

I PMU NEWS

Feature

Exploring Star Deaths and the Early Universe by
Detecting Supernova Neutrinos and Gravitational Waves

Our Team

Interview with Masatoshi Koshihba



2

No.

June 2008

IPMU NEWS CONTENTS

English

- 3 **Director's Corner** Hitoshi Murayama
Ramping Up
- 4 **Feature** Katsuhiko Sato
Exploring Star Deaths and the Early
Universe by Detecting Supernova
Neutrinos and Gravitational Waves
- 8 **Our Team** Shigeki Sugimoto
Mark Vagins
Shinji Mukohyama
Masahiro Takada
Keiichi Maeda
Fuminobu Takahashi
Yukinobu Toda
Alexandre Kozlov
Chuan-Ren Chen
Shushi Harashita
Sugumi Kanno
Issha Kayo
Satoshi Kondo
Yuji Sano
Yasuhiro Shimizu
Shinya Wanajo
- 15 **Opening Symposium**
- 16 **IPMU Interview** with Masatoshi Koshiha
- 22 **News**
- 26 "Seeing dark matter and dark energy
using gravitational lensing phenomena"
Masahiro Takada

Japanese

- 27 **Director's Corner** 村山 斉
IPMUは急成長しています
- 28 **Feature** 佐藤勝彦
超新星ニュートリノ、重力波で探る
星の大往生と宇宙の初期
- 32 **Our Team** 杉本茂樹
マーク・ヴェイギンズ
向山信治
高田昌広
前田啓一
高橋史宜
戸田幸伸
アレクサンドル・コズロフ
陳 傳仁 (チェン・チュアンレン)
原下秀士
菅野優美
加用一者
近藤 智
佐野友二
清水康弘
和南城伸也
- 39 **IPMU発足記念シンポジウム**
- 40 **IPMU Interview** 小柴昌俊教授に聞く
- 46 **News**
- 48 重力レンズ効果で
暗黒物質と暗黒エネルギーを見る
高田昌広



Katsuhiko Sato is Professor of Physics Department, the University of Tokyo, and is a principal investigator of IPMU. He is a leading theoretical physicist in astrophysics and cosmology. He received his Ph. D. at Kyoto University in 1974. He came to the University of Tokyo in 1982 as Associate Professor, and has been Professor since 1990.

佐藤勝彦：東京大学理学系研究科教授（物理学専攻）でIPMU主任研究員を兼ねる。天体物理学および宇宙論分野における指導的理論物理学者の一人。1974年に京都大学で博士の学位を取得。1982年に東京大学助教授、1990年に同教授。

Ramping Up

Director of IPMU

Hitoshi Murayama

Institute for the Physics and Mathematics of the Universe is supposed to become a truly international research center. We adopted English as its official language, and all the seminars and notices are given in English. We host international workshops about once a month with most speakers coming from abroad.

I am pleased to announce that we will have two non-Japanese faculty members joining us, possibly more. Professor Mark Vagins has already arrived from University of California at Irvine and will tune the world-renowned Super-Kamiokande experiment to detect neutrinos from supernovae explosions billions of light years away. You can read his account in this volume of IPMU News. Associate Professor Simeon Hellerman will come from Institute for Advanced Study, Princeton, where Albert Einstein was in his later years, and will work on string theory in cosmological settings, approaching the mystery of Big Bang. In addition, we will have sixteen non-Japanese postdoctoral fellows in the fall from Europe [5], the US [3], Asia [7], and Australia [1]. They span all areas of research at IPMU, from astronomical observations to mathematical research. Two of them (Alexandre Kozlov and Chuan-Ren Chen) have already arrived. You can read their accounts in this volume, too.

We are ramping up very quickly. When IPMU was launched on October 1, 2007, there were no resident scientists. In the fall, we will have more

than forty researchers full-time, together with about twenty frequent visitors from other departments and institutions. Right now our biggest problem is space, because more people are joining us to work on our exciting science than we could ever imagine.

The design work of the new research building is well underway, and we hope to move to the brand new building before the end of 2009. It will have a large (about 400 square meters) space for spontaneous discussions under a sky light, lined with tables, chairs, and many many blackboards. The designer, Prof. Ohno, likens it to "a café in an European town square." We hope many exciting and groundbreaking work will emerge from informal and lively discussions in this space.

Building a new research center from scratch is a big challenge. We work hard together to meet the challenge for our common dream: solve the mysteries about the Universe we live in.



Director's
Corner

Exploring Star Deaths and the Early Universe by Detecting Supernova Neutrinos and Gravitational Waves

Neutrino astronomy's early days

On February 23, 1987, astronomers on Earth spotted a supernova in the Large Magellanic Cloud, a galaxy neighboring our own galaxy, the Milky Way. Later, it turned out that Kamiokande, the neutrino observatory led by Professor Koshiba at that time, had detected neutrinos emitted from this stellar explosion, the SN1987A supernova at 4:35 pm (Japan Standard Time), more than three hours prior to the optical observation. Until then, traditional astronomers had been exploring the universe through observations using visible light and radio waves. The 1987 observations at Kamiokande marked the birth of 'neutrino astronomy.' Mankind acquired a new probe, the neutrino, for observing

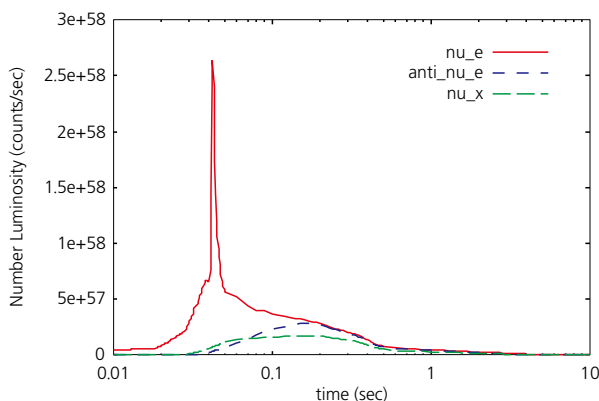


Figure 1: An example of a calculation of the intensity of the neutrinos emitted from a supernova. The effect of the neutrino oscillations, the back-and-forth transmutations of the emitted neutrinos into three neutrino types, are not taken into account in this calculation. (Totani, Sato, Dalhead, and Wilson, 1998)

the universe.

The supernova in the Large Magellanic Cloud resulted from the death of a star roughly 10 times or more heavier than the Sun. The illumination of the Sun and stars is powered by nuclear fusion reactions in their central cores, where hydrogen burns into helium which is then fused into carbon and oxygen. This nuclear burning chain, in which the ash produced in the earlier stage is converted into fuel by increasingly high temperatures and pressures in the latter stage, stops with the production of iron. Iron does not burn, hence the nuclear energy can no longer be extracted. When the star reaches this stage, it starts to collapse under its own gravitational force. Eventually, the star explodes: the star's matter bursts outward into the cosmos, leaving either a black hole or neutron star at the center. A neutron star has a radius of only about 10 km, but an extremely high density. The density is so high, in fact, that a mere spoonful of matter weighs on the order of 100 million tons.

Our group analyzed observational data from Kamiokande from a theoretical point of view, taking full advantage of the information directly supplied by the group of Professor Koshiba, working side-by-side with us at the Physics Department of the University of Tokyo. Through this work, we were able to present estimations on the total energy of the emitted neutrinos, the mass of the progenitor star (the star



SN1987A is the supernova observed in the Large Magellanic Cloud on February 23, 1987. Kamiokande detected the neutrinos emitted from this supernova. (©Anglo-Australian Observatory)

that exploded), and the mass of the resulting neutron star prior to other groups. Subsequently, similar analyses were reported around the world including the neutrino data from the IMB experiment in the US, which was reported soon after the Kamiokande's announcement, and these were mostly in agreement with our results.

An approach combining observations and theory

But Kamiokande and IMB observed only 11 and 8 neutrinos, respectively: too few to allow us to pin down the exact mechanism of the stellar explosion. Fortunately, Super-Kamiokande is currently operating with a sensitivity 30 times higher than that of its

forerunner Kamiokande. If a supernova occurs in the central part of the Milky Way, we should be able to observe roughly 10,000 neutrinos. Our group has been theoretically investigating the expected neutrino signals from supernovae for many years. We performed one of our investigations jointly with J. Wilson's group at the Los Alamos National Laboratory in the US. Through this collaboration, we were able to make realistic predictions for the neutrino spectrum that Super-Kamiokande would observe within a short time span of 10 seconds, should a supernova occur near the center of our galaxy. Of course, we need to know the properties of neutrinos in order to precisely predict how neutrinos are emitted from a supernova and detected on earth.

In 1988, the Super-Kamiokande group reported, for the first time ever, that neutrinos were not massless, but had finite mass and went through neutrino oscillations, that is, back-and-forth transmutations into other types of neutrinos. We know there are three types of neutrinos, namely, the electron type, the muon type, and the tau type.

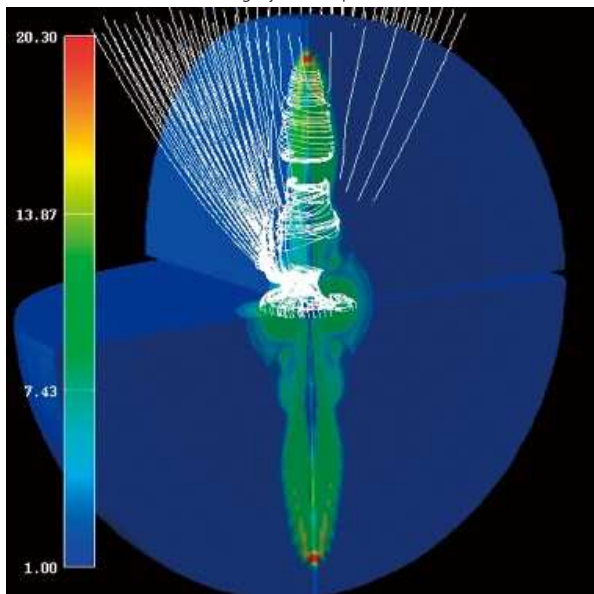
The interactions of neutrinos with matter are subtly dependent on these types. Since all three types are emitted from the center of a supernova, we expect that they go through oscillations within matter that spreads outward after the explosion. They also go through oscillations inside the Earth before reaching Super-Kamiokande.

We still have no clear understanding, however, of how these neutrinos oscillate. First of all, we do not know if their masses get heavier in the order of electron-type, muon-type, and tau-type (this is called the normal hierarchy), or in the order of the

tau-type, electron-type, and muon-type (this is called the inverted hierarchy). Different mass hierarchies certainly result in marked differences in the behavior of the neutrino oscillations. Second, we do not know the value of θ_{13} , one of the mixing angles that represent the extent of the mixture among the three types of neutrinos (this mixture of the neutrino causes the oscillations). Differences in mass ordering and the mixing angles will result in strong differences in the appearances of neutrino signals from a supernova. If we can make precise measurements of supernova neutrinos, we will be able to deduce these unknown properties of neutrinos.

In further collaboration with the Los Alamos group, we studied how the neutrinos would oscillate inside the supernova and how they would look when observed in Super-Kamiokande. We ought to be able to obtain information on the mass hierarchy and the mixing angles by comparing the observed signals and theoretical calculations, should a supernova occur in our Galaxy.

Figure 2: Computer simulation of a rotating progenitor star with magnetic fields as it collapses and starts to explode. The white lines are magnetic field lines. Colors indicate the amount of thermal energy. The magnetic field lines are strongly wound up around the rotation axis, causing a jet-like explosion.



Messages arriving from the Universe's distant past

Confoundingly, past statistics indicate that a supernova is only likely to occur in the Milky Way once every 50 to 100 years. This may be too long to wait. On a brighter note, the universe is filled with neutrinos emitted from supernovae that have exploded earlier in the history of the universe. These neutrinos will be observed not as a 10-second burst of signal from a supernova, but as “background neutrinos” with a constant flux in time. The Super-Kamiokande group is trying to detect these relic supernova neutrinos by filtering out the known signals, such as the atmospheric neutrinos produced by cosmic ray interactions in the atmosphere.

An upper limit of the relic supernova neutrino flux obtained from the observation is now close to the value calculated with one of our theoretical neutrino models. With an improved sensitivity, it may become possible to test this neutrino model. The flux of the background supernova neutrinos should also show how frequently supernovae have occurred in the past. We therefore want to use this observation to study the history of the universe.

Gravitational wave observations are no longer just a dream

Astronomers have recently recognized more diverse and complex mechanisms of supernovae. Theory holds that if a progenitor star before an explosion rotates fast or has strong magnetic fields, the explosion will be jet-like along the rotation axis. This would be very likely to result in directional variation of the neutrino emission. For the moment, our group is seeking to understand the types of supernovae that occur when the effects of rotation or magnetic fields are strong. This study is expected to reveal the intensity of neutrino emissions from these supernovae.

Supernovae emit not only neutrinos, but also gravitational waves. A gravitational wave is a distortion of space that propagates as a wave, as predicted by Einstein's theory of general relativity. A large gravitational wave detector called the LIGO is now at work in the US, and Japan has its own smaller-scale detector (TAMA) at work at the National Astronomical Observatory.

If a supernova occurs in the Milky Way or a neighboring galaxy, these detectors are very likely to detect the gravitational waves. Also, as in the case of the neutrino, gravitational waves emitted from earlier supernovae are probably coming in from all

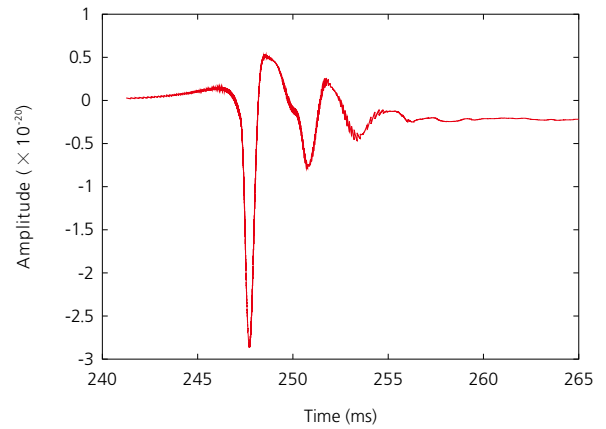


Figure 3: An example of gravitational waves emitted from a supernova explosion. For a slower rotation speed of the exploded star, the oscillation period is shorter. Observation of the gravitational waves will help us understand the explosion mechanism.

directions in the universe. In the early universe, when the very first stars and galaxies were born, large mass stars were probably formed. If this was so, black holes with masses on the order of 10 or even a few 100 times the solar mass must have been formed. Theory holds also that gravitational waves emitted during this period fill the present universe. We look forward to observing these gravitational waves from the early universe in the near future. This is not a dream, rather a matter of time.

Furthermore, our colleagues are now considering a proposal to build a Hyper-Kamiokande, a neutrino observatory 20 times larger in mass than the Super-Kamiokande. In the near future we will explore parts of the universe that cannot be seen with light, such as the insides of supernovae, by observing neutrinos and gravitational waves.

References

- Statistical Analysis for the Future Detection of Supernova Neutrino Burst*
Astrophys. J. **496** (1998) 216-225,
T. Totani, K. Sato, S. Dalhed and J. Wilson
- Relic Neutrino Background from Cosmological Supernovae*
New J. Phys. **6** (2004) 170 (27p),
S. Ando and K. Sato
- Explosion Mechanism, Neutrino Burst, and Gravitational Wave in Core-Collapse Supernovae*
Reports on Progress in Physics **69** (2006) 971-1144,
K. Kotake, K. Sato, and K. Takahashi

Our Team

Shigeki Sugimoto

Research Area: Theoretical Physics

IPMU Professor

"What is the world made of?" One of the main goals of elementary particle physics is to answer this question. Nowadays people believe that all the matter we see around us is made of quarks and leptons, which are interacting via four fundamental forces (gravity, electromagnetic, strong and weak forces). Recently, we encountered a clue to a new possibility which looks completely different from this traditional view of world.

According to the standard theory of elementary particles, baryons are made of three quarks, mesons are made of a quark-antiquark pair, and the strong interaction among them is described by QCD. However, we found some evidence that string theory in a certain curved background may also describe

the same physics. In this description, mesons appear as strings and baryons are a kind of soliton called D-branes. We analyzed properties of hadrons based on string theory and found that various physical quantities roughly agree well with the experimental values. Although there are still a lot of things to clarify, we think this is a very interesting possibility and expect fruitful developments in the future.



Mark Vagins

Research Area: **Experimental Physics**

IPMU Professor

Having spent fourteen years working on neutrino experiments in Japan — and the last decade as the American convener of Super-Kamiokande's solar and supernova neutrino group — I am honored and excited to join IPMU as its first full-time foreign professor.

My research is focused on developing new methods of observing neutrinos, both through the enhancement of existing detectors like Super-Kamiokande (Super-K) and via the design and construction of future facilities. One of my main goals is to measure, for the first time, the diffuse supernova neutrino background (DSNB), often called the “relic” supernova neutrinos.

Supernova explosions have been going on since the start of star formation, and the neutrinos from



all of these historical supernovas now fill space. Measuring this DSNB will tell us much about the evolution of the universe, the average rate of star formation, and even the lifetime of the neutrino.

Adding water-soluble gadolinium to Super-K should allow us to detect these relic neutrinos without having to build an all-new experiment. Enhancing Super-K in this manner will also make possible other new physics, including high-statistics reactor antineutrino oscillation studies. My work at the Institute will be focused on making these new measurements a reality.

Shinji Mukohyama

Research Area: **Cosmology**

IPMU Associate Professor

Modern cosmology has been developed and refined based on precision observational data. It is fair to say that many of the parameters describing our universe have been determined, or at least are in the process of being determined, with good precision. However, the physics behind the values of these parameters is still covered by a veil of mystery. For example, we do not know what dark energy and dark matter really are, although our universe is thought to be filled mostly with them. Also, what made our universe so big? This question can be addressed by cosmic inflation, but again we do not know the physical origin of the vacuum energy driving inflation. Three big mysteries, dark energy,



dark matter and inflation, are standing in the way of cosmology which boasts precision observational data.

