

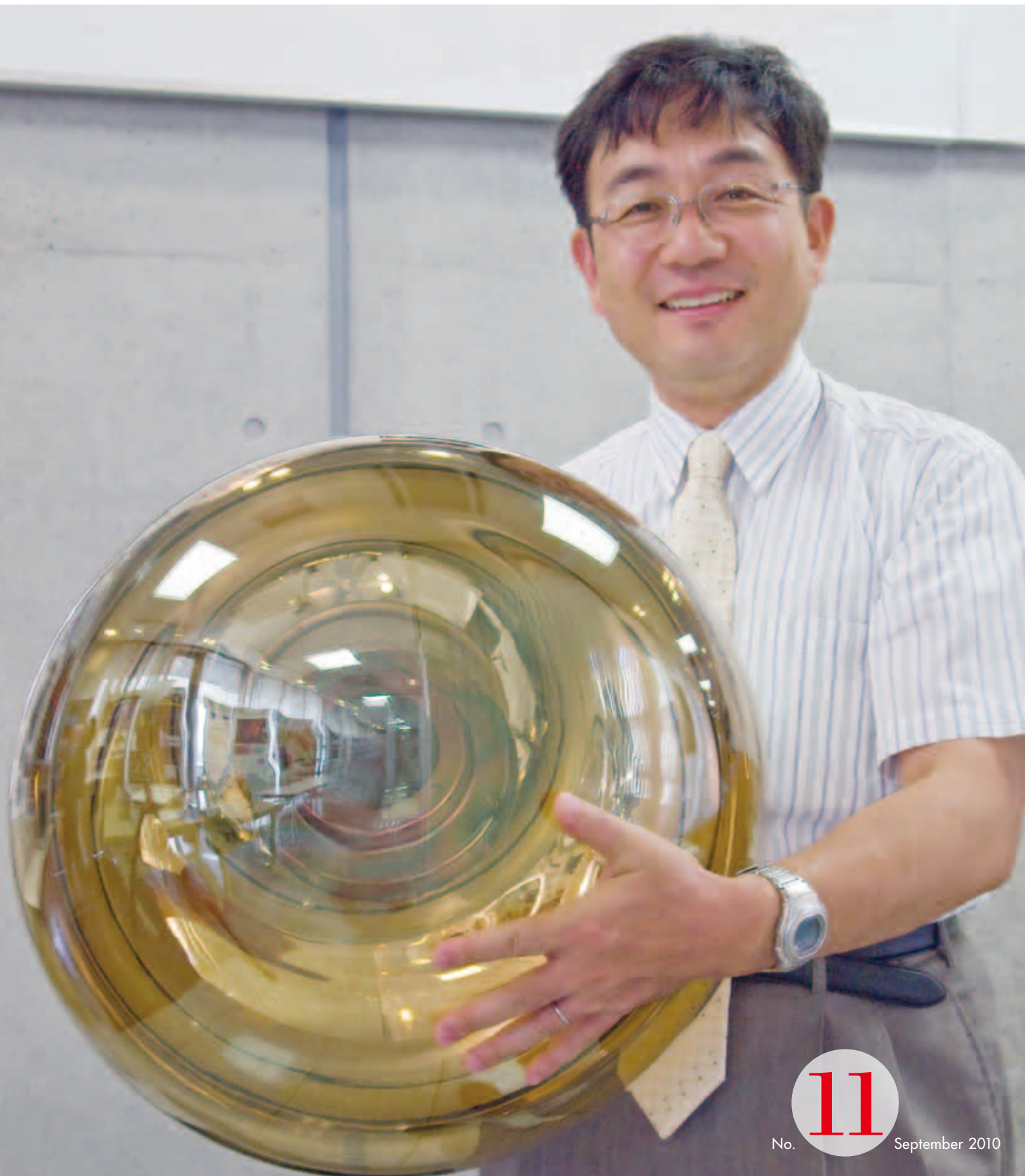
IPMU NEWS

Feature
Supernova Explosions and Neutrinos

Interview with Toshihide Maskawa

Special Contribution

Moving to Tokyo
Japanese Lessons at IPMU: A Success Story



IPMU NEWS CONTENTS

English

- 3 **Director's Corner** Hitoshi Murayama
Moving to a New Country
- 4 **Feature** Masayuki Nakahata
Supernova Explosions and Neutrinos
- 9 **Our Team** Todor Milanov
Scott Carnahan
Rafael Da Silva De Souza
Jason Evans
Brian Feldstein
Emille Ishida
Atsushi Nishizawa
Yutaka Ookouchi
Cornelius Schmidt-Colinet
Charles Steinhardt
Mircea Voineagu
- 13 **Special Contribution**
Moving to Tokyo Julia Friedman
- 14 **Special Contribution**
Japanese Lessons at IPMU: A Success Story
Zoltan Kunszt
Alexander Kusenko
- 16 **IPMU Interview** with Toshihide Maskawa
- 22 **Workshop Report**
CLJ2010+0628: from massive galaxy formation
to dark energy
- 24 **News**
- 28 **Calabi-Yau 3-fold**
Yukinobu Toda

Japanese

- 29 **Director's Corner** 村山 斉
新しい国へ移る
- 30 **Feature** 中畑 雅行
超新星爆発とニュートリノ
- 35 **Our Team** トードル・ミラノフ
スコット・カーナハン
ラファエル・ダシルバ-デソウザ
ジェイソン・エヴァンス
ブライアン・フェルドスタイン
エミレ・イシダ
西澤 淳
大河内 豊
コーネリアス・シュミット-コリネット
チャールズ・スタインハート
ミルチャ・ポイネアグー
- 39 **Special Contribution**
東京に移り住む ジュリア・フリードマン
- 40 **Special Contribution**
IPMUの日本語教室は大成功
ゾルタン・クンスト
アレクサンダー・クセンコ
- 42 **IPMU Interview** 益川敏英教授教授に聞く
- 48 **Workshop Report**
CLJ2010+0628: 巨大銀河形成から宇宙論まで
- 50 **News**
- 52 **3次元カラビ・ヤウ多様体**
戸田 幸伸



Masayuki Nakahata is a professor at the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), the University of Tokyo, and a principal investigator at the IPMU. He is a leading scientist in the fields of neutrino astronomy and neutrino physics. He received 2001 Nishina Memorial Prize with Yoichiro Suzuki, and 2008 Inoue Prize for Science. He received his Ph.D. at the University of Tokyo in 1988. He became a research associate in 1989, an associate professor in 1995, and professor in 2003, at ICRR, the University of Tokyo.

中畑雅行：東京大学宇宙線研究所教授でIPMU主任研究員を兼ねる。ニュートリノ天文学、ニュートリノ物理学分野における世界的なリーダーの一人であり、「太陽ニュートリノの精密観測によるニュートリノ振動の発見」で2001年に鈴木洋一郎氏と共に仁科記念賞、「太陽ニュートリノの観測とニュートリノ振動の研究」で2008年度井上栄学賞などを受賞。1988年に東京大学から博士の学位を取得。1989年、東京大学宇宙線研究所助手、1995年、同助教授、2003年、同教授。

Moving to a New Country

Director of IPMU
Hitoshi Murayama

When I moved to Berkeley, California, I had to find a place to live, obtain the social security number, open bank accounts, learn where to shop groceries, buy furniture including a crib for our new-born second child, and learn how to file tax returns. To buy a car, I went through classified ads on a local newspaper, ended up with a family of Afghan refugees who didn't trust my travelers' cheques. Even though I did speak English fine, I was struck by the differences in systems, customs, lifestyles, and had difficulty getting engaged in rapid-fire lunchtime conversations on movies and politics at workplace.

After arriving in IPMU, I had difficulties settling in Japan. My credit card application was denied because I hadn't had any income in Japan the previous year. I couldn't buy a cell phone because I didn't have a local address or landline. People laugh at the way I speak because apparently I sounded like a cheap translation of an English novel. And most importantly, I didn't know how to do business in Japan and hit numerous roadblocks. On the other hand, I was amazed how safe and clean Japan was and how reliably public transportation worked.

At IPMU, we do everything we can to make the relocation easy. We built an extensive website to provide information about logistics. Our staffs in International Relations, Secretariat, and others go over incredible lengths to help newcomers feel at home and start working as soon after they arrive. When

one of my Berkeley students was severely injured in an accident, they put enormous effort to help him recover (and he is now completely fine and assumed a postdoc position in the US). In this volume, you can read about how the Japanese classes taught by Masami Nishikawa are fun and useful. It is especially stressful for spouses who look for jobs, as you see by reading experience of Julia Freedman, and I'm happy I could help her to some extent. And there are so much effort going on behind the scenes you don't read about. I'm very proud of our staffs!



Supernova Explosions and Neutrinos

When and where were the elements created?

A variety of different elements exist around us. Human bodies contain oxygen, carbon, and hydrogen as their principal components. The main components of the Earth are believed to be iron, oxygen, silicon, and magnesium. Gold and silver are among those elements known as precious metals. Uranium is used in power reactors for generating electricity. When and where in the history of the universe were these elements created?

Recent high-sensitivity observations of the universe have shed light on how the universe began. The universe began in a fireball called the Big Bang 13.7 billion years ago. The fireball was a lump of energy that created particles and antiparticles (quarks and antiquarks, electrons and positrons, and so on). Through a certain mechanism, antiparticles disappeared and particles remained, and the elements were synthesized from quarks and electrons. Did the Big Bang synthesize the different kinds of elements around us? The universe has been expanding since the Big Bang. Nucleosynthesis at the Big Bang was a competing process with this expansion. Unfortunately, because the speed of expansion was very fast, only hydrogen, helium, and a tiny amount of lithium were created, and elements with heavier mass could not be formed.

Nuclear fusion reactions are needed to create heavier elements from hydrogen and helium. At the center of the Sun, nuclear fusion reactions do take place, but there the temperature is about

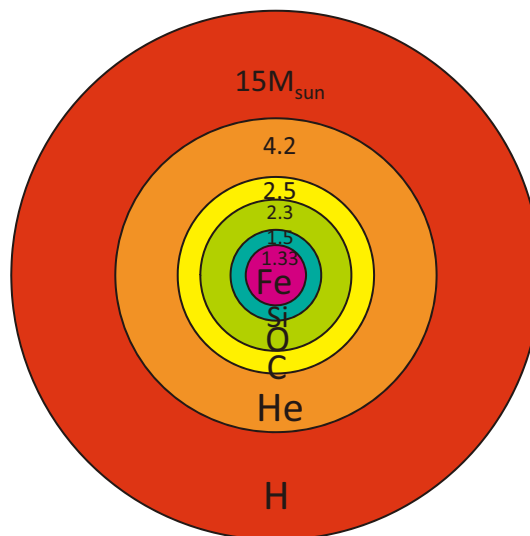


Figure 1: Inside a heavy star just before a supernova explosion.

10^7 degrees and the density is about 150 g/cm^3 . Nuclear fusion reactions at these temperatures produce helium from hydrogen, and it is difficult to produce elements heavier than helium. Inside stars that are ten or more times heavier than the Sun, an environment with much higher temperatures and densities can be created. At a temperature as high as 10^8 degrees and a density as high as 10^4 g/cm^3 , a nuclear fusion reaction of three helium atoms into a carbon atom takes place. At temperatures as high as 10^9 degrees and densities as high as 10^6 g/cm^3 , it becomes possible to produce oxygen, neon, sodium, magnesium, etc. from nuclear fusion reactions of carbon nuclei. At still higher temperatures and densities, silicon is produced from oxygen, and iron, cobalt, nickel, and other elements are produced



Figure 2: The supernova explosion in the Large Magellanic Cloud in 1987. Photo: before (right) and after (left) the explosion. ©1989-2010, Australian Astronomical Observatory, photograph by David Malin.

from silicon. When a star reaches this point, it has the onion-like inner structure shown in Fig. 1: a core mainly comprising iron is formed at the center, and outward from the core are formed layers of silicon, oxygen, helium, and hydrogen. Nuclear fusion reactions cease at this point. This is because iron nuclei have the largest binding energy (this means that protons and neutrons are most densely packed in the iron nucleus), and therefore no further thermal nuclear fusion reactions are possible beyond iron. (Incidentally, nuclear fusion reactions proceed rapidly in these heavy stars. These onion-like structures are formed in about 10 million years. It can be seen that the lifetimes of these heavy stars are very short compared with the present age of our Sun, which is 4.6 billion years.) However, now the stellar core undergoes an interesting phenomenon. As energy flows out from the core, it shrinks, and its temperature increases. Above approximately 5×10^9 degrees, iron become unstable because of the

endothermic reaction, which disintegrates the iron nucleus into helium nuclei (${}^{56}\text{Fe} + \gamma \rightarrow 13{}^4\text{He} + 4n - 124.4 \text{ MeV}$). Then, electron captures (referring to the neutronization of protons both inside and outside the nuclei: $e^- + p \rightarrow \nu_e + n$) occur in association with an increase in the density and emission of neutrinos. This leads to the formation of a neutron star (or black hole), which is a stellar object with a very high density (10^{14} g/cm^3) comparable to that of nuclei. Even the mass of the Sun is compactly packed within a size of about 10 km. This marks the beginning of a supernova explosion.* Since the potential energy of an object is inversely proportional to its size, tremendous energy is produced by the formation of this compact star. Part of the energy is used to

* Supernova explosions are classified using a spectrum of optical observations into the Ia-type (without a hydrogen line, but with a silicon line), the Ib-type (without a hydrogen line, but with a helium line), the Ic-type (without hydrogen, silicon, or helium lines), and II-type (with a hydrogen line). It is thought that the Ia-type supernovae are due to the explosive burning of carbon white dwarfs, while the Ib, Ic, and II-types are the result of the gravitational collapse of the central core.

Feature

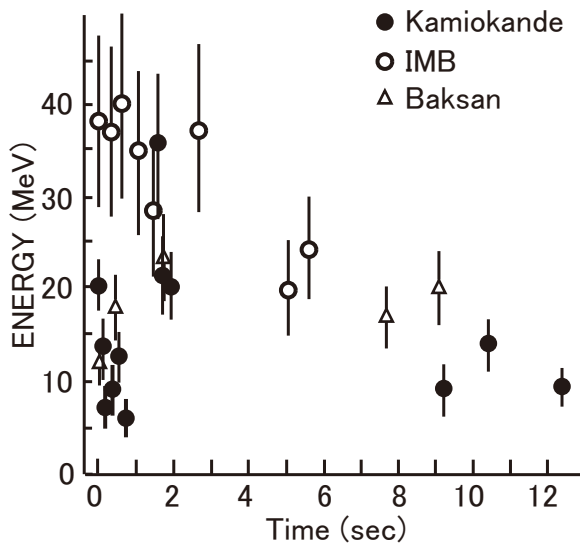


Figure 3: The neutrino events detected by the Kamiokande, IMB, and Baksan experiments.

produce a shockwave, which leads to the explosion of the star. The shockwave blows out the star's outer layers. This causes a very rapid increase in local temperatures and pressures, leading to very rapid nuclear reactions taking place in an extremely short period. Heavy elements such as gold, silver, and uranium are synthesized through these nuclear reactions. Supernova explosions disperse the elements inside the star out into space. These dispersed elements begin to coalesce due to gravity, leading to the birth of new stellar objects. Both the Sun and the Earth were formed as a result of these processes.

The above scenario is depicted on the basis of astrophysics and nuclear physics, and its verification required observation of a supernova explosion. I will discuss these observations next.

Observing supernova neutrinos

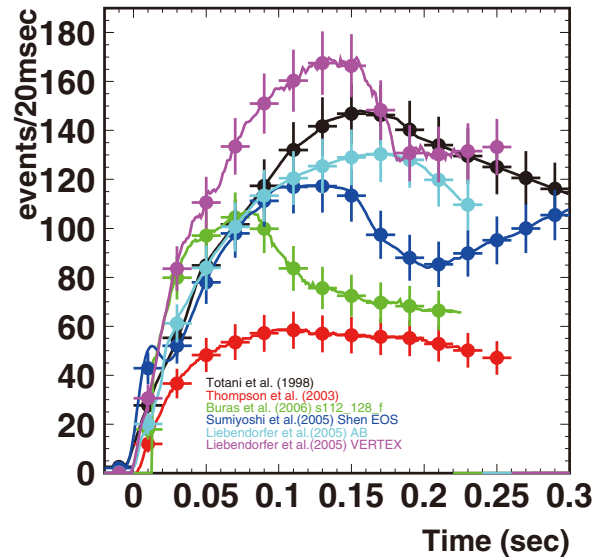
The energy released from a supernova explosion, which is the source of various kinds of elements, is estimated to be more than 10^{46} joules. This is equivalent to several hundred times the total energy radiated from the Sun since its birth, showing just how enormous it is. Neutrinos carry almost all (about

99%) of this energy out of the star. This is because they interact weakly with matter, and therefore they can pass through the high-density inner layers of the star. In 1987, an event occurred that verified the scenario of the supernova explosion.

On February 23, 1987, the Kamiokande experiment and the Irvine-Michigan-Brookhaven (IMB) experiment detected a neutrino burst associated with Supernova SN1987A. Kamiokande was a detector built in 1983, located in the town of Kamioka, Gifu Prefecture in Japan, 1000 m underground in the Kamioka mine. It was a 3,000-ton water tank equipped with 948 photomultipliers, each 50 cm in diameter. The IMB experiment had a 7,000-ton detector built 600 m underground in the Morton salt mine in Ohio, USA. It featured 2,048 photomultipliers, each 20 cm in diameter. This supernova explosion occurred in the Large Magellanic Cloud, 170,000 light years away. Fig. 2 shows the optical observation of SN1987A.

Fig. 3 shows the neutrino events detected by the Kamiokande, IMB, and Baksan experiments. (This last experiment reported the observation at a later date.) Kamiokande, IMB, and Baksan observed eleven, eight, and five neutrinos, respectively. As can be seen from the range of the horizontal axis, neutrinos

Figure 4: The event rates at Super-Kamiokande are predicted by several simulations of the supernova explosion. They are plotted as a function of time up to 0.3 seconds after explosion. The distance to the supernova is assumed to be that to the galactic center (approx. 33,000 light years).



were emitted in only 10 seconds. This means that the central core collapses gravitationally in only about 10 seconds. In contrast, it takes several hours for light to arrive outside the star, having to wait until the outer layers of the star are blown out by the shock waves generated by the explosion. In fact, it was about three hours after the neutrino emission that the increase in the luminosity of SN1987A was observed.

Although only 24 neutrino events in total were observed by Kamiokande, IMB, and Baksan, the energy released from the supernova explosion was estimated from the number of events and their energies. It was nearly consistent with the expected value (approx. 3×10^{46} joules).

Future observations and investigation of the explosion mechanism

Although the observations of neutrinos from SN1987A showed the validity of the basic scenario of the supernova explosion, the detailed mechanism of the explosion is not yet clear. Several groups around the world are trying to explode supernovae in computer simulations. As yet, they have not been successful with exploding stars, though their input information is accurate. It seems that the present

simulations are missing some physical processes. To solve these problems, it is necessary to examine the explosions more closely by detecting many more supernova neutrinos. If a supernova explosion occurs in our galaxy, the 50,000-ton detector Super-Kamiokande (SK) would detect nearly 10,000 events. Fig. 4 shows the event rate in SK, predicted by several simulations, as a function of time up to 0.3 seconds after the explosion. The distance to the supernova is assumed to be that to the galactic center (about 33,000 light years). The observation of a precise time profile would make it possible to identify which explosion model is correct.

