

KAVLI IPMU

NEWS



World Premier International Research Center Initiative
世界トップレベル研究拠点プログラム

Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe
カブリ数物連携宇宙研究機構



Today Institutes for Advanced Study



The University of Tokyo
東京大学国際高等研究所

Feature Kavli IPMU's Neutrino Forecast: Mostly Sunny, with a Good Chance of Supernovas
Interview with Katsuhiko Sato



19

No.

September 2012

Kavli IPMU NEWS CONTENTS

English

- 3 **Director's Corner** Hitoshi Murayama
Force of Nature
- 4 **Feature**
Kavli IPMU's Neutrino Forecast: Mostly Sunny,
with a Good Chance of Supernovas
Mark R. Vagins
- 10 **Special Contribution**
Kavli Prize Ceremony in Oslo
Hirosi Ooguri
- 12 **Our Team**
Ivan Chi-Ho Ip
Claire Lackner
Charles Melby-Thompson
René Meyer
Anupreeta More
Surhud More
Mauricio Romo
Charles Siegel
Yi Wang
- 16 **Interview** with Katsuhiko Sato
- 24 **Research Report**
The First Big Step for the Hyper Suprime-Cam Project!
Masahiro Takada
- 25 **News**
- 30 **Atmospheric Neutrino Oscillations**
Christopher W. Walter

Japanese

- 31 **Director's Corner** 村山 斉
自然の力
- 32 **Feature**
Kavli IPMUのニュートリノ予報：
概ね晴れ、超新星の可能性大
マーク・ヴェイギンズ
- 38 **Special Contribution**
カプリ賞授賞式
大栗博司
- 40 **Our Team**
葉 智皓
クレア・ラックナー
チャールズ・メルビー・トンプソン
レネ・マイヤー
アヌプリータ・モレ
スルド・モレ
マウリシオ・ロモ
チャールズ・シーゲル
王 一
- 44 **Interview** 佐藤勝彦教授に聞く
- 52 **Research Report**
Hyper Suprime-Camが遂に始動！
高田昌広
- 53 **News**
- 56 **大気ニュートリノ振動**
クリストファー W. ウォルター



Mark R. Vagins is Professor at the Kavli IPMU. He is an experimental physicist working in the fields of neutrino astronomy and neutrino physics. He received his Ph.D. from Yale University in 1994 and became a postdoctoral researcher at the Louisiana State University. He moved to the University of California, Irvine, as Assistant Research Physicist in 1997, and became Associate Research Physicist in 2001. Since 2008, he has been IPMU Professor.

マーク・ヴェイギンズ：Kavli IPMU教授。ニュートリノ天文学、ニュートリノ物理学分野において活躍中の実験物理学者。1994年にイェール大学よりPh.D.の学位を取得。同年、ルイジアナ州立大学博士研究員、1997年、カリフォルニア大学アーバイン校研究員補、2001年、同准研究員、2008年から現職。

Force of Nature

Director of Kavli IPMU

Hitoshi Murayama

We have watched the enormous force of Hurricane Sandy, the largest Atlantic hurricane on record that killed nearly two hundred people. Many from Kavli IPMU were stranded on the way to Princeton for the meeting of the SuMIRe/PFS project. My flight from California to New York was cancelled, too. It was one of those rare moments in the modern civilized world to understand Mother Nature is far bigger than any of us. My heartfelt condolences go to those who have lost their loved ones, homes, or jobs.

This issue of Kavli IPMU News highlights the great tradition of research in Japan: neutrino astronomy. It was established by Masatoshi Koshihira, whose work made the discovery of supernova neutrinos and real-time detection of solar neutrinos possible. He was awarded the 2002 Nobel Prize in Physics for this pioneering work. Our Prof. Mark Vagins plans to extend the reach in supernova neutrinos from 160,000 light years detected by Koshihira to billions of light years. His idea to mix gadolinium into Super-Kamiokande is now under vigorous feasibility tests to demonstrate that it will not jeopardize its current excellent performance.

Meanwhile, Hyper Superime-Cam, a new digital camera on Subaru telescope with 900 million pixels with more than three tons of weight and is the first half of the SuMIRe project, is now ready to start a major five-year campaign! It will observe hundreds of millions of far-away galaxies, and produce an unprecedented wide and deep map of dark matter

distribution in the cosmos, telling us about its evolution history driven by the competition between dark matter and dark energy.

Another news is that I attended the ceremony of 2012 Kavli Prize awards in Oslo, Norway. I was very much inspired by the accomplishments of awardees. In the presence of King Harald V of Norway, I had to do what I had never done in my life before: wear a tux in its complete set! It was a memorable occasion, complete with a productive business meeting with other Kavli institute directors in astrophysics.

The WPI program committee meeting in late October preoccupied my mind recently. Together with other five WPI center directors, I presented our progress since the last year and made a strong pitch that they should make a decision on the five-year extension as soon as possible. Meanwhile, I've been meeting faculty members at Kavli IPMU one by one to reassure them that it is not a sinking Titanic. As the end of the current funding in March 2017 nears, it is understandable that our members become antsy. I believe Kavli IPMU has become a true jewel of the University of Tokyo and the national policy on academia in Japan. I trust those in power that we will have a bright future.

(Manuscript received 12 November 2012)



Kavli IPMU's Neutrino Forecast: Mostly Sunny, with a Good Chance of Supernovas

Why So Serious?

So, what's not to love about supernova neutrinos? They carry unique information about one of the most dramatic processes in the stellar life-cycle, a process responsible for the production and dispersal of all the heavy elements (i.e., just about everything above helium) in the universe, and therefore a process absolutely essential not only to the look and feel of the universe as we know it, but also to life itself.

As a gauge of the community's level of interest in these particular particles, it is worth noting that, based upon the world sample of twenty or so neutrinos detected from SN1987A (by Kamiokande, IMB, and BAKSAN), there has on average been a

paper published once every ten days... for the last twenty-five years! After a quarter of a century, this handful of events remain the only recorded neutrinos known to have originated from a more distant source than our own Sun (by an easily-remembered factor of 10^{10}).

It has now been over 408 years since a supernova was last conclusively observed in our own galaxy. That was SN1604, often known as "Kepler's supernova". Of course, no neutrino observatories were online that mid-October day in 1604, but it was probably a type Ia explosion, anyway. That type doesn't make very many neutrinos.

Not surprisingly, the next nearby core collapse supernova is eagerly awaited by experimentalists, observers, and theorists alike. Unfortunately, over the last 1800 years there have been just six such explosions seen in our galaxy. So the big question is: when will the next one happen? The most serious problem is that none of us has an unlimited time in which to wait, as I have quite helpfully (and graphically) depicted in Figure 1.

Yes, it has certainly been a long, cold winter for supernova neutrino watching. But I am here to tell you, to *testify*, my weakly-interacting brothers and sisters, that there is hope!



Figure 1. Regarding supernova neutrinos, the waiting is the hardest part... primarily because of, well, death. No one wants to be that guy on the right. The other guy's probably not having such a great time, either.

The Good News

Now, anyone who knows me knows that I am usually a pretty happy, optimistic guy, especially when there is cake nearby (see Figure 2). Would I lie to you about cake? Never!

But it is not only cake about which I am optimistic. I also feel quite certain that we will soon have some more supernova neutrinos to study. As a matter of fact, I expect a never-ending stream of them. How can this be? There have been just six core collapse supernovas, i.e., the type which produce neutrinos, seen in our galaxy in 1800 years, right? Well, first of all, one should not underestimate the power of six events. As luck would have it, there were exactly six events in my Ph.D. thesis experiment on the double Dalitz decay of the long-lived neutral kaon [1]. There were also just six fiducial events in the already famous “non-zero θ_{13} ” paper from the T2K experiment [2].

It should be remembered that those six supernova events were just the ones which could be seen with the naked eye for which records were made and, critically, whose records survived to the present day. Undoubtedly there were many, many more explosions during this time period, all of which would have been quite easily observed by a functioning neutrino telescope, had one but been available during, say, the Dark Ages.

Indeed, it is believed that the core collapse supernova rate in the Milky Way galaxy is somewhere between one and three per century. Still not great, cheating death-wise, but considerably better than one per three hundred years, which would pretty much come up as a win in Death's column most of the time.

But you know what? Forget about all this waiting



Figure 2. A happy guy with cake at IPMU's 1st anniversary party. (Photo: Kai Martens)

around stuff! I have a better idea...

Having Your Cake and Eating It, Too

Supernovas in our galaxy may be relatively rare on a human timescale, but supernovas themselves are not rare at all. On average, somewhere in the universe there is a supernova explosion once every second. What's more, all of the neutrinos which have ever been emitted by every supernova since the onset of stellar formation suffuse the universe. These comprise the so-called “diffuse supernova neutrino background” [DSNB], also known as the “relic supernova neutrinos.” They have not yet been seen, but if they proved to be observable they could provide a steady stream of information about not only stellar collapse and nucleosynthesis but also on the evolving size, speed, and nature of the universe itself. And yet, in terms of the non-terrestrial neutrino forecast, there is no doubt that “sunny” is the key word. The flux of solar ^8B neutrinos is some 10^6 times that of the subtle DSNB flux.

In 2003, Super-Kamiokande [Super-K, SK] published the results of a search for these supernova relic neutrinos [3]. However, this study was strongly background limited; it could see no statistically significant excess of events and therefore was only able to set the world's most stringent upper limits on the relic flux. In 2012, a new Super-K relic paper came out sporting a new, improved analysis and much more data [4]. However, even with improved cut efficiencies and a lower threshold the backgrounds still dominated, and the resulting relic flux limits were depressingly quite similar to those from eight years ago. Oy.

But didn't I say there would be cake at this party? All right then, one cake, coming up!

Doing Something About the (Neutrino) Weather

In order to finally see the elusive DSNB signal, theorist John Beacom and I are proposing to introduce a water-soluble gadolinium [Gd] compound, gadolinium chloride, $GdCl_3$, or the less reactive though also less soluble gadolinium

sulfate, $Gd_2(SO_4)_3$, into the Super-Kamiokande detector (shown in Figure 3). As neutron capture on gadolinium produces an energetic gamma cascade, the inverse beta decay reaction, $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$, in such a Gd-enriched Super-K will yield coincident positron and neutron capture signals. This will allow a large reduction in backgrounds and greatly enhance the detector's response to both supernova neutrinos (galactic and relic) and reactor antineutrinos.

The gadolinium must compete with the hydrogen in the water for the neutrons, as neutron capture on hydrogen yields a single low energy gamma, which is essentially invisible in Super-K. So, by using 100 tons of gadolinium compound we would have 0.1% Gd by mass in the SK tank, and just over 90% of the inverse beta neutrons would be visibly caught by the gadolinium. Figure 4 is an artist's (okay, my) conception of how the gadolinium will be delivered. Due to a collapse in its price, adding this much gadolinium to Super-K should cost no more than \$1,000,000 today, though it would have cost a staggering \$400,000,000 back when SK was first designed.

