

IPMU NEWS

Feature
Atmospheric Neutrinos and Neutrino Oscillations
Interview with Roberto D. Peccei



IPMU NEWS CONTENTS

English

- 3 **Director's Corner** Hitoshi Murayama
Discovery
- 4 **Feature** Takaaki Kajita
Atmospheric Neutrinos and Neutrino Oscillations
- 10 **Our Team** Kevin Bundy
Biplob Bhattacharjee
Yu-Chieh Chang
Richard Eager
John Kehayias
Siu-Cheong Lau
Alexie Leauthaud
Changzheng Li
Chunshan Lin
Yu Nakayama
Robert Quimby
Christian Schnell
- 15 **Research Report**
EGADS Gets Going Mark Vagins
- 16 **IPMU Interview** with Roberto D. Peccei
- 22 **News**
- 26 **Braneworld** Shinji Mukohyama

Japanese

- 27 **Director's Corner** 村山 斉
発見
- 28 **Feature** 梶田 隆章
大気ニュートリノとニュートリノ振動
- 34 **Our Team** ケビン・バンディ
ビプロブ・ボッタチャージョー
鍾 宇傑
リチャード・エーガー
ジョン・ケハイヤス
劉 紹昌
アレクシー・レオト
李 長征
林 春山
中山 優
ロバート・クインビー
クリスチャン・シュネル
- 39 **Research Report**
EGADS実験始まる マーク・ヴェイギンズ
- 40 **IPMU Interview** ロベルト・ベッチェイ教授に聞く
- 46 **News**
- 48 **ブレンワールド** 向山 信治



Takaaki Kajita is Director of the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), the University of Tokyo, and a principal investigator at IPMU. He is a leading scientist in the fields of neutrino astronomy and neutrino physics. He received 1999 Nishina Memorial Prize for "Discovery of the atmospheric neutrino anomaly." He also received 2002 W.K.H. Panofsky Prize with Masatoshi Koshiba and Yoji Totsuka for "Compelling experimental evidence for neutrino oscillations using atmospheric neutrinos." He received his Ph.D. at the University of Tokyo in 1986 and became a research associate at the School of Science, the University of Tokyo. He moved to ICRR in 1988, and became an associate professor in 1992 and professor in 1999. Since 2008, he has been Director of ICRR.

梶田隆章：東京大学宇宙線研究所長でIPMU主任研究員を兼ねる。ニュートリノ天文学、ニュートリノ物理学分野における世界的なリーダーの一人であり、1999年に「大気ニュートリノ異常の発見」で仁科記念賞、2002年に「大気ニュートリノを用いたニュートリノ振動の発見」で小柴昌俊氏、戸塚洋二氏とともに米国物理学会のパノフスキー賞などを受賞。1986年に東京大学から博士の学位を取得。同年、東京大学理学部助手、1992年、東京大学宇宙線研究所助教授、1999年、同教授、2008年から所長。

Discovery

Director of IPMU

Hitoshi Murayama

A truly fundamental discovery does not happen very often. I was so lucky to witness one, when I attended the Neutrino 1998 conference in Takayama, Japan. One of our principal investigators, Takaaki Kajita, gave a presentation there. The advertised title of the talk was “Atmospheric neutrino results from Super-Kamiokande & Kamiokande.” Doesn’t sound very exciting. But when Takaaki took the podium and showed his first slide, he proclaimed “I am going to change the title of my talk today.”

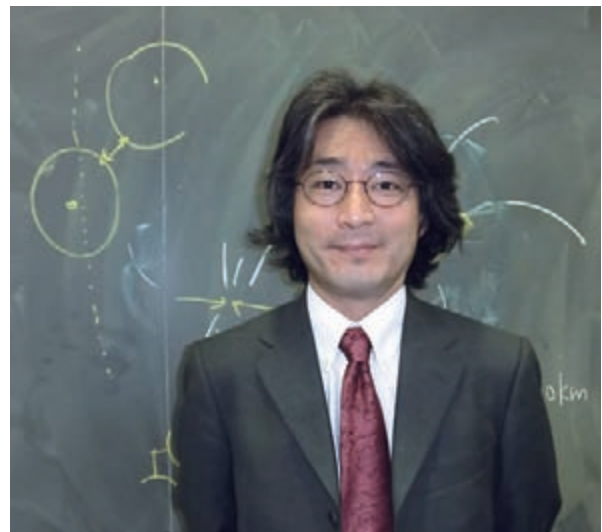
The new title was “Evidence for muon-neutrino oscillations,” and he showed that the neutrinos have a little bit of mass. He demonstrated very convincingly that muon neutrinos morph into something else as they travel over a few hundred kilometers. It was truly a defining moment in neutrino physics. People have been looking for this kind of evidence all the way since the 1960s, but failed.

I stood up at the end of presentation. About a half of the audience followed, and gave Takaaki a standing ovation. This normally doesn’t happen at a physics conference, where scientists are supposed to be critical, analytical, skeptical, and subdued. This was not that kind of moment. It was truly moving.

It was believed that the neutrinos don’t have any mass at all, just like the photon that allows us to send signals from Japan to Hayabusa explorer that landed on an asteroid 20 light-minutes away and made its way back to the Earth. If so, the neutrinos must

be travelling at the speed of light. Einstein told us if anything travels at light speed, its clock stops. But the neutrinos do experience time, because they morph *over time* from one species to another. They know time, and therefore they must be slower than the speed of light, which is possible only if they have a mass.

Read what Takaaki says about his major discovery. But we still do not know why the neutrinos have mass. We are trying to find the answer with a new experiment called KamLAND-ZEN. Hopefully we get to report what we find in the near future.



Atmospheric Neutrinos and Neutrino Oscillations

Introduction

About a hundred years ago, Victor Hess, aboard a balloon, measured the radiation levels at high altitudes and discovered cosmic rays. Later investigations revealed that the main components of the cosmic rays were protons and atomic nuclei, and their energy spectra extended to very high energies. The production sites and mechanisms of the cosmic ray acceleration are not fully understood up to now. Therefore, investigations are still made extensively in search of their origin.

Cosmic rays incident on the atmosphere interact with nitrogen and oxygen nuclei in the air, and pions are copiously produced in these interactions. Among them, positively or negatively charged pions decay into a muon and a muon antineutrino. Further, most of the muons produced in the upper atmosphere decay into an electron (or positron), a muon neutrino, and an electron neutrino (see Fig. 1), though the muon has a relatively long lifetime of 2 microseconds. It should be noted that for simplicity we do not distinguish between the positive and negative signs of the charges nor the particle and its antiparticle in this article. Therefore, it should be understood that a “neutrino” actually means either a neutrino or an antineutrino.

Neutrinos produced in this way are called *atmospheric neutrinos*. After the muon neutrino was discovered in an accelerator experiment in 1962, experiments to confirm the existence of atmospheric neutrinos were attempted deep underground in a

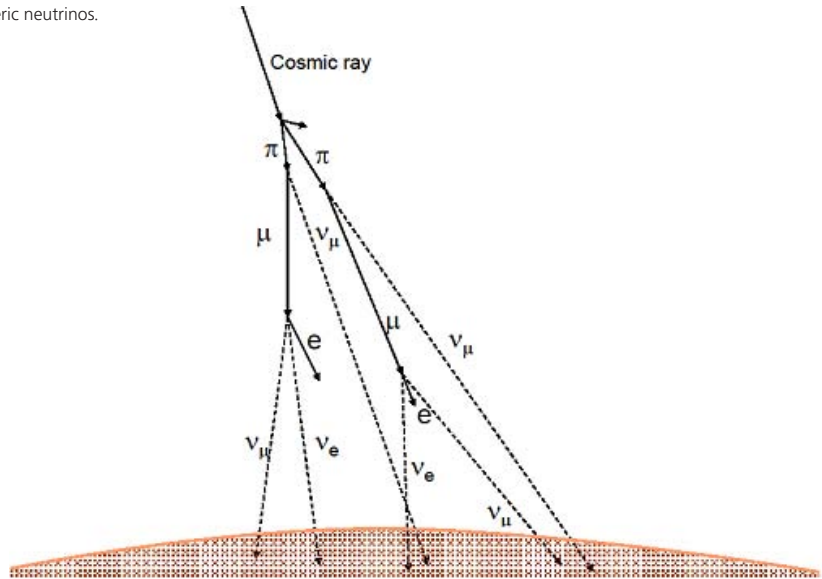
mine in South Africa and in another mine in India. In these experiments, the atmospheric neutrinos were observed in 1965. In this article I will explain investigations of neutrino oscillations through observations of neutrinos produced by cosmic rays.

Atmospheric neutrino observations in Kamiokande

It was during the latter half of the 1980's that the atmospheric neutrinos attracted the attention of many researchers. Till then, the study of atmospheric neutrinos had not been developed as a widely recognized research area since their first observations in 1965. When several proton decay experiments started throughout the world in the 1980's, atmospheric neutrinos turned out to be the most disturbing background in the search of proton decay, and an understanding of this background was necessary. The Kamiokande experiment was among them. The Kamiokande detector, filled with pure water with an effective mass (usable for particle detection) of 1,000 tons, was located 1,000 m underground in a mine in Kamioka, Gifu prefecture. In this detector, Cherenkov light emitted by fast charged particles travelling in water with velocities faster than the light velocity in water was measured with 1,000 photomultiplier tubes of 50 cm in diameter.

Muons produced in the muon neutrino (ν_μ) interactions gradually lose their energy as they travel through water. On the other hand, electrons produced in the electron neutrino (ν_e) interactions

Figure 1. Production of atmospheric neutrinos.



form electromagnetic showers in water. Therefore, muons and electrons behave very differently in water. In Kamiokande, electrons and muons are observed by detecting a ring-like pattern of emitted Cherenkov light. In water, the Cherenkov ring pattern of a muon is different from that of an electron as a result of their different behavior. By exploiting this fact, it is possible to identify muons and electrons. For reference, Fig. 2 shows the Cherenkov-ring pattern of an electron event and that of a muon event, both observed by Super-Kamiokande which will be mentioned later in this article. Based on this idea, it is possible to identify events which had a single electron-type Cherenkov ring and were therefore considered to be ν_e interactions and events which had a single muon-type Cherenkov ring and therefore were considered to be ν_μ interactions. As a result, from the counts of both types of events, it was found that the observed number of ν_e events was almost as expected, but that of the ν_μ events was about 60% of the expected number.

Here, the expected numbers of events were obtained by a Monte-Carlo simulation in which the numbers of neutrino interactions in the Kamiokande detector were obtained from neutrino interaction

cross sections and calculated atmospheric neutrino fluxes, and the detection efficiencies, etc., were also taken into account. At around that time, it was thought that these expected numbers had about 20 – 30% errors which resulted from errors primarily in the observed cosmic-ray fluxes. As the ratio of the numbers of ν_e and ν_μ events was calculated with better accuracy, however, the error was estimated to be less than 5%. For these reasons, the above-mentioned Kamiokande results were considered not to be explained by the systematic errors in the calculations. On the other hand, it was possible to explain these results if oscillations between muon and tau neutrinos were postulated. This attracted much attention at that time.

Before going on, let me explain the neutrino oscillation. Here we consider two types of neutrinos for simplicity, muon neutrino ν_μ and tau neutrino ν_τ . If neutrinos have non-zero mass (in this case, neutrinos having definite masses are linear combinations of ν_μ and ν_τ), transmutation of neutrino in flight occurs in such a way that a neutrino which was initially ν_μ changes to ν_τ and then changes back to ν_μ . This phenomenon is called the neutrino oscillation. Conversely, if neutrino

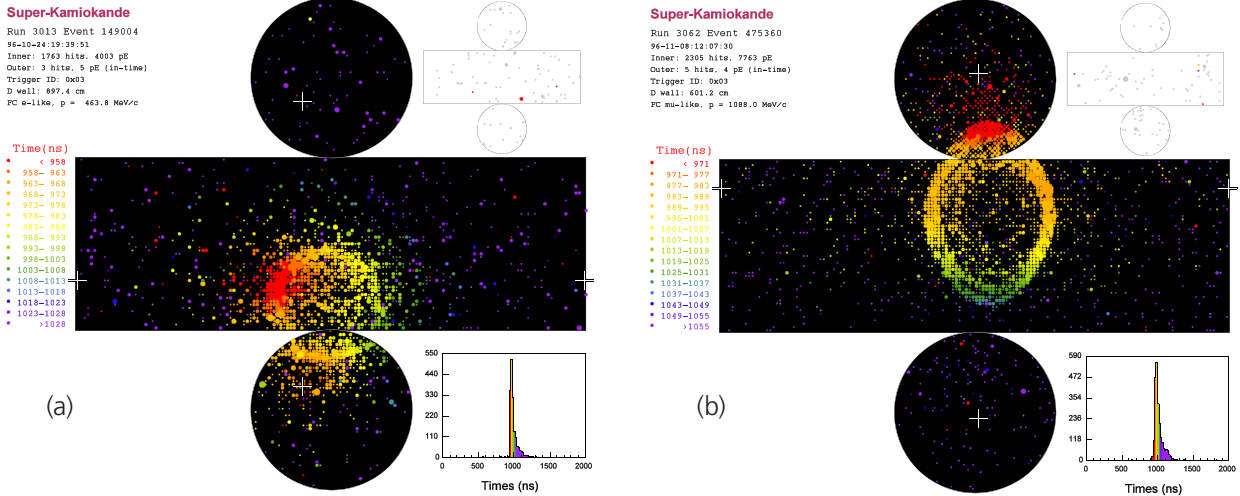


Figure 2. Examples of (a) electron neutrino and (b) muon neutrino events observed in Super-Kamiokande. The sizes of the circles in this figure show the observed light intensity. Also, the color of the circles shows the timing information of the observed light.

oscillation is discovered, it gives evidence for non-zero neutrino mass. Fig. 3 shows the probability for a neutrino, which was initially ν_μ , to remain ν_μ as a function of the flight distance. Here, the mass of the heavier neutrino state is assumed to be about $1/10^7$ of the electron mass. If neutrino mass is heavier than this value, the period of oscillation is shorter, and vice versa. Therefore, we can find the heavier neutrino mass from the measurement of the rate of neutrino's transmutation. In reference to Fig. 3, it should be noted that the "zero" survival probability is actually realized in a special case. Generally, the extent of ν_μ disappearance is somewhere between a tiny level and complete disappearance. The effect of neutrino oscillation is maximized in the case of "zero" survival probability in Fig. 3. This is the easiest case to observe the neutrino oscillation.

Let us now think about combining Fig. 3 and the atmospheric neutrino before returning to the real experiment. Roughly speaking, neutrino interactions at energies around 1GeV are most frequently observed in atmospheric neutrino experiments. Looking at Fig. 3, it is clear that if the heavier neutrino state has about $1/10^7$ of the electron mass, the ν_μ survival probability becomes

0 after a ν_μ traveled about 500 km, showing clear oscillation effects. If neutrinos produced in the upper atmosphere come from directly above, their distance of flight to the detector is about 15 km on the average, so that neutrinos do not yet oscillate. Neutrinos coming from the opposite side of the earth, however, reach the detector after several times of oscillations because the earth's diameter is about 12,800 km.

Though the Kamiokande results were very interesting, they were not necessarily accepted by many physicists. At that time, there were at least three detectors that could observe atmospheric neutrinos other than Kamiokande, but their observation results were not consistent. Because of this situation, we had to wait for the next generation neutrino detector, namely, Super-Kamiokande (SK) which would have overwhelming statistical accuracy.

Atmospheric neutrino observations in SK and neutrino oscillations

As soon as the Super-Kamiokande experiment was commissioned in 1996, the observed atmospheric neutrino data greatly increased since its effective mass for observation was about 20 times that of

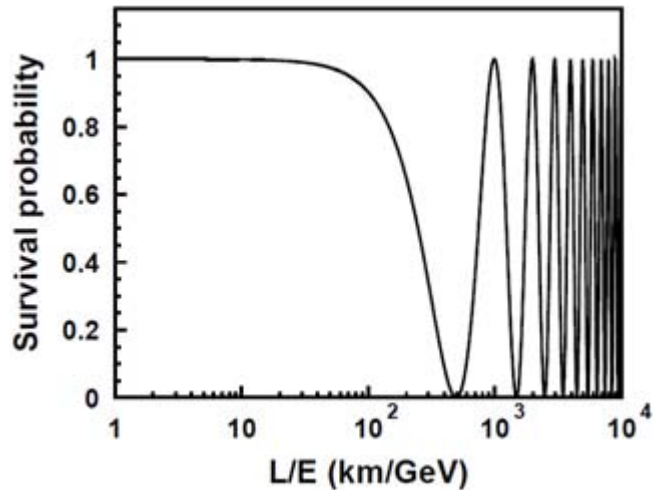


Figure 3. The survival probability of muon neutrinos is shown as a function of L/E , where L (km) is the distance and E (GeV) is the energy. The mass of the heavier neutrino state is assumed to be $1/10^7$ of the electron mass.

Kamiokande. Also, having accumulated more than 10 years of observational data already, and further continuing observation for longer than any other previous experiments, Super-Kamiokande makes it possible to investigate atmospheric neutrinos using far more observational data.