High-density states formed in the supernova explosion may provide new insights into elementary particle physics. Although underground neutrino observations have clarified neutrino oscillations, a number of problems remain to be clarified: the third oscillation mode, hierarchical structure of the neutrino masses, and others. In the high-density core, it may be possible that neutrinos appreciably oscillate because of the effects of neutrino oscillations in matter (MSW effects), even though the mixing angles are small. So, it might be possible for the unknown oscillation parameters to be determined using the spectrum of the supernova

Feature

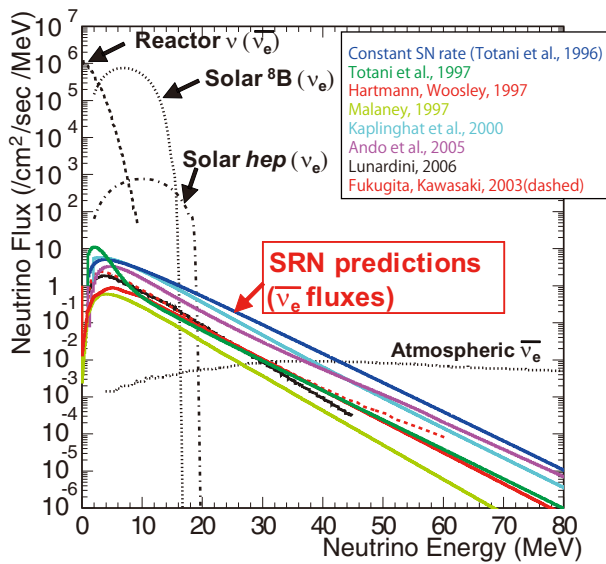


Figure 5: Energy spectra of various neutrinos striking the Earth's surface. The colored curves show the SRN spectra predicted by various models.

neutrinos.

It is said that supernova explosions occur in our galaxy once every 30 to 50 years. We are hoping that an explosion will occur in the near future, to provide us with a rich source of information.

Probing the history of the universe with supernova neutrinos

There are about 10^9 galaxies in our universe. Each galaxy has about 10^{11} stars. Since about 0.3% of the stars have masses larger than ten times the mass of our Sun, it is estimated that 10^{17} supernova explosions have occurred throughout the history of the universe. This means that, on average, one supernova explosion occurs every second somewhere in the universe. The neutrinos produced in the supernova explosions since the beginning of the universe are called supernova relic neutrinos (SRN). They must fill the present universe and their flux is estimated to be a few times $10 \text{ cm}^2/\text{sec}$. If we can detect these neutrinos, it may be possible to explore the history of how heavy elements have been synthesized since the beginning of the universe.

Fig. 5 shows the kinds of neutrinos arriving at the Earth's surface. The colored curves are the

SRN spectra predicted by various models. On the lower energy side there are neutrinos from power reactors and neutrinos from the Sun, and on the higher energy side there are neutrinos which are produced by cosmic rays in the atmosphere. However, around 20 MeV, the SRN are believed to represent the main component. Note that solar neutrinos are particle neutrinos, while other neutrinos are electron antineutrinos. Consequently, if we can detect electron antineutrinos, we can see SRN in a range of approximately 10 – 30 MeV. We have begun the R&D necessary to enable SRN to be observed in Super-Kamiokande. Specifically, a material called gadolinium is dissolved (0.1% by mass) in a water tank, with the object of detecting electron antineutrinos with positrons and gamma rays as signatures. From the reaction of an electron antineutrino on a proton, a positron and a neutron are produced, and gamma rays are emitted from the subsequent capture of the neutron by gadolinium. We are now at the testing stage, but once the experiment gets fully underway, a few signal events should be detected every year. Supernova neutrinos should provide us with a new way of looking at the universe.

Our Team

Todor Milanov

Research Area: **Mathematics**

IPMU Assistant Professor

The Korteweg-de Vries (KdV) equation is a mathematical model of the motion of a wave in shallow waters. It has been studied extensively from a number of different perspectives. In particular, it was discovered that KdV is a reduction of a more universal equation, known as the Kadomtsev-Petviashvili (KP) equation. It turns out that the solutions of KP can be parameterized by the points of an infinite Grassmanian. The latter is a central object in both geometry and representation theory. I am deeply impressed by the unity of seemingly different areas of mathematics on one side and nature on the other.

At the end of the 20th century it was discovered that the KdV equation governs the amplitudes of string motions in a vacuum. I have been interested



in finding other equations, similar to KdV, which characterize the string amplitudes in more interesting spaces that have non-trivial topologies. More precisely, I am using complex geometry and representation theory to obtain a characterization of the string amplitudes. It seems that there are some new geometrical objects, as well as some new representation theories, that are still awaiting discovery.

Scott Carnahan

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

My research is primarily concerned with the mathematics of Monstrous Moonshine. This field of study was initiated by apparent connections between the theory of modular functions and the representation theory of the monster simple group. My recent work has concerned the construction of automorphic functions using generalized Kac-Moody Lie algebras, applications of logarithmic algebraic geometry to the theory of vertex algebras, and



questions about category-theoretic structures in field theory.

Our Team

Rafael Da Silva De Souza

Research Area: **Astrophysics**

Postdoc

I am interested in all aspects involved in the formation and evolution of structures in the universe as well as cosmic magnetic fields. I've been working with the origin of magnetic fields in the early Universe, GRBs, pulsars, galaxies and clusters of galaxies. Now I am working with the evolution of dark matter profiles in dwarf galaxies. During my stay at IPMU, I will focus on challenges related to the formation of the first stars.



Jason Evans

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

My research is in the area of high energy particle physics; more specifically, phenomenology and model building. I am interested in finding models that can naturally explain things such as the hierarchy problem. A great example of this is supersymmetry, which in addition to solving the hierarchy problem, also is suggestive of grand unification. I am also interested in examining possible collider signatures for these types of models. Because most models that explain the hierarchy problem are at the TeV

scale, they should be testable at the LHC. Although supersymmetry is my primary focus, I am interested in any beyond the standard model physics which is testable at the LHC and/or in astrophysical observations.



Brian Feldstein

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

Generally my research interests have focused on particle physics beyond the standard model, with a lot of my recent work having dealt with various aspects of dark matter. I have worked on a variety of scenarios which attempt to explain a possible origin for the mysterious signature of dark matter interactions reported by the DAMA experiment. I have also studied the possibility of dark matter decaying to anti-neutrinos, as an indicator that dark

matter shares in the matter/anti-matter asymmetry of ordinary baryons and leptons.



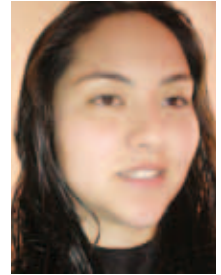
Emille Ishida

Research Area: **Cosmology**

Postdoc

The use of supernovae in cosmological contexts has been in the spotlight for a couple of decades now. My first interest in these objects was to investigate their ability to provide cosmological insights. Consequently, I have been working on type Ia supernovae as standard candles: their observational and statistical challenges. I am also interested in any kind of astrophysical feedback due to supernovae, such as their influence on the dark matter profile of

dwarf galaxies.



Atsushi Nishizawa

Research Area: **Astronomy**

Postdoc

I have studied the biggest mystery in the Universe, dark energy. Recent results of cosmic microwave background radiation, or type Ia supernovae, suggest that the present Universe is expanding at an accelerating rate. The source of this expansion is thought to be the anti-gravity-like behavior of dark energy. I try to find out what dark energy is via a gravitational lens effect, which is a next-generation project using the Subaru telescope.



Yutaka Ookouchi

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

Supersymmetry is fascinating. Not only because it is symmetry possessed by string theory, but also because there are many phenomenologically attractive features in supersymmetric models. Discoveries are also expected at the Large Hadron Collider.

The 1990s brought a revolution, which gives us a technique to control a strongly coupled theory. In a strongly coupled region, it is believed that rich

physics should exist. I am very interested in applying this progress to realistic model building and to the understanding of confinement in QCD.



Our Team

Cornelius Schmidt-Colinet

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

To date, I have been working on topics in two-dimensional conformal field theories. These theories are covariant under local angle-preserving transformations. They play a role in statistical mechanics and in string theory. I have been interested in conformal field theories defined on a surface with a boundary; in string theory, this describes an excitation of a D-brane. There are situations in which the conformal symmetry is slightly broken, and the theory is subject to change under renormalization.



The renormalization process is presumably related to time-dependent processes in string theory, such as the decay of D-branes or a change in space-time itself. Here at IPMU, I intend to study topics in this direction.

Charles Steinhardt

Research Area: **Astronomy**

Postdoc

My research is inspired by astrophysical phenomena whose explanation has been cast into doubt, either by new theoretical ideas or new observations. For example, my dissertation used a combination of recent large quasar catalogs and new techniques for estimating supermassive black hole masses to reveal a surprising correlation in quasar activity over cosmic distances that seems incompatible with existing models for how the black



holes form. My other interests include dark matter, dark energy and astrophysical measurements of fundamental constants.

Mircea Voineagu

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

My research focuses on (co)homological invariants associated with complex and real algebraic varieties, especially motivic and Lawson cohomology (with their equivariant aspects) and Semi-topological K-theory. These invariants are expected to hold a great deal of information about smooth algebraic varieties. My recent research was concerned with applications and extensions of Milnor's conjecture (proved by V. Voevodsky) with an eye toward very



new and intriguing conjecture of Suslin regarding a possible partial description of motivic cohomology with integer coefficients in terms of singular cohomology.

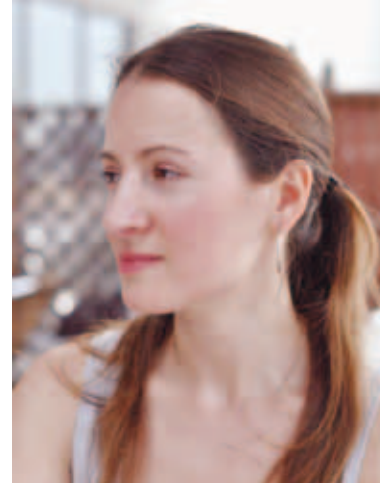
Moving to Tokyo

Julia Friedman

Moving a family to a new country is never an easy thing. It is even more difficult when both spouses work and there is pressure to find good jobs for both. When my husband received an offer from IPMU in the winter of 2007–2008 we were very excited at the prospect of living in Tokyo, but there was still a question of what I would do during the three years we were to spend there. I have a Ph.D. in Art History, but since I do not speak Japanese the only appropriate positions could be found in the English-speaking programs that offer History of Art in their curriculum. Turned out, finding an excellent job was not at all impossible. Only a couple of months after my husband accepted the IPMU offer a colleague alerted me to an advert for a full-time Assistant Professor position at Waseda University's School of International Liberal Studies. Serendipitously, it was in my specialty (modern art), so I immediately applied. Still, because I could not be sure of a favorable outcome for my application I also left my CV at Temple University Japan Campus while we were visiting Tokyo in March of 2008. I knew that even when schools do not advertise for full-time positions, there is often a need for adjunct faculty. This worked: Temple's Tyler School of Art program needed someone to teach two courses in my specialty and I started teaching for Temple in September, less than a month after we moved

to Tokyo. In October, I received an interview invitation from Waseda University and following the interview was offered a full-time position. I have been working there since. I think I was quite lucky with landing these two jobs so quickly, but it could be that when there is a need for a specialist in a particular field, a specialist who can teach and research in English, the competition is not as fierce as in the English speaking countries simply because there are fewer suitable candidates. So, my impression is while jobs are not advertised often, when they do come up a qualified spouse would have a good chance at securing a position.

My experience as a parent has been positive for the most part as well. When we came to Tokyo our son was five and a half and ready to start his kindergarten year. We decided to place him into an international school, and after a long search settled on Tokyo International School in Minato-ku. While our son likes his school, if you choose to put your children in an international school you should be aware of several potential problems. First, the tuition is very high (typically around two million yen annually).^{*} Second, you might have to commute to school (in our case because we are not on the school's bus route our son has to go by train, with one change, and the trip is 45 minutes each way). Third, if the child does not speak Japanese, and you live in the area



Julia Friedman is Assistant Professor at Waseda University, School of International Liberal Studies. She is the wife of Dr. Damien Easson (IPMU Postdoctoral Fellow).

with few English speakers you might have a problem with play dates and after school activities. On the other hand, raising a child here is much less stressful than back in the US because Tokyo is very safe and people here are very nice. Also, our son is enriched by living in Japan and he is learning about different cultures represented by his very international classmates. I have no doubt that it will have long-term benefits for his education.

After spending two years in Tokyo I can certainly say that moving here was a good decision both personally and professionally. The logistics of our apartment search and all the initial appointments were not at all complicated or stressful because of the generous help extended by the IPMU office. My only regret is that I did not have a chance to learn Japanese. I was originally hoping to take a six-week crash course, but with all the teaching and research I do I never had the six leisurely weeks I needed. The inability to communicate with people who do not speak English is by far my biggest problem here, so if you have some time to study before you move, do so.

^{*} According to the guideline of the WPI Program, IPMU supports the entrance fee and part of the tuition for researcher's children to go to international schools.

Japanese Lessons at IPMU: A Success Story

Zoltan Kunszt

Professor, Institute for Theoretical Physics, ETH Zurich

Alexander Kusenko

Professor, UCLA, and Senior Scientist, IPMU

Since its inception, IPMU has become a magnet for scientists from around the world, because it is arguably one of the most exciting places to do physics and mathematics. However, there is another reason why foreign scientists find it attractive to visit IPMU. The opportunity to come to Japan and learn about its fascinating culture makes the prospect of working at IPMU even more appealing. While all of the scientists speak the universal language of mathematics, few foreign visitors have even a basic knowledge of Japanese.

Obviously, one cannot fully experience the beauty of Japanese culture without some basic language skills. Fortunately, IPMU has provided foreign scientists with an opportunity to take an intensive Japanese language course. It is, however, hard to learn Japanese, even for people who have the experience with several languages. It is very fortunate that with Masami Nishikawa, the course benefits from an outstanding, creative, experienced, and dynamic instructor who clearly understands the initial difficulties of learning Japanese. She is very motivating. She has superb teaching skills with a rigorous working style, and she is very enthusiastic. She has a broad knowledge of the diverse cultural backgrounds of her students, and it is a great pleasure to attend her lectures.

Each two-hour class with Nishikawa-sensei is

packed with different kinds of learning, including new materials, oral exercises, rules of grammar, and readings in the relatively easy hiragana and katakana syllabaries. But she also finds time to prepare introductory materials on the fascinating world of kanji ideograms. The only thing that is missing is the break. Actually, no one complains; indeed, the material is so interesting and so well prepared, that having to break in the middle would be a disappointment. Some students, who are professors of physics and mathematics in different universities around the world, wish that their own students were half as enthusiastic about their lectures!

The style of Nishikawa-sensei is to blur the distinction between work and play, and to spice up the learning with real-life examples, dialogues, and specially prepared exercises. Her rigorous yet enjoyable lectures help to dissolve the inhibitions that students usually feel when they are first requested to say something in a new language.

Nishikawa-sensei is able to connect the small amount of Japanese that the students have learned with local cultural events, Japanese historic moments, tourist attractions, as well as Japanese culinary art and delights. Most remarkably, she has adorned her course with ... yes, a theatrical performance.

The production of *Ryoma-den*,^{*1} written and



From left to right: Masami Nishikawa, Jiayu Tang, Cornelius Schmidt-Colinet, Johanna Knapp, Alexander Kusenko, Lada Kirich, Marika Kunszt, Zoltan Kunszt

directed by Masami Nishikawa, involved all of the current students and some volunteers who have already finished the course. It was fitting that Nishikawa-sensei's script dealt with the historic events that led to the development of stronger ties between Japan and the rest of the world, since IPMU is playing a similar role today by bringing together scientists from Japan and other countries.

The script was excellent, and the cast was stellar, even if not necessarily in terms of acting skills. It was obvious that the actors were delivering their lines with the fervor and passion of ... your typical physics lecture. Still, though they may not have been Yoko Maki^{*2} or Masaharu Fukuyama,^{*3} the actresses and actors made such excellent use of swords and the other props that the audience could only hope that the swords were made of plastic (which all but one of them were). More importantly, the actors made excellent use of the vocabulary and grammar that

they had learned in Nishikawa-sensei's class. The play has also greatly benefited from the enthusiastic support of the IPMU administration.

Each student who completes the demanding but exciting course is given the opportunity to make a public presentation in the Japanese language, after which the successful graduate is presented with a certificate signed by the IPMU Director and the Instructor. Of course, this is but a small first step into the boundless universe of Japanese language and culture. Yet it is with a great deal of gratitude and appreciation that the graduates of Nishikawa-sensei's course will remember their first Japanese lessons, as they continue to improve and practice their knowledge of Japanese on their future visits to IPMU and Japan.

*1 A parody of a Japanese TV NHK's 2010 Sunday drama, *Sakamoto Ryoma* (1836-1867) played a crucial role in the movement to overthrow a feudal regime of Japan, the Tokugawa Shogunate, at the end of Edo era.
 *2 An actress, playing the role of Ryoma's wife O'Ryo in NHK's *Ryoma-den*.
 *3 A singer and actor, playing the role of Sakamoto Ryoma in NHK's *Ryoma-den*.

IPMU Interview with Toshihide Maskawa

Interviewer: Shigeki Sugimoto

My first paper was a Ph.D. thesis

Sugimoto How are you? First

I'd like to ask
your graduate
student days.

Maskawa Well,
during those days at
Nagoya University,
graduate students who
were theoretically oriented
were not assigned to any
particular group. Instead, they
went around different theory
groups during the first year
or so. By the time they were
about ready to write their
master's theses, they were
assigned to the groups of
their choice. Anyway, I joined

Toshihide Maskawa was awarded the 2008 Nobel Prize in Physics jointly with Makoto Kobayashi for "the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature," or, for the "Kobayashi-Maskawa theory" of CP violation. He has also received many other distinguished awards, in particular the 1985 Japan Academy Prize and the 2008 Order of Cultural Merit. He received a Doctorate from Nagoya University in 1967, and became a Research Associate. He moved to Kyoto University in 1970. In 1976, he became an Associate Professor at INS, the University of Tokyo, and in 1980, a Professor at YITP, Kyoto University. He served as Director of YITP from 1997 through 2003. He is now Nagoya University's University Professor and Director General of KMI, Nagoya University. He is also a Professor at Kyoto Sangyo University and a member of its board of trustees.

Professor Sakata's group.¹

There I was often teased about behaving as if I were some kind of big shot, even though I hadn't written any papers. (Laughs). Actually, my first paper was my doctoral thesis. Once Yoichi Iwasaki² came to Nagoya with the intention of observing us because he thought people from the Nagoya group were standing out and attracting his interest in places like summer school. Unfortunately, we were very busy at that time preparing for things like the Beijing Symposium, a student version of the Japan-China Academic Exchange Program, and for summer school. So, poor Iwasaki had to go back after having hardly any discussion with us. Subsequently, Professor Shoichiro Otsuki³ gave us a good scolding. He said that he was really ashamed of us, as we had missed the opportunity to talk with a fellow researcher who had come all this way. We had a saying in those days: people living north of Hakone* measured the publications by

* Here, "north of Hakone" essentially means Tokyo. On the other hand, "west (or south) of Hakone" includes the Nagoya, Kyoto, and Osaka districts.



weight, rather than by quality.

Sugimoto By weight?

Maskawa Yes, we held that their approach emphasized the quantity rather than the quality of publications, but that we were different. We were aware that we had to write high-quality papers. I had though no publication at all, so there was no quality to discuss. (Laughs)

Sugimoto Have you ever felt that you were at a dead-end or become depressed?

Maskawa No, I'm not the kind of person.

Sugimoto I see.

Encountering a CP violation in a journal club

Maskawa Whenever I encounter a problem, I usually analyze the situation and try to find a solution myself. If something seems beyond my ability, I am willing to switch to an alternative without hesitation. I try to construct a story to describe the hurdle in my path. Of course, the story is not likely to reflect the truth. But I try anyway. However, when things progress and I am beginning to see a breakthrough, this story-building suddenly becomes helpful. For this reason, I guess, we could move rather quickly on the CP problem. We used to have a journal club, when I was at the end of my master's course or at the beginning of my doctorate. Of course, now you can see any paper just by clicking through web pages.

Sugimoto That's right.

Maskawa In those days,

however, we had only one copy of each journal for the E-laboratory (the traditional name to represent the elementary particle theory group at Nagoya University). We had to fight over who got it first. So we were having a meeting within the E-laboratory to introduce new articles by taking turns. I was assigned to three or four journals in my first turn. Among them was a paper by Fitch and Cronin on a CP violation. I read it, but at first I did not think it was important and wondered if I should skip it. For some reason, though, I reported the article. I thought something strange was happening but did not have a clear understanding of what it was. Although I did not write a paper, the article motivated me to pursue theories of weak interactions. Many people were working on weak interactions in those days, but they were using them as a probe for studying the quark model rather than actually studying weak interactions. Contrary to these approaches, I became firmly aware of the need to study weak interactions in the framework of renormalizable theory. The famous GIM paper⁴ appeared in 1969 (I remember only the year of preprint publication). Later, when Ziro Maki⁵ wrote a paper, he mentioned that he had first been informed of the

Shigeki Sugimoto is an IPMU Professor. He is a theoretical physicist. When he was a graduate student at Kyoto University, he joined Professor Maskawa's group.