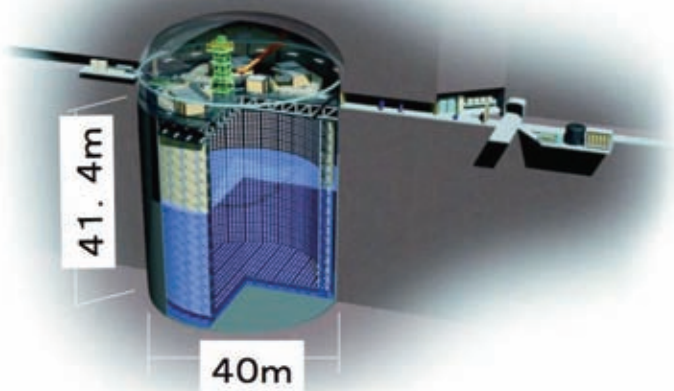


Figure 3. The Super-Kamiokande detector, located one kilometer underground in Mozumi, Japan. At 50,000 tons of water, it's large: the Statue of Liberty would fit inside.



Figure 4. "I got 1999 more of these here 50 kilo fellers out in the truck. Yup, it's a big truck."



Figure 5. Mark Vagins and John Beacom working on GADZOOKS!. In case you're wondering, this drawing shows us as we appeared back in 2003. Sigh.

We call this new project “GADZOOKS!”. In addition to being an expression of surprise as well as an archaic swear word dating back to 1694 (but as such still nearly a century more recent than the last galactic supernova), it’s also an acronym: Gadolinium Antineutrino Detector Zealously Otperforming Old Kamiokande, Super!. The basics of this load-SK-with-Gd proposal are detailed in our Physical Review Letters article [5], the creation of which I’ve whimsically depicted in Figure 5. Adding $Gd_2(SO_4)_3$ to Super-Kamiokande will not only allow a detection of the so-far unseen DSNB flux, but it will also allow the extraction of important – and unique, barring a galactic supernova – information regarding the neutrino emission parameters of supernovas. Super-K with gadolinium should see about five of these supernova events every year. The net result? A steady stream of supernova neutrinos without the annoying wait!

Of course, if we are fortunate enough to observe a nearby supernova in the coming decades, it would be most beneficial to have $Gd_2(SO_4)_3$ in the water of the large water Cherenkov detectors which are

online when the resulting neutrino wave sweeps across the planet. This is primarily because their most copious supernova neutrino signal by far (~88%) comes from inverse beta events. If we could tag these events individually by their follow-on neutron captures then we could extract the time structure and neutrino flavor evolution of the burst precisely, gaining valuable insight into the dynamics of the explosion.

Gadolinium R&D – Or, How I Became a Plumber

Since maintaining the excellent light transmission of a water Cherenkov detector is a crucial requirement, the insertion of any chemical compound is a challenging task. And there is another immediate challenge to making GADZOOKS! work: in detectors such as Super-Kamiokande, the long mean free path of light (~100 meters) is maintained by constant recirculation of the water through a water purification system. The existing SK purification system would dutifully and rapidly eliminate any added gadolinium along with the

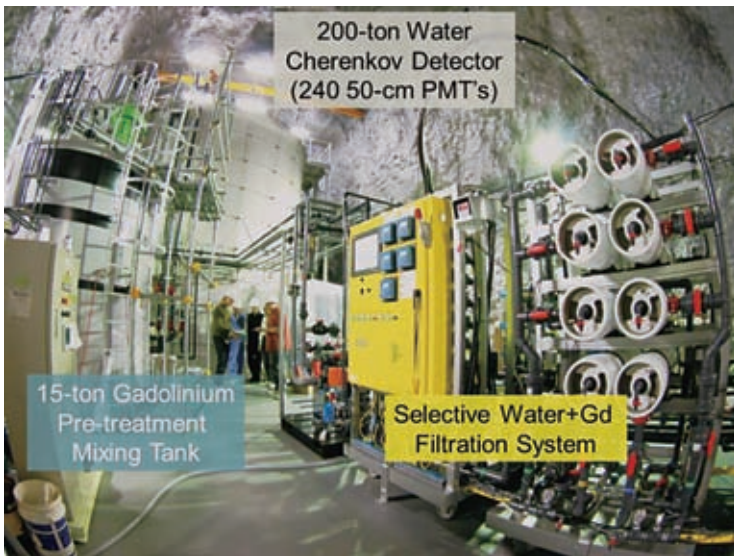


Figure 6. EGADS, the new large-scale gadolinium test facility in the Kamioka mine.

contaminants that are currently removed to maintain optical clarity. Crap!

To solve this crucial problem, in 2006 I hypothesized – a fancy science word for “guessed” – that a fundamentally new type of filtration system could be assembled. My “Molecular Band-pass Filter” would selectively extract $Gd_2(SO_4)_3$ from the water stream and return it to the tank, while simultaneously allowing all other impurities to be removed. In 2007 I put a prototype system together at the University of California, Irvine, where I continue to hold a joint appointment, and amazingly the damn thing worked! Then it was time for the next step.

In early 2008 I had the honor of becoming the first foreign professor to be hired by IPMU. My offer letter said, in essence, “Come make gadolinium loading work in Super-K!”

A new experimental chamber was excavated in the Kamioka mine, located close to Super-Kamiokande. There, a dedicated, large-scale gadolinium test facility and water Cherenkov detector (essentially a 200 ton scale model of Super-K) has been built as

depicted in Figure 6. Known as EGADS (Evaluating Gadolinium’s Action on Detector Systems), it is being used to make absolutely sure that the introduction of Gd will not interact with the detector materials and to certify the viability of the Gd-loading technique on a large scale, closely matched to the final Super-K requirements.

Funding for the new facility was obtained in Japan to the tune of 390,000,000 yen (about \$4,300,000 at the current exchange rate); construction began in September of 2009. Within nine months we had gone from solid rock to an excavated hall with a total volume of about 2.5 kilotons ready for physics occupancy, complete with a 200 ton stainless steel tank. Six months after that a significantly scaled-up version of my UCI selective water filtration system had been assembled and installed. It started running with pure water in January of 2011, and has been filtering dissolved gadolinium sulfate since August of that year. Now, with full gadolinium loading we are within 15% of the transparency of ultrapure water. This is probably already sufficient, but work continues to improve upon this result. Further

comparative studies both with and without dissolved gadolinium in the 200 ton tank will take place during 2013. If all goes well, we should be ready to introduce gadolinium into Super-Kamiokande sometime within the next few years. The ultimate goal is to be able to make the world's first conclusive DSNB observation by 2016. Gadzooks, indeed!

Finally, a few months ago I received a new Japanese Grant-In-Aid worth nearly \$1,600,000. This will be used to convert the EGADS test facility into the world's most advanced supernova neutrino detector after the R&D phase is finished, and to tie it into a Japanese network of optical, X-ray, gamma-ray, infrared, and gravitational wave observatories.

My Fearless Extended Forecast

Already, the GADZOOKS! concept has gained significant traction around the world. Note that this is the only method of detecting neutrons which can be extended to the hundreds-of-kilotons scale and beyond, and at reasonable expense – adding no more than 3% to the capital cost of detector construction – as well. Given the additional physics reach neutron detection makes possible (for supernova studies as well as other, unrelated topics like proton decay), getting this capability for minimal extra cost is an enticing possibility. This is probably why all of the major proposed next-generation water Cherenkov detectors either officially retained Gd-loading as an option (LBNE in the US [6]) or simply assumed it as part of their baseline design (Hyper-Kamiokande in Japan [7] and MEMPHYS in Europe [8]). Last year's Hyper-Kamiokande Letter of Intent [7] even went so far as to include the benefits of gadolinium in its Executive Summary.

Any one of these new detectors, once enriched

with gadolinium, will be able to record on the order of one hundred relic supernova neutrinos every year. They will therefore accumulate statistics comparable to the total number of events seen from SN1987A by Kamiokande every single month they are in operation.

As if that's not enough to make one giddily optimistic, having one or more such giant, Gd-enhanced detectors awaiting the next galactic supernova is also a truly exciting prospect. In other words: delicious cake for everyone!

So, I think it is safe to predict that the extended outlook for supernova neutrinos is remarkably bright and sunny indeed.

References:

- [1] M. R. Vagins, R. K. Adair, H. B. Greenlee, H. Kasha, E. B. Mannelli, K. E. Ohl, M. P. Schmidt and E. Jastrzembski et al., "Measurement of the Branching Ratio for $K_L \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$," *Phys. Rev. Lett.* **71**, 35 (1993).
- [2] K. Abe et al. [T2K Collaboration], "Indication of Electron Neutrino Appearance from an Accelerator-Produced Off-Axis Muon Neutrino Beam," *Phys. Rev. Lett.* **107**, 041801 (2011) [arXiv:1106.2822 [hep-ex]].
- [3] M. Malek et al. [Super-Kamiokande Collaboration], "Search for Supernova Relic Neutrinos at Super-Kamiokande," *Phys. Rev. Lett.* **90**, 061101 (2003) [hep-ex/0209028].
- [4] K. Bays et al. [Super-Kamiokande Collaboration], "Supernova Relic Neutrino Search at Super-Kamiokande," *Phys. Rev. D* **85**, 052007 (2012) [arXiv:1111.5031 [hep-ex]].
- [5] J. F. Beacom and M. R. Vagins, "Antineutrino Spectroscopy with Large Water Cherenkov Detectors," *Phys. Rev. Lett.* **93**, 171101 (2004) [hep-ph/0309300].
- [6] T. Akiri et al. [LBNE Collaboration], "The 2010 Interim Report of the Long-Baseline Neutrino Experiment Collaboration Physics Working Groups," arXiv:1110.6249 [hep-ex].
- [7] K. Abe, T. Abe, H. Aihara, Y. Fukuda, Y. Hayato, K. Huang, A. K. Ichikawa and M. Ikeda et al., "Letter of Intent: The Hyper-Kamiokande Experiment — Detector Design and Physics Potential —," arXiv:1109.3262 [hep-ex].
- [8] A. de Bellefon, J. Bouchez, J. Busto, J. -E. Campagne, C. Cavata, J. Dolbeau, J. Dumarchez and P. Gorodetzky et al., "MEMPHYS: A Large Scale Water Cherenkov Detector at Frejus," hep-ex/0607026.

Kavli Prize Ceremony in Oslo

Hiroshi Ooguri

Kavli IPMU Principal Investigator

Fred Kavli is an innovator and entrepreneur. After studying physics at the Norwegian Institute of Technology, he moved to the US and founded a company specializing in sensors for aeronautic, automotive and industrial applications. In 2000, he divested his interest in the company and established the Kavli Foundation to support fundamental research in science.