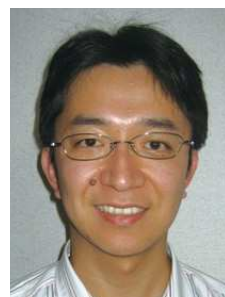
I have been working on research subjects such as brane world cosmology, string cosmology, Higgs phase of gravity and horizon thermodynamics in order to tackle the mysteries of the universe. I will continue this challenging task by using every possible means such as general relativity, particle physics and superstring theory.

Our Team

Masahiro Takada

Research Area: **Astronomy**

IPMU Associate Professor



My research interest lies in the field of observational cosmology, especially aimed at understanding how hierarchical structures of the Universe have been formed. The standard scenario predicts that cosmic structures are formed as a result of amplification of primordial seed fluctuations due to gravitational instability mainly driven by dark matter. In addition, another mysterious component (to cause the present-day cosmic acceleration), dark energy affects structure formation through the effect on cosmic expansion. Finally, the Big Bang relic neutrinos' finite masses imprint characteristic features onto large-scale structures. Therefore, a detailed study of the properties and time evolution of structure formation processes using cosmological observations allows us to explore the nature of dark

matter, dark energy and neutrinos. This is the final goal of my research.

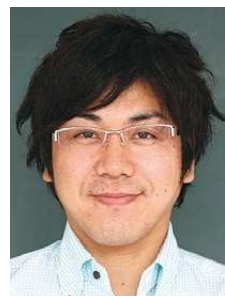
What I have worked on so far includes:

- ① developing a method based on cosmological gravitational lensing to probe dark energy,
- ② reconstructing dark matter distribution in a galaxy cluster based on a lensing analysis of the Subaru data, and ③ developing a model to describe the effect of finite-mass neutrinos on structure formation.

Keiichi Maeda

Research Area: **Astronomy**

IPMU Assistant Professor



Supernovae are the explosions that announce the death of stars. I investigate the physical processes involved under these extreme conditions, and evaluate the use of these explosions as probes of the cosmology and the evolution of the Universe. So far, I have worked primarily on supernova explosions of massive stars: nucleosynthesis and radiation processes to simulate their appearance, and observations mainly using the Subaru telescope. My research activities revealed that the explosion geometry is far from spherical, and that this is an intrinsic ingredient of the supernova explosion. Also, the deviation seems to be larger in more energetic explosions which are linked to high energy transients

called gamma-ray bursts. Currently, my research is mainly on Type Ia supernovae, which are the thermonuclear explosions of white dwarfs. The aim is to clarify the still-unknown progenitors and explosion mechanisms, to provide a solid basis for using these luminous objects in cosmological study, and then to come up with new ideas with which to explore the evolution of the Universe.

Fuminobu Takahashi

Research Area: **Theoretical Physics**

IPMU Assistant Professor

My main interest lies in understanding why our universe looks the way it does today. Particle cosmology plays an important role in shedding light on the evolution of the universe as well as on the underlying fundamental theory.

In the early universe, interesting phenomena — completely different from those we see in everyday life — may have occurred. For instance, recent observations strongly suggest that there was an inflationary epoch during which the universe expanded at terrific speed. On the other hand, it is not fully known how the universe was heated or how the matter that constitutes our bodies was

created after inflation.

Recently I have shown that an inflaton, the potential energy of which drives inflation, generically decays into standard-model particles as well as a superpartner of the graviton. I hope that this discovery will become an important guide to unravel the thermal history of the universe as well as the new physics beyond the standard model.



Yukinobu Toda

Research Area: **Mathematics**

IPMU Assistant Professor

Algebraic varieties are geometric objects defined by zero locus of polynomials, and their properties have been studied for a long time in the form of such familiar shapes as parabolas and circles. On the other hand, a special class of algebraic varieties called Calabi-Yau manifolds is playing an important role in modern superstring theory, in which an interesting conjecture called mirror symmetry has been proposed. This conjecture claims that there should exist a symmetry between two different mathematical objects (algebraic varieties and symplectic manifolds), and now this conjecture is described by an abstract notion of triangulated categories. Triangulated categories corresponding to algebraic varieties are derived categories of coherent sheaves, and I have been studying derived categories.

My recent works are descriptions of the spaces

of stability conditions on certain derived categories, and constructions of the moduli spaces of (semi) stable objects on them. Here the notion of stability conditions is considered to give a mathematical framework of BPS-branes in superstring theory, and we can observe several interesting symmetries other than mirror symmetry by studying derived categories and stability conditions on them. I believe that we can understand such symmetries uniformly, by establishing a new geometry based on derived categories, and developing the theory of stability conditions.



Our Team

Alexandre Kozlov

Research Area: **Experimental Physics**

Distinguished Postdoc

Large detectors located in well-shielded deep underground facilities provide various unique opportunities to search for rare processes originating from dark matter interactions, nucleon decay, double beta decays, etc. I participate in the KamLAND collaboration which built the world's largest liquid scintillator detector with the primary goal of studying neutrino oscillations. In addition, KamLAND may also provide a very clean environment where searches for new physics can be initiated. In the future the



KamLAND detector will be used to search for neutrinoless double beta decays by introducing Xenon-136 gas into the sensitive detector volume. If discovered, neutrinoless double beta decay would help to answer questions about both the absolute scale and the origin of neutrino mass.

Chuan-Ren Chen

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

In the near future, the Large Hadron Collider (LHC) will provide us some hints about physics beyond the Standard Model. My current research focuses mainly on exploring the collider phenomenology of new physics and on studying how to distinguish different models at the LHC. In addition to the LHC, cosmology measurements recently have given us direct evidence for new physics, such as dark matter



and baryon asymmetry. Therefore, I am also very interested in examining the interplay between LHC phenomenology and cosmology.

Shushi Harashita

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

I am a mathematician. My research interests are in the area of number theory and algebraic geometry. I have studied the structure of the moduli space of polarized abelian varieties in positive characteristic. The moduli space has two main stratifications: Newton Polygon and Ekedahl-Oort. I am now interested in the structure of each stratification and in the intersections of NP-strata and EO-strata. I



believe that this research will result in some good contributions to number theory and algebraic geometry (and to physics in the future).

Sugumi Kanno

Research Area: **Cosmology**

Postdoc

String theory is a promising candidate for the final fundamental theory of physics. Inflation is a phenomenologically very successful idea. Now, a new field of research called string cosmology is beginning to describe inflation geometrically. There exist three main approaches toward a realistic model of the early universe; the string theorist's approach, the general relativist's approach and the cosmologist's approach.



My approach is interdisciplinary in the sense that I try to combine advantages of each approach.

Issha Kayo

Research Area: **Astronomy**

Postdoc

The main topic of my research is to extract cosmological information from the large-scale structure of the Universe, particularly using the actual data taken by the Sloan Digital Sky Survey and virtual data generated by N-body simulations. I am also interested in the gravitational lensing phenomenon caused by the gravity of galaxies or the large-scale structure, and hunting gravitationally lensed quasars from the summit of Mauna Kea, Hawaii.



Satoshi Kondo

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

I am interested in number theory, particularly Grothendieck's theory of motives and Beilinson's conjectures. During my Ph.D. work at the University of Tokyo under Kazuya Kato, I worked on Drinfeld modular analogue of Beilinson's result on modular curves. In a joint work with Seidai Yasuda we generalized it to higher dimensions, and applied it to the computation of lower K-groups of elliptic curves over a function field of a curve over a finite field.



Our Team

Yuji Sano

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

My research interest is the existence problem of the canonical Kahler metrics such as Kahler-Einstein metrics. Nowadays it is conjectured that the condition for their existence would be described in terms of stability of manifolds in the sense of Geometric Invariant Theory. I think that an interesting point of this conjecture is that it connects two aspects; differential geometry and algebraic geometry. I expect that this problem could give us a new view of geometry.



Yasuhiro Shimizu

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

My research interest is physics beyond the standard model of particle physics. Experiment at the LHC will hopefully uncover the mechanism of electroweak symmetry breaking and/or physics beyond the standard model. Among various models beyond the standard model, I have studied supersymmetric models, in which the lightest supersymmetric particle may be the dark matter of our universe.



Shinya Wanajo

Research Area: **Astronomy**

Postdoc

My research interests include the origin of the elements and some related topics such as the mechanism of supernova explosions and cosmic chemical evolution. In particular, I am interested in the r-process, which is responsible for the production of a half of the elements heavier than iron such as silver, gold, platinum, and uranium. I have been studying nucleosynthesis in supernovae as well as Galactic

chemical evolution to identify the astrophysical origin of the r-process species.



Opening Symposium

On March 11 and 12, 2008, the opening symposium of IPMU was held at the Media Hall in Kashiwa Library at the University of Tokyo. The aims of the symposium were to cover all of the research areas studied at IPMU and to discuss ways to bring out the synergies in three core fields of research - physics, mathematics, and astronomy. As many as 172 registered participants took part. IPMU invited an impressive group of leading researchers as speakers for the event. The great success of the symposium can be credited to the high quality of their talks, which combined introductory reviews with news on the latest progress of leading-edge research.

After addresses by Hiroshi Komiyama (President of the University of Tokyo) and Shinichi Kawarada (Senior Deputy Director General of Science and Technology Policy Bureau, MEXT), the talks on the symposium program commenced.

March 11

- "IPMU" by Hitoshi Murayama (IPMU)
- "The state of string theory" by David J. Gross (Kavli Institute for the Theoretical Physics, UC Santa Barbara)
- "Subaru telescope and its prospects for observational cosmology" by Masahiko Hayashi (Subaru Telescope, NAOJ)
- "Geometric structures over space and their applications to physics" by Shing-Tung Yau (Harvard University)
- "Experiments at the new SNOLAB underground facility" by Arthur B. McDonald (Queen's University)
- "New horizons in particle physics - from the Higgs boson to dark matter at the LHC" by Karl Jakobs (University of Freiburg)
- "Implications of the Higgs discovery" by Gian Francesco Giudice (CERN)

March 12

- "Symplectic geometry of Lagrangian submanifold" by Kenji Fukaya (Kyoto University)
- "Experiments at Kamioka underground" by Yoichi Suzuki (ICRR)

- "The evolution of cosmic structure" by Simon D.M. White (Max-Planck-Institute for Astrophysics)
- "On mathematical problems of quantum field theory" by Nicolai Reshetikhin (UC Berkeley)
- "A noble endeavor - the hunt for dark matter" by Richard Gaiskell (Brown University)
- "Physics perspectives for the LHC" by Jonathan Ellis (CERN)
- "Collaborative opportunities with the US" by James Siegrist (Lawrence Berkeley National Laboratory)



Murayama stressed the need for mathematicians, theoretical physicists, experimental physicists, and astronomers under the same roof to pool their brainpower and solve mysteries in the Universe. This is the very concept of IPMU.

Gross criticized the anthropic principle which states that fundamental parameters in the Universe happen to be the ones that allow the existence of life; he pointed out the importance of understanding how the typical physical scale arises from fundamental physics.

Hayashi summarized recent discoveries with the Subaru telescope, then introduced future improvements - Hyper Suprime-Cam and FMOS.

McDonald spoke on the perspectives of future underground experiments, focusing closely on the SNOLAB experiment. Future experiments will allow us to attack various issues such as dark matter.

Yau reviewed geometric structures over space and their applications to physics: local symmetries, connections, group theory, physics equations, and string

theory.

Jakobs reviewed four issues tackled by LHC experiments: the origin of mass, the unification of fundamental theories, the generation problem, and the nature of dark matter and dark energy.

Giudice reviewed implications of what the Higgs discovery by the LHC will lead to in the future. The discovery of the Higgs particle does far more than expand our knowledge of particles: it opens up a new set of fundamental questions.

Fukaya described ways that mathematics and physics connect at various levels, presenting examples such as string theory, mirror symmetry, and so on.

Suzuki outlined several future projects at Kamioka: T2K for the neutrino oscillation study, XMASS and NEWAGE for the direct dark matter search, KamLand for the study of neutrino-less double-beta decay, LCGT for the detection of gravitational wave, and Hyper-K for searching proton decay.

White reviewed state-of-art computer simulations of the formation of the large-scale structure of the Universe. The simulations provide a link between the linear early Universe and today's nonlinear world.

Reshetikhin talked on mathematical problems in quantum field theory. Attacking these problems should increase the interaction between physics and mathematics.

Gaitskell pointed out the importance of direct dark matter detection as a method for probing supersymmetric particle models.

Ellis described several types of questions that can be tackled by experiments at the LHC: the origin of particle masses, the number of matter particles, unification of the fundamental forces, and the quantum theory of gravity. Discoveries by the LHC will set agenda for future projects.

Siegrist spoke on opportunities for US-Japan collaboration.



IPMU Interview

with Masatoshi Koshiba

Interviewer: Kunio Inoue

Making every effort to win the competition

Inoue: Professor Koshiba, you started neutrino research using Kamiokande, from which subsequently the Super-Kamiokande and KamLAND, and then K2K and T2K experiments evolved. I think that Japan now takes a leading role in the world in the field of neutrino research. I would like to hear about how you started the neutrino research using Kamiokande, and how Kamiokande was able to achieve such developments.

Koshiba: These are difficult questions, and not easy to answer. Kamiokande was initially designed for the purpose of searching for proton decays. But when our proposal was about to be accepted by the Monbusho (Ministry of Education, Science,

and Culture) the IMB project in the US suddenly emerged. It had a much larger budget, much larger water volume, and PMTs (photomultiplier tubes) of comparable photon sensitivity to ours. I thought that we would lose the competition, and spending tax payers' money on an experiment which we were bound to lose would not be justified. My conclusion, after careful thinking, was that I would not even try to request more money, but rather improve the sensitivity of each PMT by orders of magnitude.

I approached the president of Hamamatsu Television (now Hamamatsu Photonics). I had known him for the previous 10 years or so because my group was developing new PMTs for an electron-positron collider experiment in Germany. Through this experience, I knew that the company would be willing to become involved in new developments. I tried to talk him into the idea of developing a large 20" diameter PMT. He was hesitant at first. The chief engineer accompanying him was opposed to the idea, saying, "That's out of the question, sir!"

Masatoshi Koshiba is Honorary Professor Emeritus of the University of Tokyo. He was awarded the 2002 Nobel Prize in Physics jointly with Raymond Davis Jr. for pioneering contributions to astrophysics, in particular, the detection of cosmic neutrinos. Among many other distinguished awards he received, particularly noteworthy was the 1997 Order of Cultural Merit conferred by The Emperor of Japan in person.

It took more than three hours to persuade him to go ahead. I assigned Teruhiro Suda, Atsuto Suzuki, and Katsushi Arisaka [★1], from my group for the project. Subsequent development went well and we got good PMTs. It was the spring of 1983.

We immediately began installation of those PMTs, and more or less completed the work by August. Then we filled the water tank and started to take data from September. We found the data to be of unexpectedly good quality. In other words, we could see a beautiful energy spectrum of decay electrons from muons which entered the 3,000-ton water tank and stopped. We could clearly see the spectrum down to as low as 12 MeV. Below that, however, the background increased drastically and buried the signal completely.

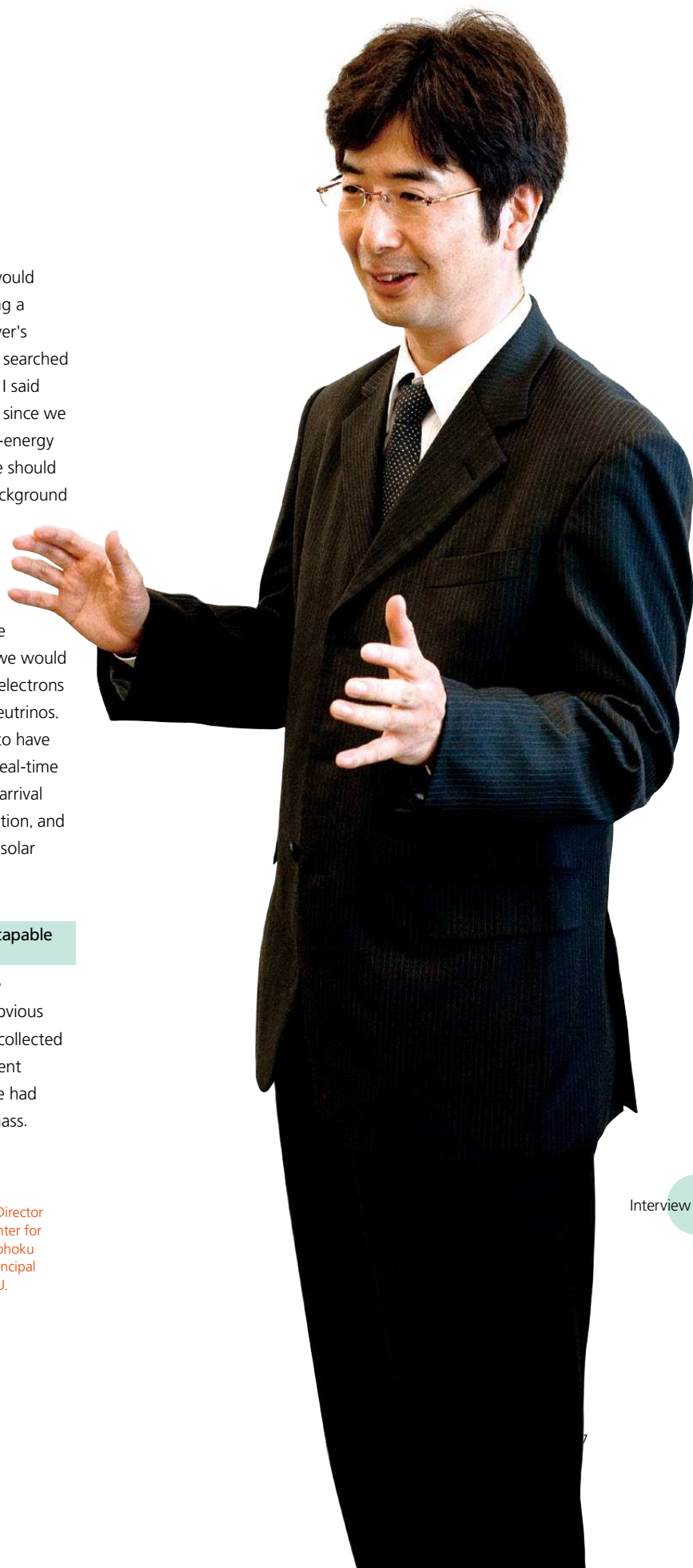
★1: At that time the late Professor Teruhiro Suda, Kobe University, was an associate professor at ICRR, the University of Tokyo; Professor Atsuto Suzuki, now Director General of KEK, was an assistant professor at the University of Tokyo; and Professor Katsushi Arisaka, UCLA, was a graduate student of the University of Tokyo.

Our experiment would have been like buying a lottery using tax payer's money if it had only searched for proton decay, as I said earlier. So I thought, since we could see these low-energy electrons cleanly, we should try to reduce the background by orders of magnitude and try to see electrons below 10 MeV cleanly. If we could achieve that, we would be able to measure electrons scattered by solar neutrinos. This way we ought to have been able to make real-time observations of the arrival time, incoming direction, and energy spectrum of solar neutrinos.

Giving chances to capable young people

But, after a simple calculation, it was obvious that we could have collected at most only one event per week, even if we had 1,000-ton fiducial mass.

Kunio Inoue is the Director of the Research Center for Neutrino Science, Tohoku University, and a principal investigator of IPMU.



The question was, could we further reduce the background of several events per second. This required purification of the water. So I appointed Atsuto Suzuki to take charge of a project to produce “the cleanest water in the world”. I was pleasantly surprised when he, completely new to this business, made numerous investigations and succeeded in producing the cleanest water in the world in less than a year.

I am often invited to lecture at business executives’ meetings in Japan. I mention that you should boldly appoint capable people to responsible positions, even if you think they may be too young. Such people are sure to make great progress. I tell them that I have seen several such cases in the Kamiokande experiment, and one was the case of Atsuto Suzuki.

One of the key elements for the success of Kamiokande was that I seldom said “do that” or “do this” to the young members of my group. I tried to create a situation where each member understood what they had to do. I think this is an important point for making progress in a project.

Inoue: Do you think a secret key to Kamiokande’s success was giving chances to young people and letting them having big responsibilities?

Koshiba: I think so. The other thing was choosing the name “Kamiokande.” Earlier proton decay and solar neutrino

experiments were low-profile work, but had to continue for many years. Therefore, it was important to attract the local people’s attention to the project in order for it to operate smoothly. So, I took “Kamioka” as the first part of the experiment name hoping that people would feel closer to the project. Then, I added “NDE” as an acronym for “Nucleon Decay Experiment”.

As you know, since Kamiokande had been producing physics results, mostly concerning neutrinos, people worldwide tend to think “NDE” stands for “Neutrino Detection Experiment”. I don’t mind. Either way is OK with me.

Toward solar neutrino observations

Anyway, we needed more money. In order to detect solar neutrinos using this method, we had to select one event or so per week out of the background. We had to reduce the background by orders of magnitude.

To do this, we first had to install an anti-counter having 4π solid-angle coverage and capable of surrounding the entire detector. The other thing we needed was upgraded electronics. At that time, lack of money meant that we had only digitizers to record signal pulse height (ADCs). We had to have digitizers capable of recording signal timing (TDCs) to make more precise measurements. These upgrades required

money, but it was not realistic to request additional funding from the Monbusho. We had to look around for other sources of money.

Also at that time, there were quite a few objections to the upgrade plan amongst the collaborators, although the group was still small.

Inoue: Were the objections from within the group?

Koshiba: Yes, from within the group. If we wanted to detect solar neutrinos, we had to install a 4π anti-counter, as I told you. To do this, we had to remove the PMTs in the bottom part of the detector, which we had worked so hard to install, and had to re-install them at a higher level. We had to waste a lot of time and lose a significant part of the fiducial mass. This meant a loss of the fiducial mass for a proton decay search, so the objections were rather strong.

But I made a decision to go ahead as a group leader. Now I had to look around for the sources for TDCs and the funds for installing the anti-counter. About three months later, in January 1984, an international conference on baryon number non-conservation, called “ICOBAN”, was held in Park City, Utah. I attended this conference and presented the preliminary results from Kamiokande, and at the same time presented two proposals.

First I explained that we could make a clean detection of electrons down to as low as 10 MeV because of new

PMTs with high sensitivity. I continued to explain that we wanted to pursue the possibility of an astronomical observation of solar neutrinos by observing electrons. My first proposal was to invite collaborators who could bring TDCs, associated electronics, and some other resources. Mann [★2] and his group from University of Pennsylvania responded to this proposal and said they wanted to take part.

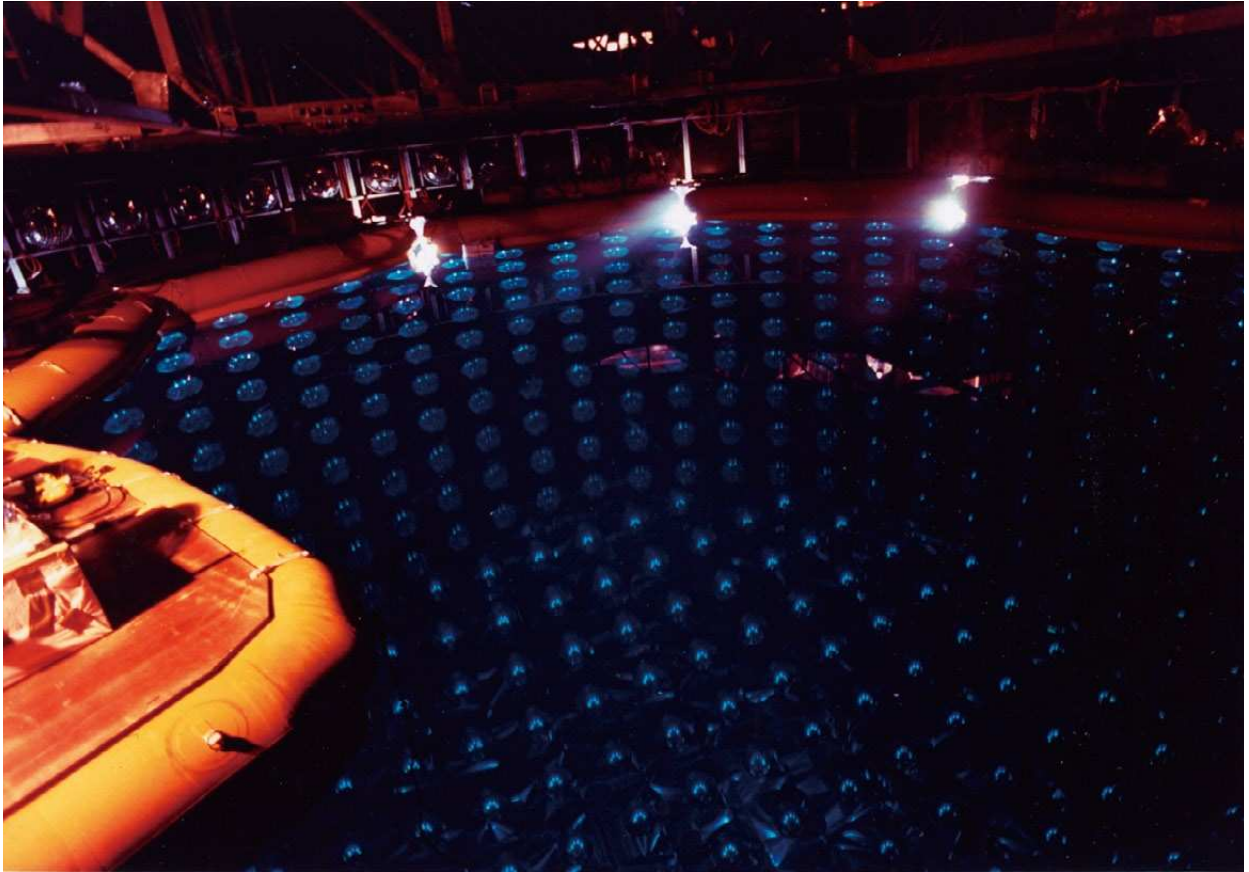
I stressed that this was just to show feasibility because even if we succeeded in making astrophysical observations of solar neutrinos with Kamiokande, the facility was not big enough. To go beyond the feasibility experiment and into real observation of solar neutrinos with this method, a considerably bigger detector would be needed. So my second proposal was to invite collaborators to build Super-Kamiokande, containing 50,000-tons of water.

Supernova neutrinos detected!

Inoue: I’m impressed that you had a master plan from very early on.

Koshiba: Yes, it was January 1984. But, there was no response to the second proposal. I made these two proposals in the first week

★2: Alfred Mann, now Professor Emeritus at University of Pennsylvania, was a professor there at the time.



Inside Kamiokande. The detector was located 1,000m underground in the Kamioka Mine. The cylindrical detector tank, 15.6m in diameter and 16m in height, contained 3,000 tons of pure water. The interactions of elementary particles inside the detector were observed by 948 photomultipliers with a diameter of 50cm, the largest in the world. Kamiokande's observations ceased in 1995 as the construction of Super-Kamiokande approached completion. Later, KamLAND was constructed at the former Kamiokande's site. (©ICRR)

of January 1984. Mann and his group came to Japan in February and visited Kamioka. They made it clear that they wanted to work together. They would provide 1,000 channels of TDCs and a new computer. We managed to get some money to build the 4π anti-counter with the bottom PMTs re-installed at an upper level, and to further purify the water.

As you know, the Kamioka mine produced heavy

elements, so there is plenty of radioactive radon gas in the mine tunnel. Its concentration is roughly ten times higher compared to other tunnels. Radon gas easily dissolves in water. Since we had to supply cold underground water to prevent a temperature rise, radon caused more and more background.

In order to cope with this problem, we tried several methods, such as storing the water in a buffer tank

for some period, or further improving the filtering system developed by Atsuto Suzuki. We reached a point where we reduced the background to a manageable level for starting the solar neutrino observation in January 1987. In early January, the radon peak finally disappeared, and we were set to embark on the neutrino data-taking. Within two months I began to receive frequent phone calls from many different places,

saying that a supernova had occurred in the southern sky. They wanted to know if we had seen a signal of the neutrino pulses that should have been produced when the supernova explosion was triggered. I called the Kamiokande site and told the person on duty to send the magnetic tapes to the University of Tokyo right away. When we analyzed the tapes in our computer, we found the signal.

Interview

Inoue: That is a fascinating story. Did you have a plan to detect solar neutrinos from the beginning of the Kamiokande-I proton decay experiment?

Koshiba: You probably don't know this. I was determined to show at the Utah conference in January 1984 that we could detect solar neutrinos using this method. Also, in the budget request for 1985, which was submitted in spring 1984, I attached a small pamphlet explaining that a certain number of neutrinos could be detected if a supernova explosion were to occur in our galaxy, in addition

★3: Yoji Totsuka, Honorary Professor Emeritus of the University of Tokyo, was an associate professor at that time, and Jiro Arafune, Professor Emeritus of ICRR, the University of Tokyo, was a professor.

to detecting solar neutrinos using the method I just described. The pamphlet also mentioned the possibility of detecting neutrino oscillation.

Inoue: I see. You had tremendous foresight.

Koshiba: Well, I was having a variety of discussions with people around me those days. So these ideas may not necessarily have been my own. But new possibilities appear when we really think hard about what we can do with what we have.

Inoue: With whom did you have these discussions? Your collaborators or people from wider fields?

Koshiba: I retired from the University of Tokyo in March 1987. In those days, namely between 1984 and 1987, Yoji Totsuka had already joined my

group, and Teruhiro Suda and Jiro Arafune were participating in many workshops at ICRR [★3].

Future of neutrino physics

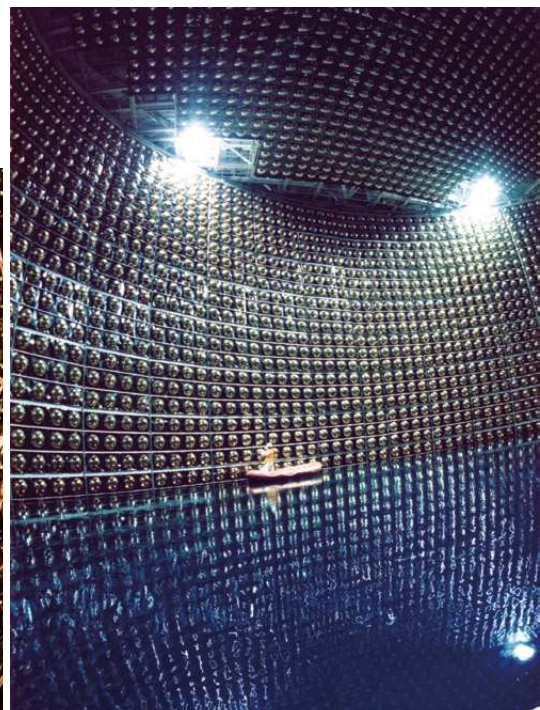
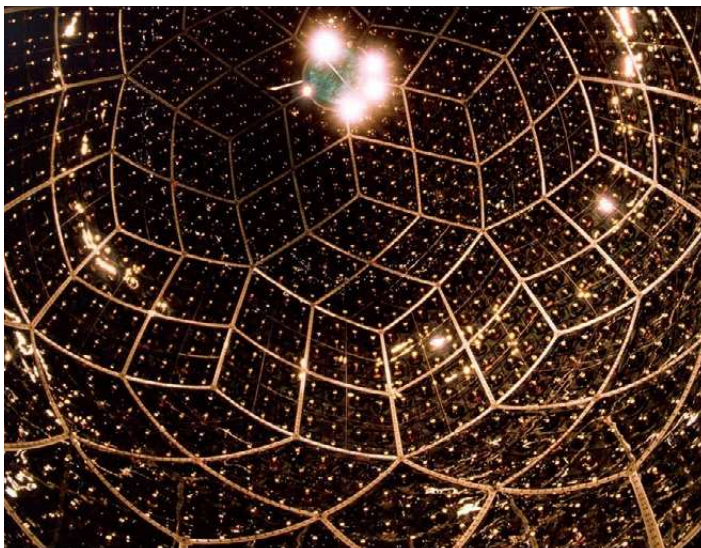
Inoue: It's interesting to hear that discussion was taking place in those places. After your pioneering work on neutrino astronomy, Super-Kamiokande measured solar neutrinos with impressively high precision, and KamLAND detected geoneutrinos. Although in a slightly different direction, we now have neutrino experiments in the South Pole and undersea. What's your opinion about close ties with other fields in neutrino research. I guess there are merits in it.

Koshiba: Neutrino research

was the least developed branch of particle physics experiments over the past few decades. The main reason is that among elementary particles, neutrinos are the only ones that do not carry an electric charge. Particles with an electric charge are easy to detect. But we have to let those without an electric charge interact in matter and convert into charged particles in order to observe them. This is a difficult process.

It was only recently that the neutrino mass, which was believed to be zero, was found not to be zero, as you well know. I think neutrino physics has entered a new era, but there are still many things we don't know about neutrinos. We don't know θ_{13} among the oscillation parameters. We

Left: Inside KamLAND. The inner surface of the spherical 18-m diameter detector tank is fitted with 1,897 giant photomultipliers. This photo shows the upper part of the detector, viewed from the bottom. At the center of the tank is located a 13-m diameter transparent balloon filled with 1,000 tons of liquid scintillator. (It was not yet installed when this photo was taken.) (©RCNS)
Right: Inside Super-Kamiokande. The inner surface of the cylindrical detector tank, which contains 50,000 tons of pure water, is fitted with 11,146 photomultipliers measuring 50cm in diameter. (©ICRR)



don't know the CP violation parameter, either. We might find out more regarding why only matter remained after the Big Bang and all of the anti-matter disappeared, by knowing these parameters.

I want to stress that we must have a clear understanding of neutrino oscillation in order to understand the observed results in neutrino astrophysics. This is clear from the case of solar neutrinos.

As you know, COBE observed microwaves in the universe and obtained information about the universe of 370,000 years after the Big Bang. The same thing can be done with the background neutrinos if we can ever detect them.

But how to detect them is really a difficult problem. For the past several years I have been approaching theorists whom I respect with an idea that neutrinos with such low energy would go through total reflection. I have asked various people about this possibility, which is still based on my own intuition. I first asked Yoichiro Nambu, who sent me a two-page response, saying "it might be correct". But his two-page note was too difficult for me to understand, so I wrote to Gyo Takeda in Sendai asking for an explanation [★4]. He responded, saying that Yoichiro Nambu's answer was

★4: Yoichiro Nambu is Distinguished Service Professor Emeritus of the University of Chicago. Gyo Takeda is Professor Emeritus of Tohoku University.

"more or less correct." I asked him again to study it more seriously.

Professors Takeda and Arafune have been working hard on this problem recently, and finalized their results into an article. This phenomenon is not as simple as electromagnetic waves, because three different neutrinos oscillate among them. So compared with the equations corresponding to the electromagnetic wave passing through matter, they become diffusion equations that are an order of magnitude more difficult. It is indeed a very difficult problem. They think, however, they have made enough progress so they will publish their article as an ICEPP preprint.

Super-Kamiokande should continue reliable data-taking

Inoue: I have a final question. IPMU is pursuing projects at Super-Kamiokande and KamLAND. Super-Kamiokande will try to measure θ_{13} and the CP violation parameter, which you mentioned earlier, in T2K. It is also preparing for the detection of relic supernova neutrinos (neutrinos from past supernova explosions) by adding gadolinium to the water. KamLAND will try to detect neutrinos from the solar CNO cycle. Also, it aims to observe double beta decay by adding xenon to liquid scintillator. In future, what do you want to see from these two experiments or from neutrino research in general?

Koshiba: It will be exciting if one could catch even a hint of relic neutrinos.

Inoue: Oh, you mean 1.9K relic neutrinos originating from the Big Bang.