GIM paper by Maskawa. What intrigued him about this paper was a natural consequence of introducing charm based on higher order effects in weak interactions. But I was more interested in the detailed discussion of how far the theory was renormalizable. That part was given after the charm part using about twice the space.

Sugimoto That is very interesting.

Maskawa Then, the paper by 't Hooft and Veltman⁶ appeared in 1971 or 1972. At that time I was working at Kyoto University. Taichiro Kugo⁷ recalls that I gathered a group of people and hosted a seminar. Since now 't Hooft had proven the renormalizability of weak interaction theory, I thought it was time to revisit the problem I had left behind earlier. It was time to revisit the CP violation. It was now calculable. I guess what was in the mind of Makoto Kobayashi⁸ at that time was the Niu-event,⁹ although I never asked him directly.

Sugimoto What is the Niu-event?

Maskawa It was a charm candidate found in cosmic rays, although only one event was found. It was difficult to determine if it was really a charm or not. In those days, it was not at all clear.

Sugimoto I guess people tended to believe it in Nagoya, didn't they?

Maskawa Yes, they did, relatively speaking. I don't

think it was either me or Kobayashi who first suggested revisiting the CP violation problem. However, we decided to work together again, as we both happened to be in Kyoto.

Kobayashi-Maskawa theory got gradual recognition

Sugimoto Was the CP violation a big issue in those days?

Maskawa Not really. I guess in 1964, right after the Fitch-Cronin paper had been published, one physicist tried to solve the problem by introducing a 5th force. But it was not very interesting because the postulation of the 5th force that violates CP should have directly solved the problem, if it had existed. Very few people followed this particular idea. At that point we started to investigate this problem and published a paper. But, our paper was almost completely ignored. I'm not entirely sure, but I think it was probably Sheldon Glashow¹⁰ who then wrote a paper without knowing about our work.

Sugimoto I see.

Maskawa However, Yoichi Iwasaki,² Hirotaka Sugawara¹¹ and others acknowledged our work. Iwasaki was familiar with our work since he was working at YITP, Kyoto University. He later moved to Tsukuba University. He informed Sugawara (he was at KEK) about our paper. Sugawara had many friends in the United States. He told them about our work. He

even wrote a paper together with Sandip Pakvasa¹² and gave presentations. Sugawara, who was only about two years older than me and lived in the United States for some time, was already a widely respected physicist by then. Thanks to his introduction, our paper became known and gradually began to be cited.

Sugimoto I understand the paper drew very little attention when it first appeared.

Maskawa Ziro Maki was the first to cite our work when he wrote a paper about the 4-quark model. But there were no citations for the next three years or so. Then Pakvasa and Sugawara mentioned our work in their paper.

Sugimoto So your paper became better known after Pakvasa and Sugawara's paper.

Maskawa Yes, the existence of our paper was more widely known after that. Then, at the Tokyo Conference¹³ in 1978, Professor Yoichiro Nambu¹⁴ mentioned our work in his summary talk. He compared various CP violation models and concluded that our approach seemed the most appropriate. After the conference, about ten of us, graduates from Nagoya's E-laboratory, went to a beer-garden on the roof of a department store in Shinjuku. They congratulated me with two liters of beer.

Sugimoto Did you have a great sense of accomplishment?

Maskawa Yes. Professor

Nambu had virtually certified our work. It was like a declaration of victory.

Sugimoto I see.

Maskawa I didn't remember at all how I managed to return home that night.¹⁵ (Laughs)

Sugimoto Oh, boy! (Laughs) You also pointed out more than one possibility for the CP violation, like the two-Higgs model, in the Kobayashi-Maskawa paper.

Maskawa Let me explain why we did that. I had been curious why the Sakata model¹⁶ did not or could not develop into Gell-Mann's octet-model.¹⁷ But I hardly knew the real reason for it. So I used to ask around. Professor Yoshio Ohnuki¹⁸ told me that he knew how to make an octet out of a three-dimensional representation, but he hesitated to go in that direction because of Professor Sakata's landmark experience. Professor Sakata discussed Heisenberg's paper¹⁹ on nuclear structure theory in his undergraduate dissertation in a very animated way. He noted that the most important thing was the discovery of the neutron. He wrote that people had faced many contradictions prior to that, because they had to explain everything with only protons and electrons. Many problems with nuclear structure quickly went away after the discovery of the neutron. This landmark experience influenced him a great deal. The 1950s was a very confusing era, when particles after particles were

being discovered. He wanted to settle it once and for all by introducing a new concept like Heisenberg had done. Also, for him, that new concept had to be a real particle like Heisenberg's neutron. So he proposed the model of proton, neutron, and lambda. Because of this landmark experience, Professor Sakata could not think of introducing hypothetical quarks. Professor Ohnuki told me that he himself was confined to a similar direction under this environment. So I tried to have a different mindset. Once I find a breakthrough, or even half a breakthrough, I should go back to the starting point once more, rather than sticking to it.

Sugimoto I see. You explore other possibilities.

Maskawa I call this approach "abstraction." When we abstract an approach even if it is half successful, we will see various other possibilities. At the beginning, when we don't know anything, we have to be specific. Otherwise we cannot identify in which direction we need to go. But, once you have identified the direction, you don't need to stick to the Yoshida-route (for climbing Mount Fuji). You can also reach the top using the Gotenba-route. So we wrote down every possibility that we could think of at that time. Here is a mystery that I still do not understand. In our paper I put the six-quark model in the first place. But when I handed over my Japanese draft to

Kobayashi, he moved that part to the last place for some reason.

Sugimoto Do you mean the order had been changed?

Maskawa Yes, that part appeared last.

Sugimoto I see. For you, was the most attractive part of the paper the prediction of the existence of six quarks?

Maskawa Yes, that was the most interesting part. However, I have not asked Kobayashi why he changed the order.

Coming up with the six-quark model in the bathtub

Sugimoto I see. By the way, it is by now well known that you came up with the six-quark model in the bathtub.

Maskawa In mathematics we can introduce 100 quarks and develop a general scheme. Since particle physics is a natural science, we cannot talk about something that does not exist, even if it is interesting. In those days, three quarks were known. Also, we knew that four quarks would make an interesting model. So we had a strong inclination to stick to four quarks. But our discussion did not lead to any viable model. At any rate, I thought I could reproduce the CP violation if I introduced, in today's language, right-handed currents. I showed it to Kobayashi. Probably he knew right away it wouldn't work. But as he was cautious, he only said "Let me check at home." The next day he said "No, it wouldn't work. The

g_A/g_V ratio does not agree, because the sign comes out wrong." So we threw that idea away. And we went on to struggle within the framework of the four-quark model. In desperation to get away from it, we needed something that could push us to abandon the four-quark scheme. It could have been either of us who first felt that way. I happened to give up first. Perhaps I did not have enough persistence. (Laughs) A place like a bathtub where you are alone is a relatively good place to relax and review an overall scenario, rather than working on specifics. In the bathtub, I was about to give up the whole thing because every direction we had tried had failed to lead to any successful idea. So I was about to decide to write a paper dealing with our failure, even though doing so would put us to shame. I thought I did not want to continue any longer. (Laughs) Then, as I was getting out of the bathtub, an idea came to me, "Wait a minute. We don't need to do it that way – we can write a paper to show that the 6-quark model will work." The reason why I came up with the idea of six was...

Sugimoto You pretty much knew that the six-quark scheme would work, didn't you?

Maskawa Yes, even when we were unaware of the difficulty of the problem, we could probably answer it right away if someone asked the question "What happens if

you take six instead of four?" It was merely a matter of playing with numbers.

Sugimoto I see.

Maskawa We started our discussion the next day from ten o'clock, the time Kobayashi would usually show up. I suggested we write a paper with the idea that the six-quark scheme will work, as I had thought the day before. Kobayashi thought for a brief moment and agreed. It was as simple as that.

Sugimoto Were you very excited when you came up with that idea?

Maskawa No, I was not. It may sound ironic, but I felt relieved because at last I could finish it. I did not have a sense of great accomplishment. Rather, it was Yoichi Iwasaki, Hiroataka Sugawara, and Hidezumi Terazawa,²⁰ all living north of Hakone,* who recognized the importance of the paper! The only thing I felt was that I had come up with a solution to the problem of CP violation that had been bothering me. In Kyoto, however, I used to be teased, with people saying things like "Hey, Dr. Maskawa! Do six quarks really exist?"

Sugimoto Is that so? Subsequently, however, all of them were found one after the other in experiments. How did you feel when that happened?

Maskawa Well, let me see ... Some people continue to work on the same subject as if it were their life's work, like "I have finished this, the next

step is this.” I am not that type. Once I let it go, I don’t feel it to be my work. So, when I was congratulated on the Nobel Prize, I was happy, of course, but it was not like I was jumping for joy. To me, it was more like “Oh, that particular work somehow deserved the prize.” (Laughs)

Sugimoto I see.

Maskawa Of course different people feel differently.

Sugimoto Let me ask you about the Nobel Prize. May I ask you for your impression now that things have more or less settled down?

Maskawa Well, I think the whole thing is overly exaggerated in Japan. It is probably not such a big deal in the United States.

Sugimoto I agree.

Maskawa I think it should be enough to say just “Congratulations,” if you know a Nobel laureate.

Sugimoto Indeed. Did it change your life in any way?

Maskawa Yes, I am receiving more requests for lectures and interviews. It is partly my fault. My personality makes it difficult to refuse those requests.

Sugimoto You must have become busy!

Maskawa Yes, in that sense. One more thing is I became popular through my appearance on TV, probably because I come across a bit like a comedian.

Sugimoto (Laughs)

Maskawa I am frequently asked to shake hands and give autographs.

Memories of Professor Sakata

Sugimoto I forgot to ask you this earlier. What kind of person was Shoichi Sakata? What memories do you have about him?

Maskawa In those days, he was alternating between his office in Nagoya and the Science Council of Japan in Tokyo weekly. The time he spent in his office of the E-laboratory was when he could relax. So I recall that nearly everything he said was amusing.

Sugimoto Really?

Maskawa In the seminar room, he used to listen to the lecture at first, but after a while he used to start reading the newspaper. When that was done, he used to begin preparing tea. Probably he was sending a signal to stop. (Laughs) One day we had a power failure during the seminar. When that happened, Professor Sakata happened to see the front wall where an electric clock was still running. Someone said “Power failure!” He then said “No, the clock is running.”

Sugimoto It must have been a battery-type.

Maskawa Right. He immediately noticed that. He then said, “A power failure means the electromagnetic interaction switches off.** We should say that what we have here is simply a termination of the transportation of power.”

Sugimoto (Laughs)

Maskawa Many of his comments were of this sort.

But the same Professor Sakata presented impressive lectures on different occasions. His summary at the “Models and Structures” workshop that he organized at YITP was very impressive. I was tempted to say “Why can’t you give us such a nice talk in the E-laboratory?” (Laughs) We all listened intensely to his talks whenever they were given at YITP. Probably he was thinking of many different ways to manage the research group; for example, what functions were needed for the group to develop into a good research organization. He had a famous saying in those days, which was that “The best philosophy and best organization are enough for good research. I am just Tadano Bonji.” It came from a pre-war comic. A character in the comic named Tadano Bonji (Mr. Ordinary) resembled Professor Sakata. So he got that nickname, which even Professor Shin’ichiro Tomonaga²¹ referred to in one of his essays. Professor Sakata did not mind it, and told us, “You young people can do good research here because we have a good philosophy and good organization.” I fell for that hook, line, and sinker, and worked very hard. (Laughs)

Sugimoto I don’t remember if you told me this directly, but I was told not to call you Maskawa-sensei*** when I first joined your group as a graduate student.

Maskawa That was common in the particle theory

community. Ziro Koba,²² when he was YITP professor, used to say “I didn’t teach you anything” whenever people called him Koba-sensei, and he would give no further answer to them. Professor Sakata was worried, I think, that young people might not have the courage to say “no” even if he said something wrong. He probably thought that the organization must have a flat structure to promote discussion as equals. I could sense that, through talking with senior members, though I had never heard that directly. **Sugimoto** I see. You had that tradition. Let me ask an odd question. You were calling him Sakata-sensei,*** weren’t you? **Maskawa** Yes, because he was really my sensei. **Sugimoto** (Laughing) But I was not allowed to call you Maskawa-sensei. **Maskawa** I could not just call him Sakata-san. To me, Yukawa-san²³ was just Yukawa-san. **Sugimoto** Really? **Maskawa** Their relationship was rather interesting. When I was a graduate student at Nagoya, I used to visit YITP.

** “Power failure” is written as 停電 in Japanese. 停 means “stop” and 電 means “electric.” Usually, 電 is combined with other Chinese character(s) to form a specific word having a meaning related to electric or electronic phenomenon/effect. So, Professor Sakata offered this strained interpretation of 停電 as “stopping electromagnetic interaction.”

*** “Sensei (先生) is a Japanese word meaning “teachers,” “professors,” and other professionals of authority. For Professor Maskawa, “Sakata-sensei” means not merely “Professor Sakata,” but demonstrates his respect for him as a teacher.

A student like me was also asked to join Yukawa at the lunch table. He noticed a short man with an unfamiliar face, and asked me “Whose student are you?” I answered that I came from Professor Sakata’s group. We then discussed a few topics. I must have praised Professor Sakata at points in the conversation. He gradually became sullen.

Sugimoto I see. (Laughs)

Maskawa Even at that age, they were competing with each other.

Sugimoto Was it rivalry?

Maskawa Yes, they were rivals. On the other hand, when Professor Yukawa made a one-day visit to Nagoya, Professor Sakata was carrying Yukawa’s bag and making way for him at the doors. Sakata was following a strict sensei-student relationship. When I was talking with Professor Sakata, I used to walk slightly behind him. So I did not bother to make way for him at the doors. He opened the doors.

Sugimoto (Laughs)

Maskawa I did not notice it at all. I realized it after I went through the door. (Laughs) In a sense, Professor Sakata had different ways of behaving, one for his superiors and one for younger people. He definitely had different standards—a sort of double standard.

KMI and IPMU: How to start collaboration

Sugimoto Finally, let me ask a question about your new

institute (Kobayashi-Maskawa Institute for the Origin of Particles and the Universe, KMI). What direction are you aiming to take?

Maskawa Basically, the universe is its own subject. Koichi Yamawaki²⁴ made the effort to establish KMI. His standpoint is that elementary particles have a hierarchical structure. He thinks quarks also have structure. He will take the lead and steer the group.

Sugimoto Are you aiming at a new direction that could lead to a Nobel Prize?

Maskawa No, we are not directly aiming in that direction. Some people might deserve a Nobel Prize as a result of their fine accomplishments. I don’t believe we should go for it just by shouting a slogan. But, we should always keep in mind that we must try to come up with fundamental solutions. As we have to produce results, sometimes we choose subjects that lead to publication without too much difficulty. I am not against these approaches. They have some importance. But at the same time we should have, in the corner of our mind, an attitude of wanting to answer fundamental questions.

Sugimoto KMI has people from the mathematics department working on subjects close to physics. They may move into directions that are slightly different from describing the real world. How do you plan to

proceed as far as collaboration among different disciplines is concerned?

Maskawa I think the first thing is human relations. People just communicate daily, like having a chat after a meal. In doing so, both sides might discover interesting problems. Once that happens, there are many ways to proceed further. People should not confine themselves to their territories. Each person has worked hard in a specific field and accumulated skills and knowledge. If each person draws on those individual strengths, working together with people who have different skills and strengths, I believe they can do great things.

Sugimoto I am now working at IPMU, which has people working on pure mathematics. Collaborative work with them is a major issue. In that sense, IPMU has a similarity with KMI. Do you think there is any possibility for the two institutions to collaborate?

Maskawa We should start with a simple exchange of people, such as inviting people to seminars. People may find some interesting work. We can then try to invite people for longer periods, of six months or a year. Once this exchange is established and our understanding of each other is deeper, we can think of a scheme for more ongoing joint work. I do think we should start personal exchanges, including very simple ones. (Laughs)

Sugimoto Such as having drinks together.

Maskawa Not necessarily, but something like that. (Laughs)

Sugimoto Thank you very much for your time.

- 1 Shoichi Sakata (1911-1970).
- 2 Later he served as President, Tsukuba Univ.
- 3 Professor Emeritus, Kyushu Univ.
- 4 S.L. Glashow, J. Iliopoulos, and L. Maiani, *Physical Review D* 2 (1970) 1285.
- 5 Ziro Maki (1929-2005) later served as Director of YITP, Kyoto Univ.
- 6 G. ’t Hooft, *Nuclear Physics B* 33 (1971) 173 and B35 (1971) 167; G. ’t Hooft and M. Veltman, *Nuclear Physics B* 44 (1972) 189. ’t Hooft and Veltman received 1999 Nobel Prize in Physics.
- 7 He later served as Director of YITP. Now, Professor, YITP, Kyoto Univ.
- 8 2008 Nobel Laureate in Physics.
- 9 An unusual event found in a cosmic-ray experiment in 1971 by Kiyoshi Niu, now Professor Emeritus, Nagoya Univ.
- 10 1979 Nobel Laureate in Physics.
- 11 Later he served as Director General, KEK.
- 12 Professor, Univ. of Hawaii.
- 13 19th International Conference on High Energy Physics.
- 14 2008 Nobel Laureate in Physics.
- 15 At that time, he was working at INS, the Univ. of Tokyo.
- 16 A composite model of elementary particles proposed by Shoichi Sakata. He postulated that hadrons comprised three fundamental particles: proton (p), neutron (n), and lambda (Λ), and their antiparticles.
- 17 Murray Gell-Mann proposed classifying hadrons into octets. Later he proposed the quark model with fractionally charged quarks as elementary building blocks. In 1969 he received the Nobel Prize in Physics.
- 18 Professor Emeritus, Nagoya Univ.
- 19 Werner Heisenberg (1901-1976). 1932 Nobel Laureate in Physics.
- 20 A theorist, formerly at INS, the Univ. of Tokyo.
- 21 Shin’ichiro Tomonaga (1906-1979). 1965 Nobel Laureate in Physics.
- 22 Ziro Koba (1915-1973) died in Copenhagen when he was a Professor at the Niels Bohr Institute.
- 23 Hideki Yukawa (1907-1981). Japan’s first Nobel Laureate. In 1949 he received the Nobel Prize in Physics.
- 24 Deputy Director of KMI and Professor Emeritus, Nagoya Univ.

CLJ2010+0628: from massive galaxy formation to dark energy

Yen-Ting Lin

IPMU Postdoctoral Fellow

John D. Silverman

IPMU Assistant Professor

Masahiro Takada

IPMU Associate Professor

Masayuki Tanaka

IPMU Postdoctoral Fellow

In the current paradigm of cosmic structure formation, the cold dark matter model with a dominant dark energy component (hereafter LCDM), gravitational collapse of dark matter leads to the formation of halos, which then grow in mass by merging and accreting with other halos. Given a cosmological model, the abundance and spatial distribution of massive halos (e.g., $>10^{13} M_{\text{sun}}$) can be estimated to high precision through analytical calculations and numerical simulations. The number density of massive halos can therefore be used to constrain cosmological parameters, such as the matter density, amplitude of the matter power spectrum, and the degree of the primordial non-gaussianity.

Now enter the reality. Clusters of galaxies are the real-world counterparts of the massive dark matter halos. And they are more fun/difficult to deal with, considering the large amount of gas (called intracluster medium, ICM) that has been shock heated to 10^7 K during infall to the cluster gravitational potential, as well as the hundreds of galaxies of various masses and formation history swarming inside. For a galaxy, clusters is a hectic place to live: interactions with the dark matter potential well, the ICM, and other galaxies

will distort its shape, strip off its stars, induce new star formation and maybe awaken the super massive black hole at its center; dynamical friction will drag it to the bottom of the potential -- a kind of galactic graveyard -- and merge with the giant galaxies there. Gradually, the cluster galaxies are transformed into a population quite distinct from their cousins living in much smaller halos. Meanwhile, the ICM radiates prodigiously via bremsstrahlung, making clusters among the brightest X-ray sources in the Universe; occasionally the electrons inverse-Compton scatter off the photons from the cosmic microwave background, modifying the energy spectrum of the latter (known as the Sunyaev-Zel'dovich effect, SZE).