The Kavli Foundation is sponsoring a worldwide network of sixteen Kavli Institutes. This February, the Foundation established an endowment to support research at the IPMU, which is now called the Kavli IPMU. The Foundation has also set up endowed chairs at several universities, and I am holding the inaugural Fred Kavli professorship at Caltech.

The Kavli Prize is a partnership between the Kavli Foundation, the Norwegian Academy of Science and Letters, and the Norwegian Ministry of Education and Research, which recognizes scientists for their seminal advances in astrophysics, nanoscience, and neuroscience. Every second year, the Norwegian Academy appoints a prize committee in each of the three areas to select Kavli Laureates. The Prize



Fred Kavli addressing the 2012 Kavli Prize Ceremony. Sitting on the front row are (left to right) David Jewitt, Jane Luu and Michael Brown, the Kavli Laureates in Astrophysics, and Ann Graybiel, one of the Kavli Laureates in Neuroscience.

consists of USD 1,000,000 in each of the scientific fields. Each laureate also receives a scroll and a gold medal. The first Prizes were awarded in 2008.

In early September, I was invited to attend the third Kavli Prize Award Ceremony. After giving a talk at an international conference in Berlin, I flew to Oslo in the weekend before the Ceremony. On Sunday evening, there was a reception at the Grand Hotel hosted by the Kavli Foundation, gathering directors of Kavli Institutes, Kavli professors, past Kavli Prize winners and, of course, this year's Kavli Laureates.

It was also an excellent occasion for the Kavli IPMU to be inducted in the network of Kavli Institutes. In the area of astrophysics, all the directors of Kavli Institutes gathered in Oslo and took the opportunity to have an informal meeting to discuss their research strategies. Hitoshi Murayama, the director of the Kavli

IPMU attended the meeting as the newest member of the Kavli family.

On Monday morning, there were lectures by the new Kavli Laureates at the University of Oslo. The citation of the astrophysics prize was “the discovery and characterization of the Kuiper Belt and its largest members.” Among its three recipients was my Caltech colleague, Michael Brown, who is also known for his discovery of large Kuiper Belt objects, which led to the demotion of the Pluto to a dwarf planet. The nanoscience prize was awarded to Mildred Dresselhaus “for her pioneering contributions to the study of nanostructures.” She was the first ever solo recipient of the Kavli Prize. The neuroscience prize was awarded “for elucidating neuronal mechanisms under perception and decision.” I was particularly impressed with the fruitful collaborations between neuroscience and nanoscience in developing high energy imaging in the living brain. I should also note that four out of seven Kavli Laureates were female scientists.

In the afternoon, we moved to the center of the city to attend the Kavli Science Forum on Science and Global Health, with Kiyoshi Kurokawa from the National Graduate Institute for Policy Studies in Tokyo as one of its panelists. After the Forum, we walked through the Queen’s Garden of the Royal Palace to attend a reception at the Norwegian Academy. There was an enormous memorial of Niels Abel, who proved mathematically that there is no algebraic solution for the roots of a general quintic equation. I found it refreshing that the most prestigious location in the capital is reserved for the memorial of the mathematician.

The Award Ceremony on the next day was held in the Oslo Concert Hall. His Majesty King Harald V of Norway attended the Ceremony and presented



Kavli IPMU Director Hitoshi Murayama (right) and Principal Investigator Hiroshi Ooguri (left) at the Kavli Prize Banquet.

the Kavli Prizes. Fred Kavli gave a passionate speech describing his interest in the latest advances in astrophysics, nanoscience, and neuroscience and speaking eloquently on the joy of life enhanced by the scientific understanding of nature.

The Award Banquet was held at the Oslo City Hall, which is also the location for the Nobel Peace Prize Banquet. It started with a welcome address by the Mayor of Oslo. Mildred Dresselhaus, who was introduced as the “Queen of Carbon,” gave a speech on behalf of all of the Kavli Laureates. There was an entertaining show by young Norwegian musicians. It was a wonderful dinner with elegant but unpretentious Scandinavian hospitality. After dessert, the Mayor invited us upstairs for coffee. Dancing started on the second floor overlooking Oslo Bay, and by the time we returned to our hotel room, it was close to midnight.

Our Team

Ivan Chi-Ho Ip

Research Area: **Mathematics**

Postdoc



My major research interest is on the representation theory of quantum groups and its relations to the classical matrix groups. In particular, currently I am working on the class of positive principal series representations of split real quantum groups, which has a strong parallel to the theory of compact quantum groups.

The whole program involves several related theories, including Faddeev's modular double, the quantum dilogarithm and q -special functions, harmonic analysis on semigroup, cluster algebras, Lusztig's parametrization of total positivity, C^* -algebra

and unbounded operators. It is expected to have applications to construction of new Topological Quantum Field Theories (TQFT) and Categorifications.

Claire Lackner

Research Area: **Astronomy**

Postdoc

Galaxy morphology is strongly correlated with a host of other galaxy properties: stellar ages, metallicities, stellar mass, gas fraction, and local environment. Taken together, these properties can tell us a lot about how different types of galaxy form and evolve. I am particularly interested in the effects of local environment on galaxy morphology and star formation and studied this problem at redshift zero



in detail for my dissertation work. The new Hyper Suprime-Cam on Subaru will allow us to extend studies of galaxy morphology and environment to higher redshifts and smaller stellar masses.

Charles Melby-Thompson

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

Anisotropy has recently arisen in several contexts in theoretical physics. My prior research with Petr Horava dealt with Horava-Lifshitz gravity, a theory of dynamical spacetime whose anisotropy makes power-counting renormalizability possible, and in part my current research applies ideas from this work to obtain a broader understanding of quantum gravity and holography. Current research topics include: holographic duals of field theories with anisotropy



and their relation to Horava-Lifshitz gravity; Weyl and other anomalies in anisotropic theories; and three-dimensional quantum gravity. My broader interests include string theory and mathematical physics, but I am always ready to try something new.

René Meyer

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

My research is primarily concerned with the application of gauge/gravity duality to strongly coupled and correlated real-world systems such as the quark-gluon plasma, the high temperature cuprate superconductors, or the fractional quantum hall effect. These systems, involving fermions, mostly are not accessible by traditional methods such as lattice gauge theory or the usual approximations in condensed matter physics, and their physics hence remains elusive. The goal of my research



is to use gauge/gravity duality, a string-theory inspired reformulation of such strongly coupled and correlated problems in terms of gravitational degrees of freedom, to gain new insight into the dynamics of these problems or, with a bit of luck, to even solve these systems completely.

Our Team

Anupreeta More

Research Area: **Astrophysics and Cosmology**

Postdoc

Gravitational lensing provides one of the best ways to probe matter distribution in the Universe. Strong gravitational lens systems are not only visually spectacular but also teach a great deal about the seen (e.g. galaxies) and the unseen (e.g. dark matter). I mainly use observations of strong lensing to understand matter distribution from galaxy to cluster scales. Recently, I have been developing automated techniques to find strong lenses in large



surveys. At Kavli IPMU, I look forward to applying these techniques to data from the SuMIRe project and intend to further our understanding of matter distribution using strong lensing.

Surhud More

Research Area: **Astrophysics and Cosmology**

Postdoc

Astronomical observations in the last couple of decades indicate that a large portion (~96%) of the energy density of the Universe is made up of two mysterious and poorly understood components: dark matter and dark energy. My research focuses in understanding the connection between the observable properties of galaxies and the dark matter clumps in which they reside. This allows us to use galaxies as shining beacons to explore



the parameters that describe our “dark” Universe. My research focus at Kavli IPMU will be to design optimal ways of extracting cosmological information from galaxy surveys planned as part of the SuMIRe campaign.

Mauricio Romo

Research Area: **Theoretical Physics**

Postdoc

My current research focuses on different aspects of the interplay between field theory and geometry that we can learn from string theory. On one hand, the study of Seiberg-like dualities in 3d superconformal field theories describing M2-branes probing non-compact Calabi-Yau four-fold singularities. On the other hand the study of 2d nonabelian gauged linear sigma models whose target spaces are compact



Calabi-Yau three-folds. In this context I'm interested in topological invariants that we can extract by studying these field theories and their relationship with mirror symmetry.

Charles Siegel

Research Area: **Mathematics**

Postdoc

My research is about the geometry of curves and how they can vary in family. I am especially interested in classical problems and wrote my thesis on the Schottky problem, which can be summarized as the question of what are the possible integrals around closed loops on Riemann surfaces. I am currently working on extending some of the tools that are useful in attacking such problems, including



Prym varieties of covers of curves, maps defined by modular forms, and the geometry of moduli spaces.

Yi Wang

Research Area: **Cosmology and Theoretical Physics**

Postdoc

My research focuses on inflation, including non-Gaussianities, cosmic perturbation theory and inflation models. In the field of non-Gaussianity, we have shown a natural possibility of quasi-local shape non-Gaussianity with continuous squeezed limits. We also calculated the large trispectra for general single field inflation. Using cosmic perturbation theory, we have shown that inflation is UV sensitive to



loop corrections. We have also built a few inflation models, such as quasi-single field inflation and multi-stream inflation.



Interview with Katsuhiko Sato

Interviewer: Naoshi Sugiyama

World Plans for the Next-Generation Ground-Based Large Telescopes

Sugiyama: Professor Sato, thank you very much for your time today.

Sato: I also thank you for traveling from Nagoya.

Sugiyama: I hear that you just came back from the general assembly of the International Astronomical Union (IAU) in Beijing. Did you hear any new or interesting talks?

Sato: Since we live in the Internet age, we hardly encounter sudden new stories. But I re-affirmed that

Katsuhiko Sato is President of the National Institute of Natural Sciences. He is also a senior scientist of the Kavli IPMU. He was a principal investigator of IPMU from the launch of IPMU in October, 2007 through March, 2010. He received a Doctorate in Physics from Kyoto University in 1974. He became Assistant Professor at Kyoto University in 1976. He moved to the University of Tokyo in 1982 as Associate Professor, and became Professor in 1990. He was appointed to present position in 2010. For the last 15 years, he held important posts such as Dean of the School of Science, The University of Tokyo, President of the Physical Society of Japan, President of Division VIII Commission 47 Cosmology, The International Astronomical Union. He received the Inoue Prize for Science (1989), the Nishina Memorial Prize (1990), the Medal of Honor with Purple Ribbon (2002), and the Japan Academy Prize (2010).

large projects are progressing at various places all over the world. I felt it is very favorable situation for the field of astronomy.

Sugiyama: I see. People are discussing several large projects in Japan as well. As the President of the National Institute of Natural Sciences (NINS), you must be in a position to push for the Thirty Meter Telescope (TMT) and a future plan of the Subaru telescope, in the field of astronomy, for instance. Today, I would like to ask you about such things.