Koshiba: Yes. But it will be very, very difficult. So people should not start haphazardly, or they may waste a few decades.

I want to add one thing in particular, which I said recently to Takaaki Kajita, who has just become the Director of ICRR [★5]. Super-Kamiokande started full operation with all PMTs installed. You can now continue data-taking for quite some time. You should continue further solar neutrino observation seriously. Besides that, the data from Super-Kamiokande will play an essentially important role should a supernova explosion occur in our galaxy. There is no other detector in the world of comparable capability.

Inoue: I agree with you.

Koshiba: So it is very important. You must continue reliable data-taking so that you can be ready for a supernova explosion to occur at any time. This is one point.

The other point which I want to stress is not to forget the very original aim of the experiment, proton decay. Super-Kamiokande can pin down the signals, not only those predicted by Glashow's SU(5) theory, but those from several other decay processes. You should pin down the lower limits of partial life for all possible decay modes

studied from the Super-Kamiokande data, and make them public. How about doing this by the end of the year?

Inoue: Do you have anything you want to see from KamLAND?

Koshiba: I think Atsuto Suzuki has done an excellent job in nurturing that facility. I often mention, when asked to give lectures, that it was KamLAND that made it possible to catch anti-electron neutrinos from the isotopes inside the earth. If one can utilize this technique and continue measurements for a few years with several of the similar detectors across the world, one can conduct earth tomography, with all the data of the places and the quantities of the materials. This would be a revolutionary occurrence in the field of geophysics.

I think it is important to carry on this project as a worldwide project. I try to convince audiences about this whenever I give lectures. For example, people in Hawaii want to do it, and I hear the SNO group is also interested. There is a movement in Europe as well. I did not seriously think about the possibility of anti-electron neutrino detection. Atsuto Suzuki brought this idea to reality by building KamLAND. That was a very good thing. Inoue: Thank you for your time today.

★5: Takaaki Kajita is the Director of the Institute for Cosmic Ray Research, the University of Tokyo (since April 2008). He is also a principal investigator of IPMU.

News

Opening Symposium and Reception

On March 11 and 12, 2008, the IPMU Opening Symposium was held at the Media Hall in Kashiwa Library at the University of Tokyo. Details on the symposium can be found on page 15.

The symposium was preceded by a reception held on March 10 at the Crest Hotel Kashiwa to celebrate the foundation of the IPMU. The following guests gave speeches (in chronological order): Yasutaka Moriguchi (Director General of the Science and Technology Policy Bureau, MEXT), Iwao Matsuda (former Minister of Science and Technology Policy, Food Safety and Information Technology; Member of the House of Councilors, the National Diet of Japan), Young Kee Kim (Deputy Director of the Fermi National Accelerator Laboratory), Akiko Domoto (Governor of Chiba Prefecture), Akira Honda (Mayor of Kashiwa City), David Gross (Director of the Kavli Institute for Theoretical Physics, UC Santa Barbara), and Shing-Tung Yau (Professor, Harvard University).

Masahiro Takada wins ASJ Young Astronomer Award

On March 26, 2008, the Astronomical Society of Japan (ASJ) announced that Masahiro Takada, an associate professor at IPMU, had

been selected as a recipient of the ASJ Young Astronomer Award. Every year, the ASJ awards the prize to up to three young astronomers, aged 35 or less, who have made distinguished contributions to astronomy over the past five years. The award ceremony was held during the ASJ annual meeting.

Takada received the prize for his study on the distribution of the dark matter. Dark matter, by definition, is invisible in electromagnetic radiation, which makes its properties totally mysterious. Takada has developed a theoretical method to probe dark matter using the gravitational lensing phenomenon predicted by Einstein's general theory of relativity. When an astronomer observes galaxies, their shapes are affected by gravitation of the intervenient dark matter. This is the essential point to the strategy behind Takada's proposal. Takada has also led observations using the Hubble Space Telescope and the Subaru Telescope, and has successfully identified the distribution of dark matter.

"This prize is very exciting, as it encourages our efforts to understand the hidden parts of the Universe by scientific knowledge," said Takada.

"Exploring the dark part of the Universe requires totally new, revolutionary ideas. We look with hope to young researchers as a source for these ideas. The prize reaffirms this important point," commented IPMU Director, Hitoshi Murayama.

Hiroshi Ooguri wins the Humboldt Prize

The Humboldt Foundation, a German counterpart of the Nobel Foundation of Sweden, announced that Hiroshi Ooguri, a principal investigator of IPMU, is to receive the Humboldt Prize for 2009. This

prize is awarded to internationally leading researchers who have made fundamental discoveries in the arts, human sciences, or natural sciences. Ooguri was selected as the prize recipient for his work in developing a mathematical method in quantum field theory and string theory.

The award ceremony will be held in March 2009 at a symposium and reception in Berlin hosted by the German prime minister. Ooguri is planning to use the prize money, 60,000 Euros, to study unifying quantum theory and gravitation theory in collaboration with the Max-Planck-Institute in Germany.

IUPAP Young Scientist Prize awarded to Naoki Yoshida and Eiichiro Komatsu

The International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) announced that Naoki Yoshida, a physicist to join IPMU as an associate professor from September 2008, had been selected to receive the IUPAP Young Scientist Prize in Computational Physics. Yoshida received the prize for his state-of-art computer simulation study on the large-scale structure of the Universe. The ceremony will be held at an IUPAP symposium in August 2008, in Brazil.

IUPAP also announced that Eiichiro Komatsu, an associate professor at the University of Texas and a joint scientist of IPMU, had been named a recipient of the IUPAP Young Scientist Prize in Astrophysics, for his study on the cosmic microwave background. The ceremony will be held at a symposium on relativistic astrophysics in December 2008, in Canada.

External Advisory Committee

The External Advisory Committee

of IPMU met for the first time on the Kashiwa Campus on March 13, 2008, just after the Opening Symposium. The Committee is made up of eight distinguished researchers from around the world, of whom seven participated in the meeting.

The report from the Committee members lauds the speed with which the institute was established, declaring that “the organization of the institute in the first few months of its existence is nothing less than spectacular.” The report also stresses the importance of the University of Tokyo’s role in supporting the institute, and offers various suggestions on ways for the institute to play a major role worldwide. IPMU members have taken the constructive comments from the Committee seriously and have used them to plan out the further development of the institute.



Site visit

On April 17, 2008, delegations from JSPS and MEXT came to IPMU for a site visit. Prominent members included the WPI Program Director (PD), Toshio Kuroki, and the Program Officer (PO) assigned to IPMU, Ichiro Sanda. Two presenters, Hitoshi Murayama (Director of IPMU) and Sadanori Okamura (Vice President of the University of Tokyo), spoke on the current status and future strategy of IPMU. Visiting delegates and IPMU members discussed ways to further improve the management of IPMU from comprehensive

perspectives. The delegates also met with many researchers working at IPMU, especially young researchers and foreign researchers.



First WPI Follow-up Meeting

The WPI Program Committee held its First Follow-up Meeting on May 20, 2008, in Tokyo. The Directors of the five WPI Centers selected last year presented progress reports on the work they had completed during the first six months. The Committee assessed the state of progress at each WPI Center, based on the progress report presentations and the site visit reports prepared by the PD and POs. The Committee spared no praise for the strong leadership of the IPMU Director, Hitoshi Murayama.

The Committee’s comments can be found at http://www.jsps.go.jp/english/e-toplevel/08_followup.html.

Prefabricated buildings for IPMU researchers completed

Soon after its launch in October of last year, IPMU located its temporary offices for researchers and administrative staff in the General Research Building on the Kashiwa Campus of the University of Tokyo. Researchers have been working side by side at desks set up in a large office room. Two prefabricated buildings were completed for IPMU researchers this May (A and B in the photo), and a third was completed in June (C). The researchers now enjoy a calmer

working environment, in private offices of their own or in offices for two.



The design work for the IPMU Main Research Building, a five-story structure with a total floor space of about 5,800m², is now at the final stage. The building is expected to be completed in the fall of 2009.

Conference Report —Focus Week: Neutrino Mass

IPMU held its second Focus Week from March 17 to 20, 2008. A gathering of about 40 experts from various fields came to the conference from all over the world to discuss the elusive questions of neutrino mass.

The invited speakers and the topics of their talks are listed in the announcement issued in the previous volume of the IPMU News. Schedules and presentation files can be found on the IPMU homepage.

The conference was quite successful. The talks covered a wide range of topics relevant to neutrino mass: Theory, Phenomenology, Experiments, Astrophysics, and Cosmology. The special format for Focus Week allowed researchers from diverse backgrounds to actively discuss common themes.

—Asian Mathematicians and Theoretical Physicists Conference

The IPMU Conference of Asian Mathematicians and Theoretical Physicists was held from March 20 to 22, 2008 to promote collaborations among researchers in Asia. About 25 researchers took part in the event,

including two speakers from India, four from South Korea, one from China, and four from Japan. Besides the scientific talks, IPMU Director Hitoshi Murayama presented plans on the future of the institute. His presentation was followed by a lunch meeting to discuss plans for collaborations among various research centers in Asia, including two in India (the Tata Institute in Mumbai and the Harish-Chandra Institute in Allahabad), two in South Korea (Seoul National University and the Korea Institute for Advanced Study), and one in China (Center for Mathematical Sciences in Zhejiang University). The IPMU will follow up on the discussion by promoting research exchanges between IPMU and these institutes.

—Moonshine Conference

On May 22 - 24, 2008, the Moonshine conference was held at the Media Hall in the Kashiwa Library at the University of Tokyo. Moonshine is a term referring to the mysterious relationship of a certain group of finite order, the so-called Monster group, with modular functions. This topic originated from an initial observation by J. McKay and the Moonshine conjecture proposed by J.H. Conway and S.P. Norton. Recent evidence indicates that Moonshine and Monster group are related to theoretical physics by nature. Specialists and theory originators came to the conference to discuss the current and historical movements around this area.

The invited speakers and the topics of their talks are listed on the IPMU homepage.

Future Conferences —Second Focus Week on LHC Phenomenology

IPMU is organizing the second LHC Focus Week, a small discussion-oriented meeting on New Physics at LHC. The meeting will be held at IPMU on June 23 to 27, 2008. It will take the same form of the "Focus Week," a week of presentations, two to three per day, with ample time for members to discuss and develop new projects. One day of the week will be reserved for workshops. Participants are encouraged to make presentations.

The following speakers are invited: Richard Cavanaugh (CMS, Florida), Hsin-Chia Cheng (UC Davis), Rikkert Frederix (Louvain), Yeong Gyun Kim (KAIST), Ryuichiro Kitano (LANL), Tommaso Lari (ATLAS, INFN), Christopher Lester (ATLAS, Cambridge), Takemichi Okui (Maryland), and Jay G. Wacker (SLAC). Further details can be found on the IPMU homepage.

Seminars

IPMU constantly hosts seminars presented by researchers from all over the world, including the IPMU regular seminars held every Wednesday, at 3:30 pm at the IPMU Kashiwa Campus. The regular seminar series covers introductory topics from fairly broad, multifaceted perspectives to encourage mutual communication between researchers with different research backgrounds. IPMU has also started two subgroup seminars on Thursdays at the IPMU Kashiwa Campus: the IPMU particle physics and astrophysics seminar (usually starts at 1:30 pm) and the IPMU mathematics seminar (starts at 3:30 pm). All of the seminars are held in English. We also hold the IPMU Komaba seminars

on Mathematical Physics in the Mathematical Science Building at the Komaba Campus, as well as frequent seminars on other topics with no fixed schedule.

—IPMU Seminars

Following is a list of seminars that have been held since February 21, 2008 (as of June 13, 2008). Information on the previous seminar talks can be found in the previous volume of the IPMU news. The seminar schedule is frequently updated on the IPMU homepage. The contact addresses of seminar organizers can also be found there.

1. "More visible effects on the hidden sector"
Speaker: David Poland (UC Berkeley)
Date: 21 February 2008
2. "Testing supersymmetric neutrino mass models at future collider experiments"
Speaker: Werner Porod (Univ. Wuerzburg)
Date: 22 February 2008
3. "Deformation of Brody curves and mean dimension"
Speaker: Masaki Tsukamoto (Kyoto Univ.)
Date: 27 February 2008
4. "KamLAND"
Speaker: Alexandre Kozlov (Tohoku Univ.)
Date: 28 February 2008
5. "Hunting for the geometry of supernova explosions by optical/NIR observations"
Speaker: Keiichi Maeda (IPMU)
Date: 5 March 2008
6. "Cosmology from spinning branes"
Speaker: Damien A. Easson (Durham Univ.)
Date: 14 March 2008
7. "Ensemble properties of cluster

- galaxies and their redshift evolution”
Speaker: Yen-Ting Lin (Princeton Univ.)
Date: 4 April 2008
8. “Cosmological unification of string theories”
Speaker: Simeon Hellerman (IAS)
Date: 9 April 2008
9. “Astrophysical probe of new physics: Cosmological dark matter and anisotropy”
Speaker: Shin’ichiro Ando (Caltech)
Date: 11 April 2008
10. “Killing superalgebras in supergravity”
Speaker: José M. Figueroa-O’Farrill (Univ. Edinburgh)
Date: 16 April 2008
11. “Integrable systems and intersection theory on moduli spaces of Riemann surfaces”
Speaker: Motohico Mulase (UC Davis)
Date: 23 April 2008
12. “Direct and indirect search for signals of the littlest Higgs model with T-parity at colliders”
Speaker: Chuan-Ren Chen (IPMU)
Date: 23 April 2008
13. “Phases of $N=2$ theories in $1+1$ dimensions with boundary”
Speaker: Kentaro Hori (Univ. Toronto)
Date: 30 April 2008
14. “Limit stable objects on Calabi-Yau 3-folds”
Speaker: Yukinobu Toda (IPMU)
Date: 8 May 2008
15. “Cosmogenic neutrinos and the HiRes experiment”
Speaker: Kai Martens (Univ. Utah)
Date: 12 May 2008
16. “Derived categories in noncommutative geometry”
Speaker: Alexey Bondal (Univ. Aberdeen)
Date: 14 May 2008
17. “Toric degenerations of Gelfand-Cetlin systems and potential functions”
Speaker: Kazushi Ueda (Osaka Univ.)
Date: 21 May 2008
18. “ H^3 Liouville relation and its applications”
Speaker: Yasuaki Hikida (KEK)
Date: 28 May 2008
19. “Higgs boson mass bounds in the Standard Model with seesaw-induced neutrino masses”
Speaker: Nobuchika Okada (KEK)
Date: 29 May 2008
20. “Quivers, brane tilings and toric Calabi-Yau/Sasaki-Einstein geometry”
Speaker: Masahito Yamazaki (Univ. Tokyo)
Date: 29 May 2008
21. “On solutions to Walcher’s extended holomorphic anomaly equation”
Speaker: Yukiko Konishi (Kyoto Univ.)
Date: 4 June 2008
22. “Phases of $N=2$ theories in $1+1$ dimensions with boundary Part II”
Speaker: Kentaro Hori (Univ. Toronto)
Date: 5 June 2008
23. “Indirect signatures of gravitino dark matter”
Speaker: Alejandro Ibarra (DESY)
Date: 9 June 2008
24. “String compactification and the landscape”
Speaker: Michael Douglas (Rutgers)
Date: 9 June 2008
25. “Balanced Kahler metrics and physics”
Speaker: Michael Douglas (Rutgers)
Date: 10 June 2008
26. “The 5-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Cosmological interpretation”
Speaker: Eiichiro Komatsu (Univ. Texas)
Date: 11 June 2008
27. “Generic Newton polygons of Ekedahl-Oort strata in the moduli space of abelian varieties”
Speaker: Shushi Harashita (IPMU)
Date: 12 June 2008
28. “Hunting for primordial non-gaussianity”
Speaker: Eiichiro Komatsu (Univ. Texas)
Date: 13 June 2008

—IPMU Komaba Seminars

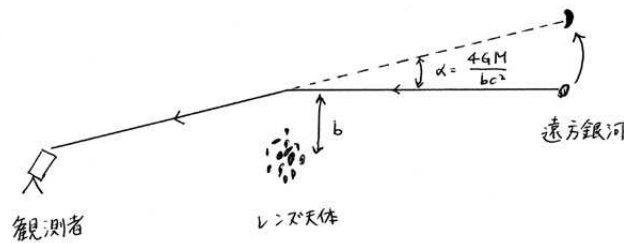
The following seminars have been held since March 10 (as of June 13, 2008). The schedule can be found on the IPMU homepage.

1. “Geometric analysis and their applications in mathematics and theoretical physics”
Speaker: Shing-Tung Yau (Harvard Univ.)
Date: 10 March 2008
2. “Lecture: Homotopy theory (before 1970)”
Speaker: Akihiro Tsuchiya (IPMU)
Date: 8, 15, 22 April, 13 May 2008
3. “Recursion relations in intersection theory on the moduli spaces of Riemann surfaces”
Speaker: Motohico Mulase (UC Davis)
Date: 24 April 2008
4. “The hypoelliptic Laplacian”
Speaker: Jean-Michel Bismut (Univ. Paris-Sud, Orsay)
Date: 12 May 2008
5. “A survey of Quillen metrics”
Speaker: Jean-Michel Bismut (Univ. Paris-Sud, Orsay)
Date: 19 May 2008
6. “Intersection theory from duality and replica”
Speaker: Shinobu Hikami (Univ. Tokyo)
Date: 2 June 2008

Seeing dark matter and dark energy using gravitational lensing phenomena

Masahiro Takada IPMU Associate Professor

The gravitational lensing phenomenon is the deflection of light-rays emitted from distant galaxies by intervening massive objects along the same line of sight, which results from the warping of spacetime around the lensing object as described by Einstein's general theory of relativity. Measuring the gravitational lensing phenomena in the expanding universe allows us to “see” originally invisible objects, such as “dark matter” and “dark energy”.



$$(\text{重力レンズの強度}) = (\text{宇宙の幾何}) \times (\text{レンズ天体の質量})$$

A schematic illustration of gravitational lensing. The lensing strength in an expanding universe (A) is sensitive to the geometry of the universe (B) as well as the total matter of the lensing object (C); (A) = (B) × (C).

IPMUは急成長しています

IPMU 機構長

村山 斉 むらやま・ひとし

数物連携宇宙研究機構（IPMU）は真の意味で国際的な研究機関になることを期待されています。既に英語を公用語とし、講演や案内は全て英語でなされています。平均して月一回は国際会議をもち、殆どの講演者は外国から来ます。

うれしいニュースがあります。既に二人の外国人研究者がIPMUの教員に着任することになりました。マーク・ヴェイギンズ教授はカリフォルニア大学アーヴァイン校から既に着任し、世界的に有名なスーパーカミオカンデ実験を一部変更して、何十億光年も遠くで爆発した超新星から来るニュートリノを捕えようとしています。このIPMU Newsの第2号で彼の自己紹介をお読み下さい。シメオン・ヘラーマン准教授は、アインシュタインが後年を過ごしたプリンストン高等研究所から着任し、膨張宇宙などの時空でのストリング理論を研究して、ビッグバンの神秘に迫ります。更に16人の外国人ポスドクが着任します。出身はヨーロッパ [5]、アメリカ [3]、アジア [7]、そしてオーストラリア [1] とさまざまです。彼らはIPMUの研究の全ての分野に亘り、天文観測から数学的研究までカバーします。そのうち二人（アレクサンドル・コズロフとチェン・チュアンレン）は既に着任し、本号で自己紹介をお読みいただけます。

IPMUは急速に成長しています。IPMUが昨年10月1日に発足したときは、現地には研究者は一人もいませんでした。今年秋には40人以上のフルタイムの研究者がいて、他の教室や研究機関からちょくちょくIPMUを訪れるビジターが更に20人ほど加わります。今一番の問題はスペースです。私たちのエキサイティ

ングな研究に参加する為、想像もできなかったほど速く人が集まって来ているからです。

新研究棟のデザインはかなり進んで来ており、真新しい研究棟への引っ越しを来年末までにはできると胸を膨らませています。自然光の入る大きな（400m²ほどの）交流エリアがあり、テーブル、椅子、沢山の黒板が並べられて、自然に議論が始まる場所になります。デザインを担当した大野教授によると、「ヨーロッパの町の広場にあるカフェ」のような雰囲気になるとのことです。ここでくだけた雰囲気活発な議論が展開され、数多くの新地平を切り開く研究結果が生まれることを期待しています。

全くのゼロから世界レベルの新しい研究所を作るのは並大抵のことではありませんが、私たちの住む宇宙の神秘を解明する、という共通の夢に向かって共に励んでいます。



超新星ニュートリノ、重力波で探る 星の大往生と宇宙の初期

ニュートリノ天文学の幕開け

1987年2月23日に、私たちの住む天の川銀河の伴銀河、大マゼランに超新星SN1987Aが発見されました。この光学観測による発見より3時間以上前の午後4時35分（日本標準時）に、小柴昌俊先生がリーダーを務めるカミオカンデは、SN1987Aから放出されたニュートリノをとらえることに成功していました。従来、天文学は光や電波などで観測することによって宇宙の姿をとらえていましたが、ここにニュートリノという素粒子で宇宙を観測するというニュートリノ天文学が創始されたのです。

大マゼランに現れた超新星は、太陽より10倍程度以上質量の大きい星が、その一生を終えるときの大往生の姿だということが言えるでしょう。太陽や夜空に

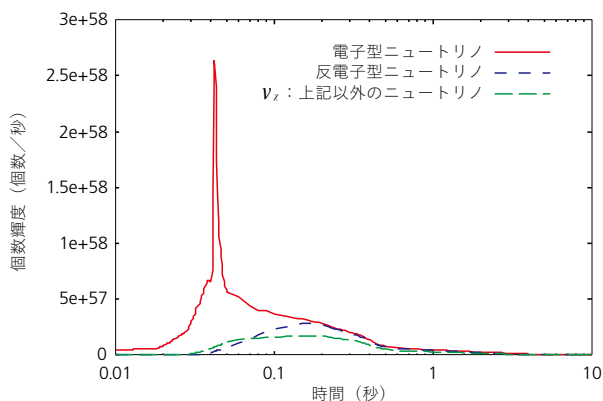


図1 超新星からのニュートリノ放出計算の一例。ニュートリノ振動の効果が現れる前。ニュートリノ振動によりニュートリノ間で転換が起こる。（戸谷、佐藤、Dalhead、Wilson、1998）

輝く恒星は、中心で核融合反応が起こり、その核燃焼のエネルギーによって輝いています。中心で水素が燃え、ヘリウムに、ヘリウムが燃え炭素や酸素にというように、前の段階の燃えかすを、さらに星の温度や密度を高めることによって、次のステージの燃料として使ってエネルギーを生み出しています。しかし、鉄まで核燃焼が進むと、もはや核エネルギーを取り出すことはできなくなります。このような段階になると、星は自分自身の強い重力で潰れてしまうと考えられています。星の中心にはブラックホールや、中性子星と呼ばれる天体が作られ、他の部分は爆発して飛び散ると考えられています。中性子星とは、半径はわずか10km程度ですがスプーン一杯の質量が1億トンにもなる、ものすごい超高密度の星です。

私たちはこの観測の直後、小柴先生と同じ東大物理教室に属していた利を生かし、ニュートリノの検出の直後、このデータを理論家の立場から解析しました。その結果、放出されたニュートリノの全エネルギーや、この爆発を起こした飛び散った元の星の質量、また中心に残されたはずの中性子星の質量などを推定し、世界に先駆けて発表することができました。同じような解析は、カミオカンデの後に発表された米国のIMBグループのニュートリノ検出のデータを加え、世界中で行われましたが、大筋では私たちの結果と一致するものでした。

観測と理論双方からのアプローチ

しかし、カミオカンデやIMBグループの検出したニ



超新星1987A。1987年2月23日、大マゼランに現れた超新星。
カミオカンデはこの超新星から放出されたニュートリノをと
らえることに成功した。(©Anglo-Australian Observatory)

ニュートリノはそれぞれ11個、8個という小さな数で、どのように星が爆発したのか、このデータから読みとることはできなかったのです。しかし、今やカミオカンデより30倍もの感度があるスーパーカミオカンデが稼働しています。もし私たちの天の川銀河の中心で超新星が起こったなら、およそ1万個のニュートリノが検出されるはずなのです。私たちは、超新星からどのようなニュートリノのシグナルがやってくるのか、長年理論的な研究を進めて来ましたが、その1つは、米国、ロスアラモス研究所のウィルソン (J. Wilson) のグループと進めた研究です。この共同研究により、もし超新星が私たちの銀河中心あたりで現れたならば、

スーパーカミオカンデのような大きな検出器で、10秒という短い時間にどのようなエネルギーのニュートリノが検出されるのか、具体的に予言することができました。

しかし、超新星からニュートリノがどのようにに放出され、また地球でどのようにに検出されるのか正確に予言をするためには、当然のことですが、ニュートリノ自身のことがわかっていなければなりません。スーパーカミオカンデのグループは、1998年、ニュートリノは質量がゼロではなく、有限の値を持ち、互いに異なった種類のニュートリノに変わったり、また戻ってきたりする現象（ニュートリノ振動）がおこることを、

世界に先駆けて発表しました。ニュートリノには、電子型、ミュー型、そしてタウ型の種類が知られています。

これらのニュートリノは、微妙に物質と反応する度合いが異なります。超新星の中心から放出されるニュートリノもこの3種類が混ざった状態で放出されますが、ニュートリノ振動の効果によって、飛び散る物質の中で互いに種類の異なったニュートリノに転換されることが予想されます。さらに、地球を貫いてスーパーカミオカンデにやってくるニュートリノは、地球内部でも互いに他のニュートリノに転換します。

しかし、ニュートリノ振動が実際はどのように起こるのかはよく解っていません。第一に、電子型、ミュー型、タウ型の順番で重くなっている（正規階層）のか、逆に、タウ型、電子型、ミュー型の順番で重くなる（逆階層）のか、まったくわかっていません。3種類のニュートリノの質量がどのような順番になっているかにより、ニュートリノ振動はまったく異なってきます。第2に、3種類のニュートリノ間で振動を引き起こす“混ざり方”を表す混合角のうち、 θ_{13} とよばれる値が未

知のままです。当然、超新星からのニュートリノのシグナルは、質量の階層や混合角によって大きく変化します。逆に言うと、超新星からのニュートリノが精密に観測されると、これらのニュートリノについての情報が得られると言えます。

私たちは、ロスアラモスグループとの共同研究を発展させ、これらのニュートリノの転換が超新星の中で実際どのように起こるかを調べ、スーパーカミオカンデでどのように観測されるか研究しました。もし、実際に私たちの銀河内で超新星が起これば、観測されたなら、そのシグナルとこの理論計算を比較することにより、ニュートリノの質量階層や、混合角についての情報が得られます。

宇宙の過去からやってくるメッセージ

しかし、超新星が私たちの天の川銀河の中に現れるのはこれまでの統計では50年から100年に1回です。これでは、とても待ち切れません。幸いなことに、宇

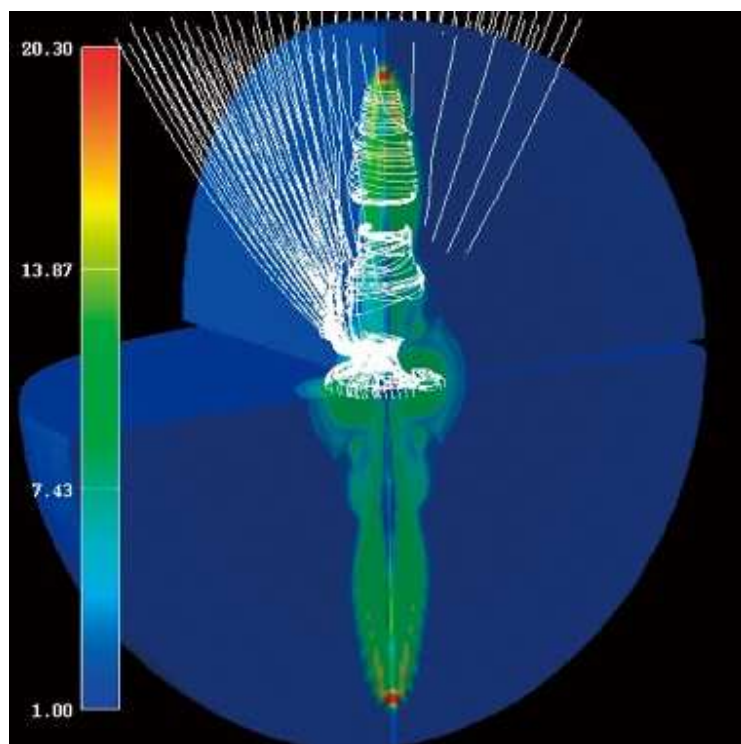


図2 磁場を持った星が自転しながら収縮し、爆発に転じる様子（コンピュータシミュレーション）。白い線は磁力線を表す。色は熱エネルギーの高さを表す。自転軸方向に強く磁場が巻き付き、ジェットの爆発が起こっている。

宙にはその初期から今までに起こったたくさんの超新星ニュートリノが充満しています。このニュートリノは1つの超新星からのニュートリノのように、10秒ほどのバーストとしてやってくるのではなく、時間的に変動しない「背景ニュートリノ」として観測されます。スーパーカミオカンデのグループは、大気中で宇宙線から発生する大気ニュートリノなどの信号を除いて、この過去の超新星からのニュートリノをとらえようとしています。

観測から現在得られている過去の超新星からのニュートリノの上限値は、私たちが理論的に求めたニュートリノのモデルの1つに近いところまできており、さらに感度が上がるならば、このニュートリノのモデルが正しいかどうかわかる可能性があります。超新星起源背景ニュートリノの強さは、過去にどれだけ超新星が起こったかにも依存します。したがって、この観測は宇宙の歴史を研究することにもなるのです。

重力波の観測も夢ではない

超新星の爆発は近年多様で複雑なものと考えられるようになってきました。爆発前の星の自転が速かったり、また強い磁場を持っていたりすると、自転軸方向にジェット状に爆発が起こったりします。ニュートリノの放出も方向によって変化する可能性が大きいでしょう。私たちのグループの当面の目標は、自転の効果や磁場の効果が大きい場合、はたしてどのような超新星爆発が起こるのかを明らかにすることです。これによって、このような超新星からのニュートリノが、どのような強さで放出されるかわかると期待されます。

また同時に、ニュートリノだけではなく、重力波も放出されます。重力波とは、アインシュタインの一般相対性理論で予言されている、空間の歪みが波のように伝わるものです。今、アメリカのLIGOという大きな重力波を測定する装置が稼働しています。また、日本でもこれに比べると小さな装置ですが、国立天文台でTAMAが稼働しています。

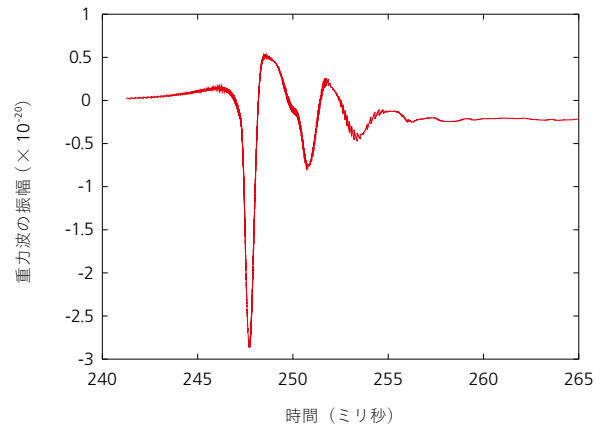


図3 超新星爆発で放出される重力波の一例。自転の速さが遅くなると波は細くなる。重力波が観測されれば、爆発のメカニズムがわかるようになる。

私たちの住む天の川銀河内や近傍の銀河で超新星が現れたならば、重力波がきっと観測されるはずです。また、ニュートリノの場合と同じように、過去の超新星からでた重力波が、宇宙のあらゆる方向からやってくるはずです。特に、宇宙の初期で星や銀河が初めて生まれだした頃、質量の大きい星が形成され、太陽の何十倍、何百倍もの質量を持ったブラックホールが形成されたと考えられています。この時放出された重力波も現在の宇宙を満たしているはずです。近い将来、宇宙の初期に作られた重力波が観測されることも夢ではありません。

同じようにスーパーカミオカンデの20倍の大きさのハイパーカミオカンデを作ろうと構想も進められています。かならず、近い将来、ニュートリノや重力波で、光などでは見ることのできない超新星の内部など、宇宙の姿が描き出されてくる時代がやってくるでしょう。

参考文献

- Statistical Analysis for the Future Detection of Supernova Neutrino Burst
Astrophys. J. **496** (1998) 216-225, T. Totani, K. Sato, S. Dalhed and J. Wilson
- Relic Neutrino Background from Cosmological Supernovae
New J. Phys. **6** (2004) 170 (27p), S. Ando and K. Sato
- Explosion Mechanism, Neutrino Burst, and Gravitational Wave in Core-Collapse Supernovae
Reports on Progress in Physics **69** (2006) 971-1144, K. Kotake, K. Sato, and K. Takahashi
- 超新星からのニュートリノバーストとニュートリノの物理
日本物理学会誌 第62巻 第9号 (2007) 668
佐藤勝彦、安藤真一郎、高橋慶太郎

Our Team

杉本茂樹

すぎもと・しげき 専門分野:理論物理学

IPMU 教授

この世はいったい何でできているのだろうか？この素朴な疑問に答えるのが、素粒子論の重要な目標の一つです。現在のところ、あらゆる物質はクォークやレプトンと呼ばれる素粒子から構成され、その間には4つの基本的な力（重力、電磁気力、強い力、弱い力）が働いていると考えられています。しかし、最近、これとは全く異なる別の可能性を垣間見させる糸口のようなものに出くわしました。標準的な素粒子の理論によると、陽子や中性子は3つのクォークが結合したもの、中間子はクォークと反クォークが結合したものであり、その間に働く強い力は量子色力学と呼ばれる理論によって記述されると考えられています。ところが、これと同じ内容の物理が、素粒子ではなく「ひも」を物質の基本的な構成要素と考える弦理論によって記述される



ことを示唆する証拠が見つかったのです。これによると、中間子は「ひも」で表され、陽子や中性子はDブレーンと呼ばれる一種のソリトンとして表されます。この記述に基づいて近似計算を行ったところ、さまざまな物理量が実験とうまく合うことが分かりました。まだまだ理論的に詰めなければならない課題は多いのですが、大変面白い可能性として、今後の展開に期待しています。

マーク・ヴェイギンズ

Mark Vagins 専門分野: 実験物理学

IPMU 教授

私は日本で14年にわたりニュートリノ実験に従事し、特に最近10年間はスーパーカミオカンデ実験で太陽ニュートリノ・超新星ニュートリノグループのアメリカ側コンビーナーを務めてきました。初の専任教授としてIPMUに着任することを名誉に思うと共に奮い立っています。

私の研究は新しいニュートリノ観測手段の開発に焦点を当てており、スーパーカミオカンデのように現存する測定器の能力向上と、将来の研究施設の設計・建設の両方を対象としています。私の主な目標の一つは、「過去の」超新星爆発による背景ニュートリノを初めて検出することです。

超新星爆発は最初の星が形成された時から起きており、歴史上の全ての超新星からのニュートリノが宇宙



を満たしています。このニュートリノを観測すれば宇宙の進化と平均星形成率、さらにはニュートリノの寿命についてさえ多くのことが分かります。

スーパーカミオカンデに水溶性のガドリニウムを加えれば、新しい実験装置を作らずに過去の超新星ニュートリノを検出できます。このスーパーカミオカンデの能力増強の結果、原子炉からの反ニュートリノの振動を高統計で調べるなど、他の新しい物理も可能となります。私のIPMUでの研究は、これらの新しい測定を実現することに集中します。

向山信治

むこうやま・しんじ 専門分野: 宇宙論

IPMU 准教授

現代宇宙論は、精密な観測データを背景に飛躍的に発展してきました。今や、宇宙を記述するパラメータの多くはかなりの精度で決まった、少なくとも決まりつつあると言えるでしょう。しかし、それらのパラメータの値が何を意味するのか、その多くは未だベールに包まれたままです。実際、現在の宇宙の殆どを占めていると考えられている、ダークエネルギーとダークマターの正体を私たちは知りません。また、宇宙がこれだけ大きいのは何故か？その大部分を説明すると考えられているのがインフレーションですが、その源となる真空のエネルギーが何によるものかも未だ分かっていません。豊富な精密観測データを誇る宇宙論の前には、ダークエネルギー・ダークマター・インフレーションという、3つの大きな謎が立ちまわっている



のです。

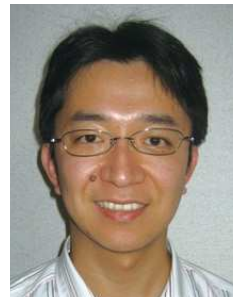
私はこれまで、ブレーンワールド宇宙論、弦理論的宇宙論、重力のヒッグス機構、時空地平線の熱力学などの研究を通じて、宇宙の謎に挑んできました。これからも、一般相対性理論、素粒子物理学、超弦理論など、あらゆる手段を用いて挑戦し続けます。

Our Team

高田昌広 たかだ・まさひろ 専門分野: 天文学

IPMU 准教授

私の主たる研究テーマは、観測的宇宙論で、特に宇宙階層構造がどのように形成してきたのかを理解することに関心があります。現在の標準的な構造形成シナリオは、インフレーション宇宙などの初期宇宙で生成された原始密度ゆらぎが、主として暗黒物質による重力の不安定性で成長し、宇宙階層構造を形成してきたというものである。また、宇宙の加速度膨張を引き起こしている暗黒エネルギーも、宇宙膨張を通して構造形成過程に影響を及ぼし得る。さらには、質量を持つことが判明しているビックバン背景ニュートリノも構造形成に特徴的な痕跡を残す。すなわち、宇宙観測で得られる様々な観測量の精密測定から、宇宙構造形成の形成過程および時間進化を復元することで、「暗黒物質」、「暗黒エネルギー」、「ニュートリノ」の性質を



制限することが可能になる。これが私の現在進めている研究の最終ゴールです。

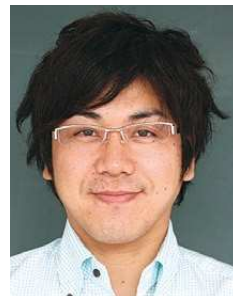
これまでの主な研究成果としては、①宇宙大規模構造による重力レンズ効果の測定から暗黒エネルギーを制限する方法の提案、②すばる望遠鏡のデータを用い、銀河団における暗黒物質の空間分布の復元、③有限質量ニュートリノが及ぼす構造形成への影響の研究、などがあります。

前田啓一 まえだ・けいいち 専門分野: 天文学

IPMU 助教

超新星は現在の宇宙における最も激しい爆発現象の一つです。私は、観測・理論双方向からの研究により、①爆発時の極限的な状況下での物理の解明、②宇宙論研究・宇宙の進化の研究に適用する際の標準光源としての性質の評価、を研究テーマとしています。

現在までは、重い星を起源とする重力崩壊型超新星爆発における元素合成の研究、実際に爆発した星がどのように見えるかをシミュレートするための放射機構の研究、すばる望遠鏡での観測研究を行ってきました。これにより、観測結果を用いて爆発の状況を理解することができます。①重力崩壊型超新星爆発においては球対称を破るような物理過程が重要であること、②その効果は爆発エネルギーが大きくガンマ線バーストを引き起こすような超新星においてより大きいこと、な



どを明らかにしました。

現在は、Ia型超新星と呼ばれる白色矮星を起源とする超新星爆発の研究を主に行っています。大規模数値計算をもとにした元素合成と放射機構の理論研究とすばる望遠鏡等による観測研究の両面から、Ia型超新星の正体を解明し、標準光源としての適用範囲を拡大し精度を上げる手法を開発することを目指しています。

高橋史宜 たかはし・ふみのぶ 専門分野:理論物理学

IPMU 助教

私の専門分野は素粒子論的宇宙論です。何故どのように宇宙が生まれ、そして現在観測される様な宇宙の姿になったのか、こうして得られる宇宙像が示唆する素粒子物理は何か、という基本的な問いに答えたいと思います。宇宙初期においては、日常生活で起きる自然現象とは全く性質を異にする、それ故に面白い現象が生じ得ます。例えば、宇宙初期にインフレーションと呼ばれる猛烈な宇宙膨張の時期があった事が確実視されています。この様な宇宙初期の現象が宇宙背景輻射の揺らぎの観測結果から分かる一方で、インフレーション終了後に如何にして様々な粒子が生まれたのか、物質と反物質の非対称性がどのように生じたのか、など十分に明らかになっていない事も多くあります。最近私は、超重力理論におけるインフ



レーション模型において、標準理論の粒子のみならずグラビティーノと呼ばれる超対称性粒子が一般に生じることが指摘しました。この発見が宇宙の熱史を理解していく際の重要な突破口となると期待しています。標準理論の先にある物理と宇宙論が描く世界を明らかにしたいと考えています。

戸田幸伸 とだ・ゆきのぶ 専門分野:数学

IPMU 助教

代数多様体とは多項式の零点集合で定義される幾何の対象で、放物線や円の様にその性質は古くから研究されてきました。一方、近年カラビーヤウ多様体と呼ばれる特殊なクラスの代数多様体が超弦理論において重要な役割を担っており、更に超弦理論の側からミラー対称性予想という興味深い予想が提唱されています。これは見かけ上異なる数学的对象（代数多様体とシンプレクティック多様体）の間に対称性が存在するというもので、現在この予想は三角圏という抽象的な言語を用いて記述されています。代数多様体側に対応する三角圏は連接層の導来圏ですが、私はこの導来圏について研究してきました。

最近の主な仕事は、ある種の導来圏上の安定性条件の空間の記述、その上の（半）安定対象達のモジュラ



イ空間の構成、等です。安定性条件とは超弦理論におけるBPSブレインを数学的に定式化している概念で、導来圏及びその上の安定性条件を調べることで、ミラー対称性以外にも様々な興味深い対称性を観察することが出来ます。導来圏をベースとした幾何学を構築し、安定性条件の理論を発展させることでこれらの対称性を統一的に理解できるのではと考えています。

Our Team

アレクサンドル・コズロフ Alexandre Kozlov 専門分野: 実験物理学

上級博士研究員

十分に遮蔽された深い地下実験室に設置された大型の検出器を用いると、種々のユニークな手段でダークマターの反応、核子の崩壊、二重ベータ崩壊等の稀な現象を探索できる。私の参加しているカムランド共同実験グループは、ニュートリノ振動の研究を主要な目的として世界最大の液体シンチレーター検出器を建設したが、カムランドはさらに新しい物理の探索を可能とする非常にクリーンな環境も与えてくれる。将来、カムランド検出器の有感部にゼノン¹³⁶ガスを導入すれば、ニュートリノを出さない二重ベータ崩壊を探索



することができる。この崩壊が発見されれば、ニュートリノ質量の絶対的スケールとその起源について、問題解決に役立つであろう。

陳 傳仁 チェン・チュアンレン 専門分野: 理論物理学

博士研究員

近い将来、世界最大の陽子・陽子衝突加速器LHCから、標準模型を超える物理についてのヒントが得られるでしょう。私の現在の主な研究対象は、衝突加速器がもたらすであろう新しい物理の現象論と、LHCのデータを用いて異なる模型をどのようにして区別するか調べることです。LHCだけでなく、宇宙論的観測からも暗黒物質や宇宙のバリオン数の非対称など新しい物



理の直接的な証拠が得られています。私はLHCの現象論と宇宙論の相互関係を調べることに大変興味をもっています。

原下秀士 はらした・しゅうし 専門分野: 数学

博士研究員

私は数学者で、私の研究分野は整数論及び代数幾何学です。今まで正標数の体上の偏極アーベル多様体のモジュライ空間の構造を調べてきました。このモジュライ空間にはNewton Polygon stratificationとEkedahl-Oort stratificationという2つの階層構造が入っており、現在それぞれのstratificationの構造及びNP-strata と EO-strata の交叉に興味を持っています。



これらの研究が整数論や代数幾何学（また将来物理学に）大きな貢献をしてくれると期待しています。

菅野優美 かんの・すくみ 専門分野: 宇宙論

博士研究員

ストリング理論は究極の基礎理論の有力な候補です。一方、インフレーション理論は現象論的に非常に成功をおさめています。そして現在、ストリング宇宙論という新しい分野が生まれ、インフレーションを幾何学的に記述しようとしています。初期宇宙の現実的なモデルへのアプローチには、ストリング理論的アプローチ、一般相対論的アプローチ、そして宇宙論的アプローチの3つがあります。私は、それぞれのアプロ



ーチの長所を取り入れて、ストリング宇宙論の研究を行っています。

加用一者 かよう・いっしゃ 専門分野: 天文学

博士研究員

宇宙にとっても沢山ある銀河が形作る有機的な構造、「宇宙大規模構造」に魅せられ、Sloan Digital Sky Surveyのデータ解析やN体シミュレーションなどを通じて、その構造の背後にある情報を引き出すべく研究をしています。最近では、銀河や大規模構造の重力の影響で、遠くの天体が複数に見えたり歪んで見えたりする重力レンズ現象にも興味を持ち、ハワイのマウナケア山に登って重力レンズクエーサーの探査観測を行っ



たりもしています。IPMUの刺激的な雰囲気や奮い立たされているところです。

近藤 智 こんどう・さとし 専門分野: 数学

博士研究員

整数論の研究をしています。グロタンディークが創始したモチーフの理論が動機になっており、代数体上の代数多様体のモチビックコホモロジーとハッセ・ヴェイユL関数を結びつけるベイリンソン予想に特に興味があります。代数体上の多様体を扱いたいかねてより思っていますが、現実には有限体上の曲線の関数体上の対象を扱っています。これまでに、ドリinfeld加群のモジュライの高次K群、関数体上の楕円



曲線の低次K群、有限体上の楕円曲面のモチビックコホモロジーの計算を行いました。

Our Team

佐野友二 さの・ゆうじ 専門分野: 数学

博士研究員

研究の主題は、アインシュタイン計量を含むケーラー多様体上の標準計量の存在問題についてです。アインシュタイン計量の場合には第一チャーン類が負、または零の場合には常に存在することが示されている一方で、正の場合には存在するための障害があることがわかっています。このことから、アインシュタイン計量などの標準的なケーラー計量が入るような多様体はどのような性質を満たすかが問題になります。現在では、そのような多様体は幾何学的不変式論の意味で



の多様体の安定性を満たすという予想がなされています。この予想は微分幾何の対象と代数幾何の対象を結びつけるという点において興味深いと思い、研究しています。

清水康弘 しみず・やすひろ 専門分野: 理論物理学

博士研究員

私はこれまで素粒子物理学の標準模型を越える物理と実験での検証に興味を持ち、研究を行ってきました。LHC実験がいよいよ2008年から稼働し、電弱ゲージ対称性の破れを引き起こしている機構や標準模型を越える物理に対して、何かしらのデータが得られると期待されます。私は現在、超対称模型に興味を持ち研究を行っています。超対称性模型は、ゲージ階層性問題



や一番軽い超対称粒子が宇宙の暗黒物質の候補になるなど、標準模型をこえる物理を記述する模型としては最も有望だと思います。

和南城伸也 わなじょう・しんや 専門分野: 天文学

博士研究員

私の主要な研究テーマは、星の進化や超新星爆発などにおける元素合成と銀河の化学進化です。特に、鉄より重い元素の約半分（金、銀、プラチナ、ウランなど）を合成したと考えられているrプロセス（速い中性子捕獲反応過程）に興味をもっています。この50年来の謎であるrプロセス元素の起源を明らかにするために、最近では、超新星爆発における元素合成およびそのダイナミクスの数値計算を行っています。また、rプロセス元



素を利用した銀河化学進化および宇宙核年代学の研究により、宇宙初期の星や銀河の形成史を探ることを試みています。

IPMU発足記念シンポジウム

2008年3月11日と12日、東京大学柏図書館のメディアホールにおいて、IPMU発足記念シンポジウムが開催されました。今回のシンポジウムは、IPMUの研究分野を概観し、物理・数学・天文の各分野の融合による研究の方向性を議論することに重点が置かれました。著名な研究者を招待講演者として招き、各研究分野をリードする研究者による入門から最先端まで包括した講演を聴くことのできるまたとない機会となり、世界中から172名が参加しました。小宮山宏東京大学総長および川原田信市文部科学省科学技術・学術政策局次長からご挨拶をいただいた後開始されたシンポジウムのプログラムは次の通りです。

3月11日

- ・“IPMU”, Hitoshi Murayama (IPMU, the University of Tokyo)
- ・“The state of string theory”, David J. Gross (Kavli Institute for the Theoretical Physics, UC Santa Barbara)
- ・“Subaru telescope and its prospects for observational cosmology”, Masahiko Hayashi (Subaru Telescope, NAOJ)
- ・“Geometric structures over space and their applications to physics”, Shing-Tung Yau (Harvard University)
- ・“Experiments at the new SNOLAB underground facility”, Arthur B. McDonald (Queen's University)
- ・“New horizons in particle physics - from the Higgs boson to dark matter at the LHC”, Karl Jakobs (University of Freiburg)
- ・“Implications of the Higgs discovery”, Gian Francesco Giudice (CERN)

3月12日

- ・“Symplectic geometry of Lagrangian submanifold”, Kenji Fukaya (Kyoto University)
- ・“Experiments at Kamioka underground”, Yoichiro Suzuki (ICRR, the University of Tokyo)
- ・“The evolution of cosmic structure”,

Simon D.M. White (Max-Planck-Institute for Astrophysics)

- ・“On mathematical problems of quantum field theory”, Nicolai Reshetikhin (UC Berkeley)
- ・“A noble endeavor - the hunt for dark matter”, Richard Gaissell (Brown University)
- ・“Physics perspectives for the LHC”, Jonathan Ellis (CERN)
- ・“Collaborative opportunities with the US”, James Siegrist (Lawrence Berkeley National Laboratory)



村山氏は、宇宙の謎を解明する上では数学者・理論物理学者・実験物理学者・天文学者が同じ場所で研究することが不可欠である、というIPMUの基本概念を強調しました。

Gross氏は、人間原理を批判し、物理学に現れる典型的なスケールは基礎法則から導かれなければならない、という議論を展開しました。

林氏は、すばる望遠鏡による最近の発見を紹介するとともに、すばる望遠鏡に搭載して用いる次世代観測機器について紹介しました。

McDonald氏は、SNOLAB実験を初めてする将来の地下実験計画の展望について講演を行いました。この将来計画により、現在の実験では不可能な暗黒物質の性質などの研究も可能になります。

Yau氏は、幾何学とその物理への応用に関する様々なトピックを解説しました。局所的対称性、群論、物理学に現れる方程式、

超弦理論などと幾何学の関わりについて講演されました。

Jakobs氏は、LHC実験による新しい物理の探求を主題とした講演を行いました。質量の起源、力の統一理論、素粒子の世代問題、そして暗黒エネルギーと暗黒物質の性質など、LHC実験で挑戦すべき課題が挙げられました。

Giudice氏は、LHC実験における将来のヒッグス粒子の発見を鍵に、そこからどのように素粒子物理学が発展していくか展望しました。

深谷氏は、数学と物理は様々なレベルで密接に関わっていることを、超弦理論等の実例を挙げ解説しました。

鈴木氏は、神岡での将来実験を紹介しました。T2K実験によるニュートリノ振動研究、Xmass実験、NEWAGE実験による暗黒物質の直接検出、カムランドによるニュートリノの出来ない二重ベータ崩壊の研究、LCGTによる重力波の検出、ハイパーカミオカンデによる陽子崩壊の発見を展望しました。

White氏は、大規模コンピュータシミュレーションによる宇宙の大規模構造の研究の最前線を紹介しました。このような理論研究は、線形的によく記述できる初期宇宙と、非線形効果が重要になる現在の宇宙のつながりを理解するために不可欠です。

Reshetikhin氏は、場の量子論における数学的問題について講演を行いました。これらの問題に挑戦することは、物理と数学の相互作用を高め、境界領域を開拓していくことに繋がります。

Gaissell氏は暗黒物質の直接検出についての講演を行いました。成功すると、超対称理論が飛躍的に発展します。

Ellis氏は、LHC実験で挑戦すべき課題をまとめました。質量の起源、力の統一理論、重力の量子場理論等、LHCによる発見は将来の理論研究・実験計画への重要な道標となります。

Siegrist氏は、アメリカと日本の間での、素粒子実験、天体物理学等の共同研究について講演を行いました。

小柴昌俊教授に聞く

聞き手：井上邦雄



負けるに決まっている
実験はできない

井上 小柴先生はカミオカンデでニュートリノ研究を始められて、そのあと、スーパーカミオカンデとカムランドが発展しましたし、K2K、T2Kも発展しまして、ニュートリノ研究という意味では日本は世界で中心的な役割を果たしていると思います。カミオカンデでニュートリノ研究を始められた経緯と、なぜカミオカンデからこのように発展できたのかということについて、お聞かせいただきたいのです。

小柴 難しい質問で、答えるのは易しくないけれど、カミオカンデというのは最初は、陽子崩壊を探すためにデザインした実験装置なのです。ところが、それが一応文部省の予算がつきそうだとということになると、アメリカのIMBの計画が急に出てきて、それは予算もうんと多いし、貯める水の量もうんと多いし、周りに取り付ける光電子増倍管の光に対する感度も同じだと。そうすると、陽子崩壊だけ探すのでは負けるに決まってい

るんだと。じゃあ、国民の税金を使って、そんな負けるに決まっている実験をやるわけにはいかないだろうと。どうしたらいいかということで一所懸命に考えて出した結論は、要するにこの段階で、予算を大幅に増やしてくれと言って通るはずないでしょう、だから、何とかして、球の数は増やせないけれど、一つ一つの球の光に対する感度を桁違いに上げてしまえと。

そういうことを考えて、当時の浜松テレビ（今の浜松ホトニクス）の社長を呼んで。その社長は、私どものグループがドイツで電子・陽電子衝突の時に使うフォトマルを新しく開発するので、その前10年くらいの付き合いがあったのです。だから、その会社はやる気があるなということは知っていたんです。そこで、その社長を呼んでくいたのです。おたくの技術部とうちの研究室の連中と共同で、でっかい直径20インチの球を開発しようじゃないかと。でも、なかなか「うん」とは言わないのです。連れてきた会社の技術主任も、「社長、そんなのは到底、無理ですよ」と反対するわけ。

それで結局、3時間以上かけてようやくくどき落として、やることになって、うちのグループからは須田、鈴木厚人、それから有坂★1。有坂というのは、今カリフォルニア大、ロサンゼルスにいる人。そういう人

小柴昌俊さんは東京大学の特別栄誉教授で、「天体物理学に対する先駆的貢献、特に宇宙ニュートリノの検出」により、レイモンド・デービス氏と共に2002年のノーベル物理学賞を受賞しました。小柴さんには他にも1997年に天皇陛下から文化勲章を授与される等、多くの輝かしい受賞歴があります。

をこっちから開発チームとして送り出して、そうしたら、うまくそれが開発できて、よい球ができた。それが1983年の春だな。

早速取り付けてみて、8月にはだいたい取り付けが終わったの。9月頃から実際に水を満タンにしてデータを取って見たら、想像以上にいいデータが取れた。それはどういう意味かというと、いろいろな意味でキャリブレーションしなきゃならないからというので、3000tの水の中で止まった μ 粒子の崩壊電子のエネルギースペクトルを見よう。そうしたら、きれいによく見えるわけ。だいたい12 MeVくらいまできれいにスペクトルが見える。ただ、その下がバックグラウンドがバーッと来て、その下は隠されて見えない。

そこでね、私がすぐ感じたのは、さっきも言ったように、陽子崩壊だけだったらいわば国民の税金で宝くじを買うような研究でしょう。だけれども、もしもこういうふうに電子が小さなエネルギーでもちゃんと観測できるなら、何とか努力して12 MeVまで被さっているバックグラウンドを桁違いに下げて、電子が10 MeV以下のエネルギー

一まできれいに観測できるようになれば、太陽からのニュートリノが散乱した電子を観測することによって、そのニュートリノの到着した時刻、到来方向、それからエネルギースペクトルが全部わかる形で観測できるんじゃないかと。

若手を責任あるポストにつける

それで当たってみると、中に1000tの有効質量を考えたとしても、だいたい1週間に1度くらいしかそういうイベントは起きそうもないということはすぐわかるわけ。そうなってくると、毎秒何発とある雑音、バックグラウンドをどうやって減らすかというのが問題。雑音を減らすというのは、まず水をきれいにしなければいけない。それで鈴木厚人に、「世界で一番透明な水をつくれ」と彼を責任者にした。そうしたら彼は、素人のくせにいろいろなことを調べて、1年経たないうちに世界一透明な水をつくっちゃった。

僕はよく、日本の会社の社長たちの集まりに呼ばれて、話をしてくれということで、その時

★1：須田は、故須田英博神戸大学理学部教授、当時は東京大学宇宙線研究所助教授。鈴木厚人は、現在高エネルギー加速器研究機構長、当時は東京大学理学部助手。有坂は有坂勝史UCLA教授、当時は東京大学理学部の大学院生。

井上邦雄さんはIPMUの主任研究員の一人で、また東北大学ニュートリノ科学研究センター長でもあります。

に、あなた方の部下の中に「これは」と思う人がいたら、若過ぎるなと思って、思い切って責任ある地位につけなさいと。そうすると、その人が責任ある地位についたということで、ぐんぐんと成長しますよと。そうするのは神岡の実験でも実例がいくつもあるのですと。ひとつが鈴木厚人だよ。

神岡の成功というのは、若い人でも一人一人のメンバーに「あれをこうしろ」「こうしてはだめだ」とか、ぎゃあぎゃあうるさく言わないの。たくさんいる人それぞれにやる気が起きて、それで言われなくてもどんどんやるようにするというのが、そういうプロジェクトをうまく進めることではないかと、僕自身は思っているのです。

井上 神岡が発展した秘訣というのは、うまく若手を登用して、責任を持たせて成長させたということですか。

小柴 僕はそう考える。それともうひとつは、カミオカンデという名前をなぜ付けたか。最初の陽子崩壊の実験にしろ、太陽ニュートリノの観測にしろ、これは地味な仕事で、何年も何年も続けてやらないといけない。そうすると、ああいう田舎の何も知らない町の人々が親しみを持ってくれなければ、仕事がやりにくくてしょうがないのですよ。だから僕は、少しでも住んでいる神岡の人たちに親しみを持ってもらいたいと思って、まず「カミオカ」と付けた。その後に、ニュークレオン・ディゲイ・エクスperiment（核子崩壊実験）の頭文字の「NDE」というのを付けた。

あなたも知っているように、その後、カミオカンデはニュートリノのことばかり出しているから、世界の他の人は「NDE」

というのはニュートリノ・ディテクション・エクスperiment（ニュートリノ検出実験）のことだと思っているらしいけれど、それでも構わない。どちらでもいいよね。

太陽ニュートリノ観測の可能性を打ち出す

それで、お金がもう少しどうしても必要になった。それはさっきも言ったように、太陽からのニュートリノをその方法で測ろうと思うと、1週間に1発くらいイベントを1秒間に何個というような雑音から拾いださないとイケない。それをやるためには、雑音を桁違いに落とさなければいけない。

そのためにはまず最初に、今まで用意していなかった全部を取り囲む 4π のアンタйкаウンターというのをどうしても設置しなければいけない。それからもうひとつは、お金が足りないからパルスハイト・アナライザー（ADC）しか付けていなかった。信号のタイミングをちゃんと測るデジタイザー（TDC）を付けなければ精度のよい測定はできない。そういうことを考えると、お金が要る。ところが、文部省からお金を取ってくる当てはない。そうすると、他からお金を取ってこなければいけない。

それからもうひとつは、その時はそんなにカミオカンデのコラボレーター数は多かったわけじゃないけれど、けっこう反対があった。

井上 内部で、ですか。

小柴 内部で。つまり、太陽ニュートリノを観測できるようにしようとすると、今言ったように 4π アンタйкаウンターを作らなければいけないでしょう。そうすると、せっかくインストールした球を、下のほうなどを

外して底上げするようなこともするというと、うんと時間をロスするし、それから内部の有効質量というのもぐっと減ってしまうわけ。そうすると、たとえば陽子崩壊を探す時の有効質量がさらに減ってしまう。そういうことへの反対がけっこう根強くあった。

だけどそれは、俺がボスだということで押し切って。さて、それではどこでTDCとかアンタйкаウンターを設置するための費用をひねくり出すかということで、その3カ月後、1984年1月にイコバン（ICOBAN）という国際学会があった。それはバリオンノンコンサベーション（バリオン数非保存）の国際学会。それがユタ州のパークシティというところであった。その会議に出て、僕はカミオカンデの予備的なデータを見せるのと同時に、プロポーザルを2つしたのですよ。

ひとつは、カミオカンデは新しい感度のよい球を付けたために、10MeV以下の電子まできれいに観測できると。ついては、この電子を観測するという方法で太陽ニュートリノをアストロフィジカルに観測するという可能性を追究したいと。ついては、TDCと必要なエレクトロニクス、プラスアルファを持って共同でやる人はいないかと持ち掛けた。そうしたら、ペンシルバニア大学のマン【★2】たちが、ぜひ一緒にやりたいと言ったわけ。

もうひとつのプロポーザルは、このカミオカンデで太陽ニュートリノのアストロフィジカルなオブザベーションがうまくいったとしても、それがやれるというフィージビリティを示すだけだ。つまり、大きさが足りないとか。だから、フィージ

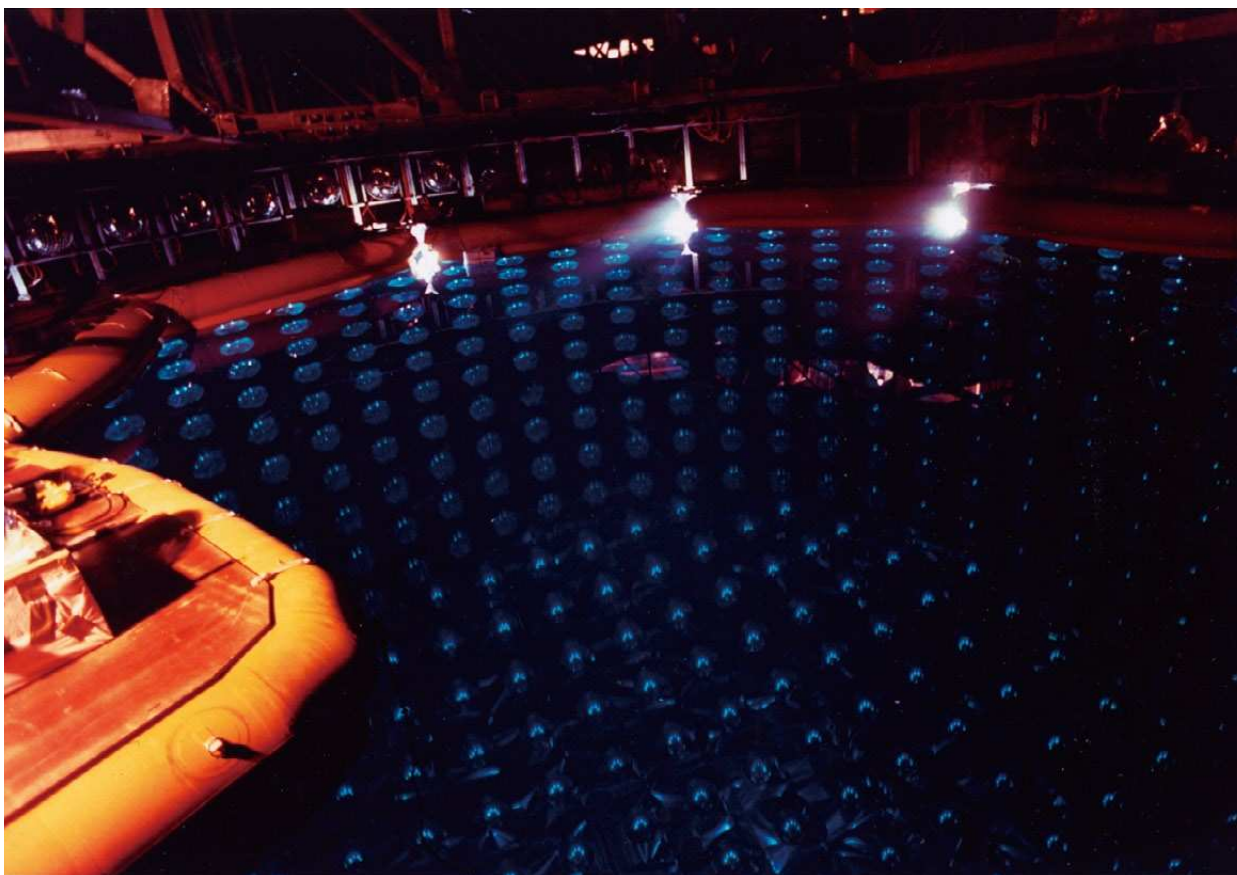
ビリティ・エクスperimentはやれるけれど、本格的に太陽ニュートリノをこの方法で測ろうと思ったら、これでは全然足りない。だから、5万tの水を貯えるスーパーカミオカンデと一緒に作らないかという提案をしたわけ。

観測開始後2ヵ月足らずで超新星が出現

井上 ずいぶん早くから構想があったのですね。

小柴 だから、84年1月に。だけど、それに対しては誰も「一緒にやろう」と言う人は出てこなかった。だけど、その2つの提案をして、それは1月の最初の週だった。マンたちは、すぐ次の2月に日本に神岡を見に来て、ぜひ一緒にやりたい。そういうことで、彼らはTDC1,000チャンネルと新しいコンピュータを持ってくるようになった。我々は、金を都合して底をかき上げて、 4π アンタйкаウンターを作るとか、水をさらにきれいにして。あなたご存じと思うけど、神岡の山の中というのは、重元素の鉱山だったからラドンがうんと多い。他のトンネルの穴よりも、10倍くらいラドンの濃度が高い。そうすると、ラドンは水にどんどん溶けてしまうので、水温上昇を避けるために冷たい地下水を補給すると、ラドンがどんどん雑音を出す。それを何とかしようということで、別にしばらく取っておくためのタンクとか、それから鈴木厚人がつくったフィルタリングシステムをさらに改良するとか、いろいろなことをやって雑音を何とか何とか抑え込めて、このくらいな

★2：Alfred Mann ペンシルバニア大学名誉教授、当時は教授。



カミオカンデの内部。神岡鉱山の地下1,000mに直径15.6m、高さ16mの円筒形タンクを設置して3,000トンの純水を貯え、世界最大の直径50cmの光電子増倍管948本で素粒子反応を観測した。スーパーカミオカンデの建設に伴い、1995年に観測を終えた。カミオカンデを撤去した跡地にカムランドが建設された。(©ICRR)

ら太陽ニュートリノの観測を始めてもいいんじゃないかという時期が1987年の1月だった。1月早々にラドンが山なんか全部消えた。だから、ニュートリノのデータを「さあ、取り始めよう」と言ったわけ。そうしたら2カ月もしないうちに、いろんなところから電話がかかってきて、南の空に超新星が爆発したと。その最初の引き金で発生したはずのニュートリノ・パルス

はおまえのところで見つからないかという問い合わせがあった。そこで神岡に電話して、当番の人に、その日の磁気テープを東大に送れと。東大のコンピュータで解析したら出ていたと。そういうことです。

井上 すばらしいですね。実験を始めた当初から、陽子崩壊の実験、カミオカンデ-Iの最初から太陽ニュートリノとかを目指そうとしていたのですか。

小柴 あなた方はご存じないだろうけど、84年、つまり1月のユタの会議の時には、太陽ニュートリノはこの方法で少なくともやれるということだけは示そうということを決めていましたから。だから、84年の春に、85年の概算要求をするのに説明書を付けるでしょう。小さなパンフレットをひとつ。そこでは、太陽ニュートリノをこういうふうに観測するという計画の

他に、もし銀河系で超新星が爆発したとすれば、このくらいのイベントが見られるはずだと。さらにニュートリノ振動も見える可能性があるという書いたわけ。

井上 なるほど、すべてお見通しという感じですね。

小柴 それはやっぱりね、僕はその頃の連中といろいろなことを議論していますからね。だから、僕が考えついたというわけではなくて。本気になって、こ

れで何ができるかということを含めて詰めて考えると、やっぱりいろいろな可能性というのが見えてくるんですね。

井上 その時に相談された相手というのは、同じ研究グループの方なのか、それとも、もっと広い分野の方なのでしょうか。

小柴 僕が定年になったのが87年3月ですね。84年から87年までという、その頃は戸塚ももうグループの中に入っていたし、それから須田、荒船も宇宙線研でいろんな会に顔を出していますから★3。

ニュートリノ物理は次なる飛躍へ

井上 そういうところで議論されて。そうですか。ニュートリノ天文学というものを小柴先生が開拓されて、その後でスーパーカミオカンデでは太陽ニュートリノのものすごい精密測定をやっていますし、カムランドでも地球ニュートリノをやったり、ちょっと向きは変わりますが南極の実験とか海水の実験とかがあるわけですが、ニュートリノ研究が他の分野と連携していくことに関して、何かお考え、

ご意見はありますか。勿論メリットはあると思うのですが。

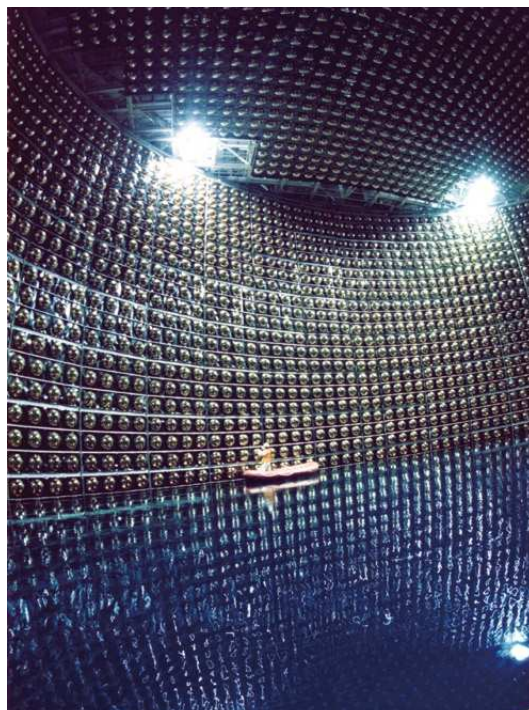
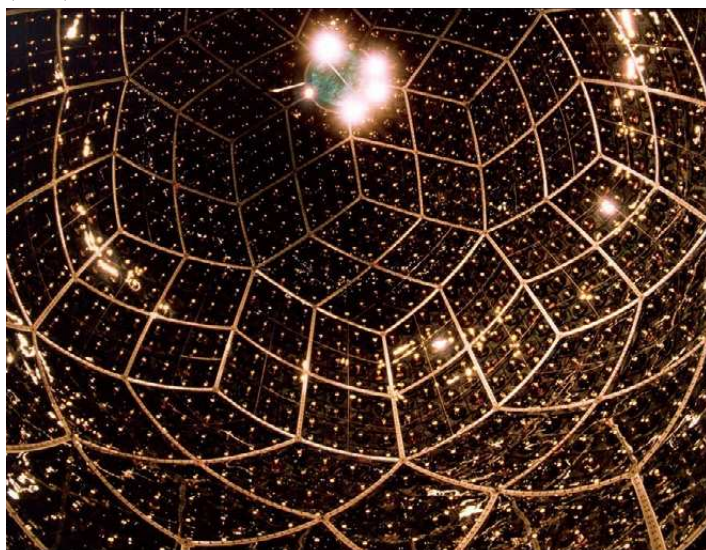
小柴 ニュートリノというのは、今まで素粒子実験物理というのは何10年にわたってやられているのですが、一番遅れていたでしょう。その一番の理由は何かという、素粒子の中で電気を持たないのはニュートリノだけなのです。電気を持っている素粒子は観測が実に楽だと。だけど、電気を持たないものは、一度相互作用させて電気を持っている粒子の運動に焼き直さないと観測は絶対にできな

い。そういう点でやっぱり難しいのです。

だから、質量がゼロだと思っていたら、ニュートリノには質量があるというようなことが、ようやくこのごろになってはつきりわかったり。だから、僕はニュートリノ物理というのは新しい段階に入ったとは思いますが、まだまだわからないことがたくさんある。あなた方もご存

★3：戸塚は、戸塚洋二東京大学特別名誉教授（当時は東京大学理学部助教授）。荒船は、荒船次郎東京大学宇宙線研究所名誉教授（当時は教授）。

左：カムランドの内部。内壁に1,879本の大型光電子増倍管が取り付けられた直径18mのタンクの下から上を見上げた写真。タンクの中央には1,000トンの液体シンチレーターを詰めた直径13mの透明な球形バルーンが設置されている。（この写真の撮影時には、まだ設置されていない）。(©RCNS)
右：スーパーカミオカンデの内部。50,000トンの純水を貯える円筒形水タンクの内壁に、直径50cmの光電子増倍管11,146本が取り付けられている。(©ICRR)



じのようにオッシレーション・パラメータでも、 θ_{13} はまだはっきり捕まっていない。それから、CPバイオレーションのパラメータもわかっていない。そういうことがわかれば、宇宙の最初のビッグバンの時にどうして粒子が残って、反粒子が全部消えてしまったかなどということに関係があるのかもしれない。

だけど、僕が言いたいことは、ニュートリノ天体物理学と言っても、結局、実は太陽ニュートリノの場合でもわかるように、観測結果をちゃんと理解するには、ニュートリノ・オッシレーションのことをちゃんと知らなければ正確な解釈はできない。そうすると、たとえば、あなた方良くご存じのはずなのですが、COBEが宇宙のマイクロウェーブを観測して、ビッグバンから37万年後の宇宙はどうなったかという情報を得たでしょう。あれと同じことを、バックグラウンドニュートリノをちゃんと観測できれば、できるはずですよ。

だけど、それをどうやってやったらよいのかというのは、本当に難しい問題。僕はここ何年来、僕が尊敬する理論屋さんに、ニュートリノもうんとエネルギーが低くなったら全反射するのじゃないかと。その可能性を、ヤマ勘だけどこれ本当かな、どう思うかといういろんな人に聞いたのです。南部さんにまず聞いたら、南部さんは「当たっていると思うよ」と2ページくらいの返事をくれたのです。ところが、南部さんの2ページというのは難しくわからない。しょうがないから、仙台の武田さんに詳しく説明してくれと頼んだ

★4：南部は、南部陽一郎シカゴ大学特別名誉教授。武田は、武田暁東北大学理学部名誉教授。

★4。そうしたら、武田さんは南部さんの返事は「だいたいにおいて正しい」ということを説明してくれたのだけど、さらに僕はもっとちゃんとやってほしいと。

武田さんと荒船さんもずっとやっていて、ようやく論文をまとめた。これは結局、電磁波のような簡単な性質のものではなくて、3種類のニュートリノがお互いに振動して入れ代わったりするわけでしょう。だから、電磁波が物質の中を通る時の方程式などと比べると、桁違いに難しいディフュージョン方程式になってしまうわけだ。だから、それは大変に難しい問題なのだけど、ある程度の見通しが得られたということで、それは今度、東大の素粒子センターのプレブリントにして出るはずですよ。

スーパーカミオカンデの安定稼働を目指せ

井上 最後に、IPMUとしては、神岡でスーパーカミオカンデ、カムランドというのを推進しているのですが、スーパーカミオカンデではこれからT2Kで先ほどおっしゃった θ_{13} とかCPを測るでしょう。あとはガドリニウムを入れてレリックスーパーノバニュートリノ（過去の超新星爆発からのニュートリノ）というのを測ろうとしています。カムランドでは、CNOサイクルニュートリノの観測とか、キセノンを足して二重ベータ崩壊というのを観測しようとしているのですが、スーパーカミオカンデとかカムランド、あるいはニュートリノ全般でも結構なのですが、今後に期待されることは何かありますか。

小柴 僕はさっきも言ったように、レリックスーパーニュートリノの問題で少しでも手掛かりが得られ

れば、これはすごいことだと思うんだけど。

井上 ビッグバン起因のバックグラウンド、1.9Kのレリックスーパーニュートリノですね。

小柴 ええ。でもそれはものすごく難しいことだと思う。だから、うっかり気安くそれにめり込むというのね、何10年という時間を無駄にする恐れがあるなという心配がありますね。

それから、いろいろあるけれども、僕はこれをひとつ忘れないようにしないと。この間も梶田君に言ったのですが、梶田君が宇宙線研究所の所長になったでしょう★5。それはどういうことを注意したかということ、スーパーカミオカンデの球を全部付け替えて、ちゃんとフルに動かしだしたと。これから相当に長い期間、データテイキングは続けるはず。それはひとつには、太陽ニュートリノを本気で続ける。太陽ニュートリノのオブザーバトリーとしての役目の他に、銀河系内で超新星が爆発したら、スーパーカミオカンデが取れるデータというのはものすごく重要な意味を持つ。世界で他に比較できるような検出器はないのだから。

井上 ないですね、大きき的にも。小柴 そうでしょう。これは非常に大事なことです。だから、宇宙で超新星が爆発するのをね、いつ爆発してもいいんだというつもりで、データを落とさないでちゃんと取れるように、いつも安定稼働させてほしい。それがひとつ。

もうひとつは、一番最初の目的の陽子崩壊。これはグラシヨンの言ったSU(5)の预言だけではなくて、他のディケイモードというのも、スーパーカミオカンデで押さえられるディケイモードというのはいくつかある

わけです。そのスーパーカミオカンデで押さえられるディケイモードすべてにわたって全部、部分寿命の下限をびしっと押さえて、それで発表しなければいけない。それは、たとえば今年の末とかそのくらいを目安にして、きちんと出したらいいでしよう。こうも言っておいたのだけだね。

井上 カムランドにも何か期待されることはありますか。

小柴 あれば僕は、鈴木厚人が非常に立派に大きく育ててくれたと思ってうれしいのだけど。僕は講演を頼まれた時によく言うのだけど、カムランドが地球の中からの放射性元素の反電子ニュートリノを捕まえられる可能性を示したと。これを本当に活用して、同じような検出器を適当な世界の何力所かに配置して何年間か測定すれば、これは埋蔵の場所とか量とかいうのが全部トモグラフィとしてデータが出てくる。これはものすごくいいことで、地球物理学の革命だと思う。

だから、これは何としてでも世界共同の研究として実施すべきことだと、僕は講演で言うのですよね。たとえばハワイでもやりたいと言っているし、SNOのグループが考えているらしい。ヨーロッパでも、何とかそれをやりたいという動きがありますよね。僕はカムランドは、僕自身が反電子ニュートリノということの本気になって考えなかったのを鈴木厚人が実際に実現したわけで、僕はよいことをやったと思っています。

井上 どうも今日はありがとうございました。

★5：梶田隆章東京大学宇宙線研究所長（2008年4月から）はIPMUの主任研究員。

IPMU発足記念シンポジウム

2008年3月11日と12日の両日、東京大学柏図書館のメディアホールにおいて、IPMU発足記念シンポジウムが開催されました。

シンポジウム前日の3月10日には、ザ・クレストホテル柏においてIPMU発足記念のレセプションも開催されました。レセプションにおいては、次の来賓の方々に祝辞をいただきました：森口泰孝氏（文部科学省科学技術・学術政策局長）、松田岩夫氏（元科学技術・食品安全・IT担当大臣：参議院議員）、Young Kee Kim氏（フェルミ国立加速器研究所副所長）、堂本暁子氏（千葉県知事）本田晃氏（柏市長）、David Gross氏（カリフォルニア大学サンタバーバラ校カヴリ理論物理学研究所所長）、Shing-Tung Yau氏（ハーバード大学教授）。

※このシンポジウムの報告については、本誌39ページをご覧ください。

IPMU高田昌広准教授が 日本天文学会研究奨励賞を受賞

2008年3月26日、日本天文学会は、2008年度の日本天文学会研究奨励賞の受賞者にIPMUの高田昌広特任准教授を選定したと発表しました。同賞は35歳以下の研究者を対象とし、過去5年にわたる天文学への貢献が特に著しかった若手研究者、各年度3人以内に授与されます。2008年度天文学会春季年会において、授賞式が開催されま

した。

今回の賞は、宇宙の暗黒物質の研究に対して与えられました。暗黒物質はその名前のとおり、通常の光では見えない、そのため正体の分からない物質です。高田准教授は、アインシュタインの重力理論から導かれる“重力レンズ効果”を用いて暗黒物質を「見る」方法を開発しました。この方法では、遠方の銀河からの光が地球に届くまでに暗黒物質のそばを通ると、その重力により光が曲がる効果を利用しています。光の曲がりに伴って生じる銀河の形状の歪みを測定することで、暗黒物質の宇宙における分布を調べることが可能になりました。また、高田准教授はこの理論に基づき、すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡での観測チームの中心として、実際に暗黒物質の分布を観測的に導き出すことに成功しました。

高田氏は「今回の受賞により、目に見えない宇宙の神秘は人類の科学力で解明できる可能性があることを確信しました。これからも宇宙の暗黒面の解明に更に迫っていきたいと思います。」と意気込みを語っています。

IPMU大栗博司主任研究員が ドイツ・フンボルト賞を受賞

ドイツのアレキサンダー・フォン・フンボルト財団は、2009年のフンボルト賞の受賞者に、IPMUの大栗博司主任研究員を選定したと発表しました。フンボルト財団は「ドイツのノーベル財団」とも呼ばれ、フンボルト賞は同財団の最も荣誉ある賞です。同賞は自然科学から人文科学、芸術にいたる幅広い研究分野のそれぞれにおいて、基本的な発見もしくは新しい理論によって後世に残る重要な業績を上げ、今後も学問の最先端で活躍すると期待される国際的に著名な研究者に対して与えられます。今回の賞は、場の量子論と超弦理論における数学的手法の開発の業績に対し与えられました。

授賞式は2009年3月に開催されるフンボルト賞受賞者によるシンポジウム

の席上で行われ、ドイツ首相官邸であるベルリンのベルビュー宮殿で首相主催のレセプションが開かれる予定です。大栗主任研究員は、賞金(6万ユーロ)をドイツのマックスプランク重力物理学研究所との共同研究経費に充て、量子力学と重力理論の統合に向けた研究の推進をはかります。

吉田直紀氏と小松英一郎氏が IUPAP若手科学者賞を受賞

国際純粋・応用物理学連合（IUPAP）は、吉田直紀氏をIUPAP計算物理学若手科学者賞受賞者に選定したと発表しました。吉田氏は2008年9月に名古屋大学よりIPMUに特任准教授として着任予定です。同賞は、宇宙の大規模構造の研究、特に大規模計算を用いた理論研究における功績に対し授与されます。授与式は2008年8月にブラジルにおいて開催されるIUPAPシンポジウムで行われます。

また、テキサス大学准教授でIPMUの客員科学研究員を併任する小松英一郎氏も、宇宙背景放射についての研究に対しIUPAP天体物理学若手科学者賞を授与されます。授与式は、2008年12月にカナダで開催される相対論的天体物理学シンポジウムにおいて行われる予定です。

第一回外部評価委員会

IPMU発足記念シンポジウムの翌日、2008年3月13日に、IPMUの外部評価委員会が開かれました。委員会は国際的に著名な8名の研究者で構成され、今回は、7名が参加しました。

IPMUは、“発足より数ヶ月における進展はすばらしいものである”（報告書より）として、高い評価を得ました。委員会からは、今後より一層の発展を図るために有益な様々な提言もなされました。

WPIプログラムの 現地視察とフォローアップ

2008年4月17日、WPIのプログラムディレクター (PD)、黒木登志夫氏、IPMU担当のプログラムオフィサー (PO)、三田一郎氏を初め、文部科学省と日本学術振興会からの視察団によりIPMUの進捗状況について現地視察が行われました。また、5月20日にフォローアップ委員会が開催され、各拠点長からの報告とPD、POによる視察の報告に基づき、プログラム委員会による評価が行われました。IPMUは村山機構長の強いリーダーシップなどについて、高い評価を受けました。フォローアップの結果はhttp://www.jsps.go.jp/j-toplevel/08_followup.htmlに公表されています。

プレハブ研究棟完成

IPMUは昨年10月の発足以来、東京大学柏キャンパスの総合研究棟に研究室と事務室のスペースを借用していました。しかし、今年の5月にセミナー室も備えた2棟 (写真のA、B棟) のプレハブ研究棟、さらに6月にも談話室を備えたもう1棟 (C棟) が完成し、それまで大部屋に机を並べていた研究者に個室を提供することができました。

なお、建築予定の5階建て、約6,000m²の研究棟は、来年秋の完成を目指し、設計が最終段階を迎えています。



研究会報告 ——フォーカスウィーク：ニュートリノ質量

2008年3月17日～20日の期間、IPMUにおいて第2回フォーカスウィークが

開催されました。「フォーカスウィーク：ニュートリノ質量」は、様々な分野の研究者を招いてニュートリノ質量に関する広範囲にわたる話題を議論することを目的とし、世界中から約40名の研究者が参加しました。

招待講演者及び講演内容は、本誌第1号を参照して下さい。また、研究会の具体的なスケジュールや講演内容を収めた電子ファイルが、IPMUのホームページよりダウンロードできます。講演内容は、理論、現象論、実験、天体物理学、宇宙論と非常に多岐に渡りました。研究者間の議論の時間を多く設けるというフォーカスウィークの形式は有効に働き、異なる分野の研究者の間で活発な議論がなされました。

アジア数学者・数理論理学者会議

アジア地域の数学者や数理論理学者の交流促進のため、2008年3月20日～22日の3日間、数学と理論物理学の広い分野を対象とした学際的研究会が開催されました。インドから2名、韓国から4名、中国から1名、日本から4名の研究者による講演が行われました。学術的な講演のほか、村山機構長によるIPMUの紹介、またインドのタタ研究所やハリスチャンドラ研究所、韓国のソウル国立大学や韓国高等研究院、中国の浙江大学の数学科学研究中心などアジアの各研究拠点との連携の具体的な計画策定のためのミーティングも開かれました。この会議での合意に基づき、IPMUはこれら研究拠点との研究者交流を促進する予定です。

今後の研究会 ——フォーカスウィーク： 第二回LHC現象論

2008年6月23日～27日に「フォーカスウィーク：第二回LHC現象論」が開催されます。本研究会は、LHCにおける新しい物理に焦点を当て、特に研究者間の議論に重点を置いた研究会となります。第一回の成功を踏まえ、第

二回LHC現象論においても「フォーカスウィーク」形式で開催されることが決定されました。一日あたり2ないし3講演に留め、残りを議論の時間として、研究者間の相互理解と新たな共同研究を促進することを狙いとしています。ただし、研究会期間中の一日だけはワークショップとして参加者の講演中心の構成になっています。

以下の招待講演者が予定されています。Richard Cavanaugh氏 (CMS, Florida), Hsin-Chia Cheng氏 (UC Davis), Rikkert Frederix氏 (Louvain), Yeong Gyun Kim氏 (KAIST), Ryuichiro Kitano氏 (LANL), Tommaso Lari氏 (ATLAS, INFN), Christopher Lester氏 (ATLAS, Cambridge), Takemichi Okui氏 (Maryland), Jay G. Wacker氏 (SLAC).

※IPMUのホームページにおいて、より詳細な情報が公開されています。

セミナー

世界中から研究者を招いて、毎週水曜日の午後3時半より柏キャンパス内のIPMUにおいて定期的にセミナーを行っています。このIPMU定期セミナーは、レビュー講演を中心とし、異なる分野の研究者同士の相互理解の促進を目的のひとつとしています。また、柏キャンパスにおいて、分野ごとのセミナーも開催しています。現在、素粒子物理・天体物理セミナー (木曜午後1時半)、数学・数理論理セミナー (木曜午後3時半) が開催されています。セミナー講演は英語で行われます。また、駒場キャンパスにおいても数学分野のセミナーを開催しているほか、柏キャンパスにおける臨時のセミナーも精力的に開催しています。

2008年2月21日以降、6月13日までにIPMUセミナー、IPMU駒場セミナーを併せて34講演が行われました。講演の一覧については、本誌24、25ページを参照して下さい。

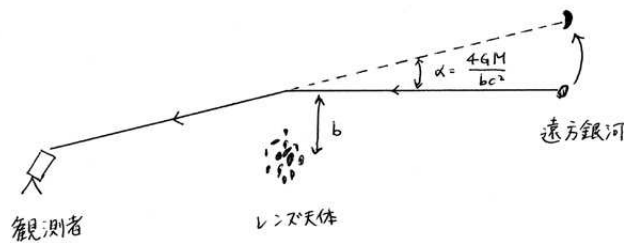
※IPMUのホームページ上でもセミナー情報が確認できます。



重力レンズ効果で 暗黒物質と暗黒エネルギーを見る

高田昌広 IPMU准教授

重力レンズとはアインシュタインの一般相対性理論が
予言する現象で、遠方銀河から発せられた光の軌道さ
えも手前のレンズ天体の重力場によって曲げられる現
象です。宇宙における重力レンズ現象を測定すること
で、本来は見ることはできないはずの「暗黒物質」お
よび「暗黒エネルギー」を「見る」ことが可能になり
ます。



$$(\text{重力レンズの強度}) = (\text{宇宙の幾何}) \times (\text{レンズ天体の質量})$$