The above broadbrush picture shows our understanding of clusters to the first order. At a distance, clusters appear to be simple objects: dark matter halos behave as suggested by the LCDM, ICM often in hydrostatic equilibrium with the cluster potential, properties of cluster galaxy populations correlate well with the host clusters. When we try to ask more detailed questions such as "how well can we measure the cluster mass?" "what is the density and pressure distribution of ICM?" "what mechanism is



the primary cause of galaxy transformation?" we start to realize there is still a long way to go, before we can really use clusters as a precision cosmology probe.

"CLJ2010+0628^{*}: from massive galaxy formation to dark energy" was planned in preparation for the era of precision cluster cosmology. The idea was simple: bringing together experts working in different areas of cluster study to discuss how we can use multi-wavelength data to identify the critical theoretical and observational issues that may limit our ability to fully exploit the upcoming large cluster data sets.

The preparation for the conference officially started in summer 2009. The invited speaker list was largely finalized by the end of that year. The cluster community was enthusiastic, and we had a hard time selecting contributed talks out of many excellent submissions. Due to the space limit, we also had to turn down registration from many people.

The conference took place on 6/28-7/2, 2010, at the Media Hall in the Kashiwa Library, although we also had "lunch sessions" at IPMU and the General Research Building. There were 160 participants, including 20 invited speakers. We had 39 contributed talks and 80 posters. Slides and video recording of all the talks are online at the conference website. This was a truly international conference, as people from Europe and North America accounted for 2/3 of the participants, and the rest were from Japan, Taiwan, and Korea.

Gus Evrard (Michigan) gave the opening review,

linking the dark and bright sides of cluster study. Eiichiro Komatsu (Texas/IPMU) provocatively discussed "Gem vs Junk cluster cosmology". Anthony Gonzalez (Florida) impressed the audience with a beautiful image of the intracluster light in the Bullet cluster. Bill Holzapfel (Berkeley) discussed a mismatch between the theoretical and observed SZE power spectrum, while Daisuke Nagai (Yale) offered an explanation based on the gas motion at outskirts of clusters. Jim Gunn (Princeton) summarized the conference, emphasizing the need to first understand the stars, galaxies, ICM, before we can confidently constrain cosmology.

The success of the conference owed a large part to the hard work of other local organizing committee members, Tsz Yan Lam, Masamune Oguri, and Naoki Yoshida. The conference wouldn't materialize without the dedicated efforts of Ujita-san of IPMU administrative office. We are also in debt to other staff members, especially those in the international relationship and IT sections. Finally, we gracefully acknowledge financial supports from IPMU and from the DENET grant of Prof. Yasushi Suto (University of Tokyo).

^{*} Naming of a cluster usually follows the format of (prefix)-J-HHMMsDDMM, where prefix may be the project that discovers the cluster, J stands for the equinox of the observation, HHMM and sDDMM denote the longitude and latitude in celestial coordinates, respectively. CLJ2010+0628 follows this scheme, but uses the start date of the conference as the coordinates; in addition, "J" stands for Japan.

Third WPI Follow-Up Meeting

The Third Follow-Up Meeting of the WPI Program Committee was held on July 4, 2010 at the Hotel New Otani Tokyo. The Committee, which selected the WPI centers, meets every year to review and evaluate the progress and achievements of each center. The Committee interviews the center directors and the heads of the host institutions and receives a site visit report from the Program Officers assigned to each project. When necessary, the Committee makes requests for improvements to each WPI center.

At this meeting, the Committee evaluated the visibility of IPMU as a WPI center highly, as evidenced in the results of JSPS's questionnaire of researchers worldwide. The Committee also welcomed the University of Tokyo plan to create a new institute of international advanced studies, which would integrate IPMU as one of the University's permanent entities and give tenure to central members of the IPMU faculty. On the other hand, the Committee mentioned some points that need improvement, such as increasing the number of full-time principal investigators as well as female researchers.

The follow-up results have been made public at <http://www.jsps>.

go.jp/j-toplevel/data/08_followup/h21Followup_j.pdf.

IPMU Annual Report 2009 Published

The *IPMU Annual Report 2009* has been published, summarizing IPMU's research activities and mentioning some highlights, in particular, as well as progress in the WPI project implementation during fiscal 2009 (March 2009 – April 2010). The pdf version of this and previous reports can be downloaded from the IPMU web site, <http://www.ipmu.jp/ja/research-activities/annual-report>.

"Second IPMU Building" under Construction

IPMU accommodates visitors and graduate students in addition to its full-time researchers and administrative staff. The IPMU Research Building, which has a floor area of around 6,000 m², began being used at the beginning of this year, but it is not large enough to accommodate the additional visitors IPMU wishes to invite. IPMU consequently requested a budget to construct its second building, with a floor area of about 3,000 m², and this was included in the Government's stimulus package in fiscal 2009. As the Institute of Gerontology and the Information Technology Center also secured a budget to construct their own research buildings on the Kashiwa campus of the University of Tokyo, the University's Campus Planning Office took the initiative to efficiently integrate the demands for research space of the three institutions. As a consequence, construction of the General Research Laboratory Building (tentative name), boasting a total floor area of 12,000 m², got underway in April, 2010. The building will be completed at the end

of February 2011. The IPMU wing of this building will be located diagonally behind the IPMU Research Building.

IPMU is planning to use its new space not only as office space for visitors, but also as an Astronomical Information Center. It will function as an analysis center for the data to be obtained from the IPMU initiatives for astronomical observations, and at the same time it will showcase outcomes from the IPMU's astronomical research to the public. For this purpose, the center will be located at a corner of the ground floor, with a transparent glass wall. There will be a number of large screens for data projection. People will be able to view them from outside.



Fig. 1 An artist's view of the new building. The left wing will house the IPMU. The Astronomical Information Center is located at the corner on the ground floor. © Mitsuru Senda + Environment Design Institute.



Fig. 2 Construction area of the General Research Laboratory Building.

Ken'ichi Nomoto Awarded 2010 IAP Medal

Ken'ichi Nomoto, IPMU Principal Investigator, was awarded the IAP Medal on July 1, 2010 from the Institut d'Astrophysique de Paris (IAP), France. This medal is awarded annually to

coincide with IAP's annual colloquium, and is given to an astrophysicist who has made a significant contribution in related fields. The award was established in 2005, and the previous recipients are all prominent scientists. 2005: Sandra Faber (UC Santa Cruz) 2006: Andrei Linde (Stanford University) 2007: Roger Blandford (StanfordUniversity)

2008: Charles Steidel (Caltech) 2009: Wallace Sargent (Caltech)

This year's colloquium was held on the themes of "exploding stars," such as new stars, supernovae, and gamma-ray bursts. Nomoto's theoretical contribution for the supernovae research earned the recognition of the medal committee.



Professor Ken'ichi Nomoto was awarded this IAP Medal.

After All, Type Ia Supernovae OK for Cosmological Standard Candles

Type Ia supernovae form a homogeneous class of stellar explosions and are used as excellent "standard candles" to measure distances across the Universe. The measurements of the acceleration of the Universe using these standard candles revealed in 1998 - 1999 that the Universe largely comprises mysterious dark energy. However, it has long been known that type Ia supernovae, which otherwise look like twins, can show diverse spectral features, questioning their accuracy as standard candles. Consequently, solving this problem has been given the highest priority in

cosmological research using type Ia supernovae.

An international collaboration of researchers led by IPMU Assistant Professor Keiichi Maeda, including IPMU Professor Ken'ichi Nomoto and IPMU postdoc Masaomi Tanaka, has solved this problem. The research group argues that type Ia supernovae explode asymmetrically, causing apparent diversity as a consequence of the random directions from which an SN is observed. This result is good news for cosmology—it confirms that type Ia supernovae are excellent cosmological standard candles. This result has been published in *Nature*, (1 July 2010 issue).

Workshop : CLJ2010+0628: from Massive Galaxy Formation to Dark Energy

See pp. 22-23.

Workshop : IDEAS on Chemical Evolution

IDEAS (IPMU Day of Extragalactic Astrophysics Seminars) is a new initiative at IPMU to hold a series of one-day workshops on a given topic in astrophysics. The IDEAS on Chemical Evolution was held on July 13th, 2010. Three review talks were followed by five contributed talks. Topics covering theory and observations at different scales (from stars to clusters of galaxies) were actively discussed.

Future Conference: Focus Week on String Cosmology

A workshop entitled "Focus week on string cosmology" will be held at IPMU for five days from October 4 to 8, 2010. "String cosmology" is cosmology based on superstring theory, a strong candidate for the theory of everything. Various topics such as the beginning of the universe, the origin of cosmic inflation and observability in cosmic

microwave background will be discussed.

Future Conference: The Observational Pursuit of Dark Energy after Astro2010

We are holding a meeting at Caltech on October 7 to 8, 2010, through the sponsorship of DENET (International Research Network for Dark Energy) funded by JSPS (Japan Society of Promotion of Science), IPMU and Caltech. Our goal is to have a timely discussion on the optimum way forward in developing various dark energy probes in the light of the recommendations of the US National Academy of Sciences Decadal Survey "Astro2010", whose report was released on August 13th.

Future Conference: Evolution of Massive Galaxies and Their AGNs with the SDSS-III/BOSS Survey

IPMU is a member institute of SDSS-III/BOSS Collaboration, which is conducting a massive spectroscopic survey of distant galaxies. This workshop will be held at IPMU for four days from October 24 to 28, 2010. The workshop aims to bring together individuals from the BOSS community with a strong interest in the study of luminous galaxies and/or AGNs in order to foster collaborative efforts. The format of the meeting will involve a combination of science presentations and working group sessions, with ample time for discussion.

Future Conference: Mini Workshop on Neutrino

Neutrinos have been extensively studied so far. Nevertheless, the neutrino remains one of the least understood particles. It is very important to understand its properties,

partly because it may be related to the origin of the matter-antimatter asymmetry of the Universe. A mini workshop on neutrino will be held at IPMU for five days from November 8 to 12, 2010. The purpose of this meeting will be to review the current experimental and theoretical understanding of neutrinos. We plan to schedule a series of seminars on the neutrino experiments, such as Super-Kamiokande, T2K, neutrinoless double beta decay, MINOS and MiniBooNE, and the theoretical models of the neutrino mass.

IPMU Seminars

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

1. "Fermi's Restless Universe"
Speaker: Roger Blandford (KIPAC (Stanford University))
Date: Jun 18, 2010



2. "Homological mirror symmetry for toric Fano stack and suspension for

- directed Fukaya categories"
Speaker: Masahiro Futaki (The University of Tokyo)
Date: Jun 21, 2010
3. "Holographic superconductors from M5-branes"
Speaker: Nakwoo Kim (Kyung Hee University)
Date: Jun 22, 2010
4. "Heavy element synthesis in neutrino-driven neutron-star winds of core collapse supernovae"
Speaker: Almudena Arcones (Basel University)
Date: Jun 22, 2010
5. "Donaldson-Thomas theory and cluster algebras"
Speaker: Kentaro Nagao (Nagoya University)
Date: Jun 28, 2010
6. "Higher Categories and TQFTs"
Speaker: Alexander Voronov (University of Minnesota)
Date: Jun 29, 2010
7. "Recursion Relations and String Theory Amplitudes"
Speaker: Brian Wecht (IAS)
Date: Jun 30, 2010
8. "Non-linear dynamics and primordial curvature perturbations from preheating"
Speaker: Andrei Frolov (Simon Fraser)
Date: Jul 06, 2010
9. "Infrared modified gravity with dynamical connection"
Speaker: Valery Rubakov (Moscow, INR)
Date: Jul 08, 2010
10. "Cosmology from gravitational-wave standard sirens"
Speaker: Daniel Holz (Los Alamos)
Date: Jul 09, 2010
11. "Differential equations aspects of quantum cohomology (Part 1), Some new solutions of the tt^* -equations (Part 2)"
Speaker: Martin Guest (Tokyo Metropolitan University)
Date: Jul 12, 2010
12. "B is for BIRD"
Speaker: Nobuhiko Katayama (KEK)
Date: Jul 13, 2010
13. "Introductions to Quantum Deformation Theory"
Speaker: Alexander Voronov (University of Minnesota)
Date: Jul 13, 2010
14. "Group and clusters of galaxies in deep X-ray surveys"
Speaker: Alexis Finoguenov (MPE)
Date: Jul 14, 2010
15. "Cosmology and Astrophysics with Galaxy Clusters: Recent Advances and Future Challenges"
Speaker: Daisuke Nagai (Yale University)
Date: Jul 15, 2010
16. "Quantum Deformation Theory"
Speaker: Alexander Voronov (University of Minnesota)
Date: Jul 20, 2010
17. "Host Galaxies of "Dark" Gamma-Ray Bursts"
Speaker: Yuu Niino (Kyoto University)
Date: Jul 21, 2010
18. "Galaxy Formation with Cosmological Hydrodynamic Simulations in the JWST Era"
Speaker: Kentaro Nagamine (University of Nevada Las Vegas)
Date: Jul 21, 2010
19. "Phenomenology of Pure General Gauge Mediation"
Speaker: Valya Khoze (IPPP Durham)
Date: Jul 22, 2010
20. "The Calabi-Yau/Landau-Ginzburg correspondence for B-branes"
Speaker: Ed Segal (Imperial College London)
Date: Jul 26, 2010
21. "Radiative Transfer Modeling of Lyman Alpha Emitters and New Effects in Galaxy Clustering"

- Speaker: Zheng Zheng (Yale University)
Date: Jul 27, 2010
22. “Quantum Deformation Theory”
Speaker: Alexander Voronov (University of Minnesota)
Date: Jul 27, 2010
23. “Gauge-Higgs Unification: Stable Higgs, Dark Matter, and Colliders”
Speaker: Yutaka Hosotani (Osaka University)
Date: Jul 29, 2010
24. “Methods in Supersymmetric Field Theories and Supergravity Theories”
Speaker: Zohar Komargodski (IAS)
Date: Aug 03, 2010
25. “Strong Coupling and Causality in High-Spin Massive Particles: the Charged Spin 3/2 Example”
Speaker: Massimo Porrati (New York University)
Date: Aug 04, 2010
26. “Quantum Deformation Theory”
Speaker: Alexander Voronov (University of Minnesota)
Date: Aug 05, 2010
27. “The Annihilator of the Derived Singularity Category”
Speaker: Ragnar-Olaf Buchweitz (University of Toronto)
Date: Aug 17, 2010
28. “Quantum Deformation Theory”
Speaker: Alexander Voronov (University of Minnesota)
Date: Aug 18, 2010
29. “Donaldson-Thomas invariants, wall-crossing and matrix models”
Speaker: Masahito Yamazaki (IPMU)
Date: Aug 23, 2010
30. “Forming Bulgeless Disk Galaxies”
Speaker: Chris Brook (Univ. of Central Lancashire)
Date: Aug 24, 2010
31. “Quantum Deformation Theory”
Speaker: Alexander Voronov (University of Minnesota)
Date: Aug 25, 2010
32. “2-dimensional lattice models and renormalization”
Speaker: Cornelius Schmidt-Colinet (IPMU)
Date: Aug 26, 2010
33. “Special Geometry (after Strominger)”
Speaker: Kyoji Saito (IPMU)
Date: Aug 27, 2010
34. “Toric degenerations of Grassmann manifolds and mirror symmetry”
Speaker: Makoto Miura (The University of Tokyo)
Date: Aug 30, 2010
35. “Semi-topological invariants of real algebraic varieties”
Speaker: Mircea Voineagu (IPMU)
Date: Aug 31, 2010
36. “The Yau-Zaslow conjecture and Noether-Lefschetz theory”
Speaker: Emanuel Scheidegger (Augsburg University)
Date: Sep 01, 2010
37. “Resonant Non-Gaussianity from Axion Monodromy Inflation”
Speaker: Raphael Flauger (Yale)
Date: Sep 02, 2010
38. “Negative Differential Regivity from Holography”
Speaker: Shin Nakamura (Kyoto University)
Date: Sep 02, 2010
39. “Wronskian solutions of T, Q and Y-systems for AdS/CFT”
Speaker: Zengo Tsuboi (Osaka City University)
Date: Sep 07, 2010
40. “Boosting BSM Higgs discovery with jet substructure”
Speaker: Adam Martin (FNAL)
Date: Sep 09, 2010
41. “Instanton counting in Omega background and beyond”
Speaker: Daniel Krefl (IPMU)
Date: Sep 13, 2010
42. “Borchers products in monstrous moonshine”
Speaker: Scott Carnahan (IPMU)

Date: Sep 14, 2010

43. “Motion of charged particles near weakly magnetized Schwarzschild black hole”
Speaker: Valeri Frolov (Alberta)
Date: Sep 16, 2010

Personnel Changes

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

Yogesh Kumar Srivastava [September 1, 2009 – July 15, 2010] moved to the National Institute of Science Education and Research in India as an Assistant Professor.

Tathagata Basak [October 1, 2009 – August 15, 2010] moved to the Department of Mathematics, Iowa State University, as an Assistant Professor.

Daniel Krefl [August 1, 2009 – September 30, 2010] moved to UC Berkeley as a Simons Postdoctoral Fellow.

Guillaume Lambard [April 3, 2009 – September 30, 2010] moved to IFIC (Instituto de Física Corpuscular) in Spain as a postdoctoral fellow.

Yen-Ting Lin [October 16, 2008 – September 30, 2010] moved to ASIAA in Taiwan as an Assistant Research Fellow.

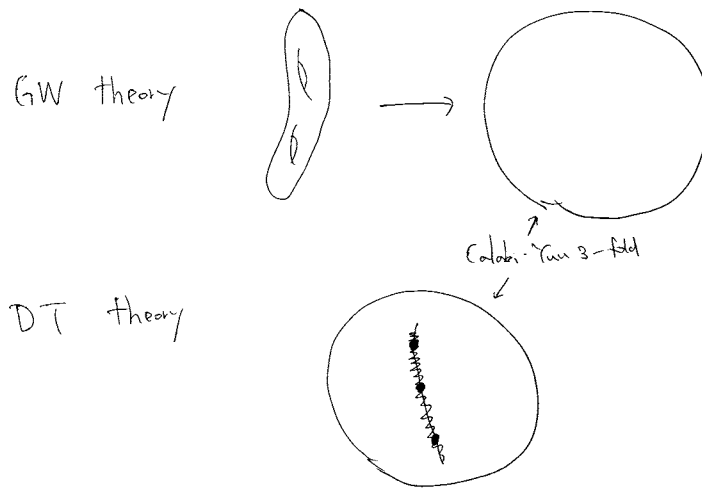
Also, Masahito Yamazaki, who stayed at IPMU from April 1 to August 31, 2010 as a JSPS Postdoctoral Fellow, moved to Princeton University as a postdoctoral fellow.

In addition, Alex Bene, an IPMU postdoctoral fellow since September 1, 2009, resigned from IPMU on August 31, 2010.

Calabi-Yau 3-fold

Yukinobu Toda IPMU Associate Professor

A Calabi-Yau 3-fold is a geometric object which is expected to describe the extra dimensions in our universe, and interesting in both mathematics and physics. An algebraic curve counting theory in this variety corresponds to the theory of periods under the mirror symmetry, and it is an important subject to study its property. Now there are two kinds of such counting theories, Gromov-Witten (GW) theory, Donaldson-Thomas (DT) theory, and they were conjectured to be equivalent in 2004. This interesting conjecture including important properties of both theories, and has been checked in several situations so far.



$$e^{-p} \left(\sum N_{g,\beta} \lambda^{2g-2} t^\beta \right) = \sum I_{n,\beta} \delta^n t^\beta / M(1-\delta)^{N(\beta)}$$

\uparrow \uparrow \uparrow
 GW $\delta = -e^{i\lambda}$ DT

新しい国へ移る

IPMU 機構長

村山 斉 むらやま・ひとし

カリフォルニアのパークレイへ移ったとき、住むところを見つけ、社会保障番号を取得し、銀行口座を開き、どこで食料品を買うのかを学び、生まれたばかりの二番目の子供用のベビーベッドを含む様々な家具を揃え、確定申告のやり方を学ぶ必要がありました。新聞の案内広告を見てアフガニスタン難民から車を買いましたが、トラベラーズ・チェックを信用してもらえず苦労しました。英語は問題ないつもりでしたが、それでも制度・習慣・ライフスタイルの違いには驚き、映画や政治の話が次から次へと出て来る昼食時の会話についていくのは大変でした。

IPMUが始まってから日本に落ち着くにも苦労がありました。その前年まで日本での収入はゼロでしたから、クレジット・カードの申請は却下されました。決まった住所と固定電話無しでは携帯電話の契約も出来ません。私の日本語は洋書の質の悪い翻訳のように聞こえるらしく、いつも笑われます。そして最も重要なことには、日本での仕事の仕方を知らず、数々の暗礁に乗り上げました。一方、日本がとても安全、清潔で、公共交通機関が非常に信頼できることにはびっくりしました。

IPMUでは外国から楽に移住できるよう出来る限りの努力をしています。移住にまつわる情報を提供する詳しいウェブサイトを作りました。到着した研究者が違和感なくおちついてすぐ仕事が始められるように、国際交流係、秘書係、その他のスタッフが信じられない程の援助をしています。パークレイから来た私の学生が事故に合ったときは、回復するまで大変な努力をしてくれました（本人はすっかり回復してアメリカの

ポスドクになっています)。今号では西川まさみさんの日本語教室がどんなに楽しくて役に立つか読むことができます。ジュリア・フリードマンの経験談では研究者の配偶者にとってはかなりのストレスがあることがわかりますが、私自身少しでも助けることができたのが嬉しいです。そしてその陰では文章にできない無数の努力があるわけです。IPMUのスタッフはすばらしいと思います！



超新星爆発とニュートリノ

いろいろな元素はいつどこで作られたか?

我々の周りにはいろいろな元素がある。人間には酸素、炭素、水素が主成分として含まれる。地球の主成分は鉄、酸素、ケイ素、マグネシウムだといわれている。貴金属と言われるものには金や銀があり、原子力発電所で電気を生み出すにはウランが使われている。こうした多種多様な元素は宇宙の歴史の中で、いつどこで作られたのだろうか?

近年の高感度宇宙観測によって宇宙の始まりが明らかになってきた。宇宙は今から137億年前にビッグバンとよばれる火の玉からスタートした。火の玉はエネルギーの塊であり、粒子と反粒子(クォークと反クォーク、電子と陽電子、等々)が生まれた。何らかのメカニズムによって反粒子は消え、粒子が残り、クォーク、電子から元素が合成された。ビッグバンの時に我々の周りにある多種多様な元素が合成されたのであろうか? ビッグバンに始まり宇宙は膨張している。ビッグバン時の元素合成はこの膨張との競争であり、残念ながら膨張速度が非常に速かったために、作られた元素は水素、ヘリウムと微量のリチウムまでが限度で、それよりも質量数が大きな元素を作ることができなかった。

水素やヘリウムからその先の元素を作るには核融合反応をおこす必要がある。太陽の中心では核融合反応が起きているが、太陽中心の温度は 10^7 度、密度は 150g/cm^3 ぐらいであり、このぐらいの温度での核融合反応は水素を原料としてヘリウムを合成する反応で

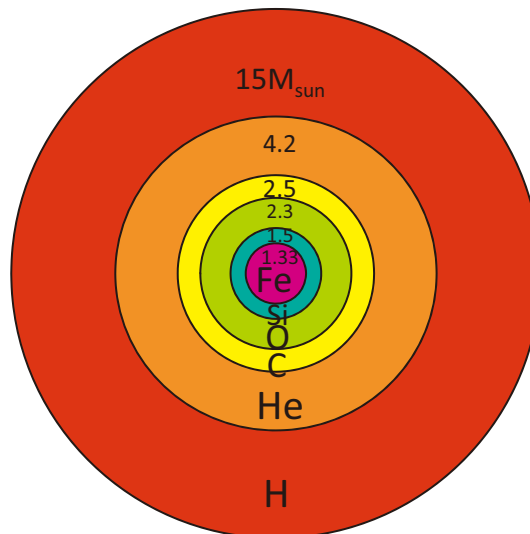


図1 超新星爆発直前の重い星の内部の様子

あり、それよりも重い元素を作ることはむずかしい。太陽よりも10倍程度以上重い星の内部ではもっと高い温度、もっと高い密度の環境を作ることができる。温度が 10^8 度、密度が 10^4g/cm^3 ぐらいにあがるとヘリウム元素3つが融合して、炭素ができる反応がおこる。 10^9 度、 10^6g/cm^3 ぐらいになると炭素の核融合から酸素、ネオン、ナトリウム、マグネシウムなどを作ることが可能になる。そして、更に温度、密度が高くなると酸素からケイ素、ケイ素から鉄、コバルト、ニッケルなどができる。この時点で星は図1に示すような玉ねぎ状の内部構造を持ち、中心には鉄を主成分とする核、そして外に向かってケイ素、酸素、ヘリウム、水素のそれぞれの層ができる。核融合反応はいったんここでストップする。なぜならば、鉄は最も結合エネルギー



図2 1987年に大マゼラン星雲で起きた超新星爆発。右は爆発前の写真、左は爆発後。
©1989-2010, Australian Astronomical Observatory, photograph by David Malin.

が大きい元素（つまり、陽子、中性子が最もがっちりと固まっている原子核）であるため熱的な反応ではその先の核融合反応ができないからである。（ちなみに、このような重い星は核融合反応の進行も早く1000万年程度でこのような玉ねぎ構造が作られる。現在の太陽の年齢が46億歳であることと比較する非常に短い星の一生であることがわかっていただけと思う。）さて、星の中心核はここでおもしろい現象をおこす。エネルギーが中心核から外へ逃げていくため収縮して温度が上昇する。約 5×10^9 度を超えると鉄がヘリウムに分解する吸熱反応 (${}^{56}\text{Fe} + \gamma \rightarrow 13{}^{4}\text{He} + 4n - 124.4 \text{ MeV}$) によって不安定になる。そして、密度の上昇と電子ニュートリノの放出にともなって電子捕獲反応（原子核内外の陽子の中性子化： $e^- + p \rightarrow \nu_e + n$ ）がおき、中性子星（あるいはブラックホール）の形成へと進む。中性子星は原子核レベルの高い密度（ $\sim 10^{14}\text{g/cm}^3$ ）をもつ天体であり、太陽程度の質量が10km程度のサイズに

収まってしまう。これが超新星爆発*の始まりである。物体が持つ位置エネルギーは物体のサイズに反比例するため、このようにコンパクトな星の形成は莫大なエネルギーを生み出す。このエネルギーの一部は衝撃波の発生に使われ星を爆発させるのである。爆発によって、星の外層は吹き飛ばされるが、その際に局所的に急激な温度や圧力の上昇が起き、短時間に原子核反応が急激に進む。こうした原子核反応によって、金、銀、ウランといった重い元素が合成されるのである。超新星爆発は星の内部の元素を宇宙にばらまく。ばらまかれた元素はやがて重力によって集まり、新たな天体が生まれる。我々の太陽、地球もこうしたプロセスによって生まれた天体なのである。

* 超新星爆発は、光学観測のスペクトルによって、Ia型（水素の吸収線なし、ケイ素の吸収線あり）、Ib型（水素の吸収線なし、ヘリウムの吸収線あり）、Ic型（水素、ケイ素、ヘリウムの吸収線なし）、II型（水素の吸収線あり）に分類される。Ia型は炭素の白色矮星が爆発的に燃える現象と考えられ、Ib、Ic、II型は中心核の重力崩壊による爆発だと考えられている。

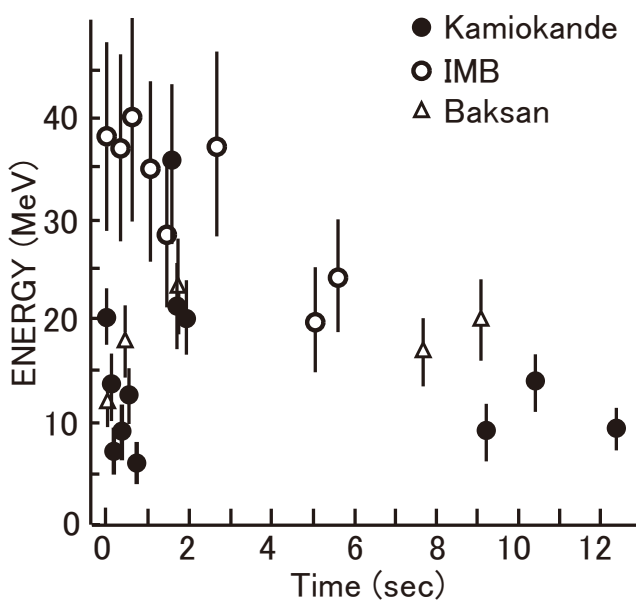


図3 カミオカンデ、IMB、Baksan実験が捉えたSN1987Aからのニュートリノ信号

以上は、天体物理学、原子核物理学によって描かれたシナリオであり、これが正しいかを実証するためには超新星爆発の観測が必要であった。次節で観測について述べる。

超新星爆発ニュートリノの観測

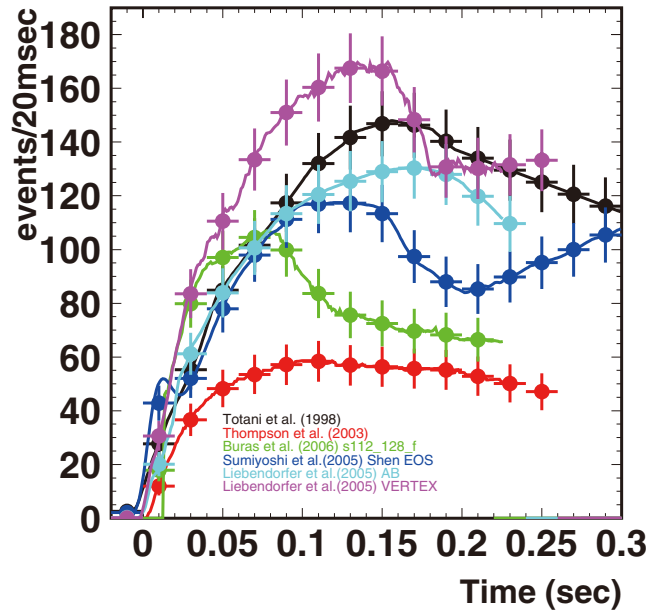
多種多様な元素の源である超新星爆発だが、爆発の際に解放されるエネルギーは非常に大きく 10^{46} ジュール以上と見積もられる。これは太陽が生まれてから今までに放出してきた全エネルギーの数百倍に相当し、いかに莫大であるかがわかると思う。このエネルギーのほとんど（99%程度）はニュートリノによって星から運び出される。ニュートリノは物質との相互作用が小さいために、高密度の星の内層を通り抜けられるからである。超新星爆発のシナリオを検証する出来事が1987年におこった。

1987年2月23日にカミオカンデ実験とIrvine-Michigan-Brookhaven (IMB) 実験は超新星 SN1987A にもともなうニュートリノバーストを捉えた。カミオ

カンデは、1983年に岐阜県神岡町の神岡鉱山の地下1000mの場所に建設された装置であり、3000トンの水タンクに948本の直径50cm光電子増倍管を取り付けた装置であった。IMB実験はオハイオ州モートン塩鉱の地下600mに作られた7000トンの実験装置であり、2048本の直径20cm光電子増倍管を使用した。この超新星爆発は、我々から17万光年かなたにある大マゼラン星雲で起きたものであり、光による観測を図2に示す。

図3はカミオカンデ実験、IMB実験（および後に観測が報告されたBaksan実験）が捉えたニュートリノ現象を示す。カミオカンデが11個、IMBが8個、Baksan が5個のニュートリノ事象を観測した。横軸の範囲を見てもらえばわかるように、ニュートリノが放出されたのは十数秒間程度だった。つまり、中心核が重力的に崩壊するのにかかる時間はたったの10秒程度だったのである。一方、爆発による衝撃波で星の外層が吹き飛ばされ、光が外へ出てくるまでには数時間かかる。実際、SN1987Aにおいて光度の増加が観測されたのは、ニュートリノ放出の時刻から3時間ほ

図4 いくつかの超新星爆発シミュレーションが予測する爆発から0.3秒後までのスーパーカミオカンデにおけるイベント頻度の変化。超新星までの距離は銀河中心までの距離（約3万3千光年）を仮定。



どたってからだった。

カミオカンデ、IMB、Baksanが捉えたニュートリノ事象はたった24個しかなかったが、その事象数とエネルギーから超新星爆発の際に解放されたエネルギーが見積もられ、それは予想されていた値（ $\sim 3 \times 10^{46}$ ジュール）とほぼ一致した。

将来の観測と爆発メカニズムの解明

SN1987Aのニュートリノ観測によって超新星爆発の基本的シナリオは正しいことが示されたが、爆発の詳細なメカニズムについてはまだ解明されていない。世界のいくつかのグループがコンピュータシミュレーションで超新星爆発を起こさせようと研究を行っている。しかし、現状では正確な情報を入力しているにもかかわらず「爆発」に成功していない。どうも何らかの物理過程が現在のシミュレーションには抜けているようである。この問題を解決するためには、もっとたくさんの超新星ニュートリノ事象を捉えて、爆発の様子を詳しく見る必要がある。我々の銀河で超新星爆発

が起きれば、50000トンの実験装置スーパーカミオカンデ（SK）では10,000近くの事象が捉えられるはずである。図4はいくつかのシミュレーションが予測する爆発から0.3秒後までのSKでのイベント頻度の変化である。超新星までの距離は銀河中心までの距離（約3万3千光年）を仮定している。精密な時間プロファイルの観測によってどのような爆発モデルが正しいかを判断できる。

超新星爆発の高密度状態はニュートリノ素粒子物理学にも新たな知見を与えるかもしれない。地下におけるニュートリノ観測によってニュートリノ振動が解明されてきたが、第3の振動モードやニュートリノ質量の階層性の構造など、解明されていないことがまだまだある。高密度の中心核では、ニュートリノ振動の物質効果（MSW効果）によって混合角が小さくてもニュートリノ振動が大きくなる可能性があり、超新星ニュートリノのスペクトルを使って、未知の振動パラメータが決まってしまう可能性もありうる。

我々の銀河での超新星爆発の頻度は30–50年に一度と言われている。何とか近年中に起きてもらい、豊

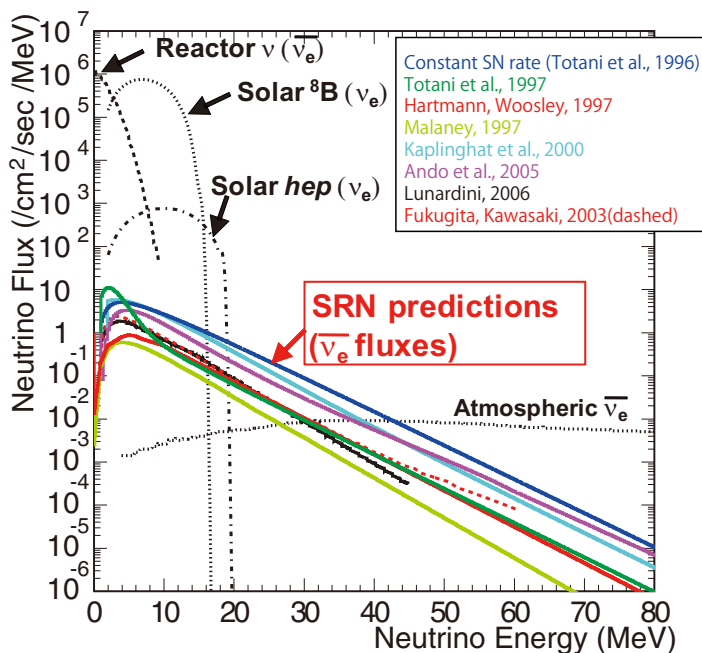


図5 地表にふりそぐいろいろなニュートリノのエネルギースペクトル。色つきは超新星背景ニュートリノの予想されるスペクトルを示す。

豊富な情報を我々に与えてほしいものである。

超新星ニュートリノで探る宇宙の歴史

我々の宇宙には約 10^9 個の銀河がある。ひとつひとつの銀河には約 10^{11} 個の恒星がある。質量が太陽の10倍以上の恒星は全体の0.3%程度なので、宇宙のはじめから起こった超新星爆発の数は 10^{17} 個と見積もられる。つまり、平均すると1秒に1回、宇宙のどこかで超新星爆発が起きてきたことになる。この宇宙のはじめからの超新星爆発によるニュートリノ（超新星背景ニュートリノとよばれる）は今の宇宙に満ちているはずであり、その強度は1平方センチメートルあたり毎秒数十個と見積もられている。こうしたニュートリノを捉える事ができれば、宇宙のはじめからの重元素合成の歴史を探ることができるかもしれない。

図5は地表においてどのようなニュートリノが飛んでくるかを示している。色つきの線は各種モデルから予測される超新星背景ニュートリノのスペクトルであ

る。エネルギーの低い方には原子炉からのニュートリノ、太陽からのニュートリノがあり、エネルギーの高い方には宇宙線が大気中で作るニュートリノがある。しかし、20MeV近傍は超新星背景ニュートリノが主たる成分であると考えられている。ちなみに、太陽ニュートリノは正粒子のニュートリノであり、それ以外は反電子ニュートリノである。したがって、反電子ニュートリノを捉えることができれば、10MeVから30MeVぐらゐの範囲に超新星背景ニュートリノが「見える」はずである。スーパーカミオカンデでは、超新星背景ニュートリノの観測に向けて開発研究を始めている。具体的にはタンクの水に質量で0.1%のガドリニウムという物質を溶かし、反電子ニュートリノが陽子と反応した際に陽電子と中性子がガドリニウムに捕獲されて放出されるガンマ線を捉えようという計画である。現在はその試験段階であるが、本番がスタートすれば年間何発かの信号を捉えられるはずである。超新星ニュートリノは宇宙をみる新たな手法を我々に与えてくれるはずである。

Our Team

トードル・ミラノフ

Todor Milanov 専門分野: 数学

IPMU 助教

コルトヴェーグ・ドフリース (KdV) 方程式は浅い水面を伝わる波の運動の数学的モデルであり、種々の観点から深く研究されてきました。特に、KdV方程式は、カドムチエフ-ペトヴィアシュヴィリ (KP) 方程式として知られる、より一般的な方程式を簡約して得られることが見出されました。KP方程式の解は、無限次元グラスマン多様体上の点によりパラメーター化されることが分かりますが、後者は幾何学と表現論にとって重要な課題です。一方が数学、他方が自然という、見かけ上は異なっている二つの分野が一つに結びついていることに、私に深い感銘を覚えます。

20世紀末に、KdV方程式が真空中でのストリング

の運動の振幅を支配していることが発見されました。私は、自明でないトポロジーをもつ、もっと興味深い空間におけるストリングの振幅を特徴付ける、KdVに似た他の方程式を見つけることに興味をもち続けてきました。もっと正確に言うと、私はストリングの振幅を特徴付けるために複素幾何学と表現論を用いています。今後も、新しい幾何学的対象と新しい表現論が発見されるものと思われます。



スコット・カーナハン

Scott Carnahan 専門分野: 数学

博士研究員

私は主としてMonstrous Moonshineの数学に関わる研究を行っています。この研究分野は、モジュラー関数の理論とモンスター単純群の表現論の間に関係があるように見えることから始まりました。最近の私の研究は、一般化されたKac-Moodyリー代数を用いた保形関数の構築、頂点代数の理論に対する対数的代数幾何学の応用、及び場の理論における圏論的構造に関

する問題に関わるものです。



Our Team

ラファエル・ダシルバ・デソーザ Rafael Da Silva De Souza 専門分野:天体物理学

博士研究員

私は宇宙の階層構造の形成と進化および宇宙磁場に関係するあらゆる現象に興味を持っています。これまで、初期宇宙、ガンマ線バースト、パルサー、銀河、銀河団における磁場の起源についての研究をしてきました。現在は矮小銀河における暗黒物質の質量プロファイルの進化の研究をしています。IPMUに滞在中、

第一世代星の形成に関係した研究に取り組みます。



ジェイソン・エヴァンス Jason Evans 専門分野:理論物理学

博士研究員

高エネルギー素粒子物理、具体的には現象論とモデルの構築が私の研究分野です。私は階層性の問題のような事柄を、自然に説明できるモデルを見出すことに興味があります。このようなモデルの一例で重要なものに、超対称性があります。超対称性は、階層性の問題の解決に加えて、大統一を示唆します。私は、こういったタイプのモデルに対して、衝突実験からどのような信号が得られるかを調べることに興味をもっています。階層性問題を説明するモデルのほとんどはTeVスケール

での理論であるため、LHCでテストできるはずですが。私は超対称性に最も注目していますが、また、標準模型の物理を超えるモデルでLHCや天体物理学的な観測でテストできるものには全て興味があります。



ブライアン・フェルドスタイン Brian Feldstein 専門分野:理論物理学

博士研究員

私は、一般的には標準模型を超える素粒子物理の研究に興味をもち、中心課題としてきましたが、最近ではダークマターについて色々な角度から取り上げています。DAMA実験により報告された、ダークマターの相互作用であるという謎めいた信号について、私はその原因を説明しようと種々のシナリオを研究してきました。また、私は通常のバリオンとレプトンがもつ物

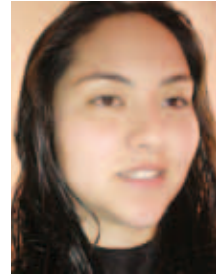
質と反物質の非対称性を、ダークマターが共有することを示すものとして、ダークマターが反ニュートリノに崩壊する可能性を研究しました。



エミレ・イシダ Emille Ishida 専門分野:宇宙論

博士研究員

この20年間ほど、超新星を宇宙論的な状況で利用することが脚光を浴びてきました。私の研究の出発点は、超新星を宇宙論に活用する可能性を調べることでした。その結果、標準光源としてのIa型超新星、特に超新星の観測的、統計的な研究に取り組んできました。私は、超新星による反作用効果、例えば、矮小銀河の暗黒物質の質量プロファイルへの影響などにも興味を持っています。



西澤 淳 にしざわ・あつし 専門分野:天文学

博士研究員

私は大学院在籍時より、宇宙最大の謎とも言われているダークエネルギーについて研究を行ってきました。宇宙マイクロ波背景放射やIa型超新星爆発の観測データを調べることで、現在の宇宙は加速的な膨張をしていることがわかってきました。この加速的な膨張の源となっているのが、ダークエネルギーの反重力的なエネルギーであると考えられています。私は、すばる望遠鏡を用いた近未来のダークエネルギー探索に関



わる中で、重力レンズ効果の観測によってこの未知なるダークエネルギーが一体何者なのか、突き止めようとしています。

大河内 豊 おおこうち・ゆたか 専門分野:理論物理学

博士研究員

超対称性を持つ場の理論は非常に魅力的です。弦理論や大統一理論がその存在を強く示唆する一方で、現象論的観点からも数多く望ましい点があります。また、現在稼働中の加速器実験では、その発見が強く期待されています。

90年代には、こうした理論の強結合領域をコントロールするテクニックが飛躍的に進みました。強結合領域には、豊かな物理が隠されていると考えられてい



ます。私はこうした理解を、現実の世界を記述するモデルの構成や、原子核におけるクォークの閉じ込めの理解に応用し、より多くの教訓を得ることを目標としています。

Our Team

コーネリアス・シュミット-コリネット Cornelius Schmidt-Colinet 専門分野:理論物理学

博士研究員

私は、2次元共形場理論の諸問題について研究してきました。2次元共形場理論は局所的に角度を保存するような座標変換のもとで不変であり、統計力学や超弦理論に応用されています。私は、境界のある曲面上で定義された共形場理論に興味をもってきました。これは、超弦理論ではDブレーンの励起を記述するものです。共形対称性が僅かに破れ、理論が繰り込みによって変化してしまうような場合があります。この繰り



込みの過程は、超弦理論においては、Dブレーンの崩壊や時空自身の変化のような時間に依存した過程に関係しているのではないかと考えています。IPMUで私はこうした方向のトピックの研究を目指しています。

チャールズ・スタインハート Charles Steinhardt 専門分野:天文学

博士研究員

私の研究は、新しい理論的アイデアや新しい観測によって、従来の説明が疑問視されるに至った天体物理学的現象に触発されています。例えば、私の学位論文では、最新の大規模クエーサーカタログに超巨大ブラックホールの質量を推定する新しい方法を適用することで、クエーサーの活動性が宇宙論スケールに渡り互いに相関しているという驚くべき結果を見つけました。この相関は、ブラックホールの形成過程に対する



現在の理論モデルでは説明できないように思えます。私は他にもダークマター、ダークエネルギー、基本定数の天体物理学的測定などに興味をもっています。

ミルチャ・ボイネアグー Mircea Voineagu 専門分野:数学

博士研究員

私の研究は複素及び実代数多様体に付随する(コ)ホモロジカルな不変量、特にモチヴィックコホモロジーとLawsonコホモロジー(その同変的様相について)、および半位相的K理論に焦点を当てています。これらの不変量は滑らかな代数多様体についての多くの情報を含んでいると期待されています。私の最近の研究は(V. Voevodskyによって証明された)Milnor予想の応用と拡張に関係しており、整数係数のmorphicコホモ



ロジーを特異コホモロジーにより部分的に記述する可能性に関する、非常に新しく興味深いSuslinの予想に注目しています。

東京に移り住む

ジュリア・フリードマン Julia Friedman



ジュリア・フリードマン：現職は早稲田大学国際教養学部助教。IPMU博士研究員のデヴィアン・イーサン夫人。

家族で新しい国に移り住むことは決して簡単なことではない。夫婦両方が働いており、二人ともに良い職を得る必要に迫られる場合は、一層困難である。2007年から2008年にかけての冬に、私の夫がIPMUからオファーを受けたとき、私たちは東京の生活を思い描いて胸をときめかせたが、そこで過ごすことになる3年間、私が何をするかという問題があった。私は美術史で博士の学位をもっているが日本語を話せないので、適当な職を探すとしたら、英語による教育課程で授業科目に美術史があるようなところが唯一の可能性である。しかし、良い職を得ることは決して不可能でなかった。夫がIPMUのオファーを受諾後、たった2ヶ月ほどで、私の同僚が早稲田大学国際教養学部の専任助教の募集広告を教えてくれた。運良く見つかったものであるが、その職は私の専門の現代美術だったので、直ちに応募した。それでも応募が望み通りの結果になるかどうか確信はなかった。2008年3月に東京を訪れた際、私はテンプル大学日本校にも履歴書を置いてきた。大学では常勤の職を募集しない場合でも、しばしば非常勤の教員を必要とすることを知っていたからである。これはうまくいった。テンプル大学のタイラー・スクール・オブ・アート（芸術学部）の教育課程では私の専門分野での2つの科目を教える教員を必要としていた。私は東京に引っ越して1ヶ月も経たない9月からテンプル大学で教え始めた。10月には早稲田大学から面接に呼ば

れ、その後専任の職のオファーを受けた。それ以来、早稲田大学で働いている。私はこれほど速くこれら2つの職を得られたのはとても運が良かったと思う。しかし、特定の分野の専門家、英語で教育・研究ができる人材を必要とする場合、恐らく単に適当な候補者が少ないという理由で、競争は英語圏諸国のように激烈なものではないのであろう。従って、余り多くはないにせよ募集があった場合、有能な配偶者にとってはその職を確保できるチャンスはかなり大きいというのが私の印象である。

また、子供の親としての私の経験は、大部分は肯定的なものであった。私たちが東京に来たとき、息子は5歳半で、幼稚園に通い始めて良い年齢だった。私たちは息子をインターナショナルスクールに入れることにして、時間をかけて探した末、港区の東京インターナショナルスクールに決めた。私の息子は学校が好きではあるが、もし読者のあなたが子供をインターナショナルスクールに入れようと思うなら、潜在的問題が2,3あることを知っておくべきである。第一は、授業料が非常に高いこと（典型的には年200万円程度）である。* 第二にあなたが学校に通わなければならないかもしれないことである。（私たちの場合、住んでいる場所がスクールバスの経路に沿っていないため、息子は電車で通わなければならないが、乗り換えが1回あり片道45分かかる。）第三に、もし子供が日本語を話さず、あなたが住む地域にほとんど英語を話す人がいない場合、子供を家

に呼んで遊ばせる約束（play dates）や下校後の活動に問題を生じるかもしれないことである。一方、東京での子育てはアメリカよりずっとストレスが少ない。東京は非常に安全であり、住民もとても親切だからである。また、息子は日本に住むことにより豊かな感性を身につけるとともに、国際色豊かな級友達が見せてくれる異なった文化について知識を得ている。彼がこれから受ける教育を長い目で考えれば、そのことにより恩恵をこうむることを私は疑わない。

東京で2年過ごした後、私はここに来たことは個人的にも職業上の観点からも間違いなく適切な決断であったと言えることができる。来日直後に、あちこちアパートを探して回ったり、いろいろ面会の約束をしたりしたが、IPMUの事務部門が助けてくれたおかげで、分かり難かったりいらしたということは全くなかった。ただ一つ私が悔やむのは、日本語を学ぶ機会を作れなかったことである。初め、私は6週間の速習コースで学ぶことを望んでいたが、結局は教育と研究で手一杯で、必要な6週間を捻出する余裕はなかった。英語を話さない人々と意思疎通できないことは東京での私の最大の問題である。従って、もしあなたがここに来る前に日本語を学ぶ時間があれば、是非そうすることをお勧めする。

* WPIプログラムのガイドラインに沿って、招へい研究者の子女教育のためにIPMUでは一部を補助している。

IPMUの日本語教室は大成功

ゾルタン・クンスト Zoltan Kunszt

チューリッヒ工科大学理論物理学研究所教授

アレクサンダー・クセンコ Alexander Kusenko

カリフォルニア大学ロサンゼルス校教授、IPMU上級科学研究員

IPMUは、おそらく物理と数学の研究にとって最も魅力的な場所の一つであり、それゆえに開所以来世界中から研究者を引きつけてきた。しかしながら、外国人研究者がIPMUを訪れたいくなるもう一つの理由がある。IPMUでの研究の展望にさらに一層の魅力を加えるものは、日本に来て、その素晴らしい文化について知る機会を得られることである。しかし、研究者は全員、数学という共通の言語で会話できるものの、ほとんどの外国人ビジターは日本語のほんの基本的知識さえ持ち合わせていない。

明らかに、ある程度基本的な言語能力がなければ、日本文化の美しさを十分に経験することはできない。幸いなことに、IPMUは外国人研究者に日本語の集中コースを学ぶ機会を提供している。とはいえ、何ヵ国語かを経験した者にとってさえ、日本語の学習は難しい。この点、この日本語コースは、西川正美さんという、日本語を学習する上での最初の困難をはっきりと理解している、傑出した、創造的で深い経験を有する活動的な教師により、恩恵を被っている。西川さんはとてもやる気を起こさせてくれる人である。彼女の教師としての技術は素晴らしく、厳格であり、また非常

に熱心である。西川さんは生徒の多様な文化的背景について広い知識を持っており、彼女に教わることは実に楽しい。

西川先生の2時間の授業では、いろいろな学習が詰め込まれている。新しい教材、会話練習、文法、簡単な音節文字である平仮名、片仮名による読み方、等々。しかし、彼女はまた、漢字という表意文字の魅力的な世界への初歩的な教材をも用意してくれる。欠けているのは休憩時間だけである。しかし、誰も不平を言わない。教材はとても興味深く、とても良く準備されているので、途中で休憩を入れるとむしろ興ざめとなるであろう。生徒にはいろいろな大学の物理や数学の教授もいるが、自分の講義を聴く学生がこの半分でも熱心であつたら良いのにと願うくらいである。

西川先生のスタイルは、学ぶことと遊ぶことをはっきり区別せず、学習を実生活の例や対話や、特別に用意された練習問題で盛り上げることである。彼女の楽しいけれども面白くて楽しめる授業は、普通、生徒達が新しく学ぶ言語で初めて何か話すことを求められたときに感じるためらいを解消してくれる。

西川先生は、生徒達がほんの少し学んだ日本語を、



左から西川正美、ジアユ・タン (唐 佳婷)、コーネリアス・シュミット-コリネット、ヨハンナ・クナップ、アレクサンダー・クセンコ、ラダ・キリッチ、マリカ・クンスト、ゾルタン・クンスト

地域の文化的なイベントや、日本の歴史上のできごと、魅力的な観光地、美味しい日本料理やその作り方に結びつけることができる。特に著しいことは、彼女が日本語劇の上演で授業に彩りを加えたことである。

西川正美脚本、監督による「龍馬伝」の制作には、そのときの生徒全員と既にコースを修了した数人のボランティアが参加した。西川先生の脚本が、日本と諸外国との絆を強めた歴史上の出来事を扱ったことは適切であった。IPMUは今日、同様の役割、つまり日本と諸外国の研究者を結びつけるという役割を果たしているからである。

脚本はとても優れており、配役は豪華キャスト——必ずしも演技の観点からではないにせよ——であった。明らかに、俳優は真剣に、情熱的に——典型的な物理学の講義のようにではあるが——せりふを述べた。真木よう子や福山雅治ではないが、それでも男

優も女優も刀や小道具を見事に使いこなし、観客は刀がプラスチックであってほしいと祈るばかりであった(実際、一つを除いてそうだったのだが)。もっと大事なことは、俳優が西川先生の教室で学んだ単語と文法を見事に使いこなしたことである。また、この日本語劇上演にあたり、IPMU事務部門に大変お世話になった。

厳しいが楽しく面白い日本語集中コースを修了した生徒には、日本語で発表する機会が与えられ、そのあとでIPMU機構長と日本語教師のサインした修了証が授与される。勿論、これは日本語と日本文化の無限の宇宙に足を踏み入れる小さな第一歩に過ぎない。しかし、これは、西川先生の日本語教室の修了生が将来IPMUと日本を訪れて、練習を続けより良い日本語の知識を得る際、多大な感謝とともに思い出すであろう最初の日本語のレッスンなのである。

Special
Contribution

益川敏英教授に聞く

聞き手：杉本 茂樹

最初の論文はドクター論文

杉本 よろしくお願ひします。
まず益川さんの大学院生時代の話を知りたいんですが、どんな雰囲気だったのですか？

益川 名古屋大学の当時のシステムとしては、大学院に入りますね。その時に、実験志望の人は志望の実験室へ配属される。理論はね、配属されない。まだ決めるのが早すぎるって。1年くらいは理論の各研究室をまわる。マスター論文を書く段階で配属が決まるわけですね。大学院でドクターに入っても、即、教室会議メンバーということにはならない。研究室へ配属されて、みんな見ている、この人は一応学ぶ立場から研究のスタートラインについた、という段階で推薦を受けて、教室会議

益川敏英さんは「3世代のクォークの存在を予言した対称性の破れの起源に関する研究」、つまりCP対称性の破れに関する「小林・益川理論」で小林誠氏と共に2008年のノーベル物理学賞を受賞しました。他にも1985年に日本学士院賞、2001年に文化功労者、2008年に文化勲章など、多くの輝かしい受賞歴があります。1967年に名古屋大学で理学博士の学位取得後、名古屋大学助手を経て1970年に京都大学理学部助手、その後、東京大学原子核研究所助教授、京都大学基礎物理学研究所教授、京都大学理学部教授などを歴任、1997年4月から2003年3月まで京都大学基礎物理学研究所長。現職は名古屋大学特別教授・素粒子宇宙起源研究機構長、京都産業大学理事・教授。

で承認されれば研究員になると、そういうシステムだったんです。まあ、何はともあれ研究員になった。その次に起こった傑作な話がね、当時はマスターを卒業してドクターに行くときは試験をされた。ペーパーテストじゃなく面接だったけれど、院生にとっては余り好ましいことではないわけ。だからあれは止めさせろということで、院生の集まりでマスター・ドクター一貫という方針を出した。次に、それを決めるのは教室会議の教育委員会だから、教育委員会に立候補して、中に入れば発言できるというので、院生は相当数いるから誰か入れようということになって、口数が多い益川が良いだろうと、放り込まれた。そうしたら院生が入ってくると対等だ、デューティーも対等だというのでね、学部学生の授業のカリキュラムを作っているカリキュラム委員会に放り込まれた。

杉本 え、そんな仕事？院生の頃ですよ。

益川 敵もさる者でしょ。で、何はともあれマスター・ドクター一貫を唱えなきゃいかんというので、教育委員会で発言するわけ。すると、それを検討する小委員会を作ろうということになって、その中には早川先生¹が入っているわけ。で、小委員会開いたら、誰を小委員長にすべきかと……そしたら僕だ。

杉本 (笑い)

益川 院生だよ。まあ、先生方

に自信があったんでしょね。ど
ういう結論になってもそれなりに
適当な答にもっていけると。で、
早川先生を部下に従えて小委員
会を開いた。僕の作戦はね、一
体どの段階で、何はともあれ論
文、第一報を書くか、それを10
年くらいの期間についてサーベイ
するわけ。そうしたら、当然マス
ターの2年くらいで書く人もいれ
ば、ドクターの3年くらいに初め
て書く人もいるわけ。バラバラに
決まってるでしょ。だから、試験
でマスター・ドクターを一律に分
けるのはいかになものかと、そ
ういう論理で、5年一貫にしな
きゃいかん。

杉本 そうですか。

益川 で、坂田研究室²に入って、
その後でもよく言われるだけ
ど、益川は論文を一つも書いて
ないのに威張っていると(笑い)。
僕はね、ドクター論文が一番最
初の論文なの。その前に、岩崎
洋³さんが、夏の学校でも名
古屋の連中は威張っている、で、
どれぐらいのものかというんで武
者修行に見えた。だけど、当時
は北京シンポジウムだとか日中
学術交流の学生版とか、夏の学
校の当番校だとかいろんなのが
あって忙しく、ほとんど相手もせ
ずにお帰りいただいた。そうし
たら、大槻昭一郎氏⁴から結構長
い時間しぼられた。せっかく仲間
が来ているのに、お相手もせず
に帰ってもらうのはどうい
うものか。その時に言っていたことは、
箱根から北の方は論文というの
は目目で測ると。内容でなく。(当
時はまだ尺貫法の時代だった。)

杉本 あ、重さの単位。

益川 そう。良い論文か悪い論
文かじゃなくて量だと。だから俺
達はそんなことはしないという
標語なんだけど、それでもゼロだ
から(笑い)。ゼログラムに質な
んかある訳ない(笑い)。

杉本 そうですか。

益川 質の高い論文を書かな
ければならないという意識はあ
ったんだけど、実践はしていな
かった。

杉本 行き詰まったり、悩んだり
とかいうことはあったんですか。

益川 僕はね、人間的には行き
詰まる立場じゃないの、そ
ういう性格じゃない。

杉本 へえー。

論文速報会で出会ったCP対称性の破れ

益川 行き詰まるような局面
では何が問題で、どうなのか
ということを分析して、それ
に対応するという立場だから、
自分で分析してね、この
テーマは自分に対して荷が勝
ち過ぎているというんだ
ったら、悩まずに他に転身
する。概ねは、何が困難で
今これができないのかとい
うことを、一応自分で
ストーリーを作るんです。
そんなもの当たるわけ
ないけれどね。だけど、
そうやって考えてみ
ますとね、事態が進展
して新しい突破口
みたいなのが見え
始めたときに良く
見えるのです。だから
CPの時に比較的、
世界的に見ても
早かったと思う
んです。それは、
マスターの終
わりかドクター
の始めだと思
うけど、ジャー
ナルクラブ、
速報会という
ものをやっ
ていたんです。
今はそんな心
配しなくてウ
ェブページで
クリック
りゃあ見えて
るわけね。

杉本 そうですね、はい。

益川 だけど当時は雑誌一
冊でしょ。そうすると新
着雑誌の取り
合いになる。
それで手分
けして新着
雑誌を紹介
するという
会を、E研
(名古屋大
学の素粒
子論研究
室、Eは
Elementary
Particleを
表わす標
語)の研究

杉本茂樹さんは理論物理学を専門とするIPMU教授です。京都大学大学院で益川研究室に所属して博士の学位を取得しました。





室全体でやった。僕が一番最初に番が回ってきたとき、三冊か四冊与えられたんだけど、その中にフィッチ・クロニンたちのCP対称性の破れの論文が入っていた。で、読んだけど、最初、これ大したことない、とスキップしようかと思った。しかし、なぜか、一応報告はした。何か変なことが起こっているなあというだけで良くわからなかったけれど、僕の記憶の中には、なんかヘンテコなことがあるぞという認識みたいなのが残ったんですね。それと、論文は書かなかったけど、弱い相互作用の理論の追っかけができた。当時、弱い相互作用を研究している人はたくさんいたけど、弱い相互作用を研究してるじゃなくて、弱い相互作用をプローブとしてクォークモデルを研究しているわけ。僕自身は、弱い相互作用も繰り込み可能なような理論でやらないとダメだなあという信念ができた。僕、プレプリントの段階で年数は覚えてるもんだから、僕にとっては69年なんだ

けども、あのGIMの論文⁵が出ました。牧さん⁶が論文を書いたときに、この論文を益川からインフォームされたと書いてあるんですが、牧さんが興味をもったのは、弱い相互作用のhigher orderの考えから、チャームがあった方がいいぞということなわけ。僕が面白いと思ったのは、そうじゃなくて、その議論の後に、二倍ぐらいのスペースがあって、どこまで繰り込み可能かってこと、非常に丹念に調べてあるのね。

杉本 ふーん、そうですか。

益川 それで、71年……72年にトーフとベルトマンの論文⁷が出て、その頃は京都にいたのだけれども、九後君⁸によれば僕はセミナーをやったんだと、何人か集めて。それでまあ、トーフとベルトマンが繰り込み可能だといったので、じゃあ、ここらへんで放っておいた問題に取りかかってみようかと。CPの対称性の破れを取り上げる時期が来た、計算可能になった、いうことなんです。そのとき小林君⁹が考えていたのは

ね、直接は聞いてないけど、多分、丹生(にう) イベント¹⁰ だと思うよ。

杉本 丹生イベントって何ですか。

益川 宇宙線の中でチャームが見つかったという、一例だけだよね。本当にそれがそうだったかどうかということ、難しい問題。しかし、全体としてみれば、その当時、半信半疑みたいなの。

杉本 名古屋ではかなり信じられていたのですか？

益川 比較的、信じられていた。で、小林君と、そのCP対称性の破れの問題を取り上げてみようかということをお願いしたのは、どちらでもなかったと思うんだよ。その前からカイラルダイナミクスをやっていて、そして、名古屋にいたときに小林君がどうも一緒に名前を入った論文を書いている。彼はマスターの2年の頃だったかな。いつの間に入っていた。だけれど僕は、自分が入れと言った覚えがないもんだから、記憶になかったけど、「やあ益川さん」って、彼の口調で、こう、口をとんがらかせて、「一緒に名古屋の時期にちゃんと書いてますよ」と。で、見ると確かに論文の中に彼の名前も入っている。それで、再び京都で一緒になったんで、取り上げてみようかと、何かをやろうかということになった。

徐々に知られるようになった小林・益川理論

杉本 CPの破れというのは、当時、大きな問題だったんですか。

益川 当時はあんまりそうじゃない。64年だったと思うけども、フィッチ、クロニンたちの論文が出たすぐあとに、一人ね、第五の力、五番目の力を考えて、説明するというやり方があった。第五の力が、そもそも、破れをもっているんだという、仮定イコール。だから多少追っかけた人は

いたけども、ほとんど誰も。で、その段階で我々が取り上げて論文を書いた。だけどほとんど無視。あれはグラシヨー¹¹ か、75年ぐらいに我々のことを知らずにオリジナルとして書いたのね。

杉本 ふーん。

益川 だけれど、それに対して岩崎さん³、菅原先生¹² たちが評価してくれた。岩崎さんは基研におられたから見ているわけ。で、すぐ筑波(大学)に行かれたんで、こういう面白い論文もあるよといって、(高エネルギー物理学研究所の)菅原先生にインフォームして下さい。それで菅原先生はアメリカに友達がいるから、こういう論文があるぞと言ったけれども全然問題にならなかったというので、バクバサ氏¹³ と一緒に論文書いて、アメリカでも物理学会でも講演されているのかな。菅原先生は、2つくらいしか違わないんだけど、大学ぐらいの時かな、アメリカに留学されて活躍されていたもんだから、当時じゃ大変有名な先生だった。その先生が、紹介して下さいということであ、公知され、少しずつリファレンスは増えていった。

杉本 発表された当時は、ほとんど注目されていなかったのですか？

益川 牧二郎さんが、四元クォークモデルの論文を書いたときに、ちょっと引用してあるのが1つで……あとはもう、3年くらい引かれな。初めて菅原先生たちのが……。

杉本 菅原さんたちの論文が出て、割と知られるようになったんですね。

益川 そういうものがあるということが知られて、で、78年かな、東京コンファレンス¹⁴ があつたときに、南部先生¹⁵ がいろんなモデルでCP対称性の破れを分析しているんだけど、やっぱり、小

林・益川で良いんじゃないかということ、サマリートークの中の一部で言って下さった。で、その後、E研卒の仲間内の人間が10人くらい集まって、新宿の百貨店の屋上のビアガーデンで2リットルのビールを飲まされました。

杉本 やったぞ、という感じですか？

益川 一応、南部先生が、これでいだろうというので、勝利宣言みたいなものですね。

杉本 なるほど。

益川 で、その後は、完全に記憶にありません。家までどうやって帰ったか。¹⁶ (笑い)

杉本 あー、そうですか (笑い)。小林・益川の論文でも、CPの破れていくつか提案されてますよね、ヒッグスが2つあるようなモデルとか……。

益川 あれはね、どういうことかという、こういうなんです。僕はほとんど知らないんだけど、坂田先生の坂田モデル¹⁷が出て、その後はどうしてゲルマンのオクテット¹⁸に行かなかったか、行けなかったかということに興味があったものだから、いろんな人に聞きとりをやった。で、大貫先生¹⁹にお聞きしたらね、「自分は3次元表現からオクテットを作るやり方は知っていた、知っていたけども、坂田先生の原体験がある」と。それは何かと思ったら、坂田先生は学士論文でね、ハイゼンベルグ²⁰の原子核構造論の論文を非常に生き生きと取り上げた。あそこで一番大きなことは、ニュートロンの発見だと。ニュートロンが見つかるまでは、もう、いろんな矛盾があった。陽子(p)と電子(e)だけでやるわけですからね。それが中性子の発見によって原子核の問題は、一気に氷解していった。その原体験があるものだから、1950年代の新粒子が続々と発見されて

いったぐちゃぐちゃしてる世界を、やっぱりハイゼンベルグのごとく、何か新しいものの導入によって一気に解決するんだ、という意識があった。で、その時に重要なことは、ハイゼンベルグと同じように、現実にある粒子を、これが素粒子なんだと。だからpnΛ。その原体験が非常に強かったから坂田先生は仮想のクォークに基礎を置くというような所へは行けなかった。で、大貫先生がやはり自分もそういう中で、そういう考え方に引きずられていたということをおっしゃった。そこで益川の方法論。何かと言ったら、現状の問題を突破口みたいなのが半分でもいい、見つかったらその段階でそれに凝り固まるんじゃなくてね、もう1回元に戻れと。

杉本 なるほど、ほかの可能性を探るわけですね。

益川 僕はそれをアブストラクションと言ってるけれども、半分ぐらい成功した方法を、1回抽象化してみろ、そうしたら、もっといろんな可能性が見えるだろうと。はじめ、何も解らないときはかなり具体的なことでないと発見の道が見つからないけれど、見つかったら、何も、吉田口から登らなくても御殿場口からでも登れるんじゃないかということになるわけ。そういうことがあるものだから、当時思いつくものを書いてみようと思つた。で、ミステリーを言うとね、僕はちゃんと6元クォークモデルを一番最初に書いた。だけど、小林君に僕の日本語の原稿を渡したらね、どういう考え方かしらないけども、彼は、一番最後にした。

杉本 あ、順番が変わったわけですか。

益川 そうでしょ、1番最後でしょ。

杉本 あ、そうでした。益川さんの中では、やっぱりクォークが



6つあるというのが一番魅力的だったのですか？

益川 それは一番面白い。だけどその後、なぜ順番を変えたかということ小林君と話してませんけどね。

お風呂で思いついた6元クォークモデル

杉本 そうですか…。あの、お風呂の中で思いついたとよく聞かれていますけど。

益川 それはね、まあ、数学だったらね、クォークを100個考えたっていいわけ。それで一般論を考えればいいんだけど、素粒子は実証科学だから、現実にそんな100個考えて面白い理論ができたってね、なかったらしょうがないわけね。当時としては、3つは見つかった。4つ考えたから、面白い理論ができるということはわかっていた。だから、やっぱり4で片付けようという意識が、強いんですね。でも、小林君と色々議論していてもね、うまいモデルが見つからない。今日の

言葉でいったらライトハンドカレントを混ぜるといって、そんなモデルを作れば何はともあれCP破れるんじゃないかと言って、小林君に見せた。僕は多分その段階で小林君はわかっていたと思うんだけど、慎重だからね。「家で検討してきます」と言って、翌日「あれはダメです。g_A/g_Vレイションが合いません、符号が合いません」と、却下。それから2人で、どうしたら何とかなるか、それはもう4元モデルの中で考えるものだという、枠組みみたいなものがあったわけね。だから4元モデルを諦めるという作業が必要で、それは、苦しまざれにね、苦しいから逃げようという思いを、小林君が一番最初に抱いてもいいし、僕が抱いてもよかったわけ。どちらでも良かった。たまたま、僕の方が早く諦めた。ねばり根性がないんでしょうね (笑い)。お風呂の中でとか、一人だけにいるところっていうのは、比較的、具体的な考察をするんじゃなくて、ポケット、全体構想を見たり考えるに

はい場所ですよ。お風呂に入っていて、どちらの方向に行くべきかというようなことで、もうどうしてもうまい方法が見つかりそうもないし、だから格好悪いけどうまくいかんという論文を書こうかと、失敗しましたという論文でも書いてもう終わりにしようと、俺はもうこれ以上やるの嫌だと(笑い)。で、そう思って立ち上がった時に、何もそんなね、格好悪いことやらなくても、6元クォークモデルだったらうまくいくよということね、やればいいじゃない。だから、6にしたらうまくいくってのはね……

杉本 もう大体わかっていた。

益川 うん、その前にね、何も考えないときでも、6にしたらどうなりますかって誰か質問してくれれば即答できるぐらいの問題だったわけ。数勘定だけでしょ。

杉本 まあ、そうですね。

益川 それで、思いついて、翌日。大体10時に小林君が来るんでその時から議論を始めるんだけど、前日考えた6にしたらうまくいくという方向で論文を書いたらどうかと小林君に言ったら、彼もほんの瞬だけ考えて、そうですねと。それぐらいの問題だった。

杉本 それを思いついた瞬間というのは何か大きな感激はなかったですか。

益川 なかったですね。変な言い方すればね、ああ、これで終われると(笑い)。

杉本 そうですね(笑い)。

益川 そんなにね、大きな仕事やったという認識はなかった。むしろ、岩崎さん、菅原先生、それから寺沢さん²¹も、これは良い論文だという認識はもっていた。だから、箱根から向こうの人の方がね、そういう感覚があったんだと思う。僕は、ただ、前から気になっていたCP対称性の破れに対して、答えを出したと。で、

こちらでは益川君、本当に6個もあるの、とからかわれました。

杉本 そうですね、でもその後実験で次々と見つかっていきますよね。その時の気分はどうだったんですか。

益川 いや、もう……どうなんだろう。ライフワークみたいに継続的にやる人がいるでしょ。この仕事やったら次こうって。そういうタイプじゃないもんだから、手放しちゃったら自分の仕事という感じを僕はもたない。だからノーベル賞おめでとうございませと言われたときでもね、どっちかと思ったら、嬉しくはないことはないんだらうけど、飛び上がるほど嬉しいってような話でもないですね。僕にとっては。ああ、なんかあそこのあの仕事がね、どうも賞に値したらしいという(笑い)。

杉本 そうですね。

益川 人によるんだらうけどね、そこらへんの感覚は。

杉本 やっぱノーベル賞の話を聞きたいんですけど、改めて今、感想を伺えますか。

益川 うーん、日本がちょっとおかしいんだと思うよ。ノーベル賞ってのは、アメリカでは多分そんなに大騒ぎしないんだと思う。

杉本 しないですね、確かに。

益川 サラッとね、知っている人ぐらいい一言、おめでとと言う、それぐらいで僕は済ませるべき事柄だと思えますね。

杉本 そうですね。なんか、生活が変わったりとかありますか。

益川 生活といえば、僕の性格がいけないんだけど、講演とかね、インタビューって頼まれるとあんまりイヤといえない性格だから、そのおかげで(笑い)。

杉本 忙しくなりましたか。

益川 うん、そういう意味では。それともうひとつ、僕は結構漫才キャラで面白いこと言うでしょ。だから、テレビで覚えられちゃう。

杉本 (笑い)

益川 いろんな所で、握手を求められたり、サイン求められたり。

坂田先生の思い出

杉本 最初のほうで聞きそびれたのですが、坂田さんの思い出というか、どんな方だったのですか？

益川 当時は、学会会議の仕事で、週単位で行き来している先生。で、E研のこの勤務室に現れた時は、先生にとっては、リラックスする時間なの。だから、概ねおかしなことしか言っていない。

杉本 そうですね。

益川 コロキウム室でね、はじめのうちは聞いているけれど、そのうちに新聞読みだすわけ。新聞も一通り読むと、お茶沸かしてお茶汲み始める。あ、止めろってことだなって(笑い)。ある日、コロキウム室でやっていたら、停電になった。そのとき先生、運悪くね、ぱっと正面見ちゃった。そうしたら電気時計が動いているわけ。

杉本 はい。

益川 誰かがね、停電だと言ったわけ。そしたら、「いや、時計動いてるよ」って。

杉本 電池で。

益川 そう、すぐそれに気が付いた。そこで、「停電というのは、電磁相互作用が切れることであって、今起こっている現象は、送電が中止されたというべきである」と。

杉本 (笑い)

益川 一事が万事こんなの。その坂田先生がね、基研の『模型と構造』という、先生が主催していた研究会に行くと、最後の日にサマリートークする。そうするといいこと言えるわけ。

杉本 (笑い)

益川 先生、だったらE研で話をして下さいって言いたくなっただけでも(笑い)。だから我々はね、基研でやっている研究会の時にね、本当に耳をそばだてて聞いてた。

研究室経営という考え方がね、先生の中にもあったと思うけども、色んなことよく考えて見えた。例えば、研究グループがどういう機能を持っていたらいい研究組織になっていけるかという。それで有名な言葉にね、「最良の哲学と最良の組織、これがあればいい研究が出来る。自分は只野凡児である」と。戦前に4コマ漫画にあったのね。それに風貌が似てたもんだから、朝永先生²²なんか文章にしておられるけれど、只野凡児というあだ名が付いて、で、いやがらなかった。だからおまえ達、若者もね、ここで育てば、最良の哲学と最良の組織があるんだから、いい研究が出来るんだぞと。で、僕はだまされて、一生懸命(笑い)。

杉本 僕は、益川さんの研究室に入ったとき、益川さんが直接言われたか覚えていないんですけど、「先生」と呼ぶんじゃないと言われてましたよね。

益川 この考え方はね、我々の素粒子論グループの中では、木庭先生²³ 基研の教授の時に、木庭『先生』と言うとね、「私はおあなたにお教えしたことはございませぬ」って、返事してくれない。そんなこんなで、坂田先生は、自分がちょっとおかしなこと言ってもね、若いのは「違うんじゃないですか」と言えないだろうと、だから基本的にそういう議論が対等にできるためには上下関係があるような組織ではいけないという、そういう思いだったんじゃないか。僕は先生がそんなことおっしゃったことは聞いたことはないけれども、先輩から伝わって

るわけ。

杉本 そういう伝統があったんですね。ちょっと変なこと聞きますが、益川さんは坂田先生に対して「坂田先生」と言われてますよね。

益川 だって、実際に先生だもん。

杉本 (笑い)。いやいや、益川さんから先生と呼ぶなど言われたんだけど。

益川 いや、坂田先生には言えなかった。湯川さん²⁴は湯川さんです、僕は。

杉本 あ、そうですか。

益川 その関係は面白くてね。僕、ここの院生の頃にね、基研へ行った。お昼はね、我々もご相伴にあずかる。そうすると、見慣れないちっちゃい奴がいるけど、「君、どこの学生かね」っていう。だから、「坂田先生の名古屋からきました」と。で、どういうこと考えているとか多少議論する訳。そうすると言葉の端々に坂田先生を尊敬するようなことが入ってくる。しょうがないでしょ。そうすると、湯川先生が段々、段々厳しくなる。

杉本 (笑い)。そうなんです。

益川 あの年になってもね、それぐらい、競争心というか。

杉本 ライバル意識ですか。

益川 そう、ライバル意識。反対にね、湯川先生が1日だけ名古屋に見えた。そしたら、湯川先生の大きなカバンをね、サッと取ってドアをスッと開けて通すわけ。師弟の関係をちゃんと実行している。で、僕は、坂田先生と議論しあうと、少しはうしろを歩いているわけね。本来だったら、ドアがあったらサッと開けて、先生を通さなきゃいけない。僕は先生に開けさせて通ってました。

杉本 (笑い)

益川 気がつかなかったの。通ってからしまったと思った(笑い)。坂田先生はね、そういう意味で、モラルとか価値観の上でもね、

上の人、先輩に対しての振る舞い方と、若手に対して、自分が振る舞い、振る舞わせるのが価値観が違うわけ、表現形が違うのね。なんていうかな。二重性格。

KMIとIPMU: 最初は素朴な人的交流から

杉本 そうですか。では、最後に、KMI (Kobayashi-Maskawa Institute)、素粒子宇宙起源研究機構ですね。これについて、どういう方向を目指しているのかとかいうことを。

益川 基本的にはね、宇宙は宇宙。こちらを立ち上げたのは山脇君。²⁵ 彼は、素粒子には階層性があるという立場でしょ。今のクォークにもやっぱり構造があると言ってる。彼が中心で、そういう方向になっていきます。

杉本 ノーベル賞を取るような新しい研究を目指すのですか。

益川 直接そういうことはないです。結果として、良い仕事のうちの、ある種の仕事がノーベル賞に値する。僕は、取るぞと言ってかけ声かけて取るものではない。しかし、やはり根元的なことを説明するというのをいつも念頭に置いておくんでしょね。仕事しなきゃいかんから、ペーパーを書きやすいようなテーマでなんかやるということはある。僕はそれを否定しない。そういうアプローチは大事なんだけど、その頭の隅でね、根元的なことに対する疑問に対して答えるという、そういうものを探すという指向性はあるんでしょね。

杉本 KMIには多元数理の所属の、物理に近いような人も入っていますね。だから、自然界を記述するということと、ちょっと違う方向性もありますね。そういう何か違う分野との連携は、どう形で進めていくのが良いと思いますか。

益川 一番ベースは人間関係だろうと思います。日常的に、飯食った後に無駄話するような機会があるとか。そういう中で、両方にとって興味深い問題が出てくるんだと思う。その先はやり方は色々ある。自分はこれが専門だと決めてかからない方が良いと思う。自分はこういう道で一生懸命やってきた、故にこういうところに技術があるぞ、知識はあるぞという、それをベースにして違ったスキルを持った人達と一緒に仕事をすれば、もっと大きな仕事ができるんだと僕は思うんだ。

杉本 僕が今いる「数物連携宇宙研究機構」には本当に純粋な数学をやっている人もいます。どうやって連携していくかというのが結構大きな課題だと思うのですが、そういう意味でKMIと割と近いところがあるような気がします。IPMUとKMIのなんらかの連携の可能性があったら、どういう形がありますか。

益川 初めは素朴な交流だと思う。セミナーに呼んで、面白いこと言っている奴いるぞとか、それももっと本格的に、半年ぐらい来いよとかね。そういうものをベースに、お互いのことがわかった段階で、継続的に研究ができるような機構を考えようかということになるんだと思う。やっぱり僕は一番最初は人的交流だと思います。素朴な交流も含めて(笑い)。

杉本 酒を飲んだりとか。

益川 まあ、そこまでいなくてもいいけど、それに近いことね(笑い)。

杉本 長い間どうもありがとうございます。

- 1 早川幸男 (1923-1992)。専門は素粒子理論、宇宙物理。後に名古屋大学学長を務めた。
- 2 坂田昌一 (1911-1970) が主宰した名古屋大学の素粒子論研究室。
- 3 岩崎洋一。後に筑波大学学長を

務めた。

- 4 大槻昭一郎。九州大学名誉教授。
- 5 S.L. Glashow, J. Iliopoulos, and L. Maiani, *Physical Review D* 2 (1970)1285.
- 6 牧 二郎 (1929-2005)。後に京都大学基礎物理学研究所長を務めた。
- 7 G. 't Hooft, *Nuclear Physics B* 33 (1971) 173 and B35 (1971) 167; G. 't Hooft and M. Veltman, *Nuclear Physics B* 44 (1972) 189。トーフフトとベルトマンはこの業績で1999年にノーベル物理学賞受賞。
- 8 九後汰一郎。後に京都大学基礎物理学研究所長を務めた。
- 9 小林 誠。益川教授と共に2008年にノーベル物理学賞受賞。
- 10 丹生 潔 (名古屋大学名誉教授) が1971年に宇宙線実験で見出した特異な事象。
- 11 S.L. Glashow。電弱相互作用の統一理論で1979年にノーベル物理学賞受賞。
- 12 菅原寛孝。後に高エネルギー加速器研究機構機構長を務めた。
- 13 S. Pakvasa。ハワイ大学教授。
- 14 第19回高エネルギー物理学国際会議。日本で初めて開催された素粒子物理学で最も大きな国際会議。
- 15 南部陽一郎。シカゴ大学教授。自発的対称性の破れの発見で2008年にノーベル物理学賞受賞。
- 16 当時、益川さんは東京大学原子核研究所勤務。
- 17 陽子、中性子、ラムダ粒子を基本粒子として、他のハドロンはこれら3つとそれらの反粒子から成るといふ、素粒子の複合模型。
- 18 M. Gell-Mannはハドロンを8重項(オクテット)に分類することを提唱。その後、分数電荷のクォークを基本構成要素とするクォーク模型を提唱した。1969年にノーベル物理学賞受賞。
- 19 大貫義郎。名古屋大学名誉教授。
- 20 W. K. Heisenberg。量子力学の創始者の一人で、1932年にノーベル物理学賞受賞。
- 21 寺沢英純。元東京大学原子核研究所。
- 22 朝永振一郎 (1906-1979)。量子電磁力学への貢献で1965年にノーベル物理学賞受賞。
- 23 木庭二郎 (1915-1973)。最後はニールスボーア研究所教授としてコペンハーゲンで客死。
- 24 湯川秀樹 (1907-1981)。中間子の存在の予言により1949年にノーベル物理学賞受賞。
- 25 山脇幸一。KMI副機構長、名古屋大学名誉教授 (特任教授)。

CLJ2010+0628: 巨大銀河形成から宇宙論まで

林 彦廷 Yen-Ting Lin

IPMU 博士研究員

ジョン D. シルバーマン John D. Silverman

IPMU 助教

高田昌広 たかだ・まさひろ

IPMU 准教授

田中賢幸 たなか・まさゆき

IPMU 博士研究員

暗黒エネルギー成分が支配的な冷たい暗黒物質モデル（以下、 Λ CDMと略す）は現在の代表的な構造形成の理論モデルであるが、暗黒物質の重力的な収縮過程はハローを形成し、ハローは他のハローとの合体あるいは質量降着を通して成長する。宇宙モデルを仮定すれば、解析的なモデルや数値シミュレーションを用いることにより、大質量ハロー（例えば、 10^{13} 太陽質量以上のハロー）の個数密度や空間的な分布を精密に推定することが可能になる。このため、大質量ハローの個数密度を測定することにより、質量密度パラメータ、パワースペクトルの振幅や原始非ガウス性の大きさなどの宇宙論パラメータを制限することができる。

実際の宇宙ではどうだろう？ 銀河団が巨大暗黒物質ハローの対応天体である。実際、銀河団の研究は非常に面白く、また難解でもある。大量のガス（ICM: 銀河団内ガス）は、重力ポテンシャルに引き込まれる過程において、 10^7 K（1000万度）までショックで加熱される。銀河団領域で密集して分布している数百ものメンバー銀河は様々な質量を持ち、様々な形成史を経てきた。銀河にとっては、銀河団とは居心地の悪い場所である。暗黒物質の重力ポテンシャル、ICMや他の銀河との相互作用は、銀河の形状を変形させ、星はぎ取り、ときには新たな星形成を引き起こし、さらに

は銀河の中心に存在するブラックホールの活動を誘発させているかもしれない。力学摩擦により、銀河は銀河団中心に落ち込み、中心の巨大銀河と合体してきたであろう。結果として、非常に小さいハローのフィールド銀河と比較して、銀河団銀河は全く異なる種族である。また、高温ICMの制動放射のため、銀河団は宇宙で最も明るいX線天体である。さらに、ICM中の高温熱的電子は宇宙背景放射の光子を逆コンプトン散乱し、銀河団領域における宇宙背景放射スペクトルに歪みを引き起こす（スニヤエフ-ゼルドヴィッチ効果として知られる）。

上述の大まかな描像は、銀河団の現時点での我々の理解をまとめたものである。おおざっぱに言えば、銀河団は単純な天体であると思われるかもしれない。暗黒物質ハローは Λ CDMが予言するように振る舞い、ICMはその重力ポテンシャルと静水圧平行にあり、銀河団銀河の性質は宿主銀河団と良い相関を示すと期待される。しかしながら、「どのように銀河団の質量を測定できるか?」、「ICMの密度、圧力の分布はどうなっているのか?」、「銀河進化を促している主要因はどんな効果か?」などの具体的な質問に答えようとすると、すぐに我々の理解が足りていないことに気がつく。これらの課題を解決しなければ、銀河団を精密宇



宙論に用いることは不可能である。

「CLJ2010+0628*：巨大銀河形成から宇宙論まで」はこの精密宇宙論の時代を念頭にして企画した。発想は単純である。銀河団研究の様々な分野で活躍している第一線級の研究者を一堂に会し、将来の大規模銀河団データを有効に活用するのを妨げ得る重要な問題を解決するには、どのようにして多波長データを用いるべきかを議論することを目的とした。

会議の企画は正式には2009年夏ごろからスタートした。その年末までには招待講演者のリストを固めた。幸いにも、銀河団コミュニティはこのような会議を熱望していたようで、沢山の講演申し込みから一般講演を選ぶのは非常に大変だった。また、会場の制限から、多くの参加自体の申し込みを断らざる得ない状況にもなり、参加できなかった方には大変申し訳なく、この場を借りてお詫びしたい。

研究会は2010年の6/28-7/2の5日間、柏図書館の大講義室で行い、またランチセッションをIPMU 研究棟、総合研究棟で開催した。20名の招待講演者を含め、計160名もの参加者があった。39の一般講演に加え、ポスター発表は80にも及んだ。講演のスライド、講演のビデオは研究会ホームページで公開されている。本研究会は、まさに真の国際研究会であり、欧米からの参加者が全体の3分の2ほども占め、それ以外は日本、台湾、韓国からの参加者であった。

ガス・エブラルド氏（ミシガン大）の銀河団の暗黒成分と光る（バリオン、光子）成分の関係を概観した

招待講演で会議はスタートした。小松英一郎氏（テキサス大/IPMU）は「Gem vs. Junk 銀河団宇宙論」を議論した。アンソニー・ゴンザレス氏（フロリダ大）は衝突銀河団 Bullet Cluster における銀河団内の星光の美しい画像で会場を魅了した。ビル・ホルツアプフェル（カリフォルニア大パークレー校）は、彼らが観測したSZパワースペクトルが理論モデルと一致しないことを報告し、永井大輔氏（エール大）はその不一致は銀河団外縁部のガスの非熱的運動で説明でき得ることを指摘した。ジム・ガン氏（プリンストン大）が会議をサマリーし、宇宙論を始める前には、銀河団領域における星、銀河、ICMの物理を理解するのが重要であることを改めて強調し、会議は終了した。

会議は大成功に終えることができたのは、他の会議運営メンバーである、ヤン・ラム氏、大栗真宗氏、吉田直紀氏の活躍によるところが大きい。また、IPMUのスタッフである宇治田さんの献身的なサポートなしには、会議自体が実現しなかったであろう。IPMUの他のスタッフ、特に国際支援スタッフ、ITスタッフにもこの場を借りて感謝の意を表したい。最後にIPMUとDENET科研費（代表者：須藤靖教授）のサポートに感謝申し上げる。

* 銀河団の名前付けは通常は、「(prefix)-J-HHMMsDDMM」の形式を取る。ここで「prefix」は通常はその銀河団を発見したプロジェクトの名前である。「J」は天文で使われる分点である。「HHMM」と「sDDMM」は天球座標の経度と緯度である。研究会名「CLJ2010+0628」はこの方式を取ったが、座標の代わりに研究会の開始日を取り、「J」はJapanを表す。

第3回WPIフォローアップ委員会開催

2010年7月4日に、東京のホテルニューオータニでWPIプログラムの第3回フォローアップ委員会が開催されました。この委員会は、WPI拠点の採択を行ったプログラム委員会が各拠点の拠点構想の進捗状況について確認するため、拠点長及びホスト機関の長からヒアリングを行うとともに、プログラムオフィサーから現地調査の報告を聴取するもので、また、必要に応じ改善を要する事項等を取りまとめ、各拠点に通知します。

今回のフォローアップでは、日本学術振興会が行った世界の研究者へのアンケート結果からも明らかのように、IPMUがWPIセンターとして世界からの認知度が高いことが評価されました。また、ホスト機関の東京大学が新たに構想している「国際高等研究所」の中にIPMUを位置づけ、WPIプログラム終了後の存続と、中核的な所属教員にテニューアを与える可能性を打ち出したことが歓迎されました。一方では、専任の主任研究員や女性研究者の数を増やすことなど、幾つかの改善を要する点についても指摘を受けました。

フォローアップの結果は、
http://www.jsps.go.jp/j-toplevel/data/08_followup/h21Followup_j.pdf
に公表されています。

IPMUの2009年度年次報告刊行

2009年度のIPMU年次報告“IPMU Annual Report 2009”が発行されました。2009年4月から2010年3月の1年間について、IPMUの研究成果とそのハイライト、WPI拠点としての事業内容が英文でまとめられています。IPMUのホームページで過去の年次報告と共に閲覧できます。<http://www.ipmu.jp/ja/research-activities/annual-reports> をご覧下さい。

IPMUの「第2研究棟」建設の進行状況

IPMUでは常勤の研究者と事務部門スタッフの他にビジターや大学院学生を受け入れています。今年初めから入居した6,000m²弱の研究棟だけでは十分な数のビジター受け入れには不十分であり、2009年度の補正予算で、およそ3,000m²のIPMUの第2研究棟建設の予算が認められました。東京大学柏キャンパスでは、ほかに高齢社会総合研究機構と情報基盤センターが同時期に研究棟を建設することになり、キャンパス計画室の主導で3つの研究組織の研究棟を一つの建物として建設し、効率化を図ることになり、今年の4月から総床面積12,000m²の「総合研究実験棟（仮称）」建設が開始されました。この建物はIPMU研究棟の斜め後方に位置していますが、IPMU研究棟に最も近い部分がIPMUの専有部分となるように設計されています。来年2月末完成予定です。

IPMUでは、ビジター向けのオフィススペースの他に、「第2研究棟」の一部を「天文情報発信センター」として、今後IPMU主導の天文学研究で得られるデータの解析とその成果の発信を図ることとしています。そして、研究の状況を一般の訪問者に外部から見ていただくため、このセンターは建物1階の角に位置し、ガラス張りで見え、多数の大きなスクリー

ンにデータなどが投影できるように構想されています。



第二研究棟の完成イメージ図。IPMU部分は向って左翼に位置し、1階に天文情報発信センターが置かれる。©仙田 満+(株)環境デザイン研究所



総合研究実験棟の工事現場

IPMU野本憲一主任研究員2010年IAP（パリ天体物理学研究所）メダル受章

野本憲一特任教授が、2010年7月1日にフランスのIAP（パリ天体物理学研究所）メダルを受章しました。このメダルは毎年IAPが開催するIAPアニュアル・コロキウムに際して、その分野で顕著な業績を挙げた天体物理学者1名に対して授与されます。今年は新星、超新星、ガンマ線バーストなどの「爆発する星」をテーマとしたコロキウムが開催され、野本特任教授は超新星に関する理論的研究の功績が評価され、メダルを授与されました。



野本教授が授与されたIAPメダル

超新星の個性を解明! 暗黒エネルギーの証拠がより確かに

Ia型超新星は明るさがほぼ一定であり、宇宙の距離を測るうえで優れた「個性のない」標準光源であるとされ、その特性を利用した観測により、1998～1999年には宇宙の構成要素の大部分が正体不明の暗黒エネルギーであることが判明しました。しかし、より詳細なスペクトル観測を行うと、Ia型超新星は「個性的」であることがわかり、その標準光源としての精度に疑問が投げかけられ、Ia型超新星を用いた宇宙論研究における解決すべき最重要課題とされていました。

IPMUの前田啓一特任助教、野本憲一特任教授、田中雅臣特任研究員らをはじめとする国際研究グループは、Ia型超新星は「丸い」爆発ではなく片側に「偏った」爆発のため、超新星を見る方向によって「見かけ上の個性」が生じているにすぎないことを示しました。この研究により、Ia型超新星が優れた標準光源であることが確認され、Ia型超新星を用いる宇宙論研究にとって非常に有益な情報が得られました。

この研究成果は、Natureの2010年7月1日号に掲載されました。

ワークショップ: CLJ2010+0628: 巨大銀河形成から宇宙論まで

48-49ページをご覧ください。

ワークショップ: IDEAS (IPMU Day of Extra-Galactic Astrophysics Seminars)

2010年7月13日に第1回のIDEASが開催されました。IDEASはIPMUにおいて、毎回異なる主題について一日かけて議論する天体物理ワークショップです。第1回目は、宇宙の化学進化を主題として開催されました。当日は3件の基調講演を含む計8件の講演があり、理論・観測両面から、宇宙の様々なスケール(星から銀河団まで)における化学進化について活発な議論が行われました。

今後の研究会 Focus Week on String Cosmology

2010年10月4日-8日の5日間、IPMUにおいて「フォーカスウィーク: 弦理論的宇宙論」を開催します。究極の理論の有力な候補である超弦理論によって、宇宙の謎に挑むのが「弦理論的宇宙論」です。宇宙創世からインフレーションの起源、宇宙背景輻射等による観測可能性など、様々な題材についての議論が展開される予定です。

今後の研究会 The Observational Pursuit of Dark Energy after Astro2010

日本学術振興会最先端研究拠点事業DENET(暗黒エネルギー研究国際ネットワーク)、IPMUおよびカリフォルニア工科大学の支援により、10月7日-8日にカリフォルニア工科大学で国際研究会を開催します。本研究会は、先の8月13日に公開された2010年代の米国の天文学・宇宙物理学における長期計画の報告書「Astro2010」を受け、そこで推薦された暗黒エネルギー探索計画を推進するための有機的な議論をもつことを目的とするものです。

今後の研究会 Workshop: Evolution of Massive Galaxies and Their AGNs with the SDSS-III/BOSS Survey

2010年10月25日-28日の4日間、IPMUにおいて「Evolution of massive galaxies and their AGNs with the SDSS-III/BOSS survey」が開催されます。IPMUは遠方銀河の大規模な分光サーベイ観測を行うSDSS-III/BOSSプロジェクトのメンバー研究機関です。このワークショップはBOSSのデータを使った研究のうち明るい銀河と活動銀河中心核(AGN)に興味を持った関係者が集まって、研究発表とそれに関する議論などを通じて、さらなる共同研究を促進する機会となることを目指しています。

今後の研究会 Mini Workshop on Neutrinos

2010年11月8日-12日に、IPMUで「ニュートリノに関するミニワークショップ」を開催します。ニュートリノの性質は依然多くの謎を含んでおり、その理解は、この宇宙の物質非対称性の起源とも関係するなど、非常に重要です。最近のニュートリノ実験および理論に関する理解を深め、この分野の新たな方向性を見出すため、様々なニュートリノ実験(Super-Kamiokande, T2K, neutrinoless double beta decay, MINOS, MiniBooNE)および理論の専門家を招き集中セミナーを行います。

人事異動報告

次のIPMU博士研究員が転出しました。[括弧内はIPMU在任期間です。]

Yogesh Kumar Srivastavaさん[2009年9月1日-2010年7月15日]、インドの国立科学教育・科学研究院助教授へ。

Tathagata Basakさん[2009年10月1日-2010年8月15日]、米国アイオワ州立大学数学教室助教授へ。

Daniel Kreflさん[2009年8月1日-2010年9月30日]、米国カリフォルニア大学バークレー校博士研究員へ。

Guillaume Lambardさん[2009年4月3日-2010年9月30日]、スペインのIFIC(Instituto de Fisica Corpuscular, 粒子物理学研究所)博士研究員へ。

Yen-Ting Lin(林彦廷)さん[2008年10月16日-2010年9月30日]、台湾のASIAA(中央研究院天文及天文物理研究所)Assistant Research Fellow(助教授)へ。

また、日本学術振興会特別研究員として2010年4月1日-8月31日の間IPMUに在籍した山崎雅人さんが、米国プリンストン大学の博士研究員に転出しました。

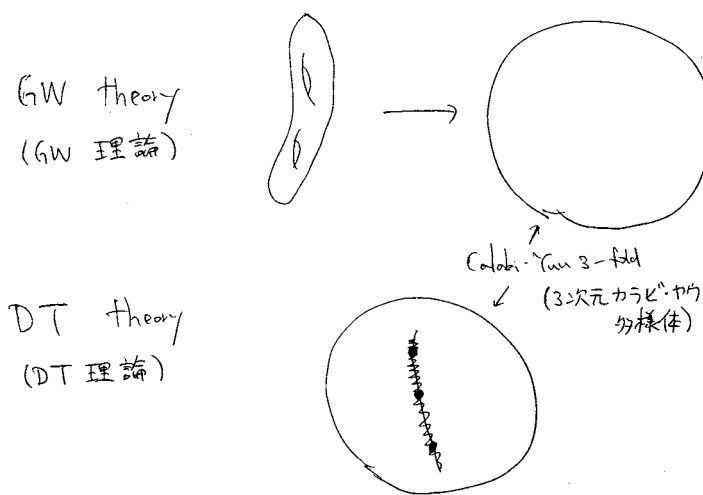
なお、IPMU博士研究員として2009年9月1日から在籍したAlex Beneさんが2010年8月31日で退職しました。



3次元カラビ・ヤウ多様体

戸田 幸伸 IPMU准教授

3次元カラビ・ヤウ多様体とは宇宙の余剰次元を記述する空間であると考えられており、数学的にも物理的にも興味深い幾何学的対象です。この多様体上の代数曲線の数え上げ理論はミラー対称性を通じて周期の理論と対応しており、その性質を調べることは重要な研究課題です。現在この数え上げ理論には Gromov-Witten (GW) 理論 Donaldson-Thomas (DT) 理論の二種類が存在し、これらは等価であるという予想が2004年に提唱されました。これは両者の理論の重要な性質を含む興味深い予想で、現在まで様々な状況下でチェックされています。



$$e^{-\rho} \left(\sum N_{g,\beta} \lambda^{2g-2} t^\beta \right) = \sum I_{n,\beta} \delta^n t^\beta / M(\beta)^{N(\beta)}$$

\uparrow GW \uparrow $\delta = -e^{i\lambda}$ \uparrow DT