Sato: Well, the first thing is the ALMA telescope. They plan to hold an inauguration ceremony in March of next year. But a very important thing is to request funding for the operational budget each year in the form of special expenses. The Subaru telescope is important, of course. It is producing excellent results, and getting strong support from the public, especially by providing nice astronomical images. Yet, I believe the TMT project, which the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) plans to join presently, is very important as

we move to an era of large telescopes of 30 meters and 40 meters. Telescopes of this class, such as the GMT (Giant Magellan Telescope) and the ELT (Extremely Large Telescope), are planned in the world.

Sugiyama: The GMT is US-based and the ELT is European-based plans, I think.

Sato: That's right. For the GMT, they are already polishing one or two mirrors. I got the impression that they are making good progress.

Sugiyama: You mentioned about the Subaru telescope. Kavli IPMU is currently promoting the SuMIRe project toward uncovering the nature of dark energy, which is one of the biggest mysteries in cosmology.

Sato: The Subaru telescope provides a good exercise for research which will be done at the TMT. Also, as large telescopes like the TMT are going to be main players, I think that research using the Subaru should make good use of characteristics or merits of a 10-meter class telescope. Personally, I know the SuMIRe project well, and I think it is a wonderful project utilizing Subaru's characteristic features. As President of NINS, I should not interfere in the projects of the respective institutes affiliated to the NINS, but I think the new Director of the NAOJ, Professor Masahiko Hayashi is managing NAOJ, thinking similarly to me. As he was the previous Director of

the Subaru Telescope, I think he also knows the SuMIRe project well.

Sugiyama: Our plan is to utilize the benefit of the wide field of view to conduct surveys over a very wide region.

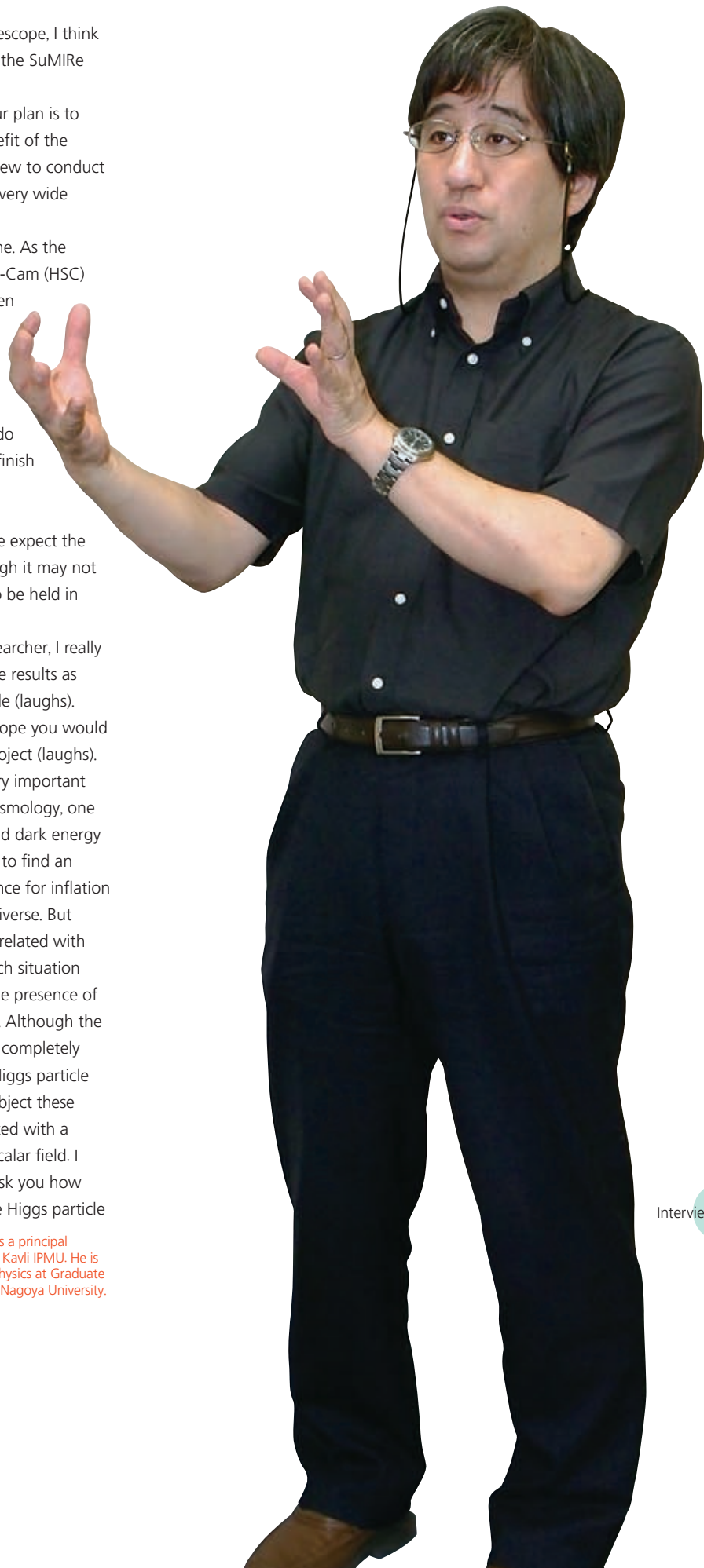
Sato: That's fine. As the Hyper Suprime-Cam (HSC) has already been completed, I am looking forward to hearing the results. When do you expect to finish the PFS with multi-fibers?

Sugiyama: We expect the first light, though it may not be full-scale, to be held in 2014 or so.

Sato: As a researcher, I really hope to see the results as soon as possible (laughs).

Sugiyama: I hope you would support our project (laughs). Among the very important problems in cosmology, one is to understand dark energy and another is to find an ultimate evidence for inflation of the early universe. But they might be related with each other. Such situation can occur in the presence of the scalar field. Although the energy scale is completely different, the Higgs particle that is a hot subject these days is associated with a fundamental scalar field. I would like to ask you how you related the Higgs particle

Naoshi Sugiyama is a principal investigator of the Kavli IPMU. He is also Professor of Physics at Graduate School of Science, Nagoya University.



to cosmology when you proposed inflation for the first time.

Connecting the Higgs Field with Cosmology

Sato: It started when I was studying the Weinberg-Salam theory for supernova research during my Kyoto years. Back then, neutrino physics was not yet understood well, but Maskawa-san advised me that I should study the Weinberg-Salam theory. I was not familiar with that theory, so I then studied hard and applied it to supernovae. "Neutrinos are trapped inside the core of a supernova through neutral-current interactions" is my another important work.

Sugiyama: Yes, that is a very important work. I somehow thought that there are two separate mountains in your research, one is that of the early universe and cosmology and the other is that of the supernova explosions and high-energy astronomy. Are you saying that these two mountains are actually connected by the Weinberg-Salam theory, or elementary particle physics?

Sato: Yes, they are really connected to each other rather smoothly. When I became a graduate student, I wanted to study the early universe. But cosmology was not doing very well in those days. After the discovery of 3K cosmic background radiation, many problems had been solved. It seemed that very little was left in cosmology for

graduate students to work on. In such an atmosphere, I began to work on neutron stars and supernovae partly having been influenced by the stay of Professor Hans Bethe in Kyoto as a guest of Professor Yukawa. By studying the Weinberg-Salam theory, suggested by Maskawa-san, while working on the supernovae, I not only learned neutrino physics, but I also realized that a phase transition can occur in the early universe because this theory is based on spontaneous symmetry breaking which is, for us, equivalent to the occurrence of a phase transition associated with the change of temperature.

Sugiyama: That's great. You collaborated with a Nobel laureate, Hans Bethe, when you were a graduate student.

Sato: Yes, that was my first paper (laughs).

Sugiyama: That's very impressive! You came across neutron stars because of the collaboration with Professor Hans Bethe, and you came across the Weinberg-Salam theory because of talking with Maskawa-san. You received guidance from the two Nobel laureates when you were a graduate student. What an incredible atmosphere!

Sato: Yes, indeed. I should be thankful to a good atmosphere of Kyoto in those days, where I was able to talk freely with such distinguished people, though I was just a graduate student. Of course, Maskawa-san was a junior

staff member back then.

Sugiyama: Surely he was young back then.

Sato: One important thing was that we had ample opportunity to talk freely with professors and junior staff members at nearby offices.

Sugiyama: I agree.

Sato: Those were the days, indeed. Back then, there was the so-called Research Planning Committee in Kyoto. Those who were elected by vote formed a cabinet of the Department of Physics II. Anyone, even graduate student, became a committee member once he/she was elected. I was elected, and so was Maskawa-san. Anyway, we knew each other for the most part, graduate students and staff, within the Department of Physics II. I knew the names and faces of almost all people in the particle physics and nuclear physics groups, and I was able to make contact with anyone personally. It has been my method of research to deal with nuclear physics, particle physics, and astrophysics simultaneously. I was really able to work in that way, and I fully enjoyed the merit of Kyoto's atmosphere in those days. Though I was a graduate student, I was able to have extensive discussions with professors and even with distinguished professors without hesitation (laughs). That atmosphere was really great. I remember a conversation with Maskawa-san. He proudly said, "I

recently wrote a paper in which I claim there are three generations of quarks." So I said, "Are you aware of what your boss is saying? He is arguing the infinite strata."

Sugiyama: That must be Professor Sakata, I guess.

Sato: I said a joke, "No need to stick to just three. There must be infinite generations." I was making fun. Anyway we were able to enjoy casually talking. To tell the truth, before going into cosmology I wrote a paper claiming that the phase transition of the Weinberg-Salam theory should occur even inside a high density object, neutron star. Broken symmetry would be restored by the fermion-Higgs interactions. But I made an important assumption that the mass of Higgs boson is very small. At that time, I was regarding it as a few hundred MeV, at most.

Sugiyama: That is a few hundredths of the present value.

Sato: Yes, I could make such an assumption in those days because the Higgs mass was completely unknown and also in many papers discussion was made with rather small Higgs mass. So I proposed that the fermion fields restore the symmetry. Around that time I became acquainted with Linde because he was working on similar problems such as restoration of the symmetry by the fermion fields and by raising temperature. This was in the 1970s. I sent my papers to him, and he wrote to me,

"I worked such and such problems," with his Lebedev Institute's preprints.

Sugiyama: It was a difficult time for people living in the Soviet Union to travel abroad, wasn't it?

Sato: That's right. Of course he was not able to go abroad. Sending letters back and forth took one month or so. Time was moving rather slowly in those days. Later but still during the Soviet Union times, Linde visited us. He was saying with a very cheerful voice, "I mostly work at home. I only go to the Lebedev Institute when I have to check references. Then I return home and do all my research there." He had to report to the Soviet Union Embassy every day on what he had done. But, as he was not so important a person nobody came along with him, and he was saying anything he wanted to say. As he was a very energetic person, I was lucky to get acquainted with him.

Professor Hayashi's Astro-Nuclear Physics Group Was Exciting

Sugiyama: So Kyoto had a very good atmosphere, and you met a lot of people there.

Sato: Yes, indeed.

Sugiyama: I want to hear more about Kyoto of those days. You belonged to Professor Chushiro Hayashi's astro-nuclear physics group. That group produced a lot of excellent people, covering almost all Japanese

astrophysics theorists if we talk about not only his direct disciples but also disciples of his original disciples and so on. Somehow, I myself am his second-generation disciple.

Sato: I suppose so.

Sugiyama: What do you think was a key to the success?

Sato: I think it was very significant that Professor Hayashi laid out a simple principle, that is, you have to work every phenomenon from the basic physical processes. We were intensively trained with this principle and through colloquia held in the group. He insisted that we had to work on elementary processes starting from basic equations rather than learning many phenomenological facts. I think that was great. When we look into astronomical phenomena, data analyses may have a bigger impact on the field as a whole, but in those days Professor Hayashi's approach had great influence. We were trained in colloquia which started at noon every Saturday and looked interminable.

Sugiyama: Did they last till midnight?

Sato: Well, sometimes. We had to spend a lot of time in preparation for colloquia because we were interrupted whenever Professor Hayashi had questions. Reporters had to choose their themes as early as half a year before the colloquia and start preparation. Otherwise they were sure to end up stalled

during the talk.

Sugiyama: (laughs)

Sato: We had to do an exhaustive survey of the related references. Otherwise we were sure to be scolded by him, "You have not checked even such things?" We were really trained intensively. When I moved to the University of Tokyo, I wanted to do the same thing. But as the colloquium went on one hour or two, even graduate students would begin to complain that they were busy and had something else to do. As times had changed, I dared not do that.

Sugiyama: It's really difficult to do now. We have to watch out for things like academic harassment. But I can understand that very deep discussion and building up from basic physical processes were key elements. Did you also have good communication?

Sato: Well, it was probably specific to the Department of Physics II, where we were able to hold discussions freely not only with people in the respective research groups but also with nuclear physicists and particle physics, or with experimentalists and theorists, because we knew each other. I think that was really great.

Sugiyama: I see. You incubated the inflation theory in such environment. Was it prior to your departure to Copenhagen as a visiting scientist?

Sato: Yes, it was only about three months before my

departure to Copenhagen.

Back then I was working not only on the Weinberg-Salam theory but also on problems such as the phase transition based on the Grand Unified Theories, phase transition inside matter, and possibilities to set limits on the Higgs particle from cosmology. It sounds crazy now, but I was also working on the possibility that the Higgs particles existed in the cosmic microwave background, and their decay changed the spectrum of the 3K background radiation. From this argument, I wrote a few papers by setting a limit on the lifetime of the Higgs particle and also by setting limits from the evolution of stars, assuming that Higgs particles come out of stars. Recently this approach has become a standard technique when particle theorists try to propose new particles.

Sugiyama: Yes, indeed.

Sato: A new particle called the tau-particle was also discovered around that time. It was called a heavy lepton in those days. I worked together with Makoto Kobayashi on setting limits to the neutrino mass and lifetime. We submitted our paper three or four days after the famous paper by Lee and Weinberg. But our paper discussed a possibility for their decay. The famous Lee-Weinberg paper, on the other hand, only set a limit on the mass, but not the lifetime. I'd like to stress this point because this was a joint work with Kobayashi-san.

Sugiyama: Here again, you worked with a Nobel Laureate. You had such a luxurious research life.

Sato: It was great that I was able to work with Kobayashi-san. Though I couldn't do detailed calculations, he wrote various diagrams for neutrino decay and made calculations. Apart from cosmology, Kobayashi-san checked various parameter limits from the particle-physics experiments of those days. We then wrote a paper by combining theoretically allowed regions and limits from cosmology.

Sugiyama: Was it around the time when you became an assistant professor?

Sato: Yes, around that time I became an assistant professor. Of course, Kobayashi-san was an assistant professor.

Post-Graduate Days

Sugiyama: Speaking of appointment to assistant professor, you spent about five years as a postdoctoral fellow before that. It must have been a difficult time for you. Would you mind telling us about it before going back to the topic of inflation?

Sato: Well, it was about four years (laughs). When I think back, there were more postdocs compared to graduate students in the astro-nuclear physics group, though the level of the group was high enough. It was good for me that I had to work hard in such a harsh period.

Sugiyama: I asked around people who were graduate students in those days (of course they are professors now) about it. They said it was a real concern for their future to see many postdocs including Sato-san and Takahara-san in the group.

Sato: Well, postdocs contribute to strengthening a research group. One reason that Professor Hayashi's group was exciting was that those people made up more than half of the group members, and they led very stimulating discussion over a wide field, allowing all the members to join them. Together with the positive atmosphere of the entire Department, it was really great.

Sugiyama: You are saying that, although it was a difficult time for young people to get jobs, those postdocs were taking the roles of assistant professors and leading the research activities in the group.

Sato: Yes. In that sense, I was also organizing an independent group. I am not sure if you knew this; I was also working on inter-stellar molecules.

Sugiyama: No, I didn't know that.

Sato: When I was in my first year as a postdoc, I organized a group to work on something new for summer school. That period coincided with the time when we built a nuclear-reaction network, namely, the nucleosynthesis network.

Sugiyama: Was it for the study of nucleosynthesis inside the supernova?

Sato: Yes. Not many people know this, but it was the first such attempt in Japan. The nucleosynthesis code which we developed had since been used by Nomoto-san and Sugimoto-san's group. An idea came to me that the code could be used for the inter-stellar molecules. If you read papers about inter-stellar molecules in those days, you will realize that the chemists pick only those reactions which they like and claim the synthesis from those chemical reactions. But I thought that there must be many reactions that destroy the synthesized molecules, and so we must consider all these effects. That was my purpose. Ms. Hiroko Suzuki played an important role at that time. She was planning to work on nucleosynthesis inside the star. So we decided to work together. Noting that the density and temperature vary in contracting inter-stellar dust, we calculated the ion-molecule reactions (one participant being an ion and the other being a neutral molecule) using a network. We published the results as a few papers. We found that the ion-molecule reactions are in fact the main route for the inter-stellar synthesis of molecules except hydrogen molecules which are produced only through surface reactions. Suzuki-san continued her research in this

direction and pioneered the field of inter-stellar molecules in Japan.

Sugiyama: So, you have worked on various subjects to which your expertise in physics could be applied, not limiting yourself to a specific discipline.

Sato: Right. Furthermore, as we had good communication, we could make informal collaboration with no hesitation (laughs).

Proposing Inflation in the Early Universe

Sugiyama: While you were working on a variety of subjects, as we discussed, you were thinking how to apply the Higgs particle in the Weinberg-Salam theory to the universe.

Sato: At first I applied it to the inside of the stars, but it was obvious that a phase transition occurs at the beginning of the universe.

Sugiyama: From the energy argument, it is readily understood that it occurs at the beginning of the universe.

Sato: Yes. During my postdoc days, Professor Fumitaka Sato was asked to write an article for a popular science magazine *Shizen*, and he asked me to write something based on my work. Accordingly, I drew a plot in which the forces are drawn with temperature and time indicated on one side. As the temperature goes down, phase transitions occur and the forces branch out. I believe I drew that plot for

the first time in the world. Of course, Professor Fumitaka Sato made various corrections to the manuscript.

Sugiyama: I recall that *Shizen* was published by a publishing company *Chuo Koron*, but it was discontinued many years ago. When did your article appear?

Sato: First in 1976, and then in 1978. Professor Motohiko Yoshimura's work on baryon asymmetry also appeared about the same time and, I think particle physicists were beginning to show interest in cosmology. They had not paid any attention before. When I talked about phase transition in the universe in a particle-physics workshop, I was asked immediately, "Do you really believe the spontaneous symmetry breakdown of the Higgs field?" It was sufficient for them if symmetry be broken down. They thought it was not a real phenomenon that phase transition occurs as the temperature goes up.

Sugiyama: Yes, there were arguments that it was just an expedient.

Sato: I was often scolded by senior people. They said it was just sort of a mathematical tool, just an expedient. Other people told me, "Nobody found the Higgs particle. Weinberg-Salam? They discuss things assuming a fictitious particle. You should not study supernovae based on such an argument." It was appalling. The early 1970s was such time. A change of mood occurred when the neutral



current was discovered. To my pleasant surprise, the Gargamelle experiment at CERN discovered the neutral current when I was working on supernovae. This caused the Weinberg-Salam theory to rise in value greatly.

Sugiyama: It was just around the time when your work on neutrino trapping inside the supernovae appeared. So you got definitive evidence.

Sato: Well, I was very encouraged by this experiment, especially because it just came as I was working on neutrino trapping. I strongly felt: "This is the truth." I wrote a lot of papers on cosmological limits on the Higgs particle in the early universe. As I had already noticed the phase transitions of the universe, I had also noticed that it naturally causes the branching, or evolution, of the forces. But if the story ends up with the evolution of the forces, the

subsequent evolution of the universe would be just an old tale. Unless we find its trace in the present universe, it would not be interesting. As I continued working, I found that if a slightly smaller value is chosen for the Higgs mass (here again, the Higgs mass should be modified), the Higgs potential has a small peak between the symmetric state where the value of the Higgs field is 0 and the state where the symmetry is broken, because the effect from radiative corrections becomes very large. Though fine-tuning was needed, it resulted in an appropriate first-order phase transition. In the first-order phase transition, though some parts of the system have completed the transition, others have not. So, I soon realized that the universe would exponentially inflate by the vacuum energy of the Higgs field, should there be a vacuum-energy dominant,

or, Higgs-energy dominant era. I built a simple model that the universe would be heated all at once to form a fire ball, as a consequence of the sudden change of states occurring in the first-order phase transition. It was in April, 1979. But when I talked about this model at a seminar of our subgroup, which I think was in May, I was severely criticized by Kodama-san.

Sugiyama: Is he now a professor at KEK?

Sato: Although I was not quite confident, I claimed "We can settle the horizon problem once and for all by this." Then Kodama-san said: "You are claiming that the universe becomes homogeneous by using a homogeneous isotropic model. That does not make sense." His criticism was: "You've derived the conclusion by postulating it. It will be worth paying attention if you conclude homogeneity starting from an anisotropic

model. But it is tautology to claim homogeneity of the universe or that of 3K radiation starting from a homogeneous model.” He was right. So I thought of three things based on a policy to look for any observable effect or anything useful in actual astronomy rather than putting emphasis on just the horizon problem or other philosophical problems. The first one was the fluctuations, namely, the origin of the large-scale structure of the universe.

Sugiyama: Yes, you stressed that point very much.

Those Days at the Niels Bohr Institute

Sato: That’s right. So, secondly, on the survival of the so-called baryon-antibaryon symmetric (domain structure) model of the universe, and lastly, the monopole problem (as the collaboration with M.Einhorn)—in Copenhagen, I wrote three papers along these lines. At that time, it was not in favor to propose the inflation because the density parameter of the universe, Ω was determined to be 0.01. I was not able to propose the flatness of the universe, which was contradictory to the observational results.

Sugiyama: Was it 0.01?

Sato: Yes, it was 0.01 or 0.02, because it was a baryonic number.

Sugiyama: It was referring to the visible part of baryonic contribution.

Sato: That’s right. So, I was

not able to claim the flatness with confidence.

Sugiyama: To some extent it sounds similar to the story of Einstein who built an unnatural model of a static universe. This was because observations were quite behind theory.

Sato: A similar story—I thought that the story of creating the large-scale structure of the universe by the growth of large-scale fluctuations extending over the horizon was persuasive for a paper. So, I decided to submit that paper to *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*.

Sugiyama: It’s not a journal of physics, but astronomy. You submitted your paper earlier than Guth.

Sato: I submitted this paper and another one dealing with creating the matter-anti matter symmetric universe at the beginning of February, and the last monopole paper in July. Guth submitted his paper in August. My three papers were all submitted for publication earlier than Guth, with the first two earlier by almost half a year. When I thought something useful with inflation, I was reluctant to write a paper for *MNRAS* to claim the flatness of the universe, because I was aware of its inconsistency with observations. It would have been better to submit a paper claiming it to *Physical Review* as Guth did.

Sugiyama: I see. Because of that, the motivations of your

papers did not look very clear.

Sato: In retrospect, stressing the flatness would have been more popular.

Sugiyama: But, last year, when the Nobel Prize in Physics was given for the discovery of the accelerating expansion of the universe, the Nobel Committee for Physics referred to the inflation, and quoted the names of Starobinsky, Sato, and Guth. Your name was quoted second.

Sato: I was pleased with that as evidence for world recognition.

Sugiyama: That means recognition by the Nobel Committee for Physics. You completed that work in Copenhagen, which was a big turning point for your research. That’s my impression.

Sato: That’s right. Of course, I had had the idea but how to complete it as papers was worked out in Copenhagen. As a matter of fact, I was invited to Copenhagen as a visiting professor because my research on supernova neutrino trapping by the neutral current interactions was highly evaluated. I felt sorry to Chris Pethick who invited me, but I did nothing about supernova there. I was concentrating on the inflation.

Sugiyama: That’s OK. You made a major achievement. In addition, you got to know many foreign researchers of the same generation in Copenhagen.

Sato: So many visitors, including M. Rees, M. Turner

and S. Perlmutter, came to the world-famous Niels Bohr Institute. I got to know so many researchers.

Sugiyama: You built many good relationships. Then, after having returned to Kyoto, did you immediately move to The University of Tokyo?

Sato: No, I stayed at Kyoto for one year. During that time I was able to write a paper on multi-production of universes with my collaborators at Kyoto. A detailed study of the first-order phase transition shows that it does not finish everywhere all at once. If a false vacuum region surrounded by bubbles of true vacuum has a substantial size, that region is still inflating. So, the phase transition does not finish.

On the other hand, looking from the regions where phase transition finished, the false vacuum region must be shrinking away. This means that the surface of the region is shrinking, but its volume is expanding. I suffered from this paradox. I returned to Kyoto in July, and found a solution to this paradox through discussion with young people at that time forming a subgroup with me, Sasaki-san, Kodama-san, and Maeda-san. We wrote a paper in September. We realized that a wormhole solves the paradox, and by assuming spherical symmetry the equation becomes smooth. So we built a model in which a spherically symmetric region of false vacuum is surrounded

by small bubbles, and showed that region becomes a wormhole in a mathematically beautiful way.

Moving to the University of Tokyo

Sugiyama: Then, you moved to Tokyo and started to build your research group. You have fostered researchers who are now leading scientists in Japan. What was your policy of managing your group at Tokyo?

Sato: As I was trained by Professor Hayashi, I adopted my principle of guidance as studying from basics rather than studying phenomenology. I gave great attention to colloquia and made efforts to continue discussion. I invited Kodama-san as my first assistant professor. As he had the same philosophy as mine, I think our academic training was quite severe for graduate students. Kodama-san was particularly severe.

Sugiyama: I think so (laughs). It is evident from his complaint about inflation.

Sato: Well, his critical attitude is quite important. Without it, you cannot make scientific success. That's why I invited him to be my assistant professor. Another thing I managed to bring to Tokyo from Kyoto was an atmosphere in which even graduate students are on equal footing with staff physicists in research. I think it was also nice. We have fostered many researchers in

such an atmosphere.

Sugiyama: I see. Your group has been very active, of course, but you started to be involved in administration; for instance you served as President of the Physical Society of Japan and Dean of the School of Science. How did you reconcile your standpoint as a researcher and administrator?

Sato: I certainly started to be involved in administration when I was around 50 years old. The first occasion was an application to the COE (Center of Excellence) Program as the Principal Investigator. It was approved. Honestly speaking, I had to concentrate my efforts to such things around the time when I worked on establishing the Research Center for the Early Universe. As a matter of fact, I was encouraged by Professor Kamae, Professor Orito and other senior professors at first, because, if successful, they could get valuable money for their observational research, and theory groups could buy a small supercomputer.

Sugiyama: It was successful. The center has been operated with even a net increase of a professorship.

Sato: The COE Program was a five-year program, but it was extended to seven years and we got two billion yen of support in total. With that support, Professor Orito launched a balloon to detect anti-protons (BESS Experiment), Professors Kamae and Makishima

developed the X-ray detectors for the ASTRO-E satellite. In that sense, my center was very useful in strengthening the astrophysics groups in the University of Tokyo and very much contributed to raising the level of the entire university. Usually theorists present original contributions when they are rather young. That means that if they are no longer young, somehow I feel it's their duty to do some administrative work appropriate to their age. Of course, some old theorists are still active, which is great.

Sugiyama: I think you have performed your duty very well. The Japanese name of the Research Center for the Early Universe has changed now to mean the "International Research Center for the Big-Bang Universe".

Sato: At the stage of application to MEXT for establishing the center, I asked some journalists about the name of the center. Some said, "The Research Center for the Early Universe? It's too difficult to remember." So, the Japanese name of the center was decided as the International Research Center for the Big-Bang Universe. But, I was told by a professor of chemistry, "Wow! Big Bang Center? Isn't the Big Bang only a hypothesis, just a story with no reality? It's an awkward name for the center."

Sugiyama: Really? That was about ten years ago, wasn't it?

Sato: Yes, I was stupefied at hearing it.

Sugiyama: You had to say that there was plenty of evidence.

Sato: Only ten years ago, researchers in other areas still thought that the Big Bang was but a story that the Universe begun with it. It happened at the time when I asked Dean of the School of Science for starting formal discussion about establishing the center. I was stunned.

Sugiyama: So, we must make every effort to convey our knowledge to people through outreach activities.

Sato: I agree. When I became Dean of the School of Science, I started public lectures by faculty members. Till then, the atmosphere of the School of Science was: "You must work on writing papers if you have time to do things like that." However, as the fields of astronomy and astrophysics spend big money, these fields particularly need people's support. We can only expect it by conveying the fun of science to them. So, actually, many researchers in the field of astronomy are involved in outreach. The same is true for all other fields at the School of Science, I think. Therefore I thought that public lectures at the School of Science were really important, and I initiated the event twice each year. Around that time, the social atmosphere started to show a big change. So, not only because of my initiative, but also because of the trend

at that time, we have been making lots of public relations efforts.

Sugiyama: I see. In the fields related to the universe in particular, doing public relations activities is rather easy, but in the elementary-particle field, it is not so easy. But therein also, the Kavli IPMU has been putting effort. There are some really good talkers, and they are involved in outreach in many places.

Sato: On the Kavli IPMU's home page, video clips are uploaded and we can see Director Murayama's various lectures. It's wonderful that Kavli IPMU has a powerful staff. At NINS we are also devoting efforts to public relations. NAOJ is very good on that point. Also, institutes for biological science at Okazaki frequently hold press conferences and host various hands-on programs for high-school students. In particular, as the National Institute for Physiological Sciences is an institute for brain science, it provides many programs in which people can even make experience on brain science. The National Institute for Fusion Science operates its booth for experiencing fusion science at the National Museum of Emerging Science and Innovation, and also holds a big outreach event once a year.

Major Science Projects Need Support from Community

Sugiyama: Basic science is often considered as inefficient

in government spending. Now astronomers are pushing very big projects forward, and particle physicists may proceed to ILC after LHC. They need huge amount of money. So, it will become a very big problem how we can manage to get a social understanding of our projects.

Sato: Exactly. I agree that applied science is important and needed for industry and economy in Japan. So, it would be indispensable to set an appropriate proportion in budget between basic science and applied science. Basically, determining this proportion is an important policy. We naturally want a bit more appropriation for basic science, because, for example, a number of nice projects are going on at NINS. The Large Helical Device (LHD) at the National Institute for Fusion Science can be operated longer than tokamaks, though temperature and density are not yet comparable to those of tokamaks. But, lots of improvements have been made for LHD, and the three conditions for fusion, namely, time, density, and temperature, are steadily improved. For fusion research, only constructing the big ITER is not sufficient. What is needed is the accumulation of basic research. So, I would like to see a bit more governmental support. We, basic scientists think the present policy is a bit biased to application. So-called "Selection and Concentration"

sounds nice, but it is clear that the concentration never results in good cost performance. I hope those who decide Japanese science policy, such as politicians and members of the Council for Science and Technology Policy, emphasize basic science a bit more.

Sugiyama: In that sense, we should take much account of the message from the Science Council of Japan (SCJ).

Sato: Yes, in that sense, we are very much indebted to you. SCJ's Subcommittee for Astronomy and Astrophysics of the Committee for Physics has produced an excellent future plan for large research projects in astronomy. The fact that the whole astronomical community has decided to push these projects makes a strong message to the government. It has been extended to the SCJ's discussion of future plans for large research projects in all fields.

Sugiyama: Yes, the Master Plan has been compiled. It was primarily motivated by our activities in the field of astronomy.

Sato: That's right. Now researchers in various fields understand that they really need supports from the respective community by hearing its opinions. As a result, it has become a basic way even for MEXT to decide things based on the report from the SCJ. It's a complete change. Previously, if scientists wanted to push a big project,

they directly explained their plan to the MEXT officers concerned. Now, the process to approve the projects by MEXT proceeds in the following way. I am a member of the Working Group on Large-Scale Projects of the Council for Science and Technology, and this Working Group evaluates the projects recommended by the SCJ, because it is difficult for the SCJ to evaluate individual projects. Decision for approval is made based on the evaluation results. The TMT project, which I have mentioned at the beginning, was given top-priority, and its preparation as well as the Subaru's upgrade plan was authorized by the MEXT. So, its budget will be allocated in earnest starting with the next fiscal year. The budget for the Super-B Factory was also approved, though not in full. It was another project recommended by the SCJ with a bottom-up approach.

Sugiyama: So, we have to demonstrate that the plan we want to push is a good plan that is firmly supported by the community.

Sato: It is great that every community is now aware that if it wishes to push some project, support from the entire community is vital.

Hope for a Major Paradigm Shift in Physics

Sugiyama: Let me pose the final question. In the past decade or two, cosmology as well as observations

developed very rapidly. Going forward, what do you expect in the fields you are involved with?

Sato: Well, let me first talk about my most familiar research topic, the supernova study. Particularly in Japan, the number of people doing simulation increased very much. When I started, I was almost only one to study core-collapse supernovae in Japan, but now the community has considerably grown up, and the Japanese contribution is getting pretty high. In that sense, we can expect world-class accomplishments.

Sugiyama: You mean successful simulations for supernovae explosion, for instance.

Sato: Exactly. Of course, our ultimate purpose is to clarify dark matter and dark energy. People say dark matter is elusive, but I hope LHC will discover it as its energy goes up. Underground experiments are also well advanced. For instance, Yoichiro Suzuki's XMASS will be upgraded to approach the absolute observation limit. In this sense, I hope we will be able to conclusively identify dark matter both experimentally and observationally in about 10 years. As for dark energy, I believe that it is related to inflation. Because of this, sometimes I say that the present dark energy-dominated universe as the manifestation of the second inflation. People now call the field responsible for inflation

as *inflaton*, but the nature of inflaton should be a truly fundamental problem in particle physics, such as "What is the vacuum energy?" and "What is the energy of space?" I think a scalar field works phenomenologically, but I believe its real nature is not that simple.

Sugiyama: Possibly, we may obtain some important hints if we study the nature of the Higgs particles precisely.

Sato: I completely agree with you. Phenomenologically, the Higgs field is explained in a beautiful and simple manner in analogy to superconductivity, but I think its true mechanism is not known. The Higgs particle is said to be a fundamental particle giving mass to other particles. Though I am no particle physicist, I don't think it is truly fundamental. Rather, I believe it is only a concept produced in a phenomenological model. I think a phenomenological explanation of the occurrence of phase transition is true, but it may well be that the true mechanism should be extraordinarily huge and profound a concept, something related with the "vacuum". I think if the true nature of the Higgs particle is uncovered, it should be the time of a great paradigm shift in physics. Many years ago, L. Abbott wrote a review paper in *Scientific American* (vol. 3, no. 1 (1991) p. 78), in which he stated about the "vacuum" that "It is our challenge to

repair that faulty foundation without destroying the towering edifice—the system of physics—we have built on it." I completely agree with him. Our present dream is that the towering edifice of the system of physics would never be broken, but repairing its foundation would cause a great development of physics once again. We do not quite understand how it happens, but according to the current trend, it may well be that we should look to the superstring theory. In that sense, I hope that Ooguri-san and his collaborators will make a fundamental paradigm shift happen, because they are truly world leading superstring theorists.

Sugiyama: I see. You are counting on the Kavli IPMU. Experimentally as well, it would be possible to investigate that point very precisely at the Large Hadron Collider (LHC) and, going forward, at the International Linear Collider (ILC). Though I am a bit of an outsider, too, I also wish to watch it with high hopes.

Sato: I think so, too. There should be still more wonderful developments in physics.

Sugiyama: To make that happen, we need to repair its foundation properly.

Sato: That kind of thing will probably happen within the 21st century. I would not say within 10 years, but I believe a major paradigm shift—a revolution in physics, should happen once again.

Sugiyama: Thank you very much for ending up our conversation with a very encouraging outlook for the future.

The First Big Step for the Hyper Suprime-Cam Project!

Masahiro Takada

Kavli IPMU Professor

Finally the Hyper Suprime-Cam (HSC) had its first big step! During the first commissioning run starting from Aug 16 2012, the HSC was mounted on the 8.2m Subaru Telescope, and then it was confirmed that the HSC camera properly captured lights from the star Vega. It was the exciting moment that the HSC project finally became a reality. Since the initial concept emerged back in 2002, led by Dr. Satoshi Miyazaki (NAOJ, Principal Investigator of the HSC Survey), many scientists and researchers across various institutes in Japan and from Taiwan and Princeton University have joined subsequently and collaborated together, and then finally the first commissioning run was carried out – about 10 years instrumentation/development of the HSC project.*1

HSC is the new-generation prime-focus camera of the Subaru telescope that is designed to have a 1.5-degree field-of-view*2 in diameter, substantially wider than the current camera (Suprime-Cam) by a factor of 7, but to maintain excellent image quality. HSC is a “huge” digital camera, standing 3 meters high, weighing 3 tons, and having 116 CCD chips mounted at the focal plane, 870 millions pixels in total. To study the evolution history of the Universe and its fate, we astronomers need a homogenous survey measuring as deep, distant (therefore fainter) galaxies as possible over as a wider solid angle on the sky as possible. Thanks to its large mirror aperture, wide field-of-view, and excellent image quality, the HSC becomes the most powerful survey imaging camera in the world.*3

The HSC team has now grown up consisting of

*1 I have been involved in the HSC project since I joined the Grants-in-Aid for Scientific Research for the HSC project back in 2006.

*2 The field-of-view (FoV) is the area on the sky which a camera can see at once. The HSC FoV has roughly the same area as a total area of 7 full moons.

*3 Etendue, the FoV times the mirror size, is often used to quantify a survey speed of a given camera. In terms of Etendue, HSC is the most powerful camera in the world, more powerful than the Dark Energy Camera (DECam) used for the competing survey in the US, Dark Energy Survey (DES), by about factor of 3.



Entire view of HSC (Credit: NAOJ HSC Project).

about 160 people from various places, mainly Japan, Taiwan, and Princeton University. We have worked together in preparation for carrying out a largest-ever galaxy survey with HSC. We are planning to picture detailed, high-quality images for several hundred millions of galaxies, among hundreds of billions of galaxies that exist in the Universe. That is, the HSC survey offers a population sensor of the Universe. In particular, we are planning to make, from the HSC data, a high-precision measurement of gravitational lensing effects, predictions of Einstein’s gravity theory, in order to reveal the distribution of dark matter in the Universe. Further, by measuring how dark matter “clusters” as a function of time in an expanding universe, we hope to constrain the nature of dark energy that is the unknown, mysterious component to govern the fate of the Universe behind the scenes. We plan to start the HSC survey from the middle of 2013, for 5 years duration. The aforementioned “first-move” of the HSC camera just marks “the start line” of our extraordinary long-journey, the HSC survey, and from now is the real journey we should make. Please stay tuned for exciting science news we will soon bring with the HSC survey!

News

FY2012 Site Visit

A FY2012 site visit by observers from MEXT and JSPS was conducted on August 1 (Wed) at the Kavli IPMU building on the University of Tokyo's Kashiwa campus. Also, on August 3 (Fri), they visited the Kamioka Branch of the Kavli IPMU for the first time since the launch of the IPMU in 2007. Members of the delegation included WPI Program Director (PD) Toshio Kuroki, Program Officer (PO) in charge of Kavli IPMU Ichiro Sanda, five Working Group members, Tetsuji Miwa, Matthias Staudacher, Yutaka Hosotani, Hiraku Nakajima, and Ian Shipsey, and Mitsuyuki Ueda (Director, World Premier International Research Center Initiative/ Basic Research Promotion Division) from the Research Promotion Bureau of MEXT, and others. Managing Director and Executive Vice President Yoichiro Matsumoto attended from the University of Tokyo Directorate.

Starting with Director Murayama's overview presentation as usual, the site visit followed the last year's program: ample time was allocated for the oral presentations of research reports by principal investigators and faculty members, and also to poster presentations by young researchers including postdoctoral fellows and graduate students.

On August 3, the delegation visited the Kavli IPMU Kamioka Branch. One of the Working Group members, Tetsuji Miwa did not join at this time, but Toru Nakano who is the PO in charge of the Kyoto University's WPI center, iCeMS, newly joined. The observers first heard an overview about the activities of the Kamioka Branch from Kavli IPMU Deputy Director Yoichiro Suzuki, and after the Q&A, they moved into the underground laboratory in the Kamioka Mining Company's Mozumi Mine. There, the delegation visited the experimental sites of XMASS, KamLAND, EGADS, and Super-Kamiokande. Having heard explanations from researchers at the respective experimental site where huge tanks and complicated instruments were placed close together, the observers seemed to be greatly impressed. After the visit to the underground laboratory, the delegation returned to the Kamioka Branch Office and interviewed young researchers who are stationed at Kamioka. The site visit was concluded with a free discussion among the observers and Director Murayama and other Kavli IPMU core members who accompanied the delegation.



Director Murayama presenting an overview at the site visit to the Kavli IPMU at Kashiwa.



The observers as well as attendants arriving at the underground experimental site in the Mozumi Mine of the Kamioka Mining Company.

Fifth Meeting of the Kavli IPMU External Advisory Committee

The fifth meeting of the Kavli IPMU External Advisory Committee was held on July 24, 2012, prior to the WPI site visit, with seven committee members—Roberto Peccei (UCLA, chair), John Ellis (King's College London), Steve Kahn (Stanford/SLAC), Sadayoshi Kojima (Tokyo Tech), David Morrison (UC Santa Barbara), Sadanori Okamura (Hosei), and Nigel Smith (SNOLAB)—in attendance. The committee heard from Director Hitoshi Murayama as well as Associate Director Nobuhiko Katayama on the Kavli IPMU activities and from researchers in various fields on their research reports. The committee also looked at the poster presentations. The committee reviewed the Kavli IPMU's past activities and gave valuable suggestions for the future.



Director Murayama Received a Letter of Appreciation of Global Messengers of "Japan" Project

On September 18, 2012, the Japanese Government's National Policy Unit announced 63 Japanese who carried out notable activities in the international community and contributed to spreading the positive image of "Japan" to a global audience, and Hitoshi Murayama, Director of the Kavli IPMU, was among them. Those 63 people were selected in *The Global Messengers of "Japan" Project* from various fields such as sports, culture, and social contribution, by the selection committee consisting of foreign journalists etc. Letters of appreciation were presented by the Minister of

State for National Policy, Motohisa Furukawa to the selected 63 people.

Hirosi Ooguri Received the Inaugural Simons Investigator Award

The Simons Foundation announced on July 24, 2012 that Hirosi Ooguri, the Fred Kavli Professor of the California Institute of Technology and a



Hirosi Ooguri

Principal Investigator of the Kavli IPMU has been selected to receive the Simons Investigator Award in the inaugural year of the award. Ooguri will receive more than \$1.3 million over the next ten years for his research. According to the Simons Foundation, the goal of the new program is “to provide a stable base of support for outstanding scientists in their most productive years, enabling them to undertake long-term study of fundamental questions.” Nine theoretical physicists, seven mathematicians, and five theoretical computer scientists were appointed as Simons Investigators. Ooguri was the only recipient from the field of particle physics.

Hirosi Ooguri was recognized in his award citation as a “mathematical physicist and string theorist of exceptional creativity and breadth.” He was chosen as an investigator for his “innovations in the use of topological string theory to compute Feynman diagrams in superstring models,” as well as for his work on Calabi-Yau manifolds which has yielded important new insights into the D-brane and for his essential contribution to the development of the holographic principle of quantum gravity.

MSJ 2012 Geometry Prize to Yukinobu Toda

Derived categories of coherent sheaves on algebraic varieties are very

interesting objects to be investigated because they are related to superstring theories, non-commutative algebras, symplectic geometry, and so on. The Mathematical Society of Japan (MSJ) awarded the 2012 Geometry Prize to Yukinobu Toda, Associate Professor at Kavli IPMU, for “The study of the stability conditions in derived categories and the Donaldson-Thomas invariants.”

MSJ’s Geometry Prize was established in 1987 by the donation of funds by a group of Japanese researchers in geometry. This prize is awarded to mathematicians who have contributed to the development of geometry in a broad sense, including differential geometry, topology, and algebraic geometry, by obtaining outstanding results, or by accumulated important achievements for many years of research, or by giving excellent guide to young mathematicians by writing books and/or by other means.



Yukinobu Toda

The BCS Prize to the Kavli IPMU Research Building

The Japanese Federation of Construction Contractors announced that the 53rd BCS prize was awarded to 15 architectural structures including the Kavli IPMU research building at The University of Tokyo’s Kashiwa campus. The award ceremony will take place on November 20, 2012, at the Imperial Hotel, Tokyo.

The BCS prize was established in 1960 by the Japanese Building Contractors Society at that time under the philosophy that not only the design but also the construction techniques are important in constructing excellent architectural structures and, for that reason, the cooperation among three

parties, namely the owner, the designer and the contractor, is essential. The prize is awarded annually to excellent architectural structures in Japan. Note that Professor Hidetoshi Ohno of the Graduate School of Frontier Sciences, at The University of Tokyo, was awarded the AIJ (The Architectural Institute of Japan) Prize 2011 for Design for his achievement in the design of the Kavli IPMU building (see, *IPMU News* No. 14, p.28). Though that prize is awarded to the architect, the BCS prize to the Kavli IPMU building is actually awarded to the architect as well as the owner (The University of Tokyo) and the contractor in view of its philosophy.

Science Café 2012 at Tamarokuto Science Center Well-Received

The Science Café 2012, fourth in this series, was held at the Tamarokuto Science Center in Nishi-Tokyo City, jointly sponsored by the Kavli IPMU and the Tamarokuto Science Center. This year, Sadanori Okamura (Professor at Hosei University; former Director of the Todai Institutes for Advanced Study) gave the first lecture, entitled “The Baryonic Universe,” on June 30, Naoki Yoshida (Professor at Department of Physics, The University of Tokyo and Kavli IPMU Senior Scientist), the second lecture entitled “When the Universe Was Filled with Light,” on July 7, and Tomoyuki Abe (Kavli IPMU Assistant Professor) gave the third lecture entitled “Mathematics from Figures—A Small Journey to Three Wonder Worlds of Langlands,” on September 8.

The first and third lectures were delivered in a rather small room with a capacity of 80 people, with a typical Science Café style, where a relaxed atmosphere was specifically emphasized so that lecturers could give

quizzes and attendees could talk with the lecturers in a friendly manner. The second lecture was divided into two parts, with the venue of the first part being the Tamarokuto Science Center's new planetarium on its opening day! The first part started at 17:00, the closing hour of the Science Center, and Professor Yoshida's presentation was projected onto the planetarium dome. It completely fit with the Star Festival (*Tanabata*, the seventh night of July) evening. The second part, with all the people moved to a different room, was a typical Science Café, with the lecturer closely surrounded by the audience. Every time, the audience—broadly ranging from junior high-school students to septuagenarians—actively asked questions, and Science Café 2012 was a great success.



Professor Sadanori Okamura giving a lecture on June 30.



Professor Naoki Yoshida giving a lecture on July 7. The venue for the first part was the Tamarokuto Science Center's planetarium.



Professor Tomoyuki Abe giving a lecture on September 8.

Summer Science Program for High School Students "Look into the Universe"

On July 28, 2012, 16 high school students joined a hands-on summer science program "Look into the Universe" held by the Kavli IPMU at The University of Tokyo's Kashiwa campus. The program consisted of a cosmology lecture by Eiichiro Komatsu (Director of the Department of Physical Cosmology, Max-Planck Institute for Astrophysics and Kavli IPMU Visiting Senior Scientist) as well as remote lectures via video conference system from the National Astronomical Observatory of Japan's Hawaii Observatory and the XMASS facility of the Kavli IPMU's Kamioka Branch. Students were interested in the forefront research, and they asked a lot of questions. Kavli IPMU Director Hitoshi Murayama as well as Associate Director Nobuhiko Katayama unexpectedly joined the program and they took it as a good chance to directly convey the pleasure of science and, in particular, that of studying the universe, to the students.



Students and Kavli IPMU staff

Hyper Suprime-Cam Ushers in a New Era of Observational Astronomy

The installation of the Hyper Suprime-Cam (HSC), which had been developed by the joint efforts of National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ), Kavli IPMU, and other partners, onto the NAOJ's Subaru Telescope in Hawaii took place on August 16-17, 2012, and its engineering first light was successfully

achieved starting from the night of August 28. At Kavli IPMU, HSC has been developed as one of the two subprojects of the SuMIRe Project, which is supported by FIRST (The Funding Program for World-Leading Innovative R&D on Science and Technology), and led by Kavli IPMU Director Hitoshi Murayama as a core researcher. For more about the HSC's engineering first light and future survey plan, see page 24.

SDSS III Released the Largest-Ever 3D Cosmic Map

The Sloan Digital Sky Survey III (SDSS-III) team, including some Kavli IPMU researchers, has released the largest-ever three-dimensional cosmic map, as Data Release (DR) 9. It will help the challenge of scientists to explain the mysterious dark matter and dark energy that scientists know makes up 96 percent of the Universe.

At the beginning of the last year, SDSS-III released the largest digital color image of the sky ever made (see *IPMU News* No. 13, page 21). SDSS-III started a six-year plan to extend this image to a 3-dimensional map, and with online release of DR9, the first one third of the cosmic map has been made available.

Clumpy Structure of Supernova Explosions – A Subaru View of Supernova Explosion Mechanism

A group of researchers including Masaomi Tanaka (Assistant Professor at NAOJ, previously IPMU Postdoc), Koji Kawabata (Associate Professor at Hiroshima University), Takashi Hattori (NAOJ researcher), Keiichi Maeda (Kavli IPMU Assistant Professor) and Ken'ichi Nomoto (Kavli IPMU Principal Investigator) have reported that supernova explosions show a clumpy structure, as observed by the Subaru

telescope. The study is expected to advance our understanding of the supernova explosion mechanism which has been a mystery for more than half a century. This result has been published in the July 20, 2012 issue of *The Astrophysical Journal*.

Kavli IPMU Seminars

1. "Gromov-Witten theory of Calabi-Yau spaces II"
Speaker: Yongbin Ruan (University of Michigan)
Date: Jun 19, 2012
2. "An introduction to Seiberg-Witten Theory for mathematicians"
Speaker: Yuji Tachikawa (U Tokyo)
Date: Jun 19, 2012
3. "Asymptotic flatness of higher dimensional spacetimes"
Speaker: Tetsuya Shiromizu (Kyoto U)
Date: Jun 20, 2012
4. "Mirror symmetry and modular form"
Speaker: Yongbin Ruan (University of Michigan)
Date: Jun 20, 2012
5. "2HDM_MFV Facing Recent LHCb Data"
Speaker: Minoru Nagai (U Tokyo)
Date: Jun 27, 2012
6. "Real Galaxies & Virtual Universes"
Speaker: Roderik Overzier (UT Austin)
Date: Jun 27, 2012
7. "Multi-wavelength Observations of the Enduring Type II_n Supernovae 2005ip and 2006jd"
Speaker: Maximilian Stritzinger (Aarhus/Stockholm)
Date: Jun 28, 2012
8. "New ways of searching for the primordial gravitational wave from large scale structure"
Speaker: Donghui Jeong (JHU)
Date: Jun 29, 2012
9. "The derived category of a GIT quotient"
Speaker: Daniel Halpern-Leistner (UC Berkeley)
Date: Jul 02, 2012
10. "Towards the Era of High Precision Cosmology"
Speaker: Nao Suzuki (Lawrence Berkeley National Lab)
Date: Jul 02, 2012
11. "Torsion points on Jacobian varieties and p-adic Sato theory"
Speaker: Yuken Miyasaka (Tohoku U)
Date: Jul 03, 2012
12. "Why do I believe in SUSY more strongly than before the LHC?"
Speaker: Tsutomu Yanagida (Kavli IPMU)
Date: Jul 04, 2012
13. "On the rational K2 of a curve of GL2 type over the function field of a curve over a finite field"
Speaker: Satoshi Kondo (Kavli IPMU)
Date: Jul 05, 2012
14. "An introduction to Seiberg-Witten Theory for mathematicians"
Speaker: Yuji Tachikawa (U Tokyo)
Date: Jul 10, 2012
15. "Phenomenology of a pseudoscalar inflaton: naturally large non-gaussianity"
Speaker: Marco Peloso (Minnesota)
Date: Jul 11, 2012
16. "How to kill a giant molecular cloud (GMC)"
Speaker: Elizabeth Tasker (Hokkaido University)
Date: Jul 12, 2012
17. "Latest Results on the Standard Model Higgs Searches at the LHC"
Speaker: Koji Nakamura (CERN)
Date: Jul 13, 2012
18. "New probes of initial state of quantum fluctuations during inflation"
Speaker: Eiichiro Komatsu (MPA/Kavli-IPMU)
Date: Jul 13, 2012
19. "Unified description of Nambu-Goldstone Bosons without Lorentz invariance and Presymplectic Geometry"
Speaker: Hitoshi Murayama (Kavli IPMU)
Date: Jul 17, 2012
20. "Fermions for mathematicians"
Speaker: David Morrison (UCSB)
Date: Jul 20, 2012
21. "F-theory on genus one fibrations"
Speaker: David Morrison (UCSB)
Date: Jul 23, 2012
22. "To Higgs or not to Higgs? