained by inverting the period integral maps.



Katsuhiko Sato

Research Area: **Astrophysics**

Principal Investigator

I am working on particle astrophysics and cosmology, in particular gravitational collapse of stellar cores, supernova neutrinos and inflationary models in the early universe. Currently I am working on

①Propagation of UHCRs (Ultra High Energy Cosmic Rays) in intergalactic space and their observational anisotropies, ②Magnet-rotational collapse of stellar cores as the model of supernovae and the engine of gamma ray burst sources, ③Emission of gravitational radiation and neutrinos from collapsing stellar cores, ④Phase transition of ultra high density matter, in particular nuclear pasta structure in neutron stars and supernova cores, ⑤Big Bang Nucleosynthesis in an inhomogeneous universe, and so on. My research achievements include: ①proposal of the neutrino

trapping theory that neutrinos are confined and Fermi degenerate in supernova cores, ②proposal of the accelerating expansion model in the Early Universe (Inflationary Universe Model), and solving the monopole overproduction problem by Inflation (with M. Einhorn), ③proposal of multi-production of universes during Inflation (with M. Sasaki, H. Kodama and K. Maeda), and ④pioneering works on astrophysical and cosmological constraints on the mass and lifetime of Weakly Interacting Particles such as neutrinos and axions (with M. Kobayashi and H. Sato).



David Spergel

Research Area: **Astrophysics**

Principal Investigator

I am a theoretical astrophysicist. My interests range from the search for planets around nearby stars to the shape of the universe.

Over the last few years, the WMAP Satellite has been the main focus of my research. WMAP was successfully launched on June 30, 2001. The results from WMAP are described in a series of papers. The WMAP 2003 paper is currently the 4th most cited paper in the entire SPIRES catalog. My next major CMB project is the Atacama Cosmology Telescope (ACT) and supporting observations through the Southern Cosmology Surveys, an international collaboration.

I am part of a group of scientists and engineers at Princeton University who are developing new

technologies that should hopefully enable the direct imaging of earth-like planets.

I am part of the new Princeton Center for Theoretical Physics. In 2008/9, we are having a focused program on "Big Bang and Beyond." I am also part of the new Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (IPMU).



Henry W. Sobel

Research Area: **Experimental Physics**

Principal Investigator

My physics interests are focused primarily on tests of conservation laws and studies of fundamental interactions between particles. Historically I have focused on studies of the neutrino and the search for nucleon decay. I also have a significant interest in astrophysics and cosmic rays. My current research consists of the continuation of the Super-Kamiokande experiment and preparation for the long baseline neutrino oscillation experiment, T2K. The multi-detector experiment T2K currently under construction is likely to be the first neutrino oscillation experiment to discover a non-zero θ_{13} via appearance of electron neutrinos. It is optimized to detect electron neutrino interactions at the precise energy of maximum muon neutrino disappearance. This experiment will test what seems to be the only small angle in the neutrino mixing matrix. In addition,

this experiment will precisely measure muon neutrino disappearance and may find the first evidence that the large

θ_{23} mixing is not fully maximal. A possible second phase of the experiment, with upgraded beam and far detector, may be able to discover leptonic CP violation. In the first phase of this experiment, due to begin in 2009, Super-Kamiokande will be the far detector target. The newly rebuilt SK must be calibrated and understood before the beam begins. In addition, I am involved in the planning for a new deep underground laboratory in the U.S. called DUSEL, for "Deep Underground Science and Engineering Laboratory." My primary interest in this laboratory is the possibility of constructing a next generation nucleon decay detector.



Naoshi Sugiyama

Research Area: **Astrophysics**

Principal Investigator

I am working mostly on theoretical observational cosmology, in particular the structure formation of the universe. My main interest is temperature anisotropies of cosmic microwave background radiation (CMB). I am currently working on: reionization of the universe due to early star and galaxy formation, fluctuations of 21cm and evolution of primordial magnetic fields and their observational implications, observational clues about dark energy and dark matter, high energy astrophysics and so on. My research accomplishments include: building a Boltzmann code in the gauge invariant formalism to calculate density and temperature power spectra, proposing a useful fitting

formula for the cold dark matter power spectrum, comprehensive study of detailed physical processes on generation of CMB temperature fluctuations (with Wayne Hu), pointing out the possibility of measuring the space curvature of the universe by CMB fluctuations (with Marc Kamionkowski and David Spergel), and developing a realistic galaxy formation scenario based on semi-analytic galaxy formation (with Andrew Benson, Adi Nusser and Cedric Lacey).



Our Team

Akihiro Tsuchiya

Research Area: **Mathematics**

Principal Investigator

I started my mathematical research in the latter half of the 1960s in the field of differential topology. The research of differential topology was in the final phase of the development. I succeeded to determine completely the characteristic classes of spherical fiber spaces, which was a main problem in this field. In the latter half of the 1980s I began to study the mathematical foundations of conformal field theory. Conformal field theory is a two dimensional quantum field theory that describes the critical phenomena in two dimensional statistical physics. It was found by three Russian physicists in the beginning of 1980s, and



the close relationship with string theory in elementary particle physics was clarified afterwards. I developed conformal field theory by using methods and techniques of modern mathematics such as representation theory of infinite dimensional algebra, the theory of D-modules and the theory of moduli spaces in algebraic geometry. Through these results I gave new insights and directions to modern mathematics.

Tsutomu Yanagida

Research Area: **Theoretical Physics**

Principal Investigator

The Standard Model is extremely successful for describing the present-day physics of the elementary particles. However, there are several puzzles to be solved. I am very much interested recently in the puzzle of the Higgs particle, which is one of the crucial ingredients in the Standard Model. The Standard Model predicts the mass of the Higgs particle at about 100 GeV. However, bosons like the Higgs particle acquire huge masses from quantum corrections, in principle. It is, therefore, quite natural to consider that the Higgs particle receives a huge mass of the order of 10^{18} GeV on the the Planck scale. One may assume that the Higgs particle obtains a mass of about 100 GeV because of a miracle cancellation between a tree-level mass and the quantum corrections. But, that seems very unnatural and I do not believe it is the case. The above problem can be easily solved if there is supersymmetry, that is, an exchanging symmetry



between a boson and a fermion. If the symmetry is exact, masses of a boson and of a fermion are the same for each other. On the other hand we know that fermions do not receive large mass corrections from the quantum effects and hence masses of bosons are stable against the quantum corrections. Therefore, we may naturally explain the 100 GeV mass for the Higgs particle if the supersymmetry-breaking scale is about 1 TeV. We applied the above idea to the Standard Model and found an upper bound of the Higgs mass as <130 GeV. I expect that this prediction will not only be confirmed at the coming LHC experiment but also that various particles predicted in the supersymmetric Standard Model will be discovered at the LHC.

IPMU Map

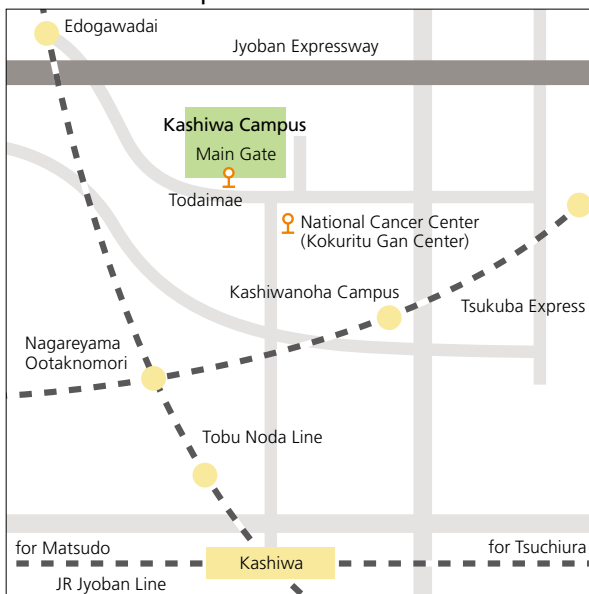
The University of Tokyo



Kashiwa Campus



For Kashiwa Campus



Access

From Kashiwanoha Campus Station on TSUKUBA EXPRESS Line, take Tobu bus for National Cancer Center "Kokuritsu Gan Center" (about 6 min's) then 3 min's walk, by taxi (about 4 min's), or on foot (about 25 min's).

From Kashiwa Station on JR Jyoban line, take Tobu bus for National Cancer Center "Kokuritsu Gan Center" (about 30 min's) then 3 min's walk, or by taxi (about 20 min's).

From Edogawadai Station on Tobu Noda Line, take Tobu bus for National Cancer Center "Kokuritsu Gan Center" (about 10 min's) then 3 min's walk, by taxi (about 7 min's), or go on foot (about 30 min's).



IPMU Interview

with David Eisenbud

Interviewer: Toshitake Kohn

Kohn: Professor Eisenbud, it is a great pleasure for me to have this opportunity to talk with you about the Institute for the Physics and Mathematics of the Universe.

As you might have seen on our web page, one of the main issues for us at our institute is to create new research fields that go beyond traditional boundaries between disciplines; especially between mathematics and physics. It is therefore essential that mathematicians and physicists get together for discussion and work together. Could you tell us your viewpoints

on the collaborations of mathematicians with physicists, astronomers, and scientists in other areas? What roles can mathematicians play in collaboration?

Mathematics and physics provide each other with sustenance

Eisenbud: It's an interesting question. It's not so easy to organize collaborations, as I'm sure you know. The history is very interesting in mathematics and physics, and in the other sciences, too. Very many of the great problems of mathematics have come from applications. Mathematics is deeply enriched by its contact with the applications. Many other very important ideas in mathematics come from pure imagination. Somehow, they're just thought up by mathematicians because they are curious about mathematical things. The surprising thing, I think, is that both of these turn out to be equally applicable afterwards. So while there are these two very different sources, the way they look in applications is the same.

Riemannian geometry was in some way an applied and in some way a pure interest

David Eisenbud is a professor of mathematics at the University of California, Berkeley, and was Director of the Mathematical Sciences Research Institute (MSRI) from 1997 to 2007. He was President of the American Mathematical Society (AMS) from 2003 to 2005. Eisenbud's research interests include commutative algebra, algebraic geometry, topology, and computational methods in these fields. He established the AMS Leonard Eisenbud Prize for Mathematics and Physics in 2006 in memory of his father, Leonard Eisenbud (1913-2004), an eminent mathematical physicist. The first prize was awarded to Hiroshi Ooguri, Andrew Strominger, and Cumrun Vafa in January 2008.

of Gauss and Riemann, and became the basis for relativity. The noncommutative algebra of infinite dimensional matrices became somehow the basis of quantum mechanics. These were completely unanticipated developments. I think that is a pattern which will continue in the future. The best guide we have to the future in this regard is the past. One can learn some lessons from this.

One is that it is very important for mathematics to be exposed to and interact with experimental and theoretical science. I think this kind of exposure is a wonderful thing the new Institute can bring about. That's where some of the problems that enrich mathematics will emerge. It's also very important to maintain the strongest possible purely disciplinary capability so that it can feed the interdisciplinary capability. You cannot have interdisciplinary science if you don't have disciplinary science. And I think that this university has such a strong tradition in mathematics, that it is well placed for that.

The current development of mathematics and physics is really very striking, because I think theoretical physics and mathematics are closer together today than they have been for 100 years. The development of string theory and the very intense work in quantum mechanics in our day is highly dependent on the tools that the mathematicians

develop. Physicists are extraordinary and voracious consumers of these ideas. As soon as they hear anything, they quickly apply it, and it becomes high fashion in physics and very exciting.

In return, the mathematicians get problems which they cannot solve because physicists are liable to do things with their mathematics that mathematicians would never dream of doing. And the physicists are much better than we are in computing things. They make computations, and if the computations are successful they know that what they did must be fundamentally correct. In many cases this is enough for them, whereas for us it's not enough and we need to go on and develop the mathematics behind this. So I think it's a very fruitful time of interaction there.

How to decipher mountains of data

That's of course only one side of the interaction with physics today. There's another side to it, and the situation is common to the other sciences, as well. Biology has led the way here, but it's very much across the board. That is, we are now capable, with electronic instruments and computers, of producing much more data than we can handle.

Toshitake Kohno is a professor of mathematics at the University of Tokyo, and he is a principal investigator of IPMU.



I remember the physicist Robert H. Dicke coming to speak once at a colloquium many, many years ago. He talked about measurements of the oblateness of the sun. The sun is not perfectly round, and exactly how much it fails to be round is important if you think about the verifications of general relativity by the bending of light around the sun. So he was very interested in this question of the oblateness of the sun. He collected data—at that time, in those early days, it was still only a tiny, tiny fraction of what we do today—but the data sat in his laboratory. Each day there would be a pile of printouts. Who could read all these things?

This is widely recognized as one of the fundamental problems of experimental science today: our ability to produce interesting data is far greater than our ability to absorb and understand it. The mathematicians are the only ones, I think, who have the tools which will begin to be effective in this way, mainly through statistics and combinatorics and computer science. One sees this very much in the study of the genome and the matching algorithms we have developed there. This bleeds over into computer science. By the way, I think one should regard computer science, mathematics, and statistics one subject for this purpose. These are very important trends.

Chance favors only the prepared institute

Kohn: Research in statistics and experimental physics is also an important aspect of our institute.

You mentioned interdisciplinary research. Let's talk about this. As a former director of MSRI, you have organized a number of activities in various fields of mathematics. I was very impressed by a program of MSRI in the mid-eighties. Two very different programs, one in topology and the other in operator algebras, started in parallel and then were unified to create a new field of mathematics, the discovery of the Jones polynomial. In your opinion, what makes interdisciplinary research possible at the Institute level?

Eisenbud: I have to say luck plays a big role. Since you can't control luck, you have to control the other things around luck. The great biologist Louis Pasteur said: "Chance favors the prepared mind." In the same sense, chance favors the prepared institute.

One thing that MSRI does regularly is to bring programs together which are in some way related, in the hope that this will make interaction more likely. Of course if you have very smart people working on related things and one group has the chance to learn from the other, then this makes the luck possible. One way to inhibit interaction is only to have very technical, specialized

discussions. Then one of the groups will have no chance of getting into the ideas of the other group. I think it is very important to have an organized forum in which each group is supposed to talk to the other group. It's quite hard for them to do, so unless you push hard they don't do it. But if they do it, then they are quite pleased afterwards, I think. So it's worthwhile.

There are various ways that one can do social engineering. Of course it's important simply that they meet each other, talk to each other, and know each other's names. This is difficult enough. I think it's also important to have series of elementary lectures by one group for the other group to make it possible for people to learn things they didn't know about already. Then there are new ideas, and it's exciting, and people talk to each other. "Oh yes! I have a tool that might fit your problem." And this then goes forward.

Approaches to string theory

Kohn: Recently there have been very close relationships, again, between geometry and physics; for example, mirror symmetry. Could you tell us about your prospect for future developments in synergy between mathematics and physics?

Eisenbud: I think the possibilities are very bright. In some ways, the mathematicians are still

working on physics circa 1950. We have really understood the mathematics of the kind of quantum mechanics that people were doing before 1950, but the kind of quantum mechanics that was done in the second half of the 20th century is still very hard for mathematicians to understand, and I think for physicists to understand, too.

The most accurate predictions in all of physics, in some way, are those in quantum electrodynamics. They are made by summing the first few terms of a series which is known to be divergent. This is not a happy situation. Despite lots of work I think this remains a difficult problem. People in physics integrate over nonexistent spaces all the time perfectly happily, and I think the absorption and understanding of that material will be very important for mathematics, and ultimately for the progress of physics, as well.

On the other hand, the problems of string theory involve the deepest parts of mathematics. I think physicists have made very good use of many surprising tools and results from mathematics, and have often led the way. There's a great interchange between the two fields. I think this is a very happy time for mathematics and physics in that regard.

Kohn: Thank you very much for your valuable comments.

News

Launch of IPMU

The University of Tokyo's newly founded Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (IPMU), was launched on October 1, 2007. IPMU has been approved as one of the World Premier International Research Center Initiatives (WPI) of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). IPMU is an international research institute. Hitoshi Murayama, MacAdams Professor of Physics at University of California, Berkeley, was appointed as its founding director. The goal of the institute is to discover the fundamental laws of nature and to understand the universe from the synergistic perspectives of mathematics, statistics, theoretical and experimental physics, and astronomy. On January 1, 2008, Hitoshi Murayama became the full-time director of IPMU.



Focus Week: LHC Phenomenology

The first international workshop

hosted by IPMU was held on 17 - 21 December 2007. The workshop, "Focus Week on LHC Phenomenology", was organized by Mihoko Nojiri (PI of IPMU) and held at the IPMU, Research Center Building, on the Kashiwa campus.

The Large Hadron Collider (LHC) at CERN in Switzerland will start operating in 2008. The aim of the meeting was to bring together leading experimentalists and phenomenologists working on LHC, to come up with new idea on physics beyond the standard model. To reach this goal, it is necessary to understand phenomena in the standard model: deep theoretical understanding of the standard model, and thus processes and responses involved in the LHC experiments, is essential to identify effects of the new physics in the experiments.

The following invited speakers with a range of expertise were invited. Patrick Meade and Maxim Perelstein are from the new physics side; Jay Wacker, Tilman Plehn, and Chien - Peng Yuan have strong backgrounds in both new physics and QCD (Quantum ChromoDynamics); Steffen Schumann is a QCD expert; Giacomo Polesello and Tomasso Lari are experimentalists who provide ideas on experimental reality, and Teruki Kamon puts the LHC experiments into the cosmological context.

It is all too often that workshops gather scientists to present their results yet leave no time for fruitful discussion. To overcome this, the focus week followed the format propose by Hitoshi Murayama. In the morning the participants had a few long talks, and in the afternoon they had time for intense discussions. On the second day the workshop was held with 11 talks by contributors. "The format worked very well," commented Murayama, "many found the discussion extremely useful for their research, and indeed came up

with new projects. The success of the workshop also clarified the importance of follow-up visitor programs, such as one month stays to finalize the projects started in this meeting."

Many theorists found the discussion with experimentalists extremely important, and vice verse. "We developed a consensus that it is important to set a series of workshops to understand phenomena at the LHC and to maximize the performance of the new physics searches," remarked Nojiri.



Hiroshi Ooguri wins the Eisenbud Prize

The American Mathematical Society (AMS) announced on January 7, 2008, that Hiroshi Ooguri, a PI of IPMU, is a co-recipient of the first Leonard Eisenbud Prize for Mathematics and Physics.

The AMS Eisenbud prize was established to honor work that has strengthened the connection between mathematics and physics, and is awarded only once every three years. Ooguri became the first winner of the prize, together with Andrew Strominger and Cumrun Vafa of Harvard University. The award ceremony on January 7 was held during the Annual Meeting of the AMS in San Diego, California.

The prize was awarded to them for their study on properties of black holes using string theory and the forefront of six-dimensional geometry.

In 1974, Stephen Hawking of Cambridge University shocked the

physics community worldwide by predicting that mysterious black holes are not entirely black but emit their heat in the form of light or particles and may even completely evaporate. However, the origin of their heat remained a big puzzle.

Ooguri, Strominger, and Vafa used string theory and the forefront of higher-dimensional geometry to study properties of small black holes that were beyond the reach of Hawking's theory. They showed that the unseen six dimensions of space explain the origin of the mysterious heat of black holes. Their achievement demonstrated the close connection between the frontiers of mathematics and fundamental questions in physics. "This prize is exciting since it reaffirms my belief that we need both mathematics and physics to understand our universe, and encourages our efforts to jump-start research activities at IPMU," said Ooguri.

IPMU scientists discover that supernovae are not round

On February 1, 2008, Keiichi Maeda, an assistant professor of IPMU, and an international team including Ken'ichi Nomoto, a principal investigator of IPMU, reported that they had uncovered the shape of core-collapse supernovae. They found that supernovae are not round, but rather pencil-like. The result sheds light on actively debated unresolved topics in astrophysics: the explosion mechanisms of supernovae and gamma-ray bursts.

They used the Subaru Telescope to perform spectroscopy and to divide the light from supernovae into different colors. The strength of the light as a function of its color then told the researchers what the shape of the emitting supernova material should be. A pencil-like explosion predicts a

characteristic feature -- a combination of slightly bluer and redder lights than its original color -- when viewed from the equatorial direction perpendicular to the direction of the strong explosion. They found that at least five among 18 supernovae showed this feature. Another four supernovae also showed hints of such a characteristic feature.

Considering that pencil-like explosions look round if they are viewed head-on, the probability of seeing the feature of pencil-like explosions viewed sideways indicates that all supernovae are not round. This is the first observational confirmation that supernovae are in general not round. The original work was published in the January 31, 2008 issue of Science Express (the online edition of Science).

Opening Symposium

The Opening Symposium of IPMU is to be held on March 11 and 12, 2008, at the Media Hall, Kashiwa Library, the University of Tokyo. The symposium aims to address all areas of research at IPMU and to discuss future directions, especially on how to realize the synergism of different research areas the physics, mathematics, and astronomy.

For this purpose, IPMU has succeeded in gaining the participation of leaders in the related fields from all over the world. John Ellis at CERN will address particle physics. Kenji Fukaya of Kyoto University will cover topics on algebraic topology and physics. Richard Gaitskell from Brown University will discuss direct dark matter search. Gian Giudice of CERN will address particle physics. David Gross, Nobel Laureate at Kavli Institute for Theoretical Physics, University of California, Santa Barbara, will give overviews on string theory. Masahiko Hayashi of the Subaru telescope, NAOJ,

will present various programs at the Subaru telescope. Karl Jakobs of Freiburg University will address particle physics, focusing on the LHC. Art MacDonald from Sudbury Neutrino Observatory will discuss neutrino physics. Nicolai Reshetikhin from University of California, Berkeley, will talk on integrable systems and physics. Yoichiro Suzuki from the Institute for Cosmic Ray Research, the University of Tokyo, will review neutrino physics and dark matter. Simon White from the Max-Planck-Institute for Astrophysics will provide astrophysics background related to IPMU researches. Shing-Tung Yau, a Fields medalist from Harvard University, will describe differential geometry and physics. James Siegrist from Lawrence Berkeley National Laboratory will mention on collaborations including IPMU.

The symposium is preceded by a reception on March 10, that will celebrate the foundation of IPMU.

Focus Week: Neutrino Mass

IPMU has announced that they will host the second "Focus Week" organized by Hitoshi Murayama of IPMU, on March 17 to 21, 2008. The topic of the Focus Week is "Neutrino Mass." It will follow the format of the first Focus Week, i.e., intentionally leave plenty of time with no schedule so that participants can exchange ideas, understand each others' work, and spawn new collaborations.

The "Focus Week: Neutrino Mass" is devoted to the elusive questions of neutrino mass, and will gather experts from various different areas. The following speakers are scheduled to take part. Pasquale Di Bari will give a talk on Leptogenesis. Andrea Giuliani will address Neutrinoless Double Beta ($0\nu\beta\beta$) Decay Experiments. Alex Kusenko will discuss Sterile Neutrinos

in Cosmology. Hitoshi Murayama will review Neutrino Oscillation Phenomenology. Elena Pierpaoli will give a talk on the Galaxy Power Spectrum. Serguey Petcov will address Neutrino Masses, Mixing, Majorana CP-Violation, $\bar{\nu}\nu$ -Decay and Leptogenesis. George Raffelt will give a talk on Supernova Neutrinos. Hamish Robertson will describe the KATRIN (Karlsruhe Tritium Neutrino) Experiment. Vadim Rodin will address $\bar{\nu}\nu$ Nuclear Matrix Elements. Anze Slosar will discuss the Lyman Alpha Forest Power Spectrum and its Use in the Cosmological Context.

In addition to these talks, one afternoon will be set aside for contributed talks aimed at encouraging participation.

Seminars

IPMU frequently hosts seminars given by researchers from all over the world. IPMU seminars are regularly held on every Wednesday, 3:30 pm at the IPMU, Kashiwa campus. IPMU Komaba seminars on Mathematical Physics are held in the Mathematical Science building, Komaba campus. We also frequently hold seminars which do not follow the regular schedule.

IPMU Seminar

Please contact the following organizers for further details: Fuminobu Takahashi, Keiichi Maeda, and Yukinobu Toda. The following seminars have been held or are scheduled to be held (as of 12 February 2008).

1. "String Theory and QCD"
Speaker: Shigeki Sugimoto (Nagoya Univ.)
Date: 30 October 2007
2. "Gravitational lensing and dark matter and dark energy"
Speaker: Masahiro Takada

(Tohoku Univ.)

Date: 8 January 2008

3. "Structure formation in the early Universe"
Speaker: Naoki Yoshida (Nagoya Univ.)
Date: 9 January 2008
4. "Holography and entanglement entropy"
Speaker: Tadashi Takayanagi (Kyoto Univ.)
Date: 10 January 2008
5. "Discriminating spin through quantum interference"
Speaker: Matthew Buckley (UC Berkeley / IPMU)
Date: 16 January 2008
6. "BOSS-The Baryon Oscillation Spectroscopic Survey in SDSS-III"
Speaker: Jim Gunn (Princeton Univ.)
Date: 28 January 2008
7. "The mass function of local active black holes"
Speaker: Jenny Greene (Princeton Univ.)
Date: 1 February 2008
8. "AGNs and suppressed star formation in massive galaxies at $z \sim 2.5$ "
Speaker: Mariska Kriek (Princeton Univ.)
Date: 1 February 2008
9. "Moduli stabilization, F-term uplifting and sequestering in supergravity models"
Speaker: Hiroyuki Abe (Yukawa Inst.)
Date: 6 February 2008
10. "Ultralight Gravitino at the LHC"
Speaker: Koichi Hamaguchi (Univ. Tokyo)
Date: 13 February 2008
11. "Direct and Indirect Dark Matter Search Experiment"
Speaker: Yuki Shimizu (Waseda Univ.)
Date: 14 February 2008
12. "GADZOOKS! A Potential Super-Kamiokande Upgrade"
Speaker: Mark Vagins (UC Irvine)
Date: 19 February 2008

13. "Gauge Theory, Gravity and Twistor String Scattering Amplitudes"
Speaker: Mohab Abou Zeid (KEK)
Date: 20 February 2008

14. "TBD"
Speaker: Alexandre Kozlov (Tohoku Univ.)
Date: 28 February 2008

IPMU Komaba Seminar

Please contact the organizers for further details: Akishi Kato and Toshitake Kohno. The following seminars have been held or are scheduled to be held (as of 12 February 2008).

1. "Topics on string theory, mirror symmetry, and Gromov-Witten invariants"
Speaker: Shinobu Hosono (Univ. Tokyo)
Date: 15 October 2007
2. "Some examples of triangulated and/or A_∞ -categories related to homological mirror symmetry"
Speaker: Hiroshige Kajiuura (RIMS / Kyoto Univ.)
Date: 29 October 2007
3. "Kontsevich quantization of Poisson manifolds and Duflo isomorphism"
Speaker: Mich  el Pevzner (U. Reims / U. Tokyo)
Date: 26 November 2007
4. "Deligne conjecture and the Drinfeld double"
Speaker: Dmitry Kaledin (Steklov Inst. / U. Tokyo)
Date: 10 December 2007
5. "Analytic torsion for Calabi-Yau threefolds"
Speaker: Ken-ichi Yoshikawa (Univ. Tokyo)
Date: 17 December 2007
6. "How to lift a construction by Hiroshi Inose to conformal field theory"
Speaker: Katrin Wendland (Univ. Augsburg)
Date: 12 February 2008

On winning Inaugural prize from the American Mathematical Society, for research on black holes

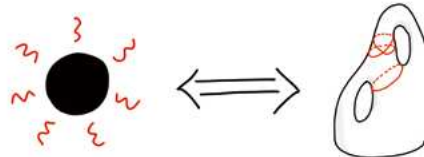
Hirosi Ooguri Principal Investigator of IPMU

Black holes have been important sources of inspiration in our quest toward unification of general relativity and quantum mechanics. I am grateful for the recognition by the American Mathematical Society, which encourages our endeavor to discover fundamental laws of nature and to understand the universe by the synergy of mathematics and physics.



ストリング理論で

ブラックホールの熱の正体 と 6次元の幾何学が



結びつけられた。

Black hole thermodynamics and 6-dimensional geometry are related by string theory.

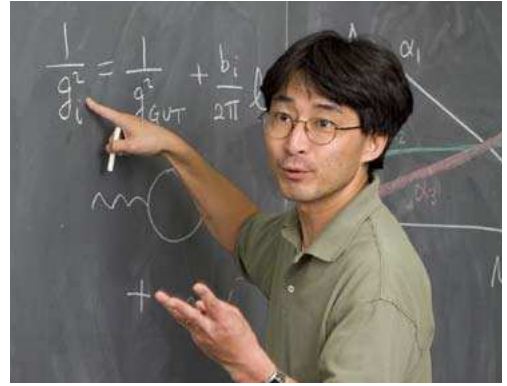
$$\sum_g \mathcal{N}(p, g) e^{g \cdot \phi} = \left| \exp \left(\sum_{g, m} F_{g, m} \lambda^{2-2g} e^{-m \cdot \phi} \right) \right|^2$$

\uparrow
 ブラックホールの状態数

\uparrow
 グロモフ・ウィッテン不変量

ここで $p + i\phi = (\lambda, \lambda\phi)$

The Ooguri-Strominger-Vafa formula relates the number of quantum states of a black hole (on the left-hand side) to the Gromov-Witten invariants of a Calabi-Yau manifold (on the right-hand side).



この拠点でめざすもの

村山 斉 (むらやま・ひとし) 専門分野: **理論物理学**

IPMU 機構長

子供のような好奇心

研究者の心は子供のときのままです。小さいときに夜空を見上げて宇宙の果てしなさ、自分の小ささをしみじみと感じた経験は皆さんにもあると思います。「いったい宇宙はどこまで広がっているのだろう?」、「宇宙には始まりがあったのかな?」、「星は何で出来ていて、どうして光っているのだろう?」。私たちはこんな子供時代の素朴な疑問を追いかけて続けます。

私が物理学の勉強を始めてまず驚いたことは、先人達のとてつもない努力によって、こうした数々の素朴な疑問が解かれていたことです。どんどん勉強するにつれて、「ああ、そうか!」と納得することの嬉しさのとりこになっていきました。

太陽はなぜ光る?

例えば、星は何で出来ていて、どうして光っているのか? 実際に星のそばへ行ってそのサンプルを採ってきたり、星の中へ入って光が出る仕組みを調べたりすることは、もちろんできません。ですが、星から出る光の「色」を詳しく調べ、実験室でさまざまな原子・分子から出る光の「色」と比べることで、サンプルを採らなくても星が何で出来ているかは調べる

ことができました。その結果、太陽を含めて星はほとんど水素でできていることがわかりました。科学ではこのように、直接触ることができない物をなんとかして調べなければならない、ということがよくあります。それでは、その水素がどうして光っているのでしょうか?

手がかりはアインシュタインの有名な式、 $E=mc^2$ がありました。物の重さ (m) というのは実はエネルギー (E) だということです。それで、太陽は自身の重さをエネルギーに変えることで光っているのだろう、ということになりました。だとすると、太陽は毎秒400万トンも軽くなっているはずですが、でも、どうしてこ

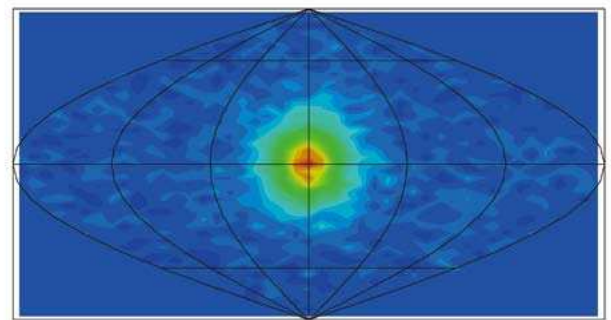


図1 太陽の中心からニュートリノが出ていることを、地下1000mの暗闇の中でスーパーカミオカンデが捉えた、決定的証拠。太陽中心の「写真」ともいえる。

の考えが正しいとわかるのでしょうか？ 実は、水素の重さがエネルギーに変わるときに副産物としてニュートリノという粒子が放出されます。日本のカミオカンデでそのニュートリノを捕まえることに成功し、この考え方の決定的証拠が見つかりました。こうして研究者は、光やニュートリノを使う観測、そしてアインシュタインの相対性理論や量子場の理論を総動員することで、直接触ることのできない星の中の仕組みまで調べてきたわけです。

ビッグバン

また、宇宙が大爆発で始まったことは「ビッグバン理論」としてよく知られています。誰も宇宙の始まりに戻って見てきたわけではありませんが、これは大爆発のいわば「化石」を見ることでわかりました。大爆発のときに出た光がいまでも漆黒の宇宙空間の中を飛び回っているのです。ただし、光も宇宙の膨張で引き延ばされて、目に見える光ではなく電子レンジで使われているのと同じマイクロ波になってしまっていま

す。この「化石」は特に宇宙の形、大きさ、年齢、そしてその中にあるエネルギーの内訳をよく知っているので、たいへん興味深いものです。特に21世紀に入ってから、人工衛星とテクノロジーの進歩のお蔭でとても詳しく調べることができるようになり、さまざまなことがわかってきました。例えば、宇宙の年齢は137億年、形は「真っ平ら」です。

新たな謎

一方、さらに勉強を続けていくと、逆に「まだこんなこともわかっていないのか！」という驚きもあります。星が何で出来ているのかはわかりましたが、実は宇宙が何で出来ているのかは、まるっきりわかっていないのです。すでに触れた「化石」のマイクロ波や、さまざまな観測と理論の比較から、宇宙のエネルギーの中で私たちが知っている物質（原子）は実は5%に満たないことが、過去10年ではっきりしました。残りの20%は得体の知れない「暗黒物質」、さらに摩訶不思議な宇宙の75%を占めるのが「暗黒エネルギー」。どちらも名前はあるものの、その正体はまったくわかっていません。

IPMUの取り組み

数物連携宇宙研究機構（IPMU）は、「宇宙はどうやって始まったのか？」、「何で出来ているのだろう？」、「どうして私たちは宇宙に存在しているのか？」などの素朴な疑問に迫るために発足しました。直接宇宙の始まりをやり直すわけにはいきませんし、なにせ「暗黒」のものは目にも見えません。どれも非常に難しい問題です。ですから、IPMUはさまざまな分野（天文、素粒子物理、数学）の第一線の研究者を集め、さまざまな手法を総動員して、共同で問題を解いていこうと考えています。また、人類共通の大疑問を解くには、日本人だけではなく、世界中から研究者を集めて当たっていかなくてはなりません。そのため日本にありながら、IPMUの公用語は英語です。そして新しい物の見方を生み出すためには、頭が柔らかく、ひとつの分野

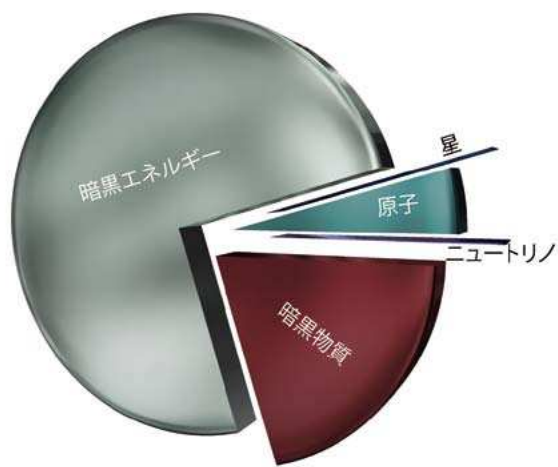


図2 宇宙のエネルギーの内訳。空に見える星はごくわずか。宇宙のほとんどは暗黒物質と暗黒エネルギーで構成されており、その正体はわかっていない。

にとらわれない若い力が大事です。

例えば、宇宙の始まりは「特異点」と言われ、そこでは私たちの知っている物理法則が使えません。まず、あまりにも強い重力の効果のため、アインシュタインの相対性理論を使わなくてはなりません。一方、とてつもないエネルギーのため、現代物理学のもうひとつの柱である量子場の理論も必要です。ところが、この2つの理論をいっしょに使おうとすると、訳の分からない変な答えばかりが出てきます。例えば、宇宙は0.000,000,000,000,000,000,000,000,000,001 cmよりも大きくなれるはずがない、という結論が出たりします。実際には、宇宙は10,000,000,000,000,000,000,000,000,000 cmよりも大きいですから、これは明らかに大間違いです。

この問題を解決するために有望視されているのがストリング理論（弦理論・ひも理論とも言う）です。ストリング理論は、相対性理論と量子場の理論を兼ね備えていて、なおかつ矛盾のない計算ができることがわかっています。とはいっても、光や電子が粒々ではなく、小さくてもゴムひものような広がった物だというので、実際の計算がとても難しくなります。そこで、最先端の数学を駆使しなくてはならないことになります。また、ストリング理論の研究から数学者が刺激を受け、数学の新しい分野が切り開かれてきています。こうして物理学と数学が互いに助け合いながら進歩していくのです。普通の大学の縦割りの環境では、数学者と物理学者が出会い、共同で研究する機会がなかなか生まれません。機構では、初めから数学者と物理学者がいっしょにいて、しょっちゅう顔を合わせる環境をつくります。こうして宇宙の始まりといった、素朴でありながら超難問に迫っていきます。

また、天文学は空を見上げて天体や銀河といった大きな物を対象にしていますし、素粒子物理学はものの成り立ちをとことん小さな部品に分けて調べる学問ですから、まったく正反対なもので、つながりはほとんどありませんでした。しかし、暗黒物質は私たちの銀河系に満ち満ちていることが精密な天体観測からはっ

きりした結果、これは宇宙がまだ誕生して1兆分の1秒というごくごく若いときに創られた素粒子だと考えられるようになりました。「宇宙が何で出来ているのか」という問題に迫るには、やはり普通の大学の環境では難しいので、分野を超えた共同研究が必要になってきます。例えば、IPMUでは旧神岡鉱山の地下に新しい実験装置をつくり、銀河の中の暗黒物質を直接捕らえようという計画を推進しています。また、今年始まるLHCという世界最大の粒子加速器を使った実験では、暗黒エネルギーを実験室で創りだそうとしています。IPMUでは、この複雑で大規模なデータから最大限の情報を引き出すための研究をしていきます。一方、宇宙の中の何千万個もの銀河の観測をして、暗黒エネルギーの性質を調べようという計画も進めています。こうした観測・実験から得られるデータを突き合わせ、さらに理論物理学と数学を組み合わせることで、宇宙の神秘に迫っていくことがIPMUの考え方です。

何の役に立つのか？

宇宙の仕組みを少しずつでも理解できると胸がすっきりしますが、日ごろの生活の役に立ったり、地球温暖化が防げるわけではありません。ですが、間接的に役に立つことはあります。こうした基礎研究のために開発したテクノロジーが医学や情報科学に役立った例はたくさんあります。例えば、ウェブは研究者がデータを交換するために開発したものが全世界に普及しました。また、素朴な疑問は中高生にもわかりやすく、科学や数学を志すきっかけになります。「理科離れ」が危惧されている今、技術立国日本の次の世代を育てるためにも一役買うはずです。

結び

まだ発足して半年にもなりませんが、すでにIPMUにはさまざまな分野の、特に若い元気な研究者が世界中から集まっています。子供時代からの素朴な疑問が、今後10年ほどの間に少しでも解けていくのが楽しみです。

IPMU発足にあたって

相原博昭 (あいはら・ひろあき) 専門分野: **素粒子物理学**

IPMU 副機構長

サイエンスはおもしろい。ましてや、サイエンスを研究することは、もっとおもしろい。数学や物理の手法によって宇宙を研究することは、圧倒的におもしろい。この単純な思いが、IPMUの原動力であり、世界トップレベルの研究者をひきつける最も重要な要素だと思う。IPMUに来れば、国籍、性別、年齢に関係なく、おもしろい研究を思う存分にすることができる。必要なのはサイエンスに対する情熱と絶えることのない探求心だけである。そんな研究環境を実現すれば、研究成果すなわち、新しい発見は自ずとついてくると信じている。新しい拠点が、真に世界をリードするまでに育つかどうかは、この思いをいかに真剣に受けとめ、どれだけ強い意志を持って、前進できるかにかかっていると思う。

IPMUで取り上げる研究テーマは、いずれも非常に手強く、すぐに結果が出ないかもしれない。満足できる結果が出るまでに、ひょっとすると20年あるいは30年かかるかもしれない。が、それだけの時間をかけても追求する価値とおもしろさがあると思う研究テーマに正面から取り組む。ダークエネルギーやダークマターの本当の姿、大統一理論の中身、ニュートリノの秘密など、どうしても知りたい。そのためには、我々が現在持つ知識そして使える技術の総力をあげて、も



加速器を使った新素粒子の探査と望遠鏡を使ったダークエネルギーの研究に従事している。

しなければ自ら開発してでも取り組みたい。そのためには、既存のシステムの制約や言葉の壁を乗り越え、数学、物理、天文学の世界的英知を結集して取り組みたい。これが、IPMUという研究組織を設計し運営するための指導原理だと思っている。

極端に細分化された数学、物理、天文学の最先端で活躍する研究者をひとつの新しい組織に放り込んで、いっしょに仕事をさせてみる。IPMUのこのユニークな試みからどんな新しいことが出てくるのか？

どんなサイエンスのブレークスルーが生まれるのか？

リスクのある試みかもしれない。が、リスクを負ってでも前進しない限りサイエンスの醍醐味は味わえないし、成果もあがらない。IPMUには、そのリスクに挑戦する野心的な若い研究者が各国から集結しつつある。日本の若者も理科離れなどと言っている暇はない。圧倒的におもしろいサイエンスを自ら楽しむチャンスは、そう頻繁に来るものではない。若者よ、IPMUを目指せ。結果は、必ずついてくる。



これまでの研究の中心はニュートリノ質量、これからは暗黒物質の研究が重要課題に、そして、陽子崩壊の探索はライフワークである。

日本における新しい研究所のモデルに

鈴木洋一郎 (すずき・よういちろう) 専門分野: **観測的素粒子実験**

IPMU 副機構長

我々の持つ宇宙の知識は、この10年間で飛躍的に増加し、また大きく変貌した。今、我々は、宇宙の物質・エネルギーのうち95%以上が、光では観測できない暗黒エネルギー・暗黒物質といわれるものであることを知っている。しかし、それらの正体は全く未知だ。本拠点 (IPMU) の実験グループの中心課題は、それら、暗黒エネルギー、暗黒物質を観測・研究し、その正体を解明することだ。

ニュートリノの微小質量は、宇宙の物質・エネルギーにはほとんど貢献しないが、その微小な質量は、陽子崩壊とともに、素粒子の統一理論への糸口である。統一理論は、宇宙初期を研究するための一種の道具である。

我々は、これらの研究を既存の実験拠点と連携して進める。暗黒エネルギーは国立天文台すばる望遠鏡との連携である。IPMUが設置する神岡サテライトでは、宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設、東北大学ニュートリノ科学研究センター等との連携により、暗黒物質探索や、ニュートリノ質量の研究など観測的素粒子実験の飛躍的展開をめざす。IPMUは神岡サテライトにおいて、地下実験の基盤を構築するだけでなく、人員を配置して実験屋と理論屋が徹底的な議論を展開する場を提供する。

私は4月から神岡に居を移し研究に専念する。ニュートリノ質量の研究は、現在建設中のT2K実験 (第2世代の長基線ニュートリノ振動実験であり、東海村JPARCにより作られるニュートリノビームをスーパーカミオカンデで観測する) により新たな段階に入るが、もう一つの大きな興味は暗黒物質の直接検出実験である。世界最高感度を持つ液体キセノン検出装置の建設はすでにはじまっている。2年後にはデータ収集がはじまる。5年後くらいには暗黒物質の正体を解き明かすような成果を期待したい。このような実験を遂行しつつ、将来の陽子崩壊・ニュートリノ検出器に必要な開発・デザインをすすめてゆく。

IPMUは東京大学のどの部局にも属していない、ゼロから作られた研究所である。しかも、これまでにない世界と競合できる教員人事制度や給与システムの構築、そして拠点長のリーダーシップが発揮できる組織や運営の仕組みの構築が必要だ。この大変な作業は、拠点長のリーダーシップの下、事務部門の大いなる努力で、この半年の間でようやく姿が見えてきたが、未完である。困難もあるがやり通さなくてはならない。これが、日本における新しい研究所のモデルになる。

Vision

小宮山 宏 (こみやま・ひろし)

東京大学総長

この度、世界トップレベル国際研究拠点プログラムのひとつとして本学の「数物連携宇宙研究機構 (IPMU)」が選ばれ、過日、発足したことは誠に喜ばしい限りです。

すでにわが国の大学は国際的な競争のただ中に置かれています。教員、学生、スタッフなど大学を構成するすべての人材が一流にならないければ、この競争に勝ち残ることはできません。私がその重要な鍵のひとつと考えているのは「大学の国際化」です。

IPMUが設置されるのは、本学が国際化を推進するモデルキャンパスと位置づける柏国際キャンパスです。柏国際キャンパスには、すでに外国人向けのサービスを行う「柏インターナショナルオフィス」が開設され、生活情報の提供や日本語研修などさまざまなサービスを提供しています。また、外国人研究者が居住するための「柏インターナショナルロッジ」も建設する予定です。

このような環境に、世界トップレベルの研究者が集うIPMUが設置されるのです。米国から招聘した若きリーダーの村山斉機構長の下、本学をはじめ世界中から物理学と数学のトップレベルの研究者がこの地に集います。宇宙の創成は「ビッグバン」から始まったと言われています。柏国際キャンパスに根ざす数物連携宇宙研究機構が、わが国の大学国際化のビッグバンになることを大いに期待しています。



渡海 紀三朗 (とかい・きさぶろう)

文部科学大臣

近年、優れた頭脳の獲得競争が世界的に激しくなっています。その中で我が国が科学技術水準を維持向上させていくためには、優秀な人材の世界的な流動の「環」の中に位置付けられ、世界中から優秀な人材が集まる研究拠点を我が国にも作っていく必要があります。

このような問題意識の下、文部科学省では、「第3期科学技術基本計画」や総合科学技術会議で策定された「イノベーション創出総合戦略」を踏まえ、本年度から「世界トップレベル研究拠点プログラム（WPIプログラム）」を開始することとしました。

本プログラムは、高いレベルの研究者を中核とした研究拠点構想を集中的に支援し、世界中の第一線の研究者が是非そこで研究をしたいと集まってくるような、優れた研究環境と高い研究水準を誇る「目に見える拠点」の形成を目指すものであり、本年度に5拠点を採択したところです。

貴大学の「数物連携宇宙研究機構」は、数学、物理学、天文学等の英知を結集して現代基礎物理学の最重要課題である暗黒エネルギー、暗黒物質、ニュートリノ、統一理論（超弦理論や量子重力）等の研究を進め、素粒子に働く力や重力の起源と時空構造との関係を明らかにし、宇宙の起源と進化の解明を目指すものであり、今後の基礎物理学の発展に大きな寄与が期待されます。これまで貴大学が培ってきた「力」と新たに加わる世



界トップレベルの研究者の方々がもつ「力」を、若きリーダーである村山拠点長の強力なリーダーシップによって融合させ、「目に見える世界トップレベル研究拠点」を確実に実現していくとともに、我が国における科学技術システム改革の先駆けとして、大きなインパクトを持つ活動を展開していただきたいと期待しています。

Message

サー・マイケル・アティヤー

Sir Michael Atiyah

21世紀における数学と物理学

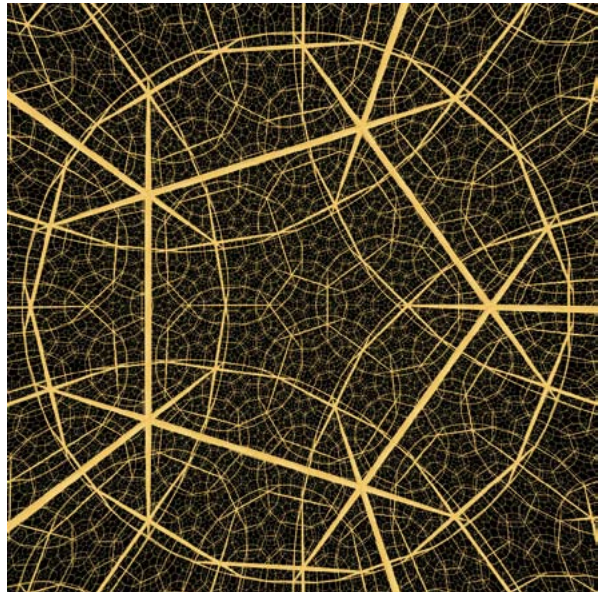
過去30年以上にわたり、数学の最先端の分野で目覚ましい交流が行われてきました。それに伴い、広義の幾何学の分野は、最新の量子論の発展に深く関わってきました。そして現在、数学と物理学の両方の分野でその成果が見られ、新世代の若い研究者たちが数学という共通言語を学び、彼らは共に研究を進めるようになりました。

この数物連携の研究は依然として隆盛期にあり、これはこれから先もさらに続くものと考えられます。その結果として何が作り上げられるかは、まだはっきりとはわかりません。それは私たちが考えている宇宙像の根幹を揺るがすものかもしれません。いずれにしても、数学の分野に新しい視点を導くものになることは確かだと言えます。

現在は、物理学者と数学者の双方にとって活気に満ちた時代です。どちらも古い学問ですが、新たな活力が注入され、そして、次の世代には大きな挑戦が待っていることでしょう。



エジンバラ大学、ケンブリッジ大学、オックスフォード大学、プリンストン高等研究所の教授を歴任。また、ケンブリッジ大学トリニティーカレッジ元学長、王立協会元会長、ニュートン数理科学研究所初代所長。数学に対する革命的な業績により1966年にフィールズ賞、2004年にアーベル賞受賞。その他多数の受賞歴。



デイビッド・グロス

David Gross

東京大学における数物連携宇宙研究機構（IPMU）の設立を、心よりお喜び申し上げます。

現代科学の最も心躍る問題の解決に集中し、数学を実験的・理論的素粒子物理学および宇宙論と融合するという決断、IPMUの卓越した力強いリーダーシップ、そして日本政府の手厚い支援。これらすべてが世界トップレベルの成功へと導く兆しと言えるでしょう。

私をはじめとしたカブリ理論物理学研究所のスタッフ全員が、IPMUの創設にお祝いを申し上げます。そして、実りの多い共同研究と健全な競争関係が築けることを期待しています。



現在、カリフォルニア大学サンタバーバラ校にあるカブリ理論物理学研究所長。強い相互作用の理論における漸近自由性を発見し、デイビッド・ポリツァー、フランク・ウィルチェックと共に2004年のノーベル物理学賞を受賞。

ソール・パールミュッター

Saul Perlmutter

このたびは東京大学に数物連携宇宙研究機構（IPMU）が設立されると伺い、たいへん素晴らしいことだと思っています。暗黒エネルギーや暗黒物質といった不思議な新しい未解決問題がそろっているこの時期に、このような研究機構を設立することは、宇宙の基本的な物理学研究に大きく貢献する絶好の企画だと思います。

このような活気のある分野に、日本人の科学者が主導権を発揮する機構を立ち上げることは偉大なことです。IPMUは、この分野の発展に重要な役目を果たす国際共同研究を盛り上げることでしょう。

東京大学の宇宙論や超新星の専門家と長年共同研究を行ってきた者として、私は今後10年間にIPMUを舞台として胸躍る機会があり、発見があることを楽しみにしています。なぜなら、今や宇宙は新たな驚きと洞察をもたらしてくれるのですから。IPMUの設立に際し、心よりお祝い申し上げます。



現在、ローレンス・バークレー国立研究所教授。超新星-宇宙論プロジェクトを企画し、1999年に宇宙が加速膨張していることを明らかにした。2002年ローレンス賞（物理学）受賞。

Message

Our Team

福来正孝 (ふくぎた・まさたか) 専門分野: 天体物理学

IPMU 主任研究員

天体物理學的宇宙論の理論的及觀測的研究を二十年來行ってきた。1988年頃より理論的研究と併行して其時点で入手可能な觀測データを用いたFriedmann Universeの検証の仕事を始めたが、宇宙論の検証に耐える觀測データは僅少で宇宙論を實証科學として意味あるものにする爲には、宇宙論的に意味を持得る觀測の必要性を痛感した。之は今迄のものと根本的に質と規模の異った觀測の必要性を意味するものであり、それ故に觀測に着手した。

丁度この時期にアメリカの友人よりdigital sky survey計画（其後最大の出資者の名を冠しSloan Digital Sky Survey: SDSSと名付けられた）への参加を打診されたので、宇宙論に興味を有する日本人の天文家のグループを作り経費を「文部省特別推進研究」として獲得して参加する事にした。従って日本のグループは同計画当初のデザイン時期からの参加であり特に測光觀測の準備—デザインと機材の建設—に寄與してきた。私自身は十年以上に亘り此計画の遂行の爲働いてきたが1999



年の觀測開始以後は、宇宙論と銀河天文學の解析を中心に行っている。現段階に於いてSDSS計画は當初の目標を達成したものと認知されているが、就中最も重要なのは Λ CDMに基づく宇宙論の検証とその中味の精密化である。更にSDSSに據って取得されたデータは今後何十年に亘り精密な天文科學の研究に用ひられるであらう。

現在私の行っている主要研究課題は、宇宙に存在するエネルギーを目録化し各項目間の収支の無撞着性を調べ上げる事である。この仕事は今迄に爲された觀測情報を総合編纂するものであると共に、各天体物理過程の現在の知識を一つの見方で統合しやうとするものであり、無撞着性の試験は我々の知識の限界を探る事を目標としている。

井上邦雄 (いのうえ・くにお) 専門分野: 実験物理学

IPMU 主任研究員

かつてのカミオカンデがあった場所では、液体シンチレータ1000トンを使って、特に反電子ニュートリノに検出感度の優れたカムランドが実験を続けています。このカムランドで、私はニュートリノとニュートリノを応用した研究を行っています。

カムランドは約180km離れた原子炉からやってくる反ニュートリノを観測し、ニュートリノが減少する証拠を見つけました。これは、太陽から来るニュートリノがなぜ予想よりも少なく観測されるのかを解明することになります。また、ニュートリノが減ったり増えたりを繰り返す「ニュートリノ振動」のはっきりした証拠も観測し、ニュートリノ質量2乗差の精密測定に成功しました。ニュートリノの伝搬が理解できたことで、通常は観測できない天体中心をニュートリノで

観測できるようになったのです。

さらにカムランドは、地球内部起源の反電子ニュートリノ観測を世界で初めて試み、「ニュートリノ地球物理学」を創出しました。今後は、よりエネルギーの低い太陽ニュートリノを観測し、太陽の内部も解明したいと考えています。



神保道夫 (じんぼう・みちお) 専門分野: 数学

IPMU 主任研究員

統計物理学や場の理論において、イジングモデルや1次元のスピンの系、2次元共形場理論など、厳密に解けるモデルが知られており、可積分系と呼ばれます。これらは特殊ですがしばしば数学的に深い構造を持ち、またトイ・モデルとしても有用です。ソリトン方程式と呼ばれる厳密解を豊富にもつ一群の微分方程式系もその例で、古典可積分系といいます。研究対象はこれらの可積分系と、その背後にあって対称性を統制している無限次元リー代数や量子群などの代数的な構造です。

これまでの研究成果は、①2次元イジング模型の相関関数と、線形微分方程式のモノドロミー保存変形、②ソリトン方程式の変換群の研究、③量子群の定式化とヤン・バクスター方程式への応用、④可解格子模型

の状態空間の研究と相関関数の積分表示、⑤楕円型量子群の研究などです。

現在の関心は④の続きで、1次元量子スピン系の相関関数を純代数的に記述することです。



Our Team

梶田隆章 (かじた・たかあき) 専門分野: 実験物理学

IPMU 主任研究員

おもに大気ニュートリノとニュートリノ振動の研究をしてきました。素粒子の「標準模型」を超えてより深く宇宙とミクロの世界の自然法則を理解しようとするときに、ニュートリノの小さい質量とそれに関連する物理が非常に大切な情報を与えてくれると考えられています。そこで、これらの情報を最大限に引き出すために、今後もニュートリノの研究を行っていきます。今後は、①茨城県東海村で現在建設中の大強度陽子加速器 (J-PARC) でニュートリノを生成してスーパーカミオカンデで観測するT2K実験での未発見の振動モードの観測と、②スーパーカミオカンデで観測される大気ニュートリノを用いて、加速器を用いたニュートリノ振動実験では得られないニュートリノ振動の効果の観測などを行う予定です。また、将来のより大規模な



ニュートリノ振動実験に向けた超大型ニュートリノ測定器の開発も重要な研究テーマです。

スタブロス・カサネバス 専門分野: 実験物理学

Stavros Katsanevas

IPMU 主任研究員

研究対象としているのは①超対称性、②ニュートリノ物理学、③宇宙素粒子物理学、④新しい光検出器、⑤スマートセンサーのための分散型データ取得システム、などです。

これまで10～15年かけて研究してきた主な成果は以下の通りです。

- ①LEP (高エネルギー電子・陽電子衝突装置) 実験における主要なモンテカルロ超対称性事象発生プログラムについての論文の第一著者 (SUSYGENと超対称性の現象論についての論文)
- ②CERNからGran Sassoへ照射するニュートリノビームの設計における論文の共著者
- ③高感度で空間・時間の高分解能を備えた新しいハイブリッド型光検出器の設計と実現



- ④ニュートリノ実験 (OPERA) においてインテリジェントセンサー (情報処理機能をもつ検出器) のための超大型分散型データ取得システムの設計。

数年前から、科学政策についての活動としてヨーロッパにおける宇宙素粒子物理学の研究計画の連携活動 (network ASPERA) に尽力してきました。そして研究の面では、陽子崩壊の検出やニュートリノ物理学、宇宙物理学のための超大型100万トン級検出器の開発にも力を注いできました。

河野俊丈 (こうの・としたけ) 専門分野: 数学

IPMU 主任研究員

研究領域は数学の位相幾何学で、おもに3次元多様体、組みひも群と結び目理論、配置空間とモジュライ空間の幾何学などです。空間内に描かれたループのホモトピー類のなす群は基本群と呼ばれ、その空間の幾何構造を反映しています。基本群は一般に非可換で、この群を空間上の微分形式を用いて幾何学的に理解することが、研究の出発点です。

組みひも群は、平面内の相異なる点の動きを記述していますが、組みひも群の対数微分形式の反復積分を用いた表現の構成の研究の過程で、私は、共形場理論におけるKZ方程式のモノドロミー表現と量子群との関連を見いだしました。また、これを発展させて曲面の写像類群の共形ブロックの空間への作用を組み合わせ的に表現し、ウィッテンによってチャーン・サイモ



ンズゲージ理論を用いて提唱された3次元多様体の位相不変量のヘーガード分解による記述を与えました。最近の研究成果は、共形ブロックの空間の多変数超幾何関数による積分表示、結び目全体の空間や配置空間のループ空間などの無限次元空間のホモロジー群の代数構造にわたっており、特に後者は弦理論とも深く関わっています。

中畑雅行 (なかはた・まさゆき) 専門分野: 実験物理学

IPMU 主任研究員

最も興味をもっている研究は、ニュートリノによる素粒子物理学、ニュートリノを用いた天文学、宇宙暗黒物質の正体の解明、そして大統一理論の検証です。スーパーカミオカンデによる大気、太陽、加速器ニュートリノの研究で、ニュートリノが質量をもち飛行中に種類を変えてしまうことが分かりました。私は特に太陽ニュートリノの精密観測を進め、ニュートリノの質量や、「混合」といった素粒子の性質を探りたいと思います。超新星爆発がわれわれの銀河で起これば、スーパーカミオカンデは約1万事象ものニュートリノ現象を捕らえることができ、超新星爆発のメカニズムの詳細を探ることができるはずです。また、宇宙初期に始まる超新星爆発からのニュートリノ（超新星背景ニュートリノ）を捕らえられれば、宇宙の星形成の歴史



を探ることができます。宇宙のエネルギーと物質の20%は「暗黒物質」と呼ばれる謎の粒子です。地下での低バックグラウンド実験によって、その正体を解明したいと思っています。素粒子の究極理論である大統一理論が正しければ、陽子の崩壊が観測されるはずです。陽子崩壊を発見して大統一理論を検証したいと思っています。

Our Team

野尻美保子 (のじり・みほこ) 専門分野: 理論物理学

IPMU 主任研究員

暗黒物質の存在は宇宙の大域的な観測によって確立し、それが未知の素粒子からなるという証拠も集まっています。一方、いわゆる素粒子の「標準模型」では、暗黒物質を説明することはできません。また、暗黒物質の存在を説明しようとすると、素粒子模型を大きく拡張しなければならないのではないかと考えられています。

「暗黒物質とは何か」だけでなく、「それがなぜ宇宙に存在するか」も大きな問題です。暗黒物質は宇宙初期の高温の粒子と粒子の衝突から生まれ、宇宙が高速で膨張する中で消えずに残ったというのがひとつの説です。この説を確認するためには、実際に素粒子どうしを高エネルギーで衝突させるのが有効です。2008年から始まるLHC実験は、高エネルギーの陽子を今ま



での7倍のエネルギーで衝突させ、そこで起こる反応を調べることができる実験です。この実験は、標準模型では唯一未発見のヒッグス粒子や、暗黒物質をはじめとする未発見の粒子を探索することを目標の一つとしています。

最近のおもな研究は、この暗黒物質とLHC実験に関係しています。また、理論と実験との共同研究を重視し、国際的なワーキンググループなどにも関わっています。IPMUを広く海外の実験や理論の研究者の集まる場にしたいと思います。

野本憲一 (のもと・けんいち) 専門分野: 天文学

IPMU 主任研究員

私の主たる研究対象は、超新星と呼ばれる、ある種の星の一生の最後に起こる大爆発です。この爆発の研究は、星や銀河の進化、中性子星・ブラックホールの形成、重元素の起源の解明につながります。また、地上では実現できないような極限的状況での現象なので、現在の物理学の適用限界を超えるような進展も期待されます。現在のテーマは次の3つです。

①Ia型超新星による宇宙論：Ia型という超新星を観測すると、宇宙膨張の加速と暗黒エネルギーと呼ばれる謎の斥力源の存在を調べることができます。どの星がどのような機構でIa型超新星爆発を起こすのかを明らかにして、超新星を使った精密宇宙論と暗黒エネルギー研究の進展に貢献します。

②宇宙の第一世代星の進化・爆発と、宇宙の化学進



化：重元素を含まない星の進化・元素合成の理論と、銀河初期に誕生した星の化学組成の観測から、第一世代星の正体と宇宙初期の化学進化の解明を進めます。

③ガンマ線バーストとそれに付随する極超新星の研究：巨大爆発を引き起こすようなブラックホール・中性子星からのエネルギー放出機構、極超新星の巨大爆発による元素合成と衝撃が、宇宙初期の天体の形成・進化に与えたと思われる影響を解明します。

大栗博司 (おおぐり・ひろし) 専門分野: 理論物理学

IPMU 主任研究員

自然界には階層構造があって、より微細な世界の現象を調べていけば、自然の基本的な姿が明らかになるとされてきました。しかし最近になって、この自然界の階層構造は 10^{-35} メートル（いわゆるプランクスケール）で打ち止めになると考えられるようになりました。時間や空間ですらプランクスケール以下には存在せず、何かまだよくわからないより基本的な構造から創発されなければなりません。超弦理論は、一般相対性理論と量子力学を融合し、素粒子の「標準理論」を基本原理から導き出すために必要なすべての材料を含んでいるので、プランクスケールの物理現象を記述する数学的枠組みの最有力候補とされています。私は、この超



弦理論を使って、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ます。

斎藤恭司 (さいとう・きょうじ) 専門分野: 数学

IPMU 主任研究員

単位円周の長さは 2π という最も古い数学の対象です。よく知られるように単位円 C は二次方程式 $x^2 + y^2 = 1$ で与えられ、複素数 $z = x + iy$ を使えば $\oint_C dz/z = 2\sqrt{-1}\pi$ となります。このような積分を周期積分、その値を周期と呼びます。理由は不定積分 $\int dz/z$ の逆関数が $2\sqrt{-1}\pi$ を周期とする指数関数だからです。また、この周期積分は A_1 型のリー環により記述できます。次に円周 C のかわりに定義方程式が三、四次の曲線上の複素積分を考えると、2つの基本周期をもつ楕円積分が現れ、その不定積分の逆関数が楕円関数となります。これらの周期積分は位数2のリー環 A_2 、 B_2 、 G_2 で記述されます。このように周期積分を通して深い数学構造が次々に現れるのは面白いことです。

私はこれらの周期積分を高次元化する積分形式としての原始形式を圏論的に構成するために、無限ルート系と無限次元リー環を研究しています。その研究過程



で生まれた平坦構造（フロベニウス構造）と平坦座標という概念は、不思議なことに物理におけるストリング理論のミラー対称構造を記述する言語のひとつにもなっています。原始積分による周期写像の逆写像の平坦座標成分である原始保型形式の決定は、今後の重要課題です。

Our Team

佐藤勝彦 (さとう・かつひこ) 専門分野: 宇宙物理学

IPMU 主任研究員

素粒子的天体物理学・宇宙論の研究を進めています
が、特に星のコアの重力崩壊や超新星ニュートリノ、また
宇宙初期のインフレーションに興味をもっています。

現在進めている研究は、①超高エネルギー宇宙線の
銀河間空間での伝播と観測の非等方性、②超新星やガン
マ線バースト源エンジンのモデルとしての星のコア
の磁気自転重力崩壊、③そこからの重力波やニュート
リノの放出、④超高密度物質における相転移、特に中
性子星の内部や超新星コアにおける原子核バスタ層、
⑤非一様宇宙における元素合成、などです。

これまでの主な研究成果は、①超新星コアにおいて
ニュートリノが閉じ込められてフェルミ縮退を起こ
すというニュートリノのトラッピング理論の提唱、②
初期宇宙における加速度的膨張モデル（インフレーシ



ン)の提案、およびインフレーションによる磁気単極
子過剰生産問題の解決 (M. Einhornと共同)、③インフ
レーションモデルでの宇宙の多重発生モデルの提唱 (M.
Sasaki, H. Kodama, K. Maedaと共同)、④ニュートリノやア
クシオンなど弱い相互作用粒子の質量や寿命に対する
宇宙論、天体物理学からの制限を先駆的に示したこと
などです (M. Kobayashiや H. Satoなどと共同)。

デイビッド・スパーゲル David Spergel 専門分野: 天体物理学

David Spergel

IPMU 主任研究員

私の専門は天体物理学理論で、近傍の恒星系の惑星
探索から宇宙の姿の研究まで幅広く興味をもっています。

過去数年間は主としてWMAP衛星による研究に力
を注いできました。WMAPは2001年6月30日に打ち
上げに成功し、以来、得られた観測結果は一連の論
文として発表されています。WMAP2003として知ら
れる論文は、現在SPIRESに収録されている全論文の
うち引用数第4位を誇っています。私の関わっている
CMB (宇宙背景放射) プロジェクトでWMAPに次ぐもの
はAtacama Cosmology Telescope (ACT) と国際共同
研究であるSouthern Cosmology Surveys を通じた観
測です。

私はプリンストン大学で地球型惑星の直接撮像を可
能とする新しい技術の開発を行っているグループの一



員です。

私はさらにプリンストン理論物理学センターの一員
であり、このセンターでは2008年と2009年に「ビッグ
バンおよびその彼方」という研究プログラムに焦点
を当てています。また、私は新設された数物連携宇宙
研究機構 (IPMU) に参加しております。

ヘンリー・ソーベル

Henry W. Sobel

IPMU 主任研究員

専門分野: 実験物理学

物理学における私の関心は、保存則の検証と基礎的な粒子間相互作用の研究です。これまでは、ニュートリノの研究と核子崩壊の探索に的を絞ってきました。また、宇宙物理学と宇宙線に対しても特別な関心を抱いています。現在はスーパーカミオカンデによる実験の継続と、長基線ニュートリノ振動実験 (T2K) の準備が研究活動の中心です。

T2Kという現在建設中の多数の検出器を用いる実験は、電子ニュートリノの出現によりゼロでない値をもつニュートリノ混合角 θ_{13} を検出できる初めてのニュートリノ振動実験になることが期待されています。この実験では、ミューオンニュートリノの消滅確率が最大となるエネルギーで電子ニュートリノ相互作用を検出するように最適化されています。そして、ニュートリノの混合行列に現れる唯一小さな値をもつ混合角の正体を検証することが目的です。

さらに、この実験により精密にミューオンニュート



リノ消滅を測定し、大きな値をもつ混合角 θ_{23} が完全に最大値にはなっていないことを初めて証明できるかもしれません。実験の第2段階では、増強されたビームと遠方検出器を用いてレプトンCP対称性の破れを確認できる可能性があります。2009年に予定されているこの実験の第1段階では、スーパーカミオカンデが標的兼遠方検出器となります。ビームの照射の前に完全に再建されたスーパーカミオカンデの較正をすませ、理解しておかなければなりません。

また、アメリカで進められているDUSELという地下深部に設置される研究施設の建設計画に加わるようになりました。この計画で私がもっとも関心をもっているのは、次世代核子崩壊検出器建設の可能性についてです。

杉山 直

(すぎやま・なおし)

専門分野: 天体物理学

IPMU 主任研究員

私が現在研究しているのは、主として観測に基づく宇宙論、特に宇宙の構造形成で、いちばん興味をもっているのはマイクロ波宇宙背景放射 (CMB) の温度の非等方性です。

私の現在の研究対象は、①宇宙初期の恒星と銀河形成による宇宙の再電離、②21cm波の揺らぎおよび原始磁場の発達とその観測データのもつ意味、③ダークエネルギーおよびダークマター観測の手がかり、④高エネルギー天体物理学などです。

おもな研究成果としては、①密度および温度のパワースペクトルを計算するためのゲージ不変な定式化においてのボルツマンコードの組み込み、②冷たいダークマターのパワースペクトルをフィットするための



有用な公式を提案、③CMBの温度揺らぎの生成に関する詳細な物理過程の包括的研究 (Wayne Huと共同で)、④CMBの揺らぎにより宇宙の空間的曲率を測定する可能性を指摘 (Marc Kamionkowski およびDavid Spergelと共同で)、⑤准解析的銀河形成に基づく現実的な銀河形成シナリオの展開 (Andrew Benson、Adi NusserおよびCedric Laceyと共同で) などがあります。

Our Team

土屋昭博 (つちや・あきひろ) 専門分野: 数学

IPMU 主任研究員

1960年代後半に位相幾何学の研究から数学の研究を始めました。そのころ、微分位相幾何学の発展の最終局面に遭遇したこともあり、球面のホモトピー同値全体の作る群を構造群とする球面束の特性類を完全に決定することに成功しました。

1980年代後半に共形場理論の数学的基礎付けの研究を始めて、現在に至っています。共形場理論は、1980年代初めにロシアの3人の物理学者によって、2次元統計物理学における臨界現象を記述する理論として展開されました。その後、素粒子論における超弦理論との関係も明らかにされ、多くの数学者や物理学者により現在まで研究が続けられています。



私が展開した共形場理論では、2次元場の量子論が無限次元代数の表現論、D-加群、Moduli空間の理論など、現代数学の考え方や方法と密接に関連し合って展開され、その結果、現代数学に新しい観点と方向を与えることになりました。

現在も共形場理論の基礎づくりの研究を行っており、超弦理論の数学的展開への応用をめざして研究を続けています。

柳田 勉 (やなぎだ・つとむ) 専門分野: 理論物理学

IPMU 主任研究員

現在の素粒子物理学は、標準模型と呼ばれているゲージ対称性を基礎とした理論によって完璧に記述されています。しかしそこには、いくつかの謎が存在します。現在、その中でも、標準模型の柱のひとつであるヒッグス粒子の謎に注目して研究しています。標準模型によれば、このヒッグス粒子の質量は約100GeV程度でなければなりません。ところが、ヒッグス粒子のようなボソン場は、量子補正により非常に大きな質量をもってしまう。おそらく、その質量はプランク質量 (10^{19} GeV) ぐらいになるのが自然です。もちろん、補正前の質量と補正項が打ち消し合って100GeV程度の質量が残ったと考えることはできますが、この考えはあまりにも不自然に思えます。このヒッグス粒子の質量の問題は、超対称性と呼ばれるボソン場とフェルミオン場を入れ替える対称性を仮定すれば解決できます。この対称性があれば、ボソン場とフェルミオン場



の質量は等しくなります。一方、フェルミオン場の質量には大きな量子補正は生じないことが知られています。だから、超対称性のおかげで、ボソン場の質量には大きな補正は生じないことになります。もちろん、この超対称性は破れていなければなりません。この破れを1000GeV程度とすれば、100GeV程度のヒッグス粒子の質量を説明することは自然に思えます。

上記のような考えを標準模型に適応して、ヒッグス粒子の質量に上限値、約130GeVが存在することを示しました。私は、この予言が今年から始まるLHC実験で確かめられるだけでなく、超対称性理論が予言する多くの新粒子がこの実験で発見されることを期待しています。

IPMU Map

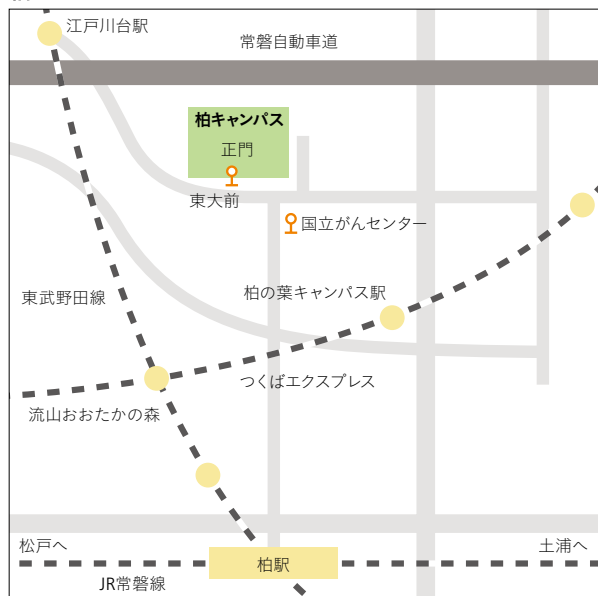
東京大学のキャンパス



柏キャンパス



柏キャンパスへのアクセス



アクセス

柏の葉キャンパス駅（つくばエクスプレス）から：国立がんセンター行バス6分、その後徒歩3分。タクシーで4分。徒歩で25分。
 柏駅（JR常磐線）から：国立がんセンター行バス30分、その後徒歩3分。またはタクシーで20分。
 江戸川台駅（東武野田線）から：国立がんセンター行バス10分、その後徒歩3分。タクシーで7分。徒歩で30分。



IPMU Interview

デイビッド・アイゼンバッド教授に聞く

David Eisenbud

聞き手：河野俊丈

河野 アイゼンバッド先生、数物連携宇宙研究機構について先生とお話しする機会をいただき、たいへん光栄に思います。私どものホームページをご覧になられたことと思いますが、この研究機構の主要な課題のひとつは、学問領域、特に数学と物理学との間にある伝統的な境界を超える新しい研究分野を創造することにあります。それを実現するためには、数学者と物理学者がお互いに議論し合い、協力して取り組むことが必要となります。数学者が物理学者や天文学者、あるいは他の分野の科学者と協力することについて、先生はどのようにお考えでしょうか。数学者は、このような協力においてどのような役割を果たすことができるでしょうか。

デイビッド・アイゼンバッドさんはカリフォルニア大学パークレー校の数学科教授。1997年から2007年まで数理科学研究所(MSRI)所長、2003年から2005年までアメリカ数学会会長を務めました。おもな研究対象は、可換代数、代数幾何学、トポロジーおよびこれらの分野における計算的手法です。2006年には、父親の高名な数理論理学者レオナルド・アイゼンバッド(1913～2004)を記念して、数学と物理学の優れた功績に対して贈るアメリカ数学会「レオナルド・アイゼンバッド賞」を創設しました。第1回レオナルド・アイゼンバッド賞は2008年1月、大栗博司、アンドリュー・ストロミンジャー、カムラン・バフファの3人に贈られました。

数学と物理学は
たがいに糧をもたらす

アイゼンバッド 興味深い質問です。ご存知のように、協力関係を実現するのはそれほど簡単なことではありません。数学と物理学の歴史というものは、他の科学分野でも同様ですが、非常に興味深いものです。数学の分野の重要な問題の多くは応用からもたらされました。応用の場との接触が数学の質を大きく高めるのです。他方、数学における重要な概念の多くは、なぜか数学者が純粋な想像力に基づいて考え出しているのです。これは、数学者は数学的な問題に興味があるという理由からです。後になると、どちらも同じように応用できることが判明します。これは驚くべきことだと思います。このように着想には大きく異なる2種類の起源があるのですが、応用という面から見るとどちらでも同じことなのです。

リーマン幾何学は、ガウスとリーマンの、ある点においては応用的な、ある点では純粋な興味から生まれたものですが、それが相対性理論の基礎となりました。無限次元行列の非可換代数も、どういうわけか量子力学の基礎となりました。こうしたことはまったく予期しない発展でした。私はこれが将来も続くパターンであると思います。この点について言えば、将来の最良の指針となるものは過去のな

です。この例から得られる教訓がいくつかあります。ひとつは、数学が実験的な科学や理論的な科学にさらされて、相互に影響しあうことが非常に重要だということです。新しい研究機構が、数学を他分野にさらけ出すというような場をもたらすことができるのはすばらしいことです。まさにこの場所で、数学を豊かにするような問題がいくつか現れてくることでしょう。

もうひとつ非常に重要なことは、最大限純粋な専門分野の能力を維持することです。こうすることによってのみ、学際的な能力に活力を与えられるのです。専門分野の科学なしには、学際的な科学はありえません。東京大学は、数学の分野でたいへん強力な伝統をもっているので、学際性を発揮できるうってつけの場所だと思います。

私は、今日の理論物理学と数学はこの100年の間で最も緊密な関係にあると思います。そのためでしょう、現在の数学と物理学の発展には目を見張るようなものがあります。今日の弦理論の発展と量子力学における精力的な取り組みは、数学者たちが開発する手段によるところが非常に大きくなっています。物理学者たちは、このような考えを人一倍貧欲に使いたがります。彼らは何かを聞きつけると、すぐにそれを応用します。このやり方が物理学において最新流

行のスタイルとなり、強い刺激となっています。

その見返りとして、数学者たちは解くことのできない問題を手に入れることになります。というのは、物理学者たちは彼らの数学を使って物事を処理しがちなのですが、その数学は数学者たちが夢にも思わないような代物だからです。それに物理学者たちは、私たちよりも計算がはるかに得意です。彼らは計算をし、もしその計算が成功すれば、自分たちが行ったことが基本的に正しいに違いないと知ります。多くの場合、彼らにとってはこれで十分です。しかし、私たち数学者にとってはこれでは不十分なのです。数学者は背景にある数学をさらに進めて発展させる必要があります。ですから私は、この研究機構における交流は非常に実り多いものになると思います。

今日の膨大なデータを
読み解くには

アイゼンバッド もちろん、これは今日の物理学との相互作用の一面にすぎません。別な側面もあり、それは他の科学でも共通

河野俊丈さんはIPMUの主任研究員の1人で、また東京大学の数理科学研究科の教授でもあります。



しているものです。この面では生物学が先頭を切ってきましたが、今やこれはあらゆる分野に当てはまります。つまり、電子機器やコンピューターを用いることによって、現在私たちは自分で扱える以上のデータを生み出すことができるのです。

かなり前のことですが、ロバート H. ディッケという物理学者がコロキウムに來られたときのことを思い出します。彼は、太陽の偏平率の測定について話をしました。太陽は完全な球形ではないので、もし太陽の周辺での光の曲がり具合により一般相対論の検証を考えるなら、球形からのずれの度合いを正確に知ることが重要なのです。ですから、彼は太陽の偏平率の問題にたいへん興味をもっていました。そこで、データを集めました。当時のことから、今日、私たちが集めることのできるデータ量に比べればほんのわずかなものでしたが、彼の研究室はデータで埋まってしまいました。毎日プリントした紙の山ができたことでしょう。全部読める人などいませんでした。

このことは、今日の実験科学の根本的な問題のひとつとして広く認識されています。私たちが興味深いデータを生み出す能力は、そのデータを取り入れて理解する能力をはるかに超えています。私が思うには、数学者だけがこの点で効果を発揮できる手段をもっています。それは主として、統計学と組み合わせ論とコンピューターサイエンスを利用するものです。このことは、ゲノムの研究と、そこで私たちが開発した遺伝子照合アルゴリズムでおわかりいただけると思います。この流れがコンピューターサイエンスに浸透していきます。ところで私は思うの

ですが、コンピューターサイエンスと数学と統計学を、この目的のためには一体として考えるべきです。これは非常に重要な動向なのです。

「幸運は十分な備えのある
研究所のみにほほ笑む」

河野 統計学と実験物理学の研究も、私どもの研究機構では重要な一面となっています。

先ほど学際的な研究について触れられましたが、これについてお話ししたいと思います。先生は、数理科学研究所 (MSRI) の前所長として、数学のさまざまな分野で多くの研究活動を組織してこられました。私は1980年代半ばのMSRIの研究プログラムにたいへん感銘を受けました。ひとつはトポロジー、もうひとつは作用素代数という2つの異なるプログラムが並行して始められました。その後、統合されてジョーンズ多項式が発見され、新たな数学の分野が創り出されました。先生のご意見では、研究所レベルでの学際的研究をうまく行うには何が必要でしょうか。

アイゼンバッド 幸運が大きな役割を果たすと言わねばなりません。運そのものをコントロールすることはできませんから、周辺の条件を幸運がもたらされやすいようにコントロールすることが必要です。偉大な生物学者、ルイ・パスツールがこう言いました。「幸運は十分な備えある人へのみほほ笑む」。同様に「幸運は十分な備えある研究所へのみほほ笑む」のです。

MSRIが定期的に行っていることのひとつですが、私たちはいくらか関連のあるプログラムどうしを、相互に影響し合う可能性を高めることを願って一緒に実施することにしています。

他のグループと関連した研究を行っているたいへんすぐれた人材を集め、ひとつのグループが他のグループから学ぶ機会をもてば、そこに幸運を引き寄せお膳立てが整うわけです。相互の影響を阻むもののひとつに、たいへん技術的、専門的な高度な議論のみを行うことがあります。そうなると、あるグループが他のグループのアイデアに興味をもつ機会はなくなります。私の考えでは、それぞれのグループが他のグループに話しかけなければならないような組織的な公開討論の場を設けることがとても重要です。参加者にとって、そうすることは非常に難しいことなので、強く奨励しないかぎりやりません。しかし、それをやったら、結局は喜ばしい結果になると思います。ですからやるだけの価値はあるのです。

社会工学的な方法もいろいろ試みることができます。もちろん、単にお互いに会って話し合い、お互いの名前を知ることも重要です。ですが、それですら簡単ではありません。私は基礎的な一連の講義をひとつのグループが他のグループに対して行い、まだ知らないことが学べるようにすることもたいへん重要だと考えています。そこには新しいアイデアがあり、それが刺激を与え、人々は互いに話し合うのです。「ああ、そうだ！ 私はあなたの問題にびったりかもしれない手段をもってますよ」。そして前進するのです。

弦理論への
アプローチ

河野 最近、また幾何学と物理学が密接な関係をもつようになってきました。たとえば、「ミラー対称性」です。数学と物理

学における相乗効果の将来の発展について、先生の展望をお話しいただけませんか。

アイゼンバッド たいへん有望だと思います。ある意味、数学者はまだ1950年ごろの物理学について研究しています。数学者は、1950年以前の量子力学に利用されていたような数学をやっときちんと理解したところです。しかし、数学者が、20世紀後半の量子力学を理解するのはいまだにたいへん困難なことです。また、物理学者にとっても同様に理解困難だと思います。

ある意味で、物理学の全分野で最も正確に予言できるのは量子電磁力学に基づくものです。それは、発散することが知られている級数の最初のいくつかの項を足し合わせることによって記述されます。これは満足できる状況ではありません。多くの研究が行われているにもかかわらず、私はこれが困難な問題であり続けると考えています。物理学に携わる人々は、実在しない空間で常に完全に満足して積分を行っています。しかし、その問題を取り入れて理解することが数学にとってはきわめて重要であり、究極的には、物理学の進歩にとっても同様に重要であると思います。

他方、弦理論の問題は数学の最も深遠な部分を含んでいます。物理学者はこれまで数学から得られた多くの驚くべき手段と結果をたいへん有効に利用し、また、しばしばその先鞭をつけてきたと思います。今、盛んに両分野の交流が行われています。この点において、現在は数学と物理学にとってたいへん幸福な時代であると思います。
河野 貴重なコメントを数々いただき、どうもありがとうございます。

IPMU発足

文部科学省の世界トップレベル国際研究拠点のひとつとして、東京大学の柏キャンパスに数物連携宇宙研究機構 (Institute for the Physics and Mathematics of the Universe、略称IPMU) が2007年10月1日に発足しました。機構長にはカリフォルニア大学バークレー校の村山斉教授が任命されました。

IPMUは国際研究機関であり、国内外から多数のトップレベルの研究者を招へいます。この機構は、従来の学問分野の壁を越えた新しい研究組織によって最先端の数学、理論・実験物理学、天文学を総動員し、宇宙の謎の解明に挑みます。

2008年1月に村山斉機構長が着任し、IPMUが本格的に始動しました。



フォーカスウィーク：LHC現象論

IPMUの初の国際ワークショップである「フォーカスウィーク：LHC現象論」が、2007年12月17日から21日の

期間、東大柏キャンパスの総合研究棟において開催されました。このワークショップは、IPMU主任研究員の野尻美保子教授を中心として組織・開催されました。

この研究会は、2008年にスイスのジュネーブにあるCERN（欧州原子核研究機構）で開始が予定されているLHC（大ハドロン衝突加速器）における実験を見据えて開催されました。LHC実験で起こる物理過程を研究する実験・理論の研究者を集結することによって、素粒子の標準理論を超えた「新しい物理」の研究を発展させることが目的です。そのためには、LHCで起こる標準模型から予想される事象について完全に理解し、そのような事象を除いた後に現れる「新しい物理」の効果を発見することが必要です。

この目的を達成するために、異なる分野の高度な専門的知識を持つ以下のような研究者が招かれました。Meade, Perelsteinの両氏は「新しい物理」の専門家であり、Wacker, Plehnの両氏とYuan教授は強い相互作用が新しい物理の発見に与える影響の専門家です。またSchumann氏は最近特に発展したQCD（量子色力学）におけるジェット発生についての理論の専門家です。

さらに、Polesello, Lariの両氏はLHCアトラス実験に参加し、新しい物理の実験的な探索のための研究を行っています。Kamon氏はLHC実験から得られる結果の宇宙論的応用の専門家です。

「フォーカスウィーク」では、午前

中に長めの講演を行う一方、午後は意図的に予定を組まず、講演の内容についての議論を深める時間とされました。これは、今までのワークショップでは参加者が講演に忙殺されてしまい深い議論をすることができない、という問題を解決するために村山機構長が提唱した研究会のかたちで、この研究会がその試金石となりました。この研究会形式は好評で、参加者の研究に有用な議論が進められ、また新しいプロジェクトの立ち上げも行われました。今後、これらのプロジェクトを実現させるために、1ヵ月程度の滞在型研究会の開催が重要となります。

理論研究者と実験研究者の議論は非常に有益でした。野尻教授は次のように述べています。「このワークショップを通し、LHCにおける新しい物理の研究を進展させるためのLHC現象論の理解の重要性と、そのために今後シリーズとしてこのワークショップを発展させていくことの重要性が認識されました」。



**IPMU大栗博司主任研究員、
アメリカ数学会アイゼンバッド賞の
第1回受賞者に**

2008年1月7日（日本時間1月8日）、アメリカ数学会は、「アイゼンバッド（Eisenbud）賞」の第1回の受賞者にIPMUの大栗博司（おおぐり・ひろし）主任研究員らを選定したと発表しました。

アメリカ数学会アイゼンバッド賞は数学と物理学の結びつきを強めた業績を称えるために設立され、3年に1度だけ賞が与えられます。2年間の周知期間を経て、フィールズ賞のエドワード・ウィッテン教授を含む選考委員によって選考された結果、第1回の賞が、大栗主任研究員と、ハーバード大学のStrominger、Vafa両教授の3名に与えられること（3名の共同受賞）が決定しました。これを受け、2008年1月7日、カリフォルニア州サンディエゴで開催されたアメリカ数学会年会において授賞式が催されました。

今回の賞は、ストリング理論と最先端の6次元幾何学を用いたブラックホールの性質の研究に対して与えられました。1974年に、英国のホーキング博士は、謎の暗黒天体ブラックホールは完全に暗黒ではなく、持っている熱を光や粒子として放出し、場合によっては蒸発してしまう、と预言して世界の物理学界に衝撃を与えました。しかしながら、その熱の起源そのものは謎とされていました。

大栗主任研究員らは、ストリング理論と最新の高次元幾何学を駆使し、ホーキング理論では扱えなかった小さなブラックホールの熱の起源を世界ではじめて解明しました。現代数学と現代基礎物理学の最前線との結びつきを明らかにしたこの業績が高く評価されました。

大栗教授は、「今回の受賞によって、宇宙の神秘を解明するには数学と物理学の連携が不可欠であるという私の信念が再確認されて喜んでいます。これをバネにIPMUの研究が迅速に立ち上がるように最大限努力するつもりです」と意気込みを語っています。

**超新星は丸くない
——IPMU研究者らによる成果**

2008年2月1日にIPMUの前田啓一特任助教、野本憲一主任研究員らを中心とする国際研究チームは、重力崩壊型超新星の形状を明らかにしたと発表しました。超新星爆発は球形の爆発ではなく、むしろ両極方向に強い爆発を示す、細い棒状に近いという彼らの結果は、超新星とそれに密接に関係するガンマ線バーストの爆発機構という、天体物理学上の大問題の解明につながるものとして注目されます。

超新星は私たちから数億光年程度の遠距離で発生するため、通常、その形状を直接撮像することはできません。しかし、爆発後1年ほど経過した後の超新星からの光を分光（光を色ごとに分解すること）すると、爆発が細い棒状をしている場合にそれを赤道方向から見ると特徴的な光（本来、元素が出すよりもより赤い光と青い光の対）が現れます。研究チームは、すばる望遠鏡を用いて15個の超新星の分光観測を行い、過去に報告されている3個の超新星を加えた計18個中、5個で上記の特徴がはっきりと現れ、残り13個のうち4個にもその傾向が見られることを見出しました。

細い棒状の爆発の場合には、極方向から見ると球形の爆発と区別できないことも考え合わせ、研究チームはすべての超新星が球形ではない細い棒状の爆発であると結論付けました。これは、超新星が一般的に球形でない細い棒状の爆発であるという、近年の爆発理論の最初の観測的検証となりました。この結果は、2008年1月31日付けの米国の科学雑誌*Science*のオンライン版に掲載されました。

IPMU発足記念シンポジウム

2008年3月11日、12日に東京大学柏図書館メディアホールにおいて、IPMUの発足記念シンポジウムが開催

されます。このシンポジウムにおいては、物理・数学・天文の連携推進を視野に入れ、IPMUのすべての研究分野について、以下のように世界各国から第一人者を招きます。CERN・Ellis教授（素粒子物理）、京都大学・深谷教授（トポロジー理論と物理）、Brown大学・Gaijskell教授（暗黒物質の直接検証実験）、CERN・Giudice教授（素粒子物理）、ノーベル物理学賞受賞者でカリフォルニア大学サンタバーバラ校のカプリ理論物理学研究所・Gross教授（ストリング理論）、国立天文台すばる望遠鏡・林教授（すばる望遠鏡の計画）、Freiburg大学・Jakobs教授（LHCにおける素粒子物理）、SNO（Sudbury Neutrino Observatory）・MacDonald教授（ニュートリノ物理）、カリフォルニア大学パークレー校・Reshetikhin教授（可積分系と物理学）、東京大学宇宙線研究所・鈴木教授（ニュートリノ物理と暗黒物質）、マックス・プランク天体物理学研究所・White教授（天体物理学）、フィールズ賞受賞者のハーバード大学・Yau教授（微分幾何学と物理学）、ローレンスバークレー研究所・Siegrist教授（IPMUを含む研究協力について）。

このシンポジウム開催の前日の3月10日にIPMU設立を祝うレセプションが開催されます。

フォーカスウィーク：ニュートリノ質量

IPMUの主催する第2回目のフォーカスウィークが2008年3月17-21日に開催されます。「フォーカスウィーク：ニュートリノ質量」は村山機構長らにより組織され、さまざまな分野の研究者を招いてニュートリノ質量に関わる広範囲にわたる話題を議論することを目的とします。第1回目のフォーカスウィークと同様、研究者同士の相互理解を促進し、新たな共同研究を模索するための議論の時間を多く設けることをめざしています。

以下の招待講演者が招かれる予定です。Di Bari博士（レプトジェネシス）、

Giuliani教授（ニュートリノレス二重ベータ崩壊実験）、Kusenko博士（4世代目のニュートリノと宇宙論）、村山教授（ニュートリノ振動の現象論）、Pierpaoli博士（銀河のパワースペクトル）、Petcov教授（ニュートリノ質量、混合、マヨナラ・ニュートリノとCPの破れ、二重ベータ崩壊、レプトジェネシス）、Raffelt博士（超新星ニュートリノ）、Robertson教授（KATRIN実験）、Rodin博士（二重ベータ崩壊核行列要素）、Slosar博士（ライマンアルファ天体と宇宙論）。

このワークショップにおいては、3月19日午後に、上記の招待講演以外の一般講演が行われます。

セミナー

世界中から研究者を招いて、毎週水曜日の午後3時半より柏キャンパス内のIPMUにおいて定期的にセミナーを行っています。他に駒場キャンパスにおいて数学分野のセミナー、柏キャンパスにおける臨時のセミナーも精力的に開催しています。

IPMUセミナー

詳細や講演の申し込みについては以下の世話人にご連絡下さい：高橋史宜、前田啓一、戸田幸伸（柏キャンパス）。

2008年2月12日現在、以下のセミナーが開催あるいは予定されています。

1. “String Theory and QCD”
講演者：杉本茂樹（名古屋大学）
開催日：2007年10月30日
2. “Gravitational lensing and dark matter and dark energy”
講演者：高田昌広（東北大学）
開催日：2008年1月8日
3. “Structure formation in the early Universe”
講演者：吉田直紀（名古屋大学）
開催日：2008年1月9日
4. “Holography and entanglement entropy”

講演者：高柳匡（京都大学）
開催日：2008年1月10日

5. “Discriminating spin through quantum interference”
講演者：Matthew Buckley（UC Berkeley / IPMU）
開催日：2008年1月16日
6. “BOSS - The Baryon Oscillation Spectroscopic Survey in SDSS-III”
講演者：Jim Gunn（Princeton大学）
開催日：2008年1月28日
7. “The mass function of local active black holes”
講演者：Jenny Greene（Princeton大学）
開催日：2008年2月1日
8. “AGNs and suppressed star formation in massive galaxies at $z \sim 2.5$ ”
講演者：Mariska Kriek（Princeton大学）
開催日：2008年2月1日
9. “Moduli stabilization, F-term uplifting and sequestering in supergravity models”
講演者：安倍博之（京都大学）
開催日：2008年2月6日
10. “Ultralight Gravitino at the LHC”
講演者：濱口 幸一（東京大学）
開催日：2008年2月13日
11. “Direct and Indirect Dark Matter Search Experiment”
講演者：清水雄輝（早稲田大学）
開催日：2008年2月14日
12. “GADZOOKS! A Potential Super-Kamiokande Upgrade”
講演者：Mark Vagins（UC Irvine）
開催日：2008年2月19日
13. “Gauge Theory, Gravity and Twistor String Scattering Amplitudes”
講演者：Mohab Abou Zeid（KEK）
開催日：2008年2月20日
14. “TBD”
講演者：Alexandre Kozlov（東北大学）
開催日：2008年2月28日

IPMU 駒場セミナー

詳細や講演の申し込みについては以

下の世話人にご連絡下さい；加藤晃、河野俊文（駒場キャンパス）。

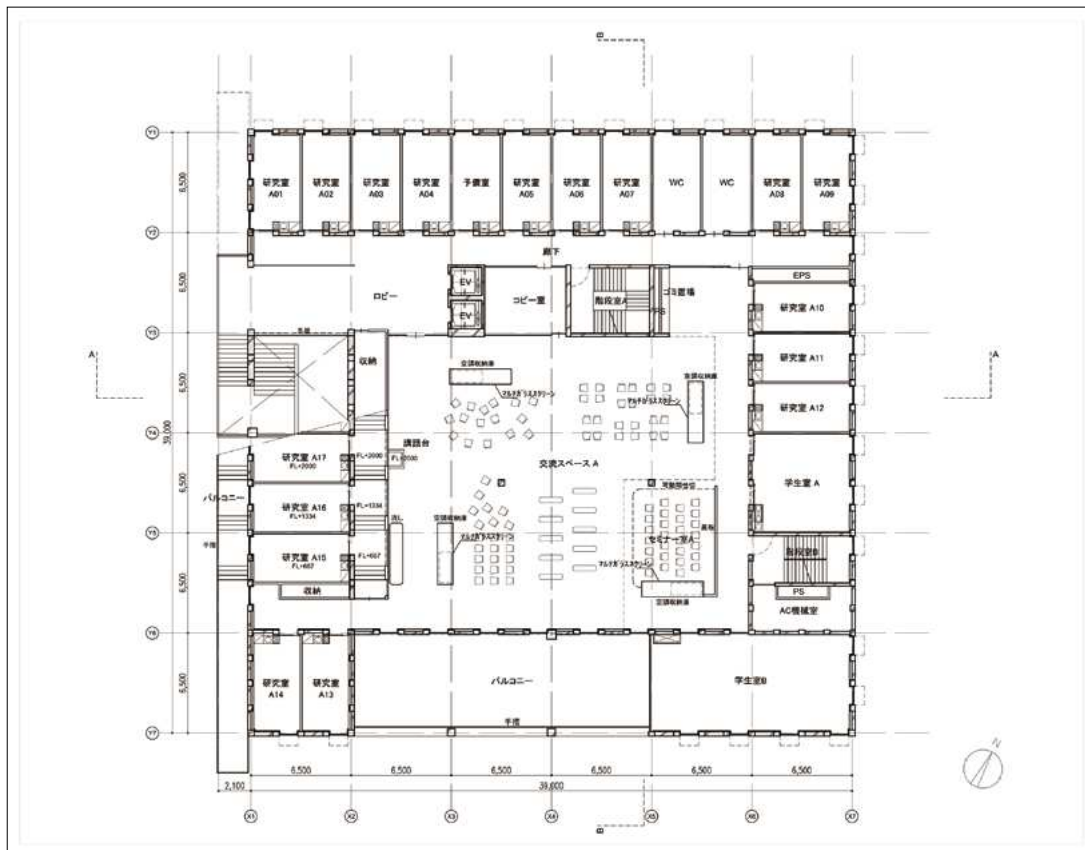
2008年2月12日現在、以下のセミナーが開催あるいは予定されています。

1. “Topics on string theory, mirror symmetry, and Gromov-Witten invariants”
講演者：細野忍（東京大学）
開催日：2007年10月15日
2. “Some examples of triangulated and/or A_∞ -categories related to homological mirror symmetry”
講演者：梶浦宏成（RIMS / 東京大学）
開催日：2007年10月29日
3. “Kontsevich quantization of Poisson manifolds and Duflo isomorphism”
講演者：Michäel Pevzner（Reims大学 / 東京大学）
開催日：2007年11月26日
4. “Deligne conjecture and the Drinfeld double”
講演者：Dmitry Kaledin（Steklov / 東京大学）
開催日：2007年12月10日
5. “Analytic torsion for Calabi-Yau threefolds”
講演者：吉川謙一（東京大学）
開催日：2007年12月17日
6. “How to lift a construction by Hiroshi Inose to conformal field theory”
講演者：Katrín Wendland（Augrburg大学）
開催日：2008年2月12日

IPMU研究棟のイメージ図 Image of the IPMU Building

これは2009年秋に完成予定のIPMU研究棟の模型写真です。IPMUでは、研究者の交流を重視します。自然光を取り入れた居心地の良い明るい設計で、3階には広い交流スペースがあり、5階まで吹き抜けになっています。ここには自然に人が集まり、議論が展開されることでしょう（現在検討中の案をもとに作図したもので最終像ではありません）。

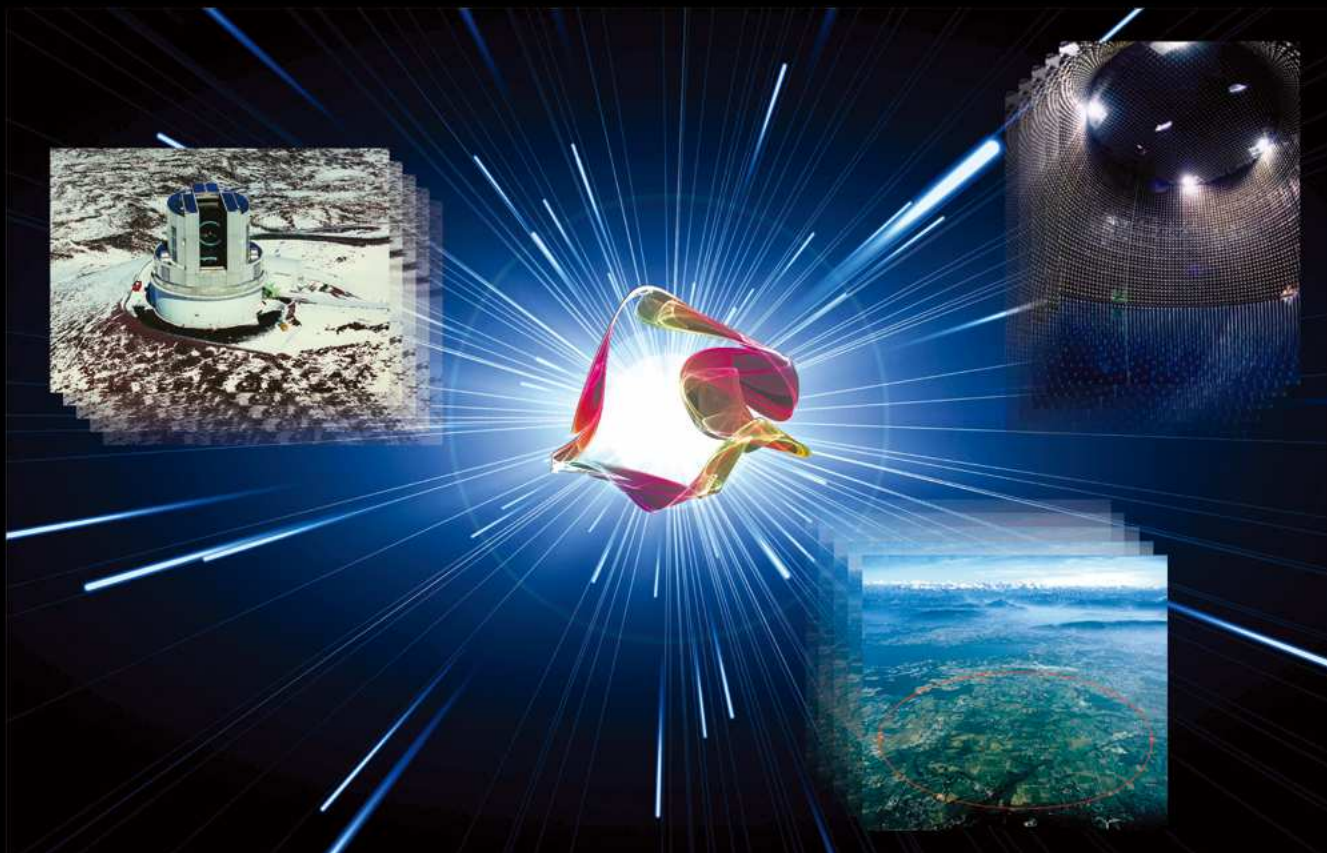
This is a model of the IPMU research building that is scheduled for completion in the autumn of 2009. IMPU will place an emphasis on interaction between researchers. With a comfortable and bright design, which lets in plenty of natural light, there is a large space for meeting on the third floor, and a vaulted ceiling up to the fifth floor. People will be attracted to this place, and it will no doubt become the scene of many a long discussion. (The model was made according to the design plans currently under examination, and is not an image of the completed building)



IPMU Opening Symposium

March 11 and 12, 2008

Institute for the Physics and Mathematics of the Universe
The University of Tokyo, Kashiwa, Japan



Invited Speakers

John Ellis CERN
Kenji Fukaya Kyoto University
Richard Gaitskell Brown University
Gian Giudice CERN
David Gross Kavli Institute for Theoretical Physics
Masahiko Hayashi Subaru Telescope, NAOJ
Karl Jakobs University of Freiburg
Art McDonald Queen's University
Nicolai Reshetikhin University of California, Berkeley
James Siegrist Lawrence Berkeley National Laboratory
Yoichiro Suzuki ICRR, The University of Tokyo
Simon White Max-Planck Institute for Astrophysics, Garching
Shing-Tung Yau Harvard University

IPMU Principal Investigators

Hitoshi Murayama Director
Hiroaki Aihara
Masataka Fukugita
Kunio Inoue
Michio Jimbo
Takaaki Kajita
Stavros Katsanevas
Toshitake Kohno
Masayuki Nakahata
Mihoko Nojiri
Ken'ichi Nomoto
Hiroshi Ooguri
Kyoji Saito
Katsuhiko Sato
Henry Sobel
David Spergel
Naoshi Sugiyama
Yoichiro Suzuki
Akihiko Tsuchiya
Tsutomu Yanagida

Contact us at: symposium@ipmu.jp

Registration: <http://www.ipmu.jp/>



アイゼンバッド賞（アメリカ数学会）を
受賞して

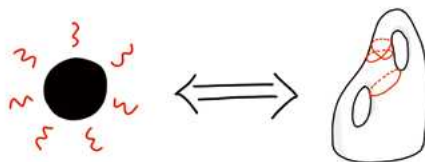
大栗博司 IPMU主任研究員

一般相対性理論と量子力学を統合する上で、プランクスケールのブラックホールを理解することは重要な課題でした。この研究が米国数学会に認めていただいたことで、自然の基本法則の探求が数学の研究を促進するというIPMUの理念が再確認されたと思います。



ストリック理論で

ブラックホールの熱の正体 と 6次元の幾何学が



結びつけられた。

$$\sum_g \mathcal{N}(p, g) e^{g \cdot \phi} = \left| \exp \left(\sum_{g, n} F_{g, n} \lambda^{2-2g} e^{-n\tau} \right) \right|^2$$

∴ $p + i\phi = (\lambda, \lambda t)$