The most significant method to show neutrino oscillations of atmospheric neutrinos is to compare the numbers of neutrinos coming from above and below and to study if they are consistent with the expected numbers. Without neutrino oscillations, calculations show that these numbers are nearly the same. Therefore, if the number of events of the neutrinos coming from below is significantly smaller than that from above, then it must be compelling evidence for the neutrino oscillation. Furthermore, if neutrino oscillations are taking place between muon neutrinos and tau neutrinos, electron neutrinos do not take part in these oscillations. Therefore, an up-down asymmetry should be observed in muon neutrino events but not in electron neutrino events. Along these lines, the zenith-angle distributions of the atmospheric neutrino events have been precisely measured. The results with the Super-Kamiokande data up to 2008 are shown in Fig. 4, where a deficit

of the upward-going neutrino events is clearly evident. Also, the zenith-angle distributions show that the effect of up-down asymmetry is more prominent at higher energies. This is because of the following reason. At low energies the angular correlation between the incoming neutrino and the electron or muon produced in the neutrino reaction is poor, and consequently the direction of the muon is not a good indicator of the up-down asymmetry. These results led to the discovery of neutrino oscillation in 1998.

By comparing the data and the expected distribution with neutrino oscillation, shown in Fig. 4, neutrino's basic physical quantities can be measured. First of all, the mass of the heavier neutrino state is estimated to be about $0.05\text{eV}/c^2$. It is $1/10^7$ of the mass of the electron, the lightest particle other than the neutrinos. But, it may be that the heaviest neutrino mass should be compared with the heaviest quark (top quark) mass. In this case, the ratio is about $1/(4 \times 10^{12})$. The probability of muon neutrino disappearance due to neutrino oscillations is consistent with the theoretically allowed maximal value shown in Fig. 3. If the experiment had better accuracy, periodical decrease and increase of the

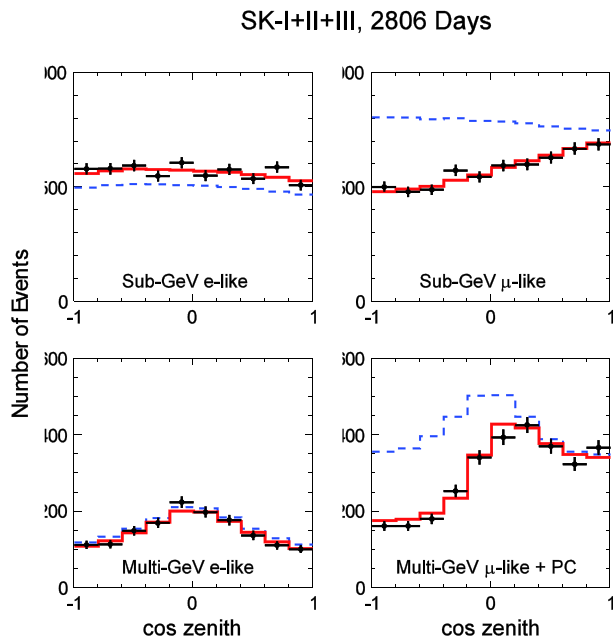


Figure 4. Zenith-angle distribution of the atmospheric neutrinos observed in Super-Kamiokande. $\cos\theta = -1$ corresponds to the upward-going direction and $\cos\theta = 1$ corresponds to the downward-going direction. The two panels on the left side show electron events (mostly electron neutrino events) and the two panels on the right side show muon events (mostly muon neutrino events). The events shown in the upper panels have visible energy of less than 1.3 GeV, and the events shown in the lower panels have that of greater than 1.3 GeV. The lower right panel (for muon events) also includes those events in which muons penetrate through the detector. The broken histograms show the expected distributions without neutrino oscillations, and the solid histograms show the expected distributions with neutrino oscillations, assumed between muon neutrinos and tau neutrinos.

survival probability of ν_μ would be seen. Such variation is averaged out, however, in the data shown in Fig. 4. That is to say, the survival probability of ν_μ maximally decreases and increases, but it is observed as the averaged value (a half). In any case, the effect of the neutrino oscillation seems to be maximal. Physicists call it as a *large mixing*. Although the tiny neutrino mass seems to be explained by a promising idea of the *seesaw mechanism*, it seems that fundamental understanding of the reason for the large mixing is yet to be obtained, requiring further consideration by theorists. Further accurate measurements will be needed experimentally as well.

Detection of tau neutrinos

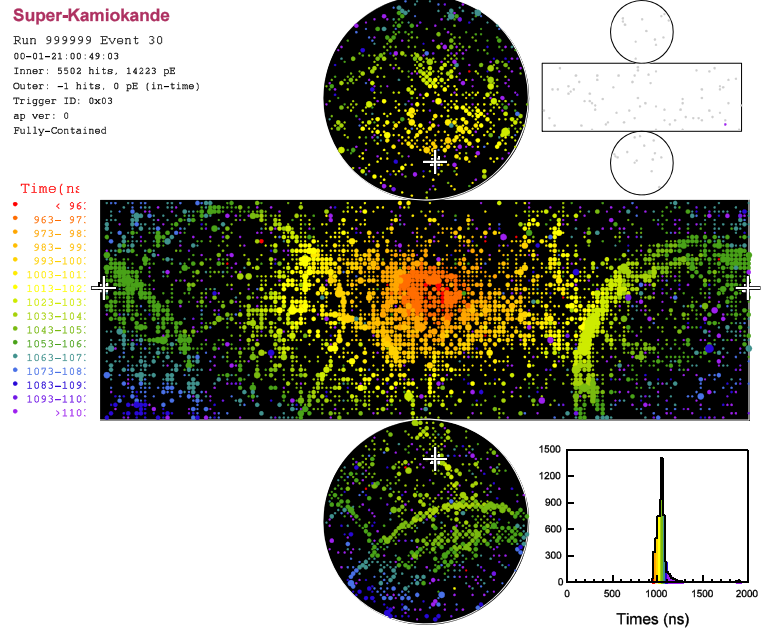
Thus far we have seen that neutrinos oscillate between muon neutrinos and tau neutrinos. To be precise, however, our arguments are the following. Namely, muon neutrinos transmute into other neutrinos due to the neutrino oscillation, and because the other neutrinos are not electron neutrinos, they should be tau neutrinos. It would therefore be decisive evidence if we can confirm the

transmutation to tau neutrinos by detecting them.

For this reason, evidence has been sought after for tau neutrino production due to the neutrino oscillation in the atmospheric neutrino observation in Super-Kamiokande. Unfortunately, this search is not easy for the following reasons. First of all, the interaction rate is low because the threshold of the tau neutrino interaction is relatively high (about 3.5 GeV) due to the heavy tau mass and the atmospheric neutrino flux rapidly decreases with increasing energy. Furthermore, tau neutrino interactions are not clearly distinguished from the background events called *neutral-current* events, because the produced tau particles immediately decay, and, in particular, only hadrons such as pions exist (other than neutrinos) in the final state in 65% of the tau decay. A typical Monte-Carlo simulated tau neutrino event is shown in Fig. 5. Analysis of such an event seems difficult because of many overlapping Cherenkov rings.

On the other hand, there is an advantage characteristic to atmospheric neutrinos. Consider studying the zenith-angle distribution by selecting *tau neutrino-like* events. Tau neutrino events should

Figure 5. An example of a Monte-Carlo simulated tau neutrino event.



be all upward-going events because they are produced by neutrino oscillations. Background events other than muon neutrino events, on the other hand, should exhibit up-down symmetry. Therefore, if we can show an excess of upward-going events by studying the zenith-angle distribution of the tau neutrino-like events, we will be able to statistically show the existence of the tau neutrino events.

Based on this idea, the existence of the tau neutrinos produced by neutrino oscillations has been studied. The results of this study, though statistically not decisive yet, showed that the data were consistent with the production of tau neutrinos by neutrino oscillations. We hope that more significant conclusions can be obtained with increasing data in the near future. Also, searches for tau neutrinos are performed in accelerator experiments. It is expected that tau neutrinos produced by neutrino oscillations will be decisively observed in the near future.

Conclusions

As has been explained in this article, neutrino oscillation was discovered by the studies of

atmospheric neutrinos, and details of neutrino oscillation phenomena have been studied in the high-statistics observations by Super-Kamiokande. Thus far, mainly neutrino oscillations between muon neutrinos and tau neutrinos have been studied. As there are three kinds of neutrinos, however, we have to study neutrino oscillations between three kinds of neutrinos. We already know from solar neutrino and reactor neutrino observations that electron neutrinos also oscillate. Furthermore, the recent data obtained in the T2K accelerator neutrino oscillation experiment and in other experiments suggest that muon neutrinos oscillate into electron neutrinos, though the oscillation probability is not very high. If atmospheric neutrinos are observed with very high statistical accuracy, we will be able to observe all these neutrino oscillations. Moreover, it is considered possible to measure the order of masses of the three neutrino states with definite mass, exploiting the unique characteristics of atmospheric neutrinos that travel through the earth. Therefore, studies of atmospheric neutrinos will keep contributing to neutrino physics for many years to come.

Our Team

Kevin Bundy

Research Area: **Astrophysics**

IPMU Assistant Professor



I am excited to be joining IPMU not only for its innovative and stimulating environment but also because of the leading role IPMU and the National Astronomical Observatory of Japan is taking in pursuing advanced new surveys of the Universe. My work focuses on the study of galaxy formation, where we seek to understand the physical processes that develop small density fluctuations in the early universe into the rich and beautiful structure of galaxies we see today. The SuMiRe survey program that IPMU is developing for the Subaru Telescope will mark a major milestone in this endeavor by charting the evolving properties of nearly 1 billion galaxies in an unprecedented volume of the Universe. With such a powerful survey, we will discover and quantify

new patterns of evolution that will tell us how the complexity of galaxies today originates in their growth, interactions, and transformations over the last 12 billion years.

Biplob Bhattacharjee

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

I am working on the phenomenology of particle physics. My research interests are the study of the Standard Model and scenarios beyond the Standard Model physics, e.g., Supersymmetry, Universal Extra Dimensions, etc. and prediction of signatures of such models in the context of high-energy colliders such as Large Hadron Collider and International Linear



Collider. Apart from this, I look forward to work on the dark matter physics also.

Yu-Chieh Chung

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

My research interests center on flux compactifications, their mathematical structures, and their applications to string phenomenology and cosmology. A recent development in F-theory compactification opens a new window for GUT model building. In F-theory, four-dimensional physics in which we are interested is encoded by fluxes and singularities in Calabi-Yau geometries. My current research mainly focuses on F-theory model



building. It is interesting to understand better the role of the fluxes as well as the relation between physics quantities and singularities in the F-theory framework.

Richard Eager

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

D-branes at Calabi-Yau singularities provide a bridge between algebraic geometry and quantum field theories. The Calabi-Yau geometry determines the quantum field theory on the D-brane world-volume. Many interesting properties of the quantum field theory such as anomalies and beta functions can be translated into statements about the Calabi-Yau geometry. One of my research goals is to expand



this dictionary and create effective methods to determine the quantum field theory associated to a given Calabi-Yau singularity.

Our Team

John Kehayias

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

My research interests have been diverse, and I plan to continue doing research in several different areas while at IPMU. My general research interests include aspects of quantum gravity and geometry, supersymmetric field theories (general aspects and model building), and cosmology (inflation, dark energy). My past research has included studying fuzzy geometry and holographic spacetime, discrete



R-symmetries, generalized gaugino condensation, axions in string theory, gravitational waves from phase transitions in the early universe, and dark matter.

Siu-Cheong Lau

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

My research interests are symplectic geometry, complex geometry and their close relations with modern Physics. More specifically, I work on mirror symmetry, which is a duality between symplectic and complex geometry discovered by string theorists. Its enumerative power astonished the mathematical society: it transforms quantum symplectic invariants, which are very difficult to compute, into certain classical integrals, which are much easier to handle. Strominger-Yau-Zaslow proposed that mirror



symmetry can be understood geometrically by duality between tori. Their approach has to receive “quantum correction,” which is the main subject of my study. As an application I compute open Gromov-Witten invariants of Calabi-Yau and semi-Fano toric manifolds.

Alexie Leauthaud

Research Area: **Astrophysics**

Postdoc

As we look towards distant galaxies, fluctuations in the intervening mass distribution cause a slight, coherent distortion of their apparent shapes. The statistical measurement of this effect, known as weak gravitational lensing, has become a fundamental tool for observational cosmology, on par with studies of the CMB and Supernovae. My work focuses on measurements of weak gravitational lensing with the aim of understanding the role that dark matter plays



in shaping the large-scale structure in the Universe. I am very excited to join IPMU and in particular to be involved in the SuMiRe project which will be one of the leading surveys for weak gravitational lensing in the next decade.

Changzheng Li

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

My current research interests have focused on quantum cohomology of generalized flag varieties and related topics. Most of my works have dealt with the genus zero, three-pointed Gromov-Witten invariants of flag varieties as well as certain information on the ring structure of the quantum cohomology. It is a known fact that the quantum cohomology ring of a complete flag variety is



isomorphic to the homology ring of a based loop group after localization. I am also interested in finding a K-theoretic analogue.

Chunshan Lin

Research Area: **Cosmology**

Postdoc

Cosmology provides us a unique arena where gravitation and quantum physics meet each other. It is also a unique probe of ultra-high energy physics beyond energies which can be achieved at colliders. I have been working on several aspects of cosmology, e.g., statistical non-Gaussianities of CMB primordial perturbation, calculations of loop corrections to correlation functions of inflationary perturbations,



dark energy phenomenology, modifying gravity, and so on.

Yu Nakayama

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

Our world is replete with scale invariant phenomena, shape of the coastline, roman broccoli or fluctuation of stock price to name a few. It is believed that relativistic scale invariant quantum field theories show a stronger symmetry known as *conformal invariance*. Is this belief true? I try to attack this long-standing unsolved problem by using the holographic



principle and its mathematical structure in string theory.

Our Team

Robert Quimby

Research Area: **Astrophysics**

Postdoc

When a star explodes as a supernova, it releases energy that affects galaxy evolution, metals that alter the chemistry of future stars and their planets, and light that can be used to probe the distant universe and its cosmology. My research has uncovered new classes of superluminous supernovae, which are 100 times more luminous than typical outbursts. I am currently working to better understand these events



and what they may reveal about our universe's history.

Christian Schnell

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

Before joining IPMU, I was a postdoc at the University of Illinois at Chicago. My research is about two topics in complex algebraic geometry: Hodge theory and derived categories. On the one hand, I study variations of Hodge structure and normal functions; the motivation comes from families of algebraic varieties, and especially, families of hypersurfaces. On the other hand, I am interested in knowing which topological and geometric invariants



of an algebraic variety are determined by its derived category. Recently, I have been thinking about Hodge modules on abelian varieties, and about a certain class of Calabi-Yau threefolds.

EGADS Gets Going

Mark Vagins

IPMU Professor

Several years ago, IPMU Professor Mark Vagins and theorist John Beacom suggested adding 100 tons of gadolinium sulfate to Super-Kamiokande as a way - among other benefits - to detect the diffuse flux of supernova neutrinos produced by all the core collapse explosions since the onset of star formation. These ancient supernova neutrinos could provide a steady stream of information about not only stellar collapse and nucleosynthesis but also on the evolving size, speed, and nature of the cosmos itself. This ambitious plan is called GADZOOKS!, for Gadolinium Antineutrino Detector Zealously Outperforming Old Kamiokande, Super!

In order to demonstrate the safety and effectiveness of this approach, a new, dedicated gadolinium test facility has been constructed underground in the Kamioka mine near Super-K. Led by Vagins and IPMU PI Masayuki Nakahata, this large-scale R&D project is called EGADS: Evaluating Gadolinium's Action on Detector Systems. It includes a 200 ton scale model of Super-K complete with 240 50-cm phototubes, and a novel selective water



In the EGADS underground laboratory. From left to right: Roy Hall, Erin O'Sullivan, Masayuki Nakahata, Jeff Griskevich, Mark Vagins

filtration system.

The system became operational in early 2011, first running with pure water. In August, once it was shown that the filtered water in EGADS was equal in quality to that in Super-K, the first gadolinium sulfate - 28 kg - was dissolved, allowing studies of gadolinium filtration and transparency to begin. By September, the EGADS selective filtration system had achieved a gadolinium retention rate of 99.97% per pass, while simultaneously cleaning unwanted impurities from the water: a major achievement.

EGADS is scheduled to run through 2013, providing key input to the ultimate decision regarding adding gadolinium to Super-K.



IPMU Interview with Roberto D. Peccei

Interviewer: Hitoshi Murayama

IPMU jumped through incredible hoops at the beginning

Murayama: Thank you so much again for being the chair of this External Advisory Committee for...really, 4 years; and your constructive criticisms so far have been very useful for us to think

about how to run the place—how to ramp it up. The university has been listening to your important suggestions. Thank you again. I very much appreciate your service.

Peccei: You know it actually is a pleasure because it has

Roberto D. Peccei is Professor at the Department of Physics and Astronomy, UCLA. He was Vice Chancellor for Research at UCLA from 2000 to 2010. He is a world-renowned theoretical particle physicist. His research interests lie in the area of electroweak interactions and in the interface of particle physics with astrophysics and cosmology. He has been the Chair of the External Advisory Committee of IPMU since March, 2008.

been fun to see something grow from an idea to, really, a reality, and you now live in a wonderful building. There's lots of good science being done. You have in very short order become an international institute that other people recognize, and so spending some time reviewing IPMU is really a pleasure. It's not a duty at all.

Murayama: Thank you for saying that. Maybe you can give me your impression on what you saw at the very beginning. You just mentioned that it was just an idea, and I agree with you—it was just an idea at the infancy. How has it developed from your point of view?

Peccei: From my point of view it was quite clear that Japan made a big strategic move in trying to start these WPI, as they are called. They picked some good areas to do that and clearly picking the area that I am closest to, which concerns the physics and mathematics of the universe, was an excellent idea. And it is also important, I think, that these institutes are associated with first-class universities or institutions. You could have not been more strategic—in

picking a better place—than the University of Tokyo.

I think I felt in the beginning that you were starting on very good grounds. First of all, the institute had you. It's true, that's important! Second, there was real commitment from the university administration, originally from Professor Komiyama, and now also from the new President, Professor Hamada, and both of them really were very committed. I have been around for a long time and it is really important to have an institutional backing. You, obviously, had lots of backing from the University of Tokyo, and also you were very well funded because that's what the Japanese government wanted to do. It was very good beginnings.

But, even if you have good beginnings, it doesn't necessarily always develop this way. And I think that one of the things that I appreciated was the commitment that you had, and Nakamura-san had, toward, actually making IPMU a success. That was quite clear, that was very important, and you were asked to jump through incredible hoops.

Murayama: Hoops, and we jumped through them!

Peccei: To some extent I think that External Advisory Committee felt some responsibility to give you as much protection and advice as we could because...

Murayama: Absolutely.

Peccei: ...we saw a good

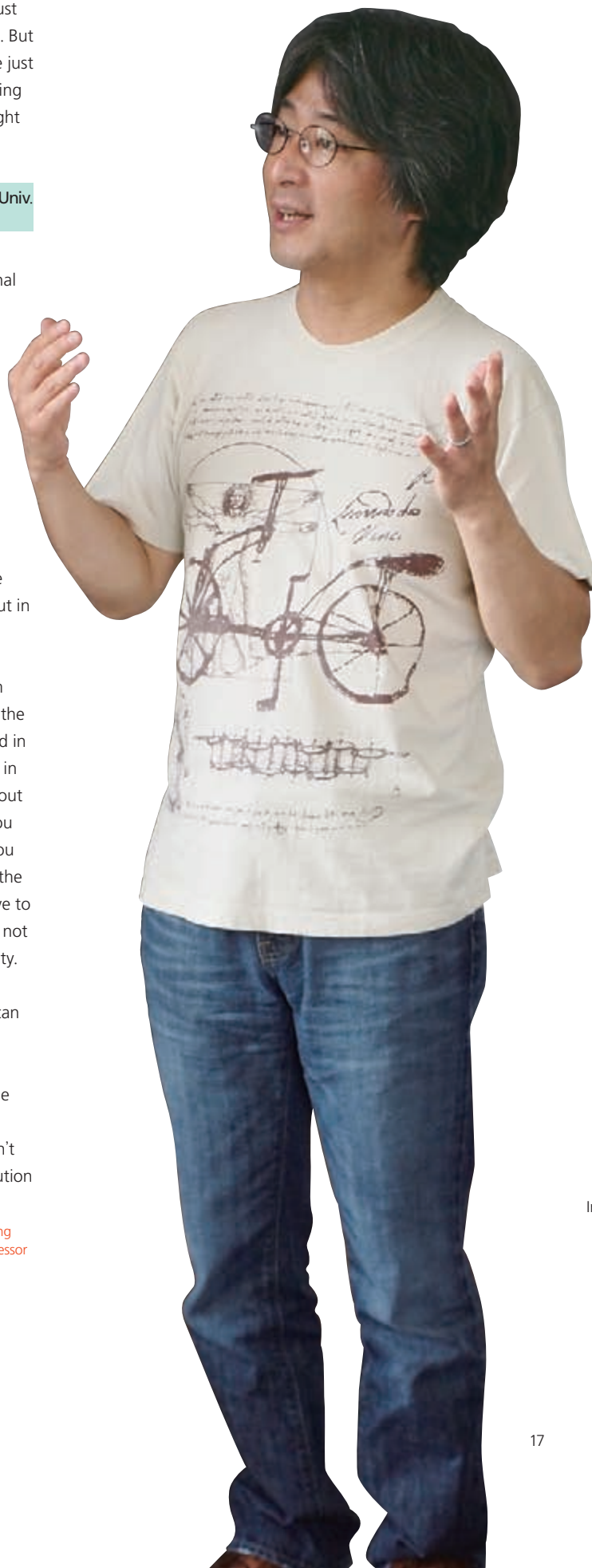
idea developing and we just wanted it to be successful. But the success is yours. We're just sort of bystanders and trying to suggest things that might be helpful.

Lots of important things Univ. of Tokyo did for IPMU

Murayama: You just mentioned that institutional backing is very important and I am sure being in a role of Vice Chancellor of Research at UCLA, you have seen in some cases things actually don't quite work the way they are envisioned. What could have been the pitfalls, something we might have to actually be careful about in the future too?

Peccei: Well, for example, the worst type of problem that could happen is that the institution is just interested in the money that you bring in and doesn't really care about you, and so, will exploit you and pay lip service until you have money. Then, when the money stops, says goodbye to you. Well, certainly this is not the case of Tokyo University. I have seen, particularly in the States where people can be very hardnosed, good initiatives that have really failed. It was fine when the faculty brought money in, but the moment they didn't bring money in, the institution

Hitoshi Murayama is the founding Director of IPMU. He is also Professor at the University of California, Berkeley.



lost interest. Here, I found that actually Tokyo University really did think how best to help you, and did lots of important things for IPMU; for example, it agreed to build a building for you. Of course, they are beneficiaries of this thing too, but there was a real commitment.

Murayama: I remember, I think it was at the first External Advisory Committee, and I mentioned that the university is building a building for us and you looked very puzzled, actually, that building a permanent building for a non-permanent institution, how is that possible.

Peccei: Right. I think that that kind of commitment was important. Of course that commitment has escalated with TODIAS and now with this initiative they really want to embed IPMU into the university properly. However, I think that all of the backing

of the University of Tokyo would have meant little if you couldn't bring here a group of people that did first-class science, that are committed to the topic that the institute is focusing on. I emphasized the institutional backing but that doesn't work unless you are also a first-class institute or you grow into a first-class institute and that has happened and that's been very important.

Murayama: Amongst the kind of science presentation, the posters we have seen yesterday, what is the kind of aspect of those presentations that you found interesting?

Peccei: I know that the part that, to me, is really very remarkable is the interdisciplinarity of the projects. I mean, I think you and I have sort of gotten used to it. But if you were to jump back, there're people that have changed careers doing

different things that they themselves might not realize. Most of what was discussed really addressed problems in more than one field of science using techniques from one part of science to do something in another part of science.

You have sort of made a very smooth transition into a highly interdisciplinary institute. I know one of the important questions you face is always whether you can integrate mathematicians. Yes, you have actually integrated mathematicians in the sense that some of the physicists have *become* mathematicians without themselves realizing that they have made a transition, and vice versa. Some of the physicists have also become observers. You have become, in a way, an observer for the Subaru project.

That is extremely healthy in my view. I mean in my job as vice chancellor for research, I was the only person really whose brief was to look horizontally across the whole university to see whether the different sides collaborated. I grew very, very fond of interdisciplinary programs and in some ways I grew to understand what programs were really interdisciplinary and what programs were just painted interdisciplinary. IPMU is really interdisciplinary. You have to be careful here. For instance, you can do something in somebody else's field and then perhaps you

are the best physicist that does some kind of medicine but that doesn't mean that you're doing good medicine. In your case, you really are truly interdisciplinary and doing very good science in different places. That is the wonderful aspect of IPMU

Relation between IPMU and traditional departments being positive interference

Murayama: I'm sure you have seen many new centers coming up within UCLA campus. One of the things we should still worry about is the relationship between the traditional departments which exist at the University of Tokyo and how we can either learn from them, how we can help them, how we can work with them. What was the sort of success model in the case of UCLA?

Peccei: I have a success model. If you look at the university at large, in your case, you need to look at slightly more restrictive but I think it's basically the same concept. In my case, I had to make sure that the deans, who were always interested in furthering their school, and this is natural, were also willing to play with other deans to work on some areas where they overlap.

I think you have the same situation here. Instead of talking about schools, you're really talking about various departments. Chairs of the various departments will have their agendas; they would



like to make the mathematics department or the physics department better, and I think that's perfectly fine. But your job as director is to try to convince them that at times it'd be good if they collaborate with IPMU and that your institution is helping them to achieve, not only what they want to achieve in their own discipline, but also giving them a little bit of help to achieve things that are occurring in the interface, that actually will, in the end, make their discipline even better.

I think that you ought to play this role here. I think the most difficult thing that I see, which is partly due to the structure of Japanese university, is this business of the graduate students. I mean you're, obviously, doing a good job with the graduate students but that has to come a little bit more natural from the departments. But, this is clearly where you are going, which is the right thing to do. You have to figure how to do more as a very large marriage broker.

Murayama: Oh, I see.

Peccei: But basically making people understand that by helping you grow better or by having IPMU being strong, it actually makes their units also strong. It doesn't take away anything. It actually adds—because it's positive and not negative interference.

Murayama: Yeah. That's a great way of looking at it. At least I am trying to help the physics department in

a way at least I could, like trying to talk to freshmen and sophomores one time and trying to impress them that physics is really an active, vibrant and exciting field, and apparently that seems to have stimulated some of them declaring their major in physics and so on and so forth.

Peccei: Yeah. I mean every place is a little bit different. There are different mores that you have to live by. But the idea is that you are doing things that will be positive. It's important to emphasize that.

Common problems WPI institutes could work together

Murayama: You also referred to the fact that WPI is sort of a national initiative and institute, not only this place, but five other places right now. Again, being in the capacity of vice chancellor of research for long time, you can probably look at the other centers and fields and see how maybe we can work together in some way or if Japan as a whole can open up in some ways—what do you see as the future direction?

Peccei: Actually, a good microcosm of this happened in the University of California about 10 years ago, when the State of California had money, believe it or not, actually!

Murayama: It's hard to believe now!

Peccei: They invested in these California Institutes for Science and Innovation and

created four institutes funded by 100 million from the state plus 200 million that you had to raise as matching funds, and they established four of these institutes in different areas. We had one jointly with Santa Barbara in nanoscience; Berkeley had one jointly with Davis and with other branches of UC basically on internet kind of things. Then there was also an institute that did basically genomics and biomedical research based in UC San Francisco.

But anyway, these were quite different institutes and they were created by the state because they wanted to have California be prepared for the future in terms of new disciplines and new ideas that would develop. Even though they covered different kinds of science, for example, the fourth institute which was based in the University of San Diego was

in telecommunications, there was sufficient overlap, not intellectual, but from the fact that each of these institutes were created to help the state be better prepared for the future. I compare this to the WPI effort because, again, the WPI wants to have Japan have some real leading institutes in forefront areas of science where they are recognized and that will push science and technology forward in Japan. This is very similar to what happened in California.

What happened is that even though the institutes were competing against one another for funds, just like you are, there was still a commonality because the institutes were put together to achieve a sort of grander goal. There was helpful cooperation in that respect among the institute directors, even though you had to compete because you were



going after the same pot of money.

Murayama: That's right.

Peccei: But there was a commonality because you had similar problems you were trying to really solve. In your case and the one of the WPI program, I think, the most difficult and challenging problem, is really to have a large proportion of foreign visitors. This you have done very well and very easily, but it's not an easy thing to do.

Murayama: That's right.

Peccei: So, there are certainly common problems that you have where I think the WPI institutes could very well work together.

Murayama: So we should work on that, then. Good. So, having seen this WPI instituted and you have seen IPMU grow over the 4-year period, looking from outside, has that changed the perception of a Japanese science community in anyway? What was the view of Japan before WPI and how is it now?

WPI is something very non-Japanese, healthy thing for Japan to do

Peccei: Well, I think that what has been noted outside, in a sense, is the fact that Japan wanted to make an investment to create world-class institutes. Certainly, it was noted in our field. I think there is certainly no physicist that doesn't know about IPMU, even if they may not quite know exactly what Japan is doing. But, it's clear

that IPMU is a new kid on the block, but one that is really very well prepared to compete with the best.

I think it was important for Japan to do what it did, particularly since there has been a tremendous amount of recent investment in science by China and also now by India to some extent. Although, Japan has invested in science for a long long time, it didn't really ever try to be pushy and say well, "We would like to be at the top." In this case, they actually said something very non-Japanese, "We would like to compete and here is what we created." I think that that was a very good thing to do actually. This is a personal opinion, but I felt that this was a very healthy thing for Japan to do.

Maybe it also was at the right time given the reform in the university system in Japan. So it probably was the right time to do this kind of thing. Even though it's a little bit difficult to understand what the criteria of organizational improvement in the WPI review is, it is actually helpful. As I understand it, what they really want is help against the resistance to change the system in important ways. So you really have a precursor path to follow.

Murayama: Are there examples in the UC system that some institute was created within the UC system and somehow it started to change the whole UC organization over time?

I am asking this because sometimes I feel kind of powerless. You see, I took on such a big monster, in a way. So, how could this be possible at all?

Peccei: Yeah. I'll give you an example. It doesn't totally answer what you have said and what you ask, but let me go back to these California Institutes of Science and Innovation. They were created to basically provide a bridge between what the university does and the outside, if you wish, the corporate community, because most of the topics were topics which were going to be important to the State of California in terms of their development in creating the new industries for the future.

Murayama: I see.

Peccei: These institutes in a way are quite different than the traditional organized research units of the University of California. The University of California has, as you know, many of these ORUs, Organized Research Units. These were created over time but they started being created about 50 years ago and in some way reflected the University of California then. Some of these ORUs have done well and continue to do well, but others have sort of become more ossified as structures in universities tend to do.

So, by creating new things, you get change. If you look at the University of California as a whole—then you realize that the research in the

University of California is not just represented by these ORUs; in fact, it is very much broader. These institutes are an example—but so are many other things that are moving much more rapidly. In some ways, creating new structures forces the university to look at what the existing structure is. I think there is a similar process going on here. Now, how successful is it going to be, or are people going to be so impressed to say, oh, we're all going to go this way. That I do not know, it's a long process. But I think it is part of a natural evolutionary process. I view both the WPI initiative and IPMU in particular, as very positive things. Even though it looks a little bit quixotic to imagine that you will actually be able to change the system, it's a normal way to change a system.

Murayama: I see. I wouldn't have expected that.

Peccei: But I think you are at least hitting a few windmills pretty well.

Murayama: Interesting.

Peccei: I'm actually quite positive on this role of IPMU actually. I think that this is one of the nicest and more important aspects of the institute.

Murayama: One sort of aspect of trying to create this international institute is that some may wonder "Why do we have to do this?" Yourself being—having a very international career and living in Argentina, Germany, Italy, the US, and

also being an international scientific career as well—so, in your mind, what is sort of really important about being international, being global.

Peccei: I think you cannot survive right now unless you are international. We are international in our own profession, very much so. But I think the importance in my view of this institute for Japan is that it shows that Japan really has an interest in being regarded as a forefront international country. They are prepared to invest to be that. Not that they are *not* at the forefront internationally, because they *are*. But Japan is not as well recognized as it should be. This is one way to sort of say “You know guys, we’re really here to play.” I think, as I said, I consider it to be a very positive thing. You are fortunate that there was a period of time when there was money in Japan too!

Murayama: That’s right.

Peccei: You could think of doing these things then. That’s one of the important points. You have certain windows in time when it is possible to invest in some things. There are other windows in time where there are many other things that are occurring, so that you cannot invest in new initiatives. But it’s important that countries and universities and individuals take advantage of those moments in time in which it is possible to make some steps forward and take advantage of that. It’s really nice to see that you

guys have taken advantage of that.

To understand the universe, many more tools than the telescope needed

Murayama: I guess the last thing I would like to ask you is now on the scientific side. I truly believe that developing particle physics and astrophysics and mathematics really have a lot of common interest among them and it’s really the right time to actually get together and try to think of the new steps. In your view, looking into this history of particle physics already for decades, where are we going from here? What is the next right thing to do scientifically? Where is the next breakthrough?

Peccei: I think the theme here is the right theme to make progress. You ought to really understand the universe. IPMU wants to understand the universe…

Murayama: Yeah, we are part of it.

Peccei: Yeah, to understand the universe you cannot only do astronomy. You also have to do particle physics. You have to have the tools that mathematics brings. You have to have the willingness to explore short distance physics. You really have to look at a broader gamut of disciplines. I think four centuries ago, if you wanted to understand the universe, you did need to invent the telescope that looked at the universe. Now, you need many more tools.

You are trying to bring all the people that have tools that will help us understand the universe together. I think that that is the mission. I mean your mission is the universe, yes a little bit broad, but the right mission.

I should tell you that I was recently in South America. I have lots of nephews.

Murayama: I see.

Peccei: One of them asked me of what I was doing and I said, well, one of the things I was doing was that I was the chair of this external committee for the physics and mathematics of the universe and he just laughed. He said, “Well that is certainly pretentious!”

But I told him, “Look, I mean if you want to understand the universe, you have to do just this. You have to put all these things together.” We actually had a very good discussion. After at first being very amused by this, in the end he understood that you need all of this to understand the Universe. I think the mission of IPMU is absolutely central and inspiring. If you just tell people with a straight face, correctly, “I am just interested in understanding the universe,” I think you are doing well.

Murayama: That’s interesting. I never imagined that the name of the institute can invoke that kind of reaction.

Peccei: Well, it’s ambitious. You want to understand the universe. I mean most people

are happy if they understand whatever was the morning news.

Murayama: Which is very hard to understand.

Peccei: Yeah, which is even more—it’s harder to understand than the universe, but it’s sort of ambitious and it follows sort of the steps of giants. Now, whether you will be able to take a giant step, that’s always very hard to tell but you are going I think in the right direction. I mean at least—maybe I am just deeply prejudiced because that’s my interest too, but I think it is what you’re trying to do and I think this is wonderful.

Murayama: You mentioned to me yesterday that you’ve been wearing IPMU T-shirt at the beach and people ask you about questions on what this is about and stuff. What do you tell them actually?

Peccei: Well, I think they are a little shy to ask me. It’s interesting. I mean in fact, one time I met actually a young Japanese couple in a beach that could actually read the kanji.

Murayama: Yeah, okay.

Peccei: They kept looking at me. And then I said, oh yes, that’s right, but they were too shy to ask me exactly how come I had on this very strange T-shirt.

Murayama: Okay. We should start selling that T-shirt all over the world.

Peccei: Absolutely. I think you would do extremely well.



FY2011 Site Visit

FY2011 site visit by observers from MEXT and JSPS was conducted on August 4 and 5, 2011. Members of the delegation included WPI Program Director Toshio Kuroki, Program Officer in charge of IPMU Ichiro Sanda, five Working Group members, officers from Research Promotion Bureau of MEXT, Mitsuyuki Ueda (Director, World Premier International Research Center Initiative/ Basic Research Promotion Division) and others. From the University of Tokyo Directorate, Managing Director and Executive Vice President Yoichiro Matsumoto attended on the second day. Also TODIAS (Todai Institute for Advanced Study) Director Sadanri Okamura attended both days.

The objective of the FY2001 site visits to the five WPI centers selected in FY2007 was to assess the state of their project implementations as of FY2010, through Q&A sessions with the project members and site observations, so as to contribute to their respective interim evaluations.

The working group consisted of six members. Three of them, Tetsuji Miwa, Tuneyosi Kamae, and Matthias Staudacher visited IPMU on the last site visit. Others are Yutaka Hosotani (successor to Hikaru Kawai), Anthony Tyson (successor to John Peacock),

and Hiraku Nakajima (newly appointed, absent this time).



IPMU Director Hitoshi Murayama reports to the delegation

On this site visit, ample time was allocated to the oral presentations of research reports by principal investigators and faculty members, and also to poster presentations by young researchers including postdoctoral fellows and graduate students. Interdisciplinary researches and new attempts were particularly emphasized in the presentations and discussions.



Poster session on the second day.

Fourth Meeting of the IPMU External Advisory Committee

Prior to the WPI site visit, the fourth meeting of the IPMU External Advisory Committee "EAC 2010" was held on July 26, 2011, with Roberto Peccei (UCLA, chair), John Ellis (CERN), Steve Kahn (Stanford/SLAC), and David Morrison (UC Santa Barbara) in attendance. The committee heard Director Hitoshi Murayama's report on the IPMU activities in FY2010 and research reports from eight IPMU

researchers in various fields. The committee also looked at the poster presentations of 35 IPMU researchers. The committee reviewed the IPMU's past activities, both administrative and research, and gave valuable suggestions for the future.



EAC members (front row, from left to right) John Ellis, Roberto Peccei, Steve Kahn, David Morrison

Kyoji Saito Awarded the MSJ 2011 Geometry Prize

The Mathematical Society of Japan (MSJ) announced that IPMU Professor Kyoji Saito, who is also an IPMU Principal Investigator, had won the 2011 Geometry Prize for his "contributions in modernizing the theory of period integrals," such as the theory of primitive forms and the theory of Frobenius manifolds (flat structure). Professor Saito's achievements were based on modernizing the theory of elliptic integrals and period integrals by Euler, Abel, Jacobi, and others in the 18th and 19th centuries. His achievements have great influence not only on various fields of mathematics, but also on the developments in the frontier of theoretical physics. He is a leading mathematician with wide international influence, and continues to be active in research.

The award ceremony was held on September 29, 2011 at the MSJ autumn meeting at Shinshu University.

Laser Guide Star Adaptive Optics Sharpens Subaru Telescope's Eyesight and Opens a New Vision of the Distant Universe

The Laser Guide Star Adaptive Optics (LGSAO) system of the Subaru telescope, which has been recently completed, enables the compensation for atmospheric turbulence to achieve ~10 times higher spatial resolution than has been hitherto achieved, in particular, for imaging observations of most of the distant galaxies and quasars. With this system, Masamune Oguri, an assistant professor of IPMU, and his colleagues observed the double quasar SDSS J1334+3315 to directly detect a foreground galaxy that causes the gravitational lensing effect producing the two images of a single background quasar. This observation demonstrates well the power of the LGSAO system.

The results of this research have been published in *Astrophysical Journal*, Vol. 738 on August 10, 2011.

Cosmic Dust Is Produced at Stellar Explosions—Discovery of Massive Dust in SN1987A

An international research group consisting of 23 astronomers (Mikako Matsuura at the University College of London, Takaya Nozawa at IPMU, and their collaborators) observed SN 1987A in the Large Magellanic Cloud with the Herschel Space Observatory. They found that extremely cold dust grains of temperatures lower than -250 Celsius are shining in SN 1987A with 200 times the energy emitted by the Sun. The total mass of the dust corresponding to the observed temperature and energy is more than 200,000 times the Earth's mass, indicating that the explosion of SN 1987A produced a large amount of dust. So far, the origin of cosmic dust

has been one of the big mysteries in astronomy, but this discovery implies that supernovae are primary sources of dust in the universe. These results provide key clues in understanding the evolution of the solid materials throughout the cosmic age, as well as the origin of the Earth on which we live.

The results of this research have been published in *Science*, Vol. 333 on September 2, 2011.

2011 Symposium to Encourage Female Students to Study Science "Come and Hear with Your Parents! Science Frontier III"

This symposium was held at Yayoi Auditorium Ichijo Hall on the University of Tokyo Hongo Campus on August 6, 2011. The program included lectures by female researchers, introductions of research laboratories, and opportunities to interchange with female graduate students. It was hosted by the University of Tokyo's "Liaison Group for Encouraging Students to Choose S&T Course." This group, started in January, 2009, with initially seven, and later three more, S&T related graduate schools and institutions including IPMU, has been organizing symposia, visits to research facilities, opportunities for interchange with researchers, and so on, to encourage junior and senior high school female students to choose S&T courses. The Liaison Group, supported by JST (Japan Science and Technology Agency), is also undertaking such activities in FY2011.

Saga Prefectural CHIENKAN Senior High School Students Visited IPMU

About 40 eleventh-grade students of Saga Prefectural CHIENKAN Senior

High School visited the University of Tokyo Kashiwa Campus, and IPMU in particular, on August 22, 2011. After the lecture entitled "What is Needed for Forefront Researchers?" given by IPMU postdoc Masayuki Tanaka, they enjoyed a Q&A session about the universe at the interaction area Piazza Fujiwara on the 3rd floor of the IPMU building, where IPMU assistant professor John Silverman and IPMU postdoc Charles Steinhardt also joined. The students were actively asking questions about the universe as well as IPMU.



IPMU assistant professor John Silverman (right) and IPMU postdoc Masayuki Tanaka (left) at the Q&A session

First SuMIRe Collaboration Meeting for PFS

The first SuMIRe (Subaru Measurement of Images and Redshifts) Collaboration Meeting for PFS (Prime-Focus Spectrograph) was held at IPMU for three days, July 11 – 13, 2011. The exploitation of PFS is currently undertaken under the initiative of IPMU. In this meeting, those international SuMIRe-PFS partners who already have an outline agreement with the core PFS team were invited to discuss various problems in the PFS construction such as the schedule and quality control.

Future Workshop: Curves and Categories in Geometry and Physics

IPMU Workshop on "Curves and

Categories in Geometry and Physics” will be held for five days, October 31 - November 4, 2011 at IPMU.

**Future Workshop:
6th Asian Winter School on
Strings, Particles and Cosmology**

This winter school will be held from January 10 to 20, 2012 at Kusatsu, Gunma, Japan. It is jointly sponsored by IPMU, The Graduate University for Advanced Studies (Sokendai), High Energy Accelerator Research Organization (KEK), and Asia Pacific Center for Theoretical Physics (APCTP).

**Future Workshop:
Testing Gravity with Astrophysical
and Cosmological Observations**

IPMU workshop “Testing Gravity with Astrophysical and Cosmological Observations” will be held from January 23 to February 3, 2012 at IPMU.

IPMU Seminars

Information on IPMU seminars is posted on IPMU website (http://db.ipmu.jp/seminar/?mode=seminar_recent). You will find detailed information and request form (when needed) there.

1. “Green-Schwarz superstring with conformal symmetry”
Speaker: Yoichi Kazama (University of Tokyo, Komaba)
Date: Jul 05, 2011
2. “Anisotropic scalings and a theory of quantum gravity”
Speaker: Anzhong Wang (Baylor University)
Date: Jul 06, 2011
3. “Modeling the Electromagnetic Signature of Merging Supermassive Black Holes”

- Speaker: Takamitsu Tanaka (Columbia University / Max Planck Institute for Astrophysics)
Date: Jul 07, 2011
4. “A Road to Supermassive Black Hole Merger”
Speaker: Kimitake Hayasaki (Kyoto University)
Date: Jul 07, 2011
 5. “Exact results in 3d gauge theories and M-theory”
Speaker: Yosuke Imamura (Titech)
Date: Jul 12, 2011
 6. “Cosmic Near Infrared Background”
Speaker: Eiichiro Komatsu (Texas University)
Date: Jul 14, 2011
 7. “Some results from Hodge theory”
Speaker: Christian Schnell (IPMU)
Date: Jul 19, 2011
 8. “Signs of a Hidden Sector from Supersymmetry(s)”
Speaker: Clifford Cheung (University of California, Berkeley)
Date: Jul 20, 2011
 9. “Probing the Epoch of Reionization”
Speaker: Masami Ouchi (ICRR)
Date: Jul 21, 2011
 10. “Mirror symmetry and non-complete-intersection Calabi-Yau manifolds”
Speaker: David Morrison (University of California, Santa Barbara)
Date: Jul 25, 2011
 11. “Ultra High Energy Cosmic Rays: latest results from the Pierre Auger Observatory”
Speaker: Maximo Pernas (KIT)
Date: Jul 26, 2011
 12. “Inflation in Gauge Mediation and Gravitino Dark Matter”
Speaker: Yuichiro Nakai (YITP)
Date: Jul 27, 2011

13. “New insights on galaxy evolution since $z \sim 1.2$ from the CFHT Legacy Survey”
Speaker: Jean Coupon (Tohoku University)
Date: Jul 28, 2011
14. “A Chiral Magnetic Effect from AdS/CFT with Flavor”
Speaker: Tatsuma Nishioka (Princeton University)
Date: Aug 02, 2011
15. “SYZ mirror symmetry for toric Calabi-Yau manifolds”
Speaker: Siu Cheong Lau (IPMU)
Date: Aug 05, 2011
16. “F-theory and elliptic fibrations; physics intro & casual discussion of math aspects”
Speaker: Taizan Watari (IPMU)
Date: Aug 09, 2011
17. “Linear Sigma Models and Heterotic Vacua”
Speaker: Jock McOrist (University of Cambridge)
Date: Aug 15, 2011
18. “Constraints on modified gravity from future surveys”
Speaker: Daisy Suet-Ying Mak (University of Southern California)
Date: Aug 16, 2011
19. “Asymmetric Dark Matter”
Speaker: Kathryn Zurek (University of Michigan)
Date: Aug 23, 2011
20. “Super-Planckian scattering at the LHC”
Speaker: Seong-Chan Park (Chonnam National University)
Date: Aug 24, 2011
21. “The formation of the first stars and galaxies”
Speaker: Thomas Greif (Max Planck Institute for Astrophysics)
Date: Aug 25, 2011
22. “The monopole-vortex complex: dual gauge symmetry from flavor”

- Speaker: Kenichi Konishi (Pisa University)
Date: Aug 26, 2011
23. “ABCD of 4d/2d correspondence”
Speaker: Jaewon Song (Caltech)
Date: Aug 30, 2011
24. “Noncommutative Geometry and the Hirzebruch-Riemann-Roch Formula”
Speaker: Raphael Ponge (Seoul National University)
Date: Aug 31, 2011
25. “Planck Early Measurements of the Cosmic Infrared Background Anisotropies”
Speaker: Olivier Dore (NASA JPL)
Date: Sep 01, 2011
26. “Universalities of Theories with Tri-vertices”
Speaker: Noppadol Mekareeya (Imperial College London)
Date: Sep 06, 2011
27. “21-cm Cosmology”
Speaker: Tzu-Ching Chang (ASIAA, Taiwan)
Date: Sep 08, 2011
28. “Aspects of Higgs searches in CP-violating MSSM at the Large Hadron Collider”
Speaker: Priyotosh Bandyopadhyay (KIAS)
Date: Sep 14, 2011
29. “WFIRST and Euclid”
Speaker: Jason Rhodes (NASA JPL)
Date: Sep 15, 2011
30. “Holographic Entanglement Entropy”
Speaker: Rob Myers (Perimeter Institute)
Date: Sep 27, 2011
31. “Holographic C-theorems”
Speaker: Rob Myers (Perimeter Institute)
Date: Sep 27, 2011
32. “A New View of the CMB from the Atacama Cosmology

- Telescope”
Speaker: Sudeep Das (BCCP/UC Berkeley/LBL)
Date: Sep 28, 2011
33. “Looking for cracks in the standard cosmological model: neutrinos and non-Gaussianity”
Speaker: Tristan Smith (UC Berkeley)
Date: Sep 29, 2011

Personnel Changes

Moving Out

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

IPMU postdoctoral fellow Cosimo Bambi [September 1, 2008 – August 31, 2011] moved to Ludwig-Maximilians-Universität München as a postdoctoral fellow.

IPMU postdoctoral fellow Jing Shu [September 1, 2008 – August 31, 2011] moved to SISSA at Trieste, Italy as a postdoctoral fellow.

IPMU postdoctoral fellow Kwokwai Chan [January 1, 2011 – September 15, 2011] moved to The Chinese University of Hong Kong as an assistant professor.

IPMU postdoctoral fellow Chuan-Ren Chen [May 1, 2008 – August 14, 2011] moved to Argonne National Laboratory as a postdoctoral fellow.

IPMU postdoctoral fellow Won Sang Cho [February 1, 2010 – August 14, 2011] moved to The University of Florida as a postdoctoral fellow.

IPMU postdoctoral fellow Wei Li [August 16, 2008 – August 15, 2011] moved to Max Planck Institute for Gravitational Physics as a postdoctoral fellow.

IPMU postdoctoral fellow Domenico Orlando [October 1, 2008 – September 30, 2011] moved to CERN as a CERN fellow.

IPMU postdoctoral fellow Susanne Reffert [October 1, 2008 – September 30, 2011] moved to CERN as a CERN fellow.

Emille Ishida and Rafael Da Silva De Souza, who were at IPMU between September 16, 2010 and August 29, 2011, under the auspices of the Brazilian government’s postdoctoral program, returned to Brazil.

Appointment

Yuji Tachikawa, who was IPMU Assistant Professor until April 9, 2011, was again appointed to IPMU Assistant Professor on August 8, 2011. For his research interests, refer to IPMU NEWS No. 12, page 11.

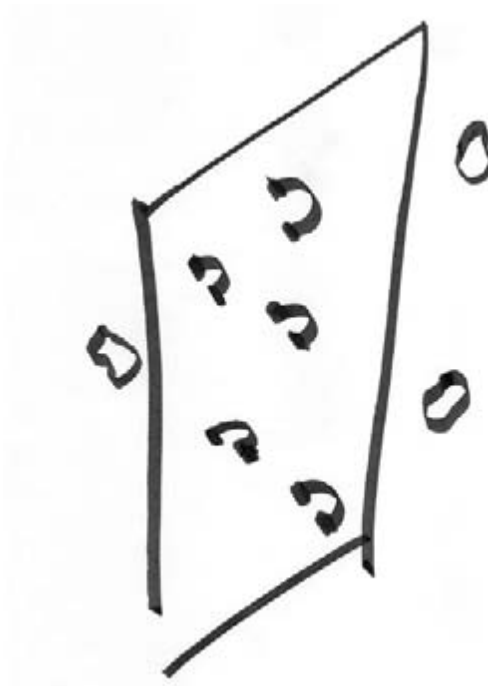
Cornelius Schmidt-Colinet, who stayed IPMU as a Swiss National Science Foundation postdoctoral fellow until January 20, 2011 was appointed to an IPMU postdoctoral fellow on April 16, 2011. For his research interests, refer to IPMU NEWS No. 11, page 12.

Braneworld

Shinji Mukohyama

IPMU Associate professor

Einstein unified space and time into spacetime, and established special and general theories of relativity. In relativity, spacetime does not have to be four dimensions. Actually, many unified theories such as superstring theory assume more than four dimensions. In this case, our universe might be an object like membrane, called brane, floating in higher dimensional spacetime. This view of the universe is called braneworld.



$$[K^{\mu}_{\nu} - K \delta^{\mu}_{\nu}] = -\kappa^2 S^{\mu}_{\nu}$$

発見

IPMU 機構長

村山 斉 むらやま・ひとし

真に基本的な発見というものは、それほど頻繁にあるものではありません。岐阜県の高山で開催された1998年のニュートリノ国際会議に参加して、そのような発見の一つを目の当たりにできたのはとても幸運でした。発表したのは、現在IPMUの主任研究員である梶田隆章さんでした。事前に通知されていた講演題目、「スーパーカミオカンデとカミオカンデによる大気ニュートリノの観測結果」は大して面白そうには思えませんでした。しかし、登壇して最初のスライドを示しながら、梶田さんはこう宣言したのです。「これから行う講演の題目を変更します。」

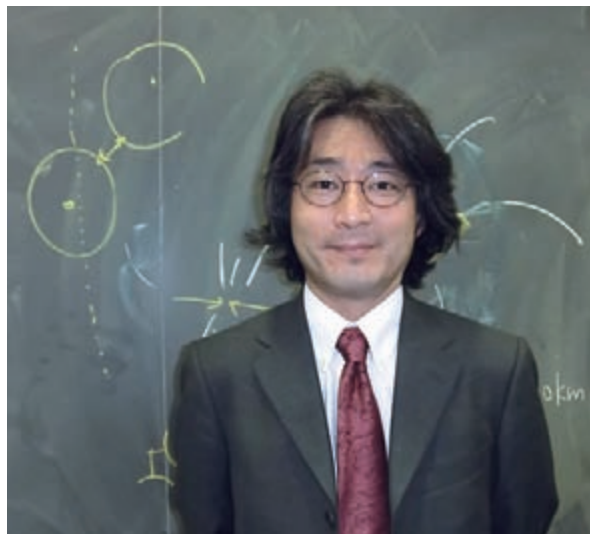
新しい講演題目は「ミューニュートリノ振動の証拠」でした。梶田さんはニュートリノがほんの少しだけ質量をもつことを示したのです。ミューニュートリノが数百km飛行する間に何か別のものに変身するというその講演は、すごい説得力でした。間違いなくニュートリノ物理学の歴史を変えた瞬間でした。1960年代以来ずっと待ち望まれてきたこのような証拠が遂に得られたのです。

講演の最後に私は立ち上がりました。続いて聴衆の半分ほどが立ち上がり、梶田さんに拍手喝采を贈りました。科学者というのは批判的で、分析的で、懐疑的で、控えめであると思われていますが、確かに物理学の会議では、このようなスタンディングオベーションは普通あり得ないことです。しかし、この瞬間は違いました。本当に感動的な瞬間でした。

小惑星探査機「はやぶさ」は光の速度で日本から20分離れた小惑星に着地し、地球に帰還しましたが、はやぶさに信号を送るには光子（電波）を利用しました。その光子と同じように、ニュートリノには質量がないと信じられていたのです。そうであればニュートリノは光速で飛行

するはずですが。アインシュタインによれば、光速で飛行する物体では時間は停止します。しかし、ニュートリノはある種類から別の種類に変身します。時間が止まったままでこうはできません。ニュートリノは時間を感知し、従ってその速度は光速より遅いはずであり、それは質量をもつことによるのみ可能なのです。

今号のIPMU NEWSで、この大発見についての梶田さん自身の解説をお読みください。しかし、なぜニュートリノが質量をもつのか、その理由はまだ分かっていません。その答えを得ようとして、私たちはカムランド-ゼンと呼ばれる新しい実験を始めます。多分、それほど遠くない先に実験結果を報告できるようになると思います。



大気ニュートリノとニュートリノ振動

はじめに

今から約100年前、ビクトール・ヘスが自ら気球に乗って上空の放射線強度を測定し宇宙線が発見されました。その後の研究でこの宇宙線は陽子や原子核が主成分で、またそのエネルギーは非常に高エネルギーまで延びていることが判明しました。一方で、現在に至るまで宇宙線がどこでどのようなメカニズムで生成されているかは十分わかってはおらず、現在でもこの起源を求めて多くの研究がなされています。

宇宙線が大気中に入射すると、大気中の窒素や酸素といった原子核と相互作用し、その際に多くのパイ中間子が生成されます。パイ中間子のうち電荷がプラスかマイナスのものはミューオンとミューニュートリノに崩壊します。さらに、ミューオンの寿命は2マイクロ秒とわりあい長いのですが、大気上空で生成されるミューオンの多くは地表に到達する前に、電子（あるいは陽電子）とミューニュートリノと電子ニュートリノに崩壊します(図1)。なお、本稿では簡単のために電荷、あるいは粒子・反粒子の区別については基本的に無視します。これからもニュートリノと言ったときにはニュートリノと反ニュートリノの両方を意味していることを了解してください。

このように生成されたニュートリノを大気ニュートリノと呼びます。1962年に加速器実験でミューニュートリノが発見されると、大気ニュートリノの存在を確かめる実験が南アフリカとインドの鉱山の地下深くで行われました。これらの実験によって1965年

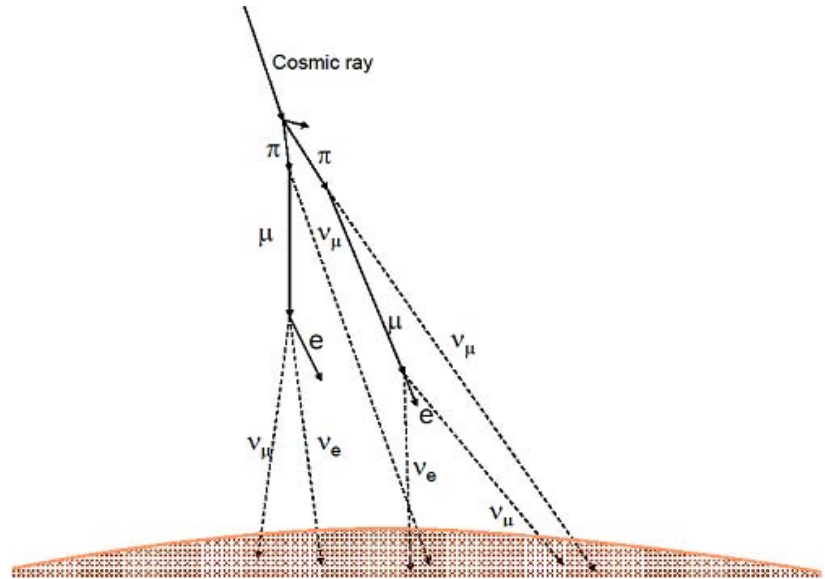
に大気ニュートリノが観測されました。本稿では宇宙線が生成するニュートリノを観測して行っているニュートリノ振動の研究について述べます。

カミオカンデでの大気ニュートリノ観測

大気ニュートリノが多くの研究者に注目されるようになったのは1980年代後半です。1965年に観測された大気ニュートリノは、しばらくの間広く注目される研究分野としては発展しませんでした。一方、1980年代に陽子崩壊実験が世界の数カ所で始めると、大気ニュートリノは陽子崩壊を探す際の最も邪魔なバックグラウンドとなりました。そのため、このバックグラウンドを理解する必要性がありました。それらの実験の一つがカミオカンデ実験でした。カミオカンデは岐阜県神岡にある鉱山の地下1,000メートルに設置された、有効質量約1,000トンの純水中での光の速度以上の高速で走る荷電粒子が放射するチェレンコフ光を、直径50cmの光電子増倍管1,000本で測定する装置でした。

ミューニュートリノの相互作用で生成されたミューオンは水中で少しずつエネルギーを失いながら進むのに対し、電子ニュートリノの相互作用で生成された電子は水中で電磁シャワーを形成するので、ミューオンと電子の水中での振る舞いは大きく違います。カミオカンデでは電子やミューオンはリング状のチェレンコフ光として観測されますが、水中での電子とミューオンのふるまいの違いはチェレンコフ光のリングの形

図1 大気ニュートリノの生成。



状の違いとなるため、ミューオンと電子の識別ができません。参考のため、図2に本稿の後半で述べるスーパーカミオカンデで観測された電子ニュートリノとミューニュートリノ事象のチェレンコフ光のリングのパターンを示しました。この考えに基づいて、カミオカンデでは電子型のチェレンコフリングが1つだけ観測され電子ニュートリノ相互作用と考えられる事象と、ミュー型のチェレンコフリングが1つだけ観測されミューニュートリノ相互作用と考えられる事象を識別し、それぞれの事象数を数えました。その結果、電子ニュートリノ事象はほぼ予想通りの数が観測されているにも関わらず、ミューニュートリノ事象の数はおよそ予想値の60%程度でした。

ここで予想値とは、計算から求めた大気ニュートリノのフラックスとニュートリノ相互作用断面積からカミオカンデ測定器内のニュートリノ相互作用の数を求め、更にカミオカンデ測定器の検出効率などを考慮してモンテカルロ・シミュレーションで求めたものです。当時この予想頻度には宇宙線フラックスの観測値の誤差などから20から30%程度の誤差が考えられていましたが、電子ニュートリノとミューニュートリノの比は正確に計算できるので、その誤差は5%以内

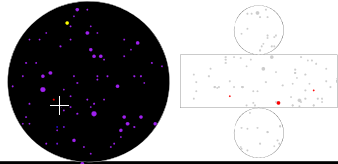
と見積もられました。これらの理由のため、上記の結果は計算の誤差などでは説明できないと考えられました。一方、例えばミューニュートリノとタウニュートリノ間のニュートリノ振動を仮定すれば上記のデータは説明できるということで、当時注目されました。

話を進める前に、ここでニュートリノ振動について述べておきます。ここでは簡単のためにミューニュートリノとタウニュートリノの2種類のニュートリノを考えます。もしニュートリノに質量があると、最初ミューニュートリノだったものが飛行中にタウニュートリノになり、またもとに戻るという具合に飛行中にニュートリノの種類が変わります。これをニュートリノ振動と言います。つまり、ニュートリノ振動が見つければ、ニュートリノが質量を持っている証拠となります。図3にニュートリノの飛行と共に最初ミューニュートリノだったものがミューニュートリノのままいる確率がどうなるかを示しました。このとき、重い方のニュートリノの質量として電子の質量の約 $1/10^7$ を仮定しました。もしニュートリノの質量がこれより重ければこの振動周期が短くなり、逆に軽ければ振動周期は長くなります。したがって、ニュートリノが別なニュートリノに移り変わる早さを観測すれ

Feature

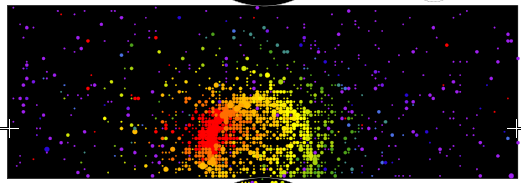
Super-Kamiokande

Run 3013 Event 149004
96-10-24:19:39:51
Inner: 1763 hits, 4003 pE
Outer: 3 hits, 5 pE (in-time)
Trigger ID: 0003
D wall: 897.4 cm
FC mu-like, p = 463.8 MeV/c

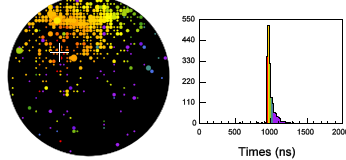


Time (ns)

- < 958
- 958-963
- 963-968
- 968-973
- 973-978
- 978-983
- 983-988
- 988-993
- 993-998
- 998-1003
- 1003-1008
- 1008-1013
- 1013-1018
- 1018-1023
- 1023-1028
- >1028

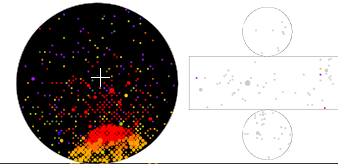


(a)



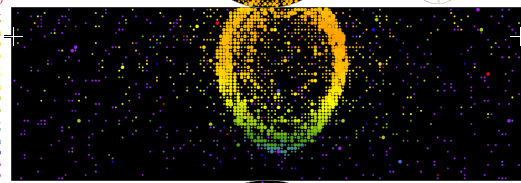
Super-Kamiokande

Run 3062 Event 475360
96-11-08:12:07:30
Inner: 2305 hits, 7763 pE
Outer: 5 hits, 4 pE (in-time)
Trigger ID: 0003
D wall: 601.2 cm
FC mu-like, p = 1088.0 MeV/c



Time (ns)

- < 971
- 971-976
- 976-981
- 981-986
- 986-991
- 991-996
- 996-1001
- 1001-1006
- 1006-1011
- 1011-1016
- 1016-1021
- 1021-1026
- 1026-1031
- 1031-1037
- 1037-1043
- 1043-1049
- 1049-1055
- >1055



(b)

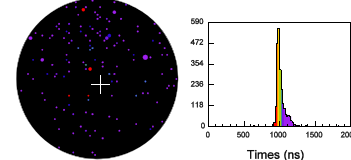


図2 スーパーカミオカンデで観測された (a) 電子ニュートリノと (b) ミューニュートリノ事象の例。図中丸の大きさが観測された光の強さを示す。また丸の色は光の観測された時間情報を表す。

ば、重い方のニュートリノの質量がわかることとなります。もう少しだけ図3に関連して言うておくと、図3ではあるところでミューニュートリノの確率がゼロになっていますが、これは特殊な場合です。一般にはミューニュートリノの減り方はほんの少しから、図3で示されるゼロまでのどこかになるはずです。そして観測的に一番見つけやすいのは一番効果が大きい図3の場合です。

実際の実験の話に戻る前に、図3と大気ニュートリノを組み合わせて考えてみます。大気ニュートリノ実験ではおおざっぱに言って1 GeVのエネルギーのニュートリノ相互作用が多く観測されます。図3を見るとわかるように、もし重い方のニュートリノの質量が電子の質量の約 $1/10^7$ であれば、500 km程度走るとミューニュートリノである確率はゼロとなってニュートリノ振動の効果がはっきり見えるはずです。大気の上空で生成されたニュートリノが真上から飛んできたとすると、その飛行距離は平均15 km程度なので、まだニュートリノは振動していません。一方、地球の直径は約12800 kmなので、地球の反対側から飛来するニュートリノは振動を何回も繰り返して飛んで来るこ

とになります。

カミオカンデの結果は興味深いものでしたが、必ずしも多くの研究者に受け入れられたわけではありませんでした。当時はカミオカンデ以外にも世界中で3つほど大気ニュートリノを測定できる装置がありましたが、その観測結果は一致していませんでした。このような状況のため、圧倒的な統計精度を持つ次世代のニュートリノ測定器、つまりスーパーカミオカンデを待つ必要がありました。

スーパーカミオカンデでの大気ニュートリノ観測とニュートリノ振動

スーパーカミオカンデが1996年に観測を開始すると、大気ニュートリノ観測に対する有効体積がカミオカンデより約20倍大きいので、観測データの量は格段に上がりました。またスーパーカミオカンデの観測は既に10年以上となり、今までの他の実験より長く観測を続け、更に多くのニュートリノのデータを用いた研究が可能となっています。

大気ニュートリノでニュートリノ振動が起こっていることを最も明確に示せるのは、上から飛来する

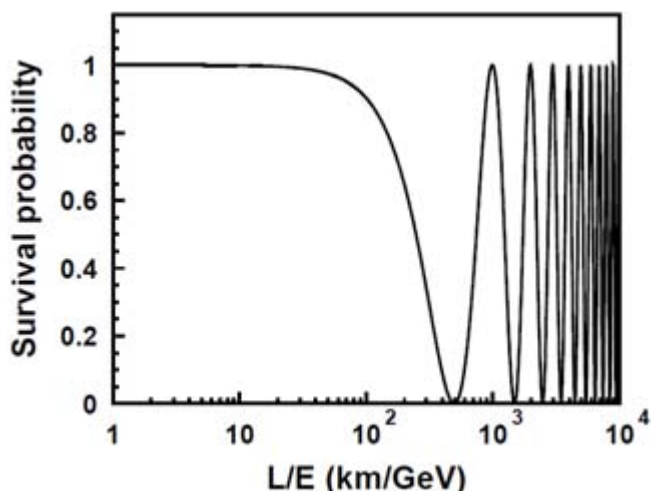


図3 ミューニュートリノがミューニュートリノとして残る確率を L/E の関数として示した。ここで $L(\text{km})$ は距離、 $E(\text{GeV})$ はエネルギーを表す。重い方のニュートリノの重さは電子の重さの $1/10^7$ を仮定している。

ニュートリノと下から飛来するニュートリノの数を比べ、予想値と合っているかどうか調べることで、ニュートリノ振動がなければ観測されるニュートリノ数は上下ほぼ同じと計算されているので、もし下から来るニュートリノの事象数が上から来るものの事象数より有意に少なければ、ニュートリノ振動の動かぬ証拠となります。更に、もしニュートリノ振動がミューニュートリノとタウニュートリノ間で起こっているなら、電子ニュートリノはニュートリノ振動と無関係なので、上下非対称性はミューニュートリノ事象には観測されますが、電子ニュートリノ事象には観測されないはず。このような考えに沿って、ニュートリノ事象の天頂角分布が精密に調べられています。その結果を図4に示しました。図4はスーパーカミオカンデの2008年までのデータをまとめたものですが、明確に上向きミューニュートリノ事象の欠損が確認できます。また、天頂角分布を見てみると、エネルギーが高い事象の分布のほうが上下非対称性の効果が顕著です。これは低エネルギーではニュートリノとニュートリノ反応の結果出てくるミューオンや電子との角度相関が悪くなって、ミューオンの方向を見ても上下非対称性がはっき

りわからなくなるためです。このようにして、1998年にニュートリノ振動が見つかりました。

図4のデータとニュートリノ振動ありの予想値とを比較することでニュートリノの基本物理量が測定されます。まず、ニュートリノ質量について、重い方のニュートリノは $0.05 \text{ eV}/c^2$ 程度と推定され、ニュートリノ以外で一番軽い電子と比べると $1/10^7$ の重さです。今述べているのは、一番重いニュートリノの質量ですので、おそらく比べるべきは一番重いクォーク(トップクォーク)の質量でしょう。この場合にはおおよそ $1/(4 \times 10^{12})$ となります。また、ニュートリノ振動でのミューニュートリノの減り方ですが、これは図3で示した理論値と矛盾しません。もし実験の精度がよければ、ミューニュートリノが増えたり減ったりするのがはっきり見えるはずですが、図4ではそれが平均化されて観測されています。つまり、最大限減ったり増えたりしているのですが、平均化されて半分になって観測されているということになります。いずれにしても、ニュートリノ振動の効果は考えられる範囲で一番大きいようです。これを研究者は「大きい混合」という言葉で表します。おそらくニュートリノ質量が小さい原因につい

SK-I+II+III, 2806 Days

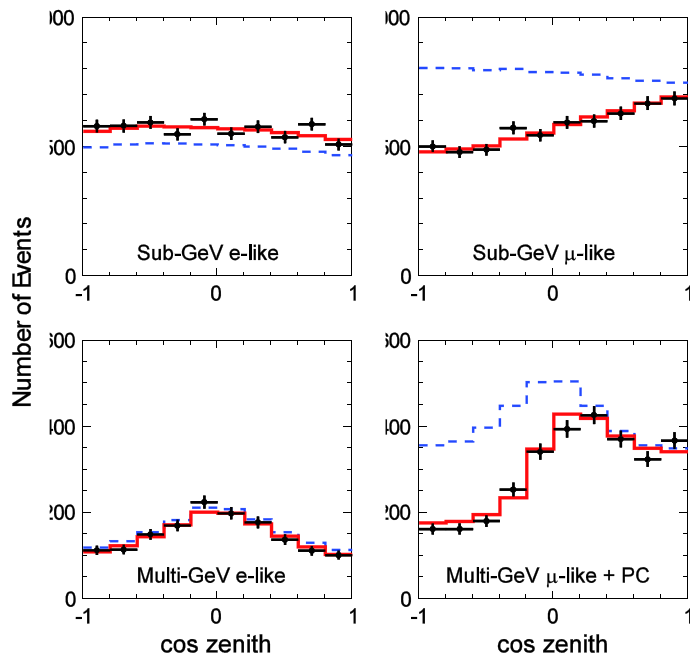


図4 スーパーカミオカンデで観測された大気ニュートリノの天頂角分布。 $\cos\theta = -1$ が上向き、 $\cos\theta = 1$ が下向きの事象を示す。左の2つの図は電子事象（多くは電子ニュートリノ事象）を示し、右の2つの図はミュオン事象（多くはミュオンニュートリノ事象）を示す。左右とも上の図は見えているエネルギーが1.3 GeV以下の事象を示し、下は1.3 GeV以上を示す。下のミュオン事象に関してはミュオンが測定器を突き抜けて行った事象も含む。点線のヒストグラムはニュートリノ振動が無い場合の予想値を示し、実線のヒストグラムはミュオンニュートリノとタウニュートリノ間のニュートリノ振動を仮定した分布を示す。

では「シーソー機構」という有望な考えがあるのかと思われませんが、大きい混合については、まだその根本的な理解に至ったとは言えない状況かと思われま。理論家の皆さんに考えていただくと共に、実験的にも更に精度よく測定をしていくことが必要でしょう。

タウニュートリノの検出

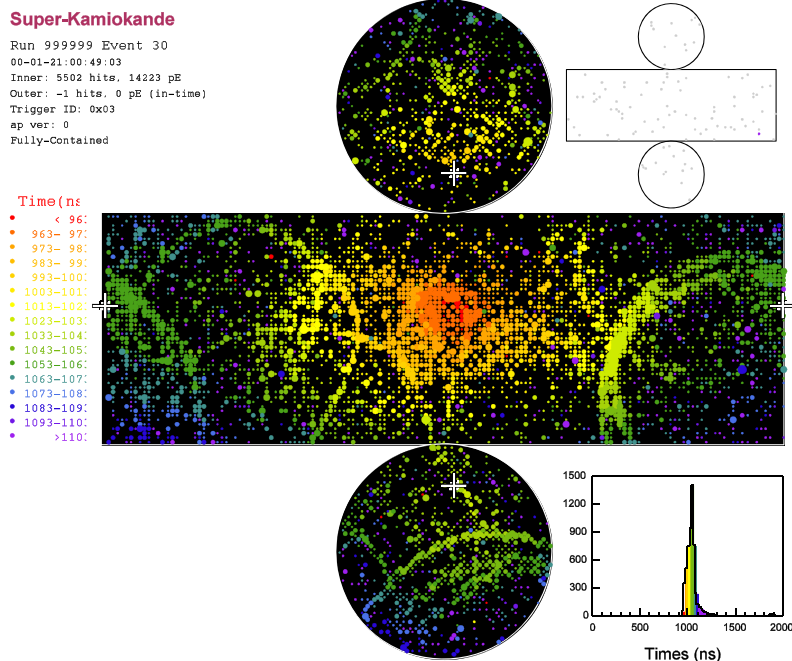
今までミュオンニュートリノとタウニュートリノ間のニュートリノ振動であると述べてきましたが、厳密には、ミュオンニュートリノが振動して別なニュートリノに転移し、その別なニュートリノは電子ニュートリノではないので、タウニュートリノであるべしというのが今までの議論です。従って、タウニュートリノに転移した証拠をタウニュートリノの検出で確認できれば決定打となります。

このような理由から、スーパーカミオカンデでは大気ニュートリノ中でニュートリノ振動によりタウニュートリノが生成された証拠を探しました。残念な

が、この探索は簡単なものではありません。というのは、タウニュートリノの相互作用の敷居値は相互作用で生成されるタウ粒子が重いために、約3.5 GeVと割合に高く、また大気ニュートリノのフラックスはエネルギーが上がると共に急激に下がるため、この反応が起こる頻度が低いからです。それだけではなく、更に、タウニュートリノ反応で生成されたタウ粒子はすぐに崩壊し、特に65%の崩壊では終状態に（ニュートリノ以外は） π 中間子などのハドロンのみを含んでいるため、中性カレント事象と呼ばれる事象と明確な区別が付きにくいのです。図5にモンテカルロシミュレーションによる典型的なタウニュートリノの事象を示しました。多くのチェレンコフリングが重なり、解析は難しそうです。

一方で、大気ニュートリノ特有の利点もあります。もし、「タウニュートリノらしい事象」を選び出し、それについて天頂角分布を調べれば、タウニュートリノはニュートリノ振動によって生成されるので上向き事象しかなく、一方、バックグラウンドはミュオン

図5 タウニュートリノのモンテカルロシミュレーション事象の例。



トリノ事象を除いては上下対称となるためです。このため、「タウニュートリノらしい事象」の天頂角分布を調べ、上向き事象の超過を観測できれば、統計的にタウニュートリノ事象の存在を示すことができます。

このような考えに基づいて、スーパーカミオカンデではニュートリノ振動で生成されたタウニュートリノの存在の有無を調べました。その結果、統計的にはまだ決定的とは言えないものの、データはニュートリノ振動によってタウニュートリノが生成されたとして矛盾がないものでした。今後データが増えると共に、より明確な結論が出せるものと期待されます。また加速器を用いた実験でもタウニュートリノの探索が行われており、近い将来にはニュートリノ振動の結果生成されたタウニュートリノの観測が間違いないものになると期待されています。

おわりに

以上述べてきたように、大気ニュートリノの研究

からニュートリノ振動が発見されスーパーカミオカンデにおける高統計の観測によってニュートリノ振動現象の詳細が研究されています。今までは主にミューニュートリノとタウニュートリノ間のニュートリノ振動について調べられてきましたが、ニュートリノには3種類あるので、最終的には3種のニュートリノ間のニュートリノ振動現象を調べる必要があります。既に、太陽ニュートリノと原子炉ニュートリノの観測から電子ニュートリノも振動することがわかっていますし、また加速器ニュートリノ振動実験 T2K をはじめ、近頃のデータはミューニュートリノがあまり高い頻度ではないものの電子ニュートリノに振動することを示唆しています。大気ニュートリノは、もし非常に高い統計精度で測定ができれば、これら全てのニュートリノ振動が測定可能で、またニュートリノが地球を通過してくるといふ他にはない特徴から、ニュートリノの重さの順番なども観測が可能だと考えられています。このため、大気ニュートリノは将来に亘ってニュートリノ物理に貢献していくと考えられます。

Our Team

ケビン・バンディ Kevin Bundy 専門分野:天体物理学

IPMU 助教

私はIPMUの一員となることをとても嬉しく思っています。その理由は、IPMUの革新的で刺激的な雰囲気はもとより、IPMUと国立天文台が先端的な新しい宇宙のサーベイを進める上で指導的役割を果たしているからです。私は銀河形成の研究に専念しており、初期宇宙の小さな密度揺らぎを私たちが現在目にする銀河の豊富で美しい構造に発展させた物理的過程を理解しようとしています。IPMUがすばる望遠鏡のために進めているSuMiReサーベイ計画は、今までの観測では前例のない大きさの宇宙を観測し、そこに含まれるおよそ10億個の銀河の進化の様相を記録するもので、私の進めている研究にとって画期的なものとなるでしょう。このような強力なサーベイにより、私たちは過去120億年に渡る銀河の成長と相互作用と変形からど



のようにして現在の銀河の複雑さが生じたのかを語ってくれるであろう、新たな進化のパターンを発見し、定量化することができるでしょう。

ビプロブ・ボッタチャージョー Biplab Bhattacharjee 専門分野: 理論物理学

博士研究員

私の専門は素粒子現象論で、標準模型、超対称模型やユニバーサル余剰次元模型等の標準模型を超える物理のシナリオ、およびこのような模型の検証をLHC (Large Hadron Collider) やILC(International Linear Collider)のような高エネルギー衝突ビーム加速器によって行う方法を研究しています。このほか、ダークマターの物理についても研究したいと思っています。



鍾 宇傑 チョン・ユージエ 専門分野: 理論物理学

博士研究員

私はフラックスのコンパクト化とその数学的構造、および超弦理論の現象論と宇宙論への応用を中心に研究しています。最近のF理論のコンパクト化の進展は、大統一理論の模型構築に新たな窓を開くものです。F理論では、私たちに興味のある4次元の物理はカラビ・ヤウ空間のフラックスと特異点により記述されます。現在、私はF理論の模型構築に焦点を絞って研究して



いますが、F理論の枠組みの中でフラックスの役割および物理量と特異点の関係をより良く理解することは興味深いことです。

リチャード・エーガー Richard Eager 専門分野: 理論物理学

博士研究員

カラビ・ヤウ特異点におけるDブレーンは代数幾何と量子場の理論の間を結ぶ架け橋となります。カラビ・ヤウ空間の幾何学がDブレーンの世界体積上の量子場の理論を決定するからです。アノマリーやベータ関数のような量子場の理論の興味深い性質の多くがカラビ・ヤウ空間の幾何学に関する記述に翻訳されます。この辞書を拡張し、与えられたカラビ・ヤウ特異点に



伴う量子場の理論を決定するために有効な方法を創出することが私の研究目的の一つです。

Our Team

ジョン・ケハイヤス John Kehayias 専門分野:理論物理学

博士研究員

私は多様な研究を行ってきましたが、IPMUでは違う分野の研究を幾つか手がけたいと思っています。私が一般的に興味を持つ分野には量子重力とその幾何学、超対称場の理論（一般的な側面と模型の構築）、宇宙論（インフレーション、ダークエネルギー）などがあります。これまでの研究ではファジィ空間の幾何学、ホログラフィックな時空の研究、離散的R対称性、



一般化されたゲージノ凝縮、超弦理論におけるアクション、初期宇宙における相転移からの重力波、およびダークマターなどを手がけました。

劉 紹昌 ラウ・シウチョン 専門分野:数学

博士研究員

私はシンプレクティック幾何学、複素幾何学、およびそれらと現代物理学との緊密な関係を研究しています。もう少し具体的には、超弦理論の理論家達によって発見された、シンプレクティック幾何学と複素幾何学の間の双対性であるミラー対称性を研究しています。ミラー対称性は、計算の困難な量子シンプレクティック不変量をはるかに扱いやすい古典的積分に変換し、その数え上げに対する威力は数学者達を驚かせました。ストロミンジャー、ヤウ、ザスロフは、ミラー対称性が幾何学的にトーラスの間の双対性として理解



できると提案しました。彼らのアプローチは「量子補正」を受ける必要があり、それが私の研究の主要課題です。その一つの応用として、私は開カラビ・ヤウ多様体とトーリックな半ファノ多様体のグロモフ・ウィッテン不変量を計算しています。

アレクシー・レオト Alexie Leauthaud 専門分野:天体物理学

博士研究員

遠方銀河の方を見ると、途中に存在する質量分布の揺らぎが銀河の見かけ上の形状を系統的にほんの少し歪ませます。「弱い重力レンズ」として知られるこの効果を統計的に観測することは、宇宙マイクロ波背景放射（CMB）や超新星と同様、観測的宇宙論の基本的な手段となりました。私は宇宙の大構造を形成する上でダークマターが果たした役割を理解する目的で、弱い重力レンズの観測に焦点を当てて研究を進めてい



ます。IPMU、特に次の10年間の弱い重力レンズのサーベイにおける主役の一つであるSuMiReプロジェクトに加わることを私はとても嬉しく思っています。

李 長征 リ・チャンチェン 専門分野: 数学

博士研究員

私の現在の研究対象は一般化された旗多様体の量子コホモロジーおよび関連するトピックスです。私はこれまでの研究では、主に旗多様体に対する種数0で3点付きのグロモフ・ウィッテン不変量、およびそれに関連して量子コホモロジーの環構造についての情報を取り上げてきました。完備な旗多様体の量子コホモロジー環は、局所化することにより基点付きループ群



のホモロジー環に同型となることが知られています。私はK理論における類似の構造を見出すことにも興味があります。

林 春山 リン・チュンシャン 専門分野: 宇宙論

博士研究員

宇宙論は重力と量子論の会えるユニークな場です。また、衝突加速器で達成されるエネルギーを超える超高エネルギーの物理を探るユニークな手段でもあります。私は宇宙論の幾つかの側面、例えば宇宙マイクロ波背景放射（CMB）の初期揺らぎの統計的非ガウス性やインフレーションによる揺らぎの相関関数に対す



るループ補正の計算、ダークエネルギーの現象論、修正重力理論、等々の研究をしてきました。

中山 優 なかやま・ゆう 専門分野: 理論物理学

博士研究員

海岸線の形状、ローマンブロッコリー、そして株価の変動。私たちの世界は、拡大・縮小して眺めてもその性質を保ち続ける「スケール不変性」という性質を持った現象で満ち溢れています。スケール不変な相対論的量子場の理論は「共形不変性」と呼ばれるより大きな対称性を持つと信じられてきました。この信仰は一体正しいのでしょうか？ 私は、超弦理論が予言するホログラフィー原理とその数学的構造を用いて、この



信仰が証明できるものであるのか？

あるいは間違っているのか？ 長年の疑問に決着をつけたいと思っています。

Our Team

ロバート・クインビー Robert Quimby 専門分野:天体物理学

博士研究員

星が超新星爆発を起こすと銀河の進化に影響を及ぼすエネルギー、次世代以降の恒星や惑星の化学を変えてしまう金属、また遠くの宇宙と宇宙論を探ることを可能とする光を放出します。私のこれまでの研究では、典型的な爆発より100倍以上明るいスーパーミナス超新星を明らかにしました。現在はこれらスーパーミナス超新星の事象と、それらが明かす我々の宇



宙の歴史について、より理解を深める研究を行っています。

クリスチャン・シュネル Christian Schnell 専門分野:数学

博士研究員

IPMUに参加する前は、私はシカゴのイリノイ大学で博士研究員をしていました。ホッジ理論と導来圏という複素代数幾何学の2つのトピックスを研究しています。前者については、代数多様体の族と、特に超局面の族に由来するようなホッジ構造の変形とnormal functionを研究しています。後者については、代数多様体の導来圏によって決定されるようなトポロジカルな不変量や幾何学的な不変量は何かを知りたいと思っ



ています。最近、私はアーベル多様体上のホッジ加群、およびあるクラスの3次元カラビ・ヤウ多様体について考えています。

EGADS*¹実験始まる

マーク・ヴェイギンズ

IPMU 教授

数年前に私、マーク・ヴェイギンズと理論家のジョン・ピーコムが、スーパーカミオカンデに100トンの硫酸ガドリニウムを加えるという御利益があるが、中でも宇宙で星の形成が始まって以来の全ての重力崩壊型超新星爆発で生成されて宇宙全体に広がっているニュートリノのフラックスを検出できると提案しました。この過去の超新星爆発からのニュートリノは、星の重力崩壊と元素合成についてだけでなく、宇宙の大きさと膨張速度、さらには宇宙自身の性質の進化について、定常的な情報源となるものと考えられます。この野心的な計画は、Gadolinium Antineutrino Detector Zealously Outperforming Old Kamiokande, Super!*²を略してGADZOOKS!*³と名付けられました。

このアプローチが安全で効果的であることを実証するため、新しい専用のガドリニウム試験施設が神岡鉱山の地下、スーパーカミオカンデのそばに建設されました。私とIPMU主任研究員の中畑雅行教授が率いるこの大がかりな開発試験プロジェクトはEvaluating Gadolinium's Action on Detector Systems (ガドリニウムが検出器システムに及ぼす作用の評価)を略してEGADS*¹と呼ばれ、その装置は直径50cmの光電子増倍管240本を装備したスーパーカミオカンデの200トン縮小版モデルであり、また、新しく開発されたガドリニウム水溶液選択的純化装置を有しています。

この装置は2011年の初め頃から、最初は純水で運転を



EGADZの地下実験室内で撮影。左から右へ、ロイ・ホール、エリン・オサリヴァン、中畑雅行、ジェフ・グリスケヴィッチ、マーク・ヴェイギンズ。

開始しました。8月にEGADSで純化された水はスーパーカミオカンデ内の純水と同じ品質であることが示され、それからガドリニウムの残存率と透明度を調べるため最初の硫酸ガドリニウム28kgが溶かし込まれました。9月までにはEGADSの選択的純化装置は、水から不必要な不純物を取り除くと同時に、フィルターシステムの1回の通過当たりガドリニウムの残存率99.97%を達成しました。これは大きな成果です。

EGADSは2013年まで運転され、スーパーカミオカンデにガドリニウムを加えるかどうか最終的決定を行うために鍵となる情報を提供します。

*¹「イーガス」と読む。英語で“Ye gods”(おお神よ! あるいは、いやはや!)という意味の感嘆詞。

*² 筆者の意図する意味は、「旧いカミオカンデよりも、スーパーカミオカンデよりも、とんでもなく優れた素晴らしいガドリニウム反ニュートリノ検出器」。KamiokandeとSuperは1語を二重の意味で用いている。“Old Kamiokande”は自明。“Kamiokande, Super”でスーパーカミオカンデ。“Super!”は素晴らしい! このほか、掛詞のような言葉遊びが隠されているという。

*³「ガズークス」と読む。英語で「ウワーッ!」という感嘆詞。



IPMU Interview

ロベルト・ペッチェイ教授に 聞く

聞き手：村山 斉

発足直後、途方もない試練を乗り越えたIPMU

村山 もう4年もIPMUの外部諮問委員会の議長を引き受けていただき、ありがとうございます。今までいただいた建設的なご意見は、IPMUをどうやって運営していくか、どうやって立ち上げていくか、私たちが考える上で非常に役に立ちました。

東京大学は委員会からの重要な助言に対してずっと耳を傾けてくれています。IPMUのためにご尽力いただき、とても感謝しています。

ペッチェイ いや、アイデアが現実となってゆく過程を見るということはとても楽しみなものです。実際、今はこんな素晴らしい建物に入居しているのを見られるわけで、ですから喜んでやらせてもらっていますよ。

ロベルト D. ペッチェイさんはカリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) の物理・天文学科教授で、2000年から2010年までUCLAの研究担当副学長を務めました。世界的に有名な素粒子理論物理学者で、電弱相互作用の分野及び素粒子物理学と天体物理学、宇宙論の境界領域を研究しています。2008年3月以来、IPMUの外部諮問委員会委員長を務めています。

サイエンスも良い仕事が沢山行われています。IPMUは本当に短期間で国際的な研究所として認知されるようになりました。多少の時間を使ってIPMUのレビューをすることは本当に楽しいことで、義務を果たすのとは全然違います。

村山 そう仰っていただき、ありがとうございます。では、当初のIPMUを見てどんな印象を持ったかお話しただけませんか。今、初めは単なるアイデアだったと言われ、私も誕生直後はその通りだったと思いますが、どのように発展してきたとお考えですか？

ペッチェイ 私の見解では、WPIと呼ばれているものを発足させようと試みるのが日本の重要な戦略的行動であったことは極めて明白です。そのため、優れた分野を幾つか選んだわけです。その一つとして宇宙の物理と数学に関する分野、私の専門に一番近い分野ですが、それを選んだアイデアは素晴らしいものでした。また、選ばれたWPI拠点が一流の大学や研究所に設置されていることも重要なことだと思います。東京大学はあなた達にとって、戦略的にこれ以上ない最高の選択でした。最初私が感じたのは、あなた達が非常に良い基盤の上でスタートしたということだと思います。第一にあなたが拠点長になったことで、これは実に重要な

ことでした。第二に、大学執行部がIPMUに対して本当に責任をもって約束を果たしてくれたことです。最初は小宮山総長、現在は濱田総長ですが、お二人とも非常に深く関わってくれました。私は色々経験していますが、大学の支援を得ることはとても重要なことなのです。あなたは明らかに東京大学から多くの支援を受けていたし、また政府から十分な予算を得ていました。非常に良いスタートでした。しかし、最初がどんなに良かったとしても、いつでもIPMUのような発展を見せるとは限りません。私が高く評価したことの一つは、IPMUを本当に成功させるためにあなたが献身的に責任を果たしてきたことですし、また事務部門長の中村さんもそうです。それは全く明らかで、とても重要なことでした。あなた達は途方もない試練を乗り越えることを要求されていたのです。

村山 確かに試練を乗り越えました!

ペッチェイ 外部諮問委員会ができる限りあなたを守り、またできる限りの助言を与える責任を感じていたと思います。

村山 その通りです。

ペッチェイ 良いアイデアが展開されている様子を見て、私たちは是非成功して欲しいと思いました。しかし、成功したのはあなた達です。私たちは見物人のようなものですが、何とか助けになりそうなことを提案しようとしてきました。

東京大学の多大な支援を得た
IPMU

村山 今、大学の支持がとても重要と言われましたが、UCLAの研究担当副学長として、構想通りにうまくはいかなかったケ

ースも見てこられたと思います。私達も将来注意しなければいけないのですが、どんな落とし穴があったのでしょうか。

ペッチェイ そうですね、例えば大学側があなたのことを本当は気にかけていないのに、単に持ってくる資金だけに興味があるというのが起こり得る最悪のケースです。資金を得るまでは利用しようとしてリップサービスしてくれますが、金の切れ目が縁の切れ目となります。間違いなくこれは東京大学には当てはまりませんが、特にアメリカでは往々にして実に抜け目のない人たちがいて、良いプロジェクトが実際は失敗に終わったのを見たものです。教授連中が金をもたらしてくれている間は良かったのですが、資金が尽きた途端大学側は興味を失ったのです。ここでは私は東京大学があなたを助けるための最善の方策を考え、実際IPMUに対して多くの重要な支援策を講じてくれたことを目にしました。例えば、研究棟の建設を約束してくれました。勿論、大学側もこうすることで利益を受ける訳ですが、それにしても本当に責任を持って引き受けてくれました。

村山 第1回の外部諮問委員会だったと思いますが、大学が私たちのために研究棟を建ててくれると言いました。その時、期限のある研究所のために恒久的な研究棟を建てるということが一体どうして可能なのか、全く腑に落ちない様子だったことを覚えています。

ペッチェイ その通りです。大学側のそういった約束は重要だったと思います。勿論、今やそ

村山 齊さんはIPMUの初代機構長でカリフォルニア大学バークレー校教授を兼務しています。



れが国際高等研究所というものに拡大され、大学側はこの取り組みにより IPMU を大学の組織に組み込むことを本当に望んでいます。しかし、仮にあなたが、トップクラスの業績を有し IPMU が目指す研究課題に専念する研究者集団を集めることができなかつたとしたら、東京大学の支援策全ては余り意味のないものであつたらうと思います。私は大学の支援を強調しましたが、あなた達の研究所が既にトップクラスであるか、あるいはトップクラスに成長するものでなければ支援も役には立ちません。IPMU は実際トップクラスになつた訳で、これは実に重要なことでした。

村山 昨日ポスターセッションで研究報告も見ていただきましたが、その中でどんな点に興味をもたれましたか？

ペッチェイ 私が非常に注目したのは研究プロジェクトの学際

性です。あなたも私もある意味で学際性に慣れっこになっていると思います。しかし、後になって振り返ってみると、多分余り意識せずに違うことをやって進路を変えてしまったという人たちがいることでしょう。実際、議論されていたことの大部分は、ある分野の技法を別の分野の問題に適用しようというような、複数の分野にまたがる問題でした。

あなた達は極めて学際的な研究所への移行を非常に順調に果たしたようです。あなた達が常に直面する重要な問題の一つが、数学者と統合できるかどうかということであることは承知しています。答えはイエスで、何人かの物理学者がそうなつたことを意識せずに数学者になったり、また逆の場合もあり、その意味で実際あなた達は数学者と統合したのです。観測主体の天文学者になつた物理学者もい

ます。ある意味、あなたもすばる計画の天文観測者になつたではないですか。

私の考えでは、それはとても健全なことなのです。研究担当副学長として、私はただ一人大学全体を水平に眺め、異なる分野が協力しているかどうかを調べるのが任務でした。私は学際的なプログラムがとても好きになつて、どういう訳か何が本当に学際的なプログラムで、何が単に見かけ上学際的なのか、分かるようになったのです。

IPMU は本当に学際的です。但し、ここで注意が必要です。物理学者はどんな分野でも何かをすることができて、そうすると、例えばある種の医学を研究するベストな物理学者になれるかもしれません。でも、それは医学として良い研究をしていることは意味しないのです。あなた達の場合は、本当に学際的であつて、異なる分野でも良い研

究をしています。それが IPMU の素晴らしい点です。

IPMU と伝統的な部局は、建設的に強め合う関係

村山 あなたは UCLA のキャンパスで多くの新しい研究拠点が立ち上がるのを見てこられたはずですが。私たちがこれからまだ心配しなければならないことの一つが、東京大学の既存の部局との関係で、つまりどうやったら彼らから学んだり、助けたり、共に活動したりできるのかということです。UCLA の場合、サクセスモデルのようなものはありましたか？

ペッチェイ 私のサクセスモデルはこうです。大学全体を見渡してみると、学部長なら誰でも常に自分の学部を発展させたいと思っているもので、それが当然なのですが、私の場合、重なり合う分野の研究で学部長達が他の学部長達と進んで協力するように仕向けることでした。あなたの場合はもう少し狭い範囲を見渡すことが必要かもしれませんが、基本的な考え方は同じだと思います。

東京大学でも同じ状況があります。学部や研究科の代わりに、学科を考えてご覧下さい。各学科長にはそれぞれの行動計画があります。数学科でも物理学科でも学科長は自分の学科をより良くしたいと考えていて、それ自体は全く結構なことだと思います。しかし、拠点長としてのあなたの仕事は、機会のある度に彼らに IPMU と協力するとこんなメリットがあるということを納得させようと努めることです。つまり、IPMU は彼らが自分たちの専門分野で成果を上げたいと思っていることを助けるだけでなく、境界領域で起こっていることで成果を上げるため



にも多少の助けを与えるし、それは結局彼らの専門分野をより良くすることになるのだということです。

それがここでのあなたの役割だと思います。私の知っている最も難しい問題は、まあ部分的には日本の大学の構造に原因があるのですが、大学院生のことだと思います。あなた達は大学院生のことでは明らかにがんばっていますが、もう少し学科から取りやすくする必要があります。しかし、明らかにその方向に進もうとしているし、それは正しいことです。大規模な「結婚仲介業者」になるにはどうすれば良いのか、考えるべきです。

村山 なるほど。

ペッチェイ しかし、基本的には他部局の人たちに、IPMUがより良く成長するように助けること、あるいはIPMUを強化することは、実際は彼らの部局も強化することであると理解させるべきです。失う物は何もなくて、得る物が多いと。なぜなら、そうすることは強め合う正の干渉であって、弱め合う負の干渉ではないからです。

村山 その通りですね。素晴らしい考え方です。私は、少なくとも私にできる方法で物理学を助けようとしていて、例えば以前、新入生と2年生に話をしたのですが、物理はとても活気があってスリリングでエキサイティングな分野なんだという印象を与えようと試みました。結果、数人が刺激を受けて物理を専攻すると宣言しましたが、そういうことを色々やっています。

ペッチェイ そうですね、どこでも少しずつ違っています。従わなければならない社会的習慣にも違いがあります。しかし、どこでも常にポジティブになるように振る舞うことですね。そ

れを強調することが重要です。

WPI 研究拠点が一緒に取り組める共通の問題

村山 話を戻すと、WPI 拠点が IPMU だけでなく今や他に5カ所ありますが、いわば国家的な取り組みによる研究拠点であるということを仰いました。長年研究担当副学長を務められた立場からどういう風に考えられるかもう一度伺いたいのですが、多分、他の拠点や分野を見てそれらが何らかの方法で協力できる可能性とか、日本全体として門戸を開く可能性とか、将来の方向をどのように考えられますか？

ペッチェイ そうですね、ちょうど良い縮図にあたるものが10年ほど前カリフォルニア大学にできたのです。信じようと信じまいと、その頃カリフォルニア州は裕福だったのです。

村山 今聞くととても本当とは

思えないですね！

ペッチェイ カリフォルニア州は100万ドルを投資し、加えて200万ドルをマッチングファンドとして調達する計画で、4つの研究所を傘下に有する「カリフォルニア科学・技術革新研究機構」を創設しました。これら4つの研究所は異なる地域に設立され、私たち UCLA は UC サンタバーバラと共同でナノサイエンス、UC パークレーは UC デービス及び他のカリフォルニア大学のキャンパスと共同で主としてインターネット関連の研究所を持ち、他には UC サンフランシスコに本拠地を置く、主としてゲノム科学と生命医科学の研究所もありました。

とにかく、カリフォルニア州は発展が見込まれる新しい学問分野と新しいアイデアという観点から将来に備えたいと4つの全く異なる研究所を設立したのです。4番目の研究所は UC

サンディエゴに本拠を置く無線通信に関するものでした。これら4つの研究所は異なる科学分野を扱っており、従って学問的な意味ではありませんが、どの研究所もカリフォルニア州が将来に向けてより良く備えるために設立されたという事実から、十分に共通し合う点がありました。私はこれをWPIの取り組みとなぞらえて考えます。というのは、繰り返しますが、WPIは日本に先端科学分野で認知される真に世界をリードする研究所を創り、日本の科学技術を推進したいということを希望する計画であり、カリフォルニアで起きたことと非常に良く似ているからです。

実際に起きたことは、あなた達WPIの拠点と同様で、各研究所は予算を求めて競い合っていたのですが、それにも拘わらず、それぞれの固有の目標よりもっと大きな目標達成のために



まとまっていたことから共通性がありました。研究所長達は、その共通する点においては進んで協力し合う関係でしたが、一方で同じ財布の中からできるだけ多くを得ようと競い合わなければならなかったのです。

村山 そうですね。

ベツチェイ しかし、本当に解決しようとしていた同じような問題を抱えていたので、共通性があったのです。あなた達のWPIプログラムの場合、最も困難な問題は、本当に外国人研究者の数を大幅に増やすことだと思います。あなたはとてうまく、とても簡単にこれを解決してしまいましたが、実は決して簡単にできることではありません。

村山 その通りです。

ベツチェイ そこにWPIの各拠点が恐らく一緒に取り組むことのできる共通の問題がありますね。

村山 なるほど、私達は一緒に取り組まなければ。その通りですね。さて、WPIが開始されたところ、IPMUが4年間にわたり成長してきたところを外部から見てこられたわけですが、日本の科学コミュニティに対する認識を何らかの意味で変えたような点がありますか？ WPI以前と以後の日本に対する見方を伺いたいと思います。

従来の日本的なものとは全く異なるWPI

ベツチェイ 外部で認識されたことは、ある意味で日本が世界レベルの研究所を創設するための投資を望んでいたという事実であったと思います。我々の分野では確かにそう認められました。日本がしようとしていることを正確には知らないとしても、IPMUを知らない物理学者はまずいないと思います。しか

し、IPMUが新参者であることは明らかです。それでいながら、実は最も優れたものと競争する準備を整えた新参者というわけです。

私は日本が重要なことを行ったと思います。なぜなら、特に最近、中国が科学へ巨大な投資をしていることと、今やインドもある程度そうになってきたからです。日本は実に長い間科学に投資してきましたが、これまで一度も「我々は頂点に立ちたいのだ」と強い口調ではっきり言ったりはしませんでした。今回は「我々は競争したくてこれを創ったのだ」と非常に日本的でないことを本当に言ったのです。私は、実に良いことをやってのけたと思います。個人的意見ですが、これは日本にとって非常に健全なことであったと思います。

多分、日本の大学のシステム改革を考えれば、ちょうどタイムリーに実施されたと思います。恐らく、時代がこういった類のことを要請したのでしょう。WPIの評価での組織的改善とは、その基準が何なのかやや理解困難ではありますが、実際は役に立つものです。私の理解では、本当にやりたいことは、重要な点でシステム改革を行うことに対する抵抗を打破する助けとなることであると思います。従って、あなたには先駆者として進むべき道があるのです。

村山 カリフォルニア大学で、ある研究所が創設され、時が経つにつれてなぜかその研究所がカリフォルニア大学全体の組織を変え始めたというような例はあるのでしょうか。これを伺う理由は、時々私はほとんど自分が無力だと感じるからです。ある意味、私は巨大なモンスターを相手にしているのですよ。一

体、こんなことができるのでしょうか？

ベツチェイ いや、例はありません。あなたが言ったこと、質問したことに對する完全な答えにはなりません、カリフォルニア科学・技術革新研究機構に立ち返ってみます。それは基本的には大学でやっていることと外部、もしお望みなら企業コミュニティとの間を橋渡しするものとして創られたのです。なぜなら、ほとんどの研究課題はカリフォルニア州が将来新しい産業を創出するために重要となるようなものだったからです。

村山 なるほど。

ベツチェイ これらの研究所はカリフォルニア大学の伝統的な「研究のみを対象とする研究センター (ORU)」とはある意味で全く異なるものです。ご存知の通り、カリフォルニア大学にはこういったORUが数多くあります。ORUは時と共に創られてきましたが、それが始まったのは50年程昔で、ある面で当時のカリフォルニア大学を反映しています。ORUの中には成果を上げ続けているものもありますが、それ以外はむしろ硬直化してしまいました。それは大学の構造が硬直化しがちであることと似ています。

ですから、変えるためには新しいものを創らなければなりません。カリフォルニア大学全体を見渡してみると、その研究はただ単にこういったORUに代表されるものだけではなく、実際はもっとずっと幅広いものです。カリフォルニア科学・技術革新研究機構の研究所がその実例ですが、他にもっとずっと速く進んでいるものが数多くあります。ある意味で、新しい構造を創ることは大学に既存の構造の検討を強いることなのです。

ここ、東大で同様のプロセスが進みつつあると思います。問題は、それがどれだけ成功するか、あるいは全員一致して同じ方向に進むように納得させられるかです。それは私には分かりませんが、いずれにしてもそのプロセスは長い時間を要するものです。しかし、それは自然な発展過程の一部であると思います。私は、WPI事業も、特にIPMUも、両方とも非常にポジティブなものであると考えています。あなたが実際にシステムを改革できるか想像してみると、ややドン・キホーテ的にも見えますが、しかしそれがシステム改革の通常のやり方なのです。

村山 そうですか。そんなことは思いもしませんでした。

ベツチェイ 少なくとも2、3基の風車相手に、結構うまく戦ったと思いますよ。

村山 面白い見方ですね。

ベツチェイ いや、私はIPMUの役割を本当に有意義だと思っています。これがIPMUのもつ最も良い点、そしてより重要な点の一つであると思っています。

村山 この国際研究拠点を創設しようとした際の一面ですが、「なぜこんなことをしなければならぬのか？」と疑問に思った人もいたと思います。あなたはアルゼンチン、ドイツ、イタリア、アメリカに住んだ非常に国際的な経歴と、勿論科学者としての国際的な経歴をお持ちで、ですから伺いたいのですが、国際的であることが重要なのは一体どんな点だとお考えですか？

ベツチェイ 今や国際的でなければ生き残れないと思います。私たちは職業柄、非常に国際的です。しかし、私がこの研究所が日本のために重要であると考ええる点は、日本が国際的に最前線に立つ国であると見られるこ

とを望んでいることを示す点です。日本はそうなるために投資する覚悟を決めています。それは国際的に最前線に立っていないからではなく、最前線に立っているからこそなのです。しかし、日本は本来認識されて然るべきようには認識されていません。ある意味では、WPIは「見ろ、我々は本当に競技に参加しているぞ」と国際社会に対して明言するようなものです。さっき言ったように、これは非常にポジティブなことだと思います。日本にもこういうことができる、お金の余裕がある時期があって、あなたは運が良かったと思います。

村山 仰るとおりです。

ペッチェイ それでこういうことをしようと考えられた訳です。重要な点の一つです。あることに投資が可能な時期があります。しかし、他の多くのことが起きて新たな計画に投資することができない時期もあります。重要なことは、国も、大学も、また個人個人もこういった何歩か前進できる瞬間をうまく捕らえ、そしてそれをうまく利用することです。あなた達が好機をつかんだところを見たのは、本当に素晴らしいことでした。

宇宙の解明には望遠鏡の他に多くのツールが必要

村山 では、最後にサイエンスについて伺いたいと思います。私は素粒子物理と天体物理と数学を発展させる上で、共通して興味を惹くことが多くあり、今が一緒に集まり新しい段階を考えようと試みる、まさにその時であると本気で信じています。既に数十年にわたる素粒子物理の歴史をざっと眺めて、我々はこれからどこへ進むとお考えですか？科学的には、次に

なすべき正しいことは何なのでしょう？どこに次の突破口があるのでしょうか？

ペッチェイ IPMUで取り上げているテーマは進歩させるべき正しいテーマであると思います。これからは本当に宇宙を理解しなければなりません。IPMUは宇宙を理解したいと・・・

村山 そうですよ、我々は宇宙の一部なのですから。

ペッチェイ 宇宙を理解するには、天文学だけやってはだめです。素粒子物理もやらなければなりません。数学が提供してくれるツールも必要です。短距離の物理も積極的に研究しなければなりません。本当にありとあらゆる広い学問分野を眺め渡すことが必要です。400年前は、宇宙を理解したいと思えば宇宙を眺める望遠鏡を発明することが絶対必要でした。今はもっとずっと多くのツールが必要です。宇宙を理解する助けとなるツールを持っている人たち全てを集めることです。それがあなたのミッション、宇宙です。ちょっと幅が広いけれども、それが正しいミッションです。

そうだ、最近南アメリカに行ったことをお話ししなければ。甥たちがたくさんいるんです。

村山 そうなんですか。

ペッチェイ その一人が、私に何をしてるのか聞いたので、一つは宇宙の物理と数学のための研究機構の外部諮問委員会の委員長だと言ったわけです。そうしたら彼は笑い出して「随分もったいぶった名前だ」と言いました。

そこで私は「いいかい、もし君が宇宙を理解したいなら、こうしなければならいんだよ。こういうものを全部寄せ集めなければならいんだよ」と話して聞かせたのです。議論して良

かったですよ。最初はとてもおもしろいと言っていたのですが、最後は宇宙を理解するにはこういうもの全てが必要だと分かってくれました。私はこう言ったのです。「IPMUのミッションは本当に重要で、感動を与えるものなのだよ。まじめな顔で、きちんと『私は本当に宇宙を理解したい』と言うのは、とても立派なことなのだよ。」

村山 それは面白いですね。私はIPMUの名前にそういう反応があるとは思いませんでした。

ペッチェイ 野心的ですね。宇宙を理解したいというのは。たいていの人は朝のニュースを全部理解できれば、それでハッピーですよ。

村山 それはそれでとても難しいですね。

ペッチェイ そうですね。宇宙を理解するよりもっと難しいかもしれませんね。しかし、宇宙を理解することは野心的なことで、巨大な進歩を伴います。しかし、巨大な第一歩を踏み出せるかどうか、予測はいつもとても難しいけれども、正しい方向には進んでいると思います。私

も同じことに興味を抱いているので、多分とても偏った見方をしているかもしれませんが、少なくともあなたは正しい方向に進もうとしていて、それは素晴らしいことです。

村山 昨日話してくれましたけれども、どこかのビーチでIPMUのTシャツを着ていたら、それは何なのかと聞かれたそうですね。なんて答えたのですか？

ペッチェイ 彼らは私に聞くのが一寸恥ずかしかったのですね。面白かったですよ。ビーチで会ったのは若い日本人のカップルで、だから漢字が読めたのです。

村山 はい、それで？

ペッチェイ 彼らは私をじっと見ていたので、私は「そう、その通りだよ」と言ってあげました。でも、彼らはとても恥ずかしがって、どうして私がこの変なTシャツを着ているのか聞けなかったのですよ。

村山 では、そのTシャツを世界中で売り出さなくては。

ペッチェイ そうですよ。とても良く売れると思いますよ。



WPI 平成23年度現地視察

2011年8月4日、5日の2日間、WPIの平成23年度現地視察で黒木 WPI プログラムディレクター、三田 IPMU 担当プログラムオフィサーと5名のワーキンググループ委員、文部科学省研究振興局から上田光幸基礎研究振興課企画官らの視察団が IPMU を訪問されました。ホスト機関の東京大学からは2日目に松本洋一郎理事・副学長が出席、また岡村定矩国際高等研究所長が2日間とも出席されました。

今回の現地視察は、平成19年度に採択された5拠点の中間評価を控えて、関係者との質疑応答及び研究現場の視察等を行うことにより、平成22年度における当該拠点の現状等を把握し、中間評価に資することを目的として行われました。

ワーキンググループのメンバーは、前回は訪問された三輪哲二、釜江常好、Matthias Staudacher の3氏と、細谷裕氏（河合 光氏から交代）、Anthony Tyson 氏（John Peacock 氏から交代）、また今回は欠席されましたが、新たに



村山機構長の報告を聞く視察団

中島 啓氏が加わり、6名で構成されています。

今回の現地視察では主任研究員、専任研究員の口頭での研究発表と質疑応答、博士研究員や大学院生など若手も含めたポスターセッションなど、研究成果の発表に十分な時間をかけ、特に融合研究や新しい試みに重点が置かれた議論が行われました。



現地視察2日目のポスターセッションの様子。

第4回外部諮問委員会

WPIの現地視察に先立って、2011年7月26日に IPMU の第4回外部諮問委員会 EAC2010 が開催され、Roberto Peccei 委員長 (UCLA) と John Ellis (CERN)、Steve Kahn (Stanford/SLAC)、David Morrison (UC Santa Barbara) の各委員が出席されました。委員には2010年度の IPMU の活動状況について村山機構長の報告と各分野の研究者8名からの研究報告を聞いていただき、また35名の研究者の研究発表ポスターを見ていただき、IPMU のこれまでの活動の評価と今後の活動に対する有益な助言をいただきました。



研究報告を聞く John Ellis、Roberto Peccei、Steve Kahn、David Morrison の各委員(前列左から右へ)

齋藤恭司主任研究員、日本数学会より2011年度幾何学賞を受賞

日本数学会は、IPMU 主任研究員の齋藤恭司特任教授に「周期積分の理論の現代化の実現」により2011年度幾何学賞を贈ることを発表しました。齋藤教授の受賞理由は、18～19世紀のオイラー、アーベル、ヤコビらによる楕円積分・周期積分の理論の現代化の実現という構想のもと、数学の諸分野はもとより、理論物理の最先端での発展にも大きな影響を及ぼしつつある多くの業績(原始形式の理論やフロベニウス多様体(平坦構造)の理論等)をあげ、現在も精力的に研究を行い、世界的にも大きな影響を与え続けている指導的数学者であることが挙げられています。

信州大学における日本数学会の秋季総合分科会中の9月29日に授賞式が行われました。

すばる望遠鏡でレーザーガイド星補償光学による遠宇宙観測、本格始動

すばる望遠鏡に搭載されるレーザーガイド星補償光学装置が完成し、これまでよりはるかに広い天域で大気ゆらぎを補正し、特に遠方の銀河やクエーサーの大多数を従来の10倍の解像力で観測できるようになりました。

IPMUの大栗真宗特任助教を含む研究グループは、このレーザーガイド星補償光学装置を用いて、二重クエーサー SDSS J1334+3315 を観測し、重力レンズを引き起こしている銀河の直接検出に成功することで補償光学の効果を実証しました。

この研究成果は、2011年8月10日に *Astrophysical Journal* の738巻に掲載されました。

宇宙の塵は星の爆発によって作られる! - 超新星SN 1987A中に大量の塵を発見

ロンドン大学の松浦美香子研究員、IPMU の野沢貴也特任研究員らの国際研究グループは、ハーシェル宇宙望

遠鏡を用いて大マゼラン雲中の超新星 SN 1987A の観測を行い、超新星 SN 1987A 内にマイナス250℃以下の極めて低温の塵が太陽のおよそ200倍のエネルギーで光輝していることを発見しました。この温度・エネルギーに対応する塵の質量は地球の20万個分であり、これにより超新星 SN 1987A がその爆発時に大量の塵を形成していたことを突き止めました。この発見によって超新星が宇宙における主要な塵の供給源であることが明らかになり、宇宙初期から現在までにおよぶ固体物質の進化、そして我々の住む地球の起源を理解する上で重要な手がかりが与えられました。

この研究成果は、Scienceの2011年9月2日号に掲載されました。

平成23年度「家族でナットク! 理系最前線 III」シンポジウム

2011年8月6日(土)、東京大学農学部弥生講堂において、平成23年度「家族でナットク! 理系最前線 III」シンポジウムが開催されました。女子中高生や保護者、教員の方々に向けたこのシンポジウムでは、先輩女性研究者の講演のほか、大学の研究室の紹介や大学院生との交流の時間が設けられました。主催は東京大学理系進路選択連絡会で、IPMUを含む理系の7研究組織が集まって2009年1月に発足し、その後3つの組織が加わったものです。2011年度も科学技術振興機構(JST)の支援を受け、女子中高生の理系進路選択を支援するため、シンポジウム、研究施設の見学会、研究者との交流会等を実施しています。

佐賀県立致遠館高等学校見学来訪

2011年8月22日(月)、佐賀県立致遠館高等学校の高校2年生約40名が東京大学柏キャンパスを見学し、IPMUも訪れました。田中賢幸特任研究員の講演「最先端研究に必要なもの」を聞いた後、IPMU研究棟3階の交流スベ

ースにて、John Silverman特任助教とCharles Steinhardt特任研究員を交えて宇宙に関する質問会が行われ、高校生たちは宇宙について、またIPMUについて積極的に質問していました。



質問に答える John Silverman 特任助教(右)と田中賢幸特任研究員(左)

第1回 SuMIRe-PFS Collaboration Meeting 開催

2011年7月11日-13日の3日間、IPMUにおいて「第1回 SuMIRe-PFS Collaboration Meeting」が開催されました。IPMUを中心にすばる望遠鏡の主焦点多天体分光装置(Prime-Focus Spectrograph: PFS)の開発が進められており、この会議ではすでに大筋で合意している国際パートナーを招聘し、装置製作の工程管理や性能保持などの諸課題を議論しました。

今後の研究会: Curves and Categories in Geometry and Physics

2011年10月31日-11月4日の5日間、IPMUにおいて「Curves and Categories in Geometry and Physics」研究会が開催されます。

人事異動

転出

次の方々が転出しました。[括弧内はIPMU在任期間です。]

Cosimo Bambi さん [2008年9月1日-2011年8月31日]、IPMU 博士研究員からドイツのルートヴィヒ・マクシミリアン大学ミュンヘン博士研究員へ。

Jing Shu (舒菁) さん [2008年9月

1日-2011年8月31日]、IPMU 博士研究員からイタリアのSISSA(国際高等研究大学院大学)博士研究員へ。

Kwokwai Chan(陳國威)さん[2011年1月1日-2011年7月15日]、IPMU 博士研究員から香港中文大学助教授へ。

Chuan-Ren Chen(陳傳仁)さん[2008年5月1日-2011年8月14日]、IPMU 博士研究員から米国アルゴンヌ国立研究所博士研究員へ。

Won Sang Cho(趙元相)さん[2010年2月1日-2011年8月14日]、IPMU 博士研究員から米国フロリダ大学博士研究員へ。

Wei Li(李微)さん[2008年8月16日-2011年8月15日]、IPMU 博士研究員からドイツのMax Planck 重力物理研究所博士研究員へ。

Domenico Orlando さん [2008年10月1日-2011年9月30日]、IPMU 博士研究員からCERNフェロー(博士研究員)へ。

Susanne Reffert さん [2008年10月1日-2011年9月30日]、IPMU 博士研究員からCERNフェロー(博士研究員)へ。

また、ブラジル政府から派遣された博士研究員として2010年9月16日から2011年8月29日までIPMUに滞在したEmille IshidaさんとRafael Da Silva De Souzaさんが帰国しました。

採用

立川裕二さんは本年4月9日までIPMUに在籍した後、一時プリンストン大学に異動しましたが、2011年8月8日付けで再度IPMU特任助教に採用されました。立川さんの研究内容はIPMU NEWS No.12の35ページをご覧ください。

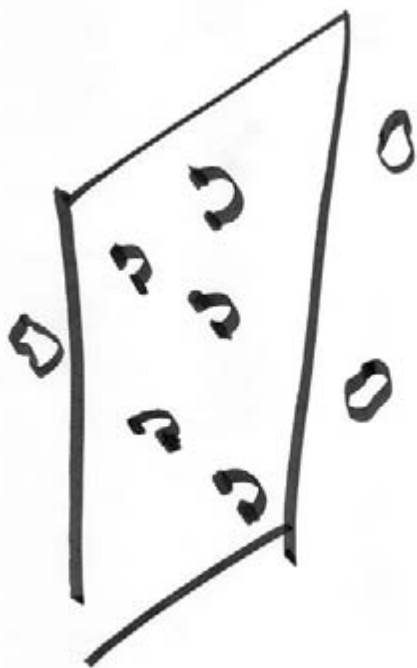
また、Cornelius Schmidt-Colinetさんはスイス国立科学財団の博士研究員として本年1月20日までIPMUに滞在しましたが、4月16日付けでIPMU博士研究員に採用されました。研究内容はIPMU NEWS No.11の38ページをご覧ください。



ブレンワールド

向山 信治 IPMU准教授

アインシュタインは、時間と空間を時空として融合し、特殊および一般相対性理論を打ち立てました。しかし、相対性理論において、時空は4次元である必要はありません。実際、超ひも理論などの統一理論は、4次元を超える時空を想定しています。その場合、私たちの宇宙は、高次元時空に浮かぶ、プレーンと呼ばれる膜のようなものかもしれません。このような宇宙像を、ブレンワールドと言います。



$$[K^{\mu}_{\nu} - K \delta^{\mu}_{\nu}] = -K^2 S^{\mu}_{\nu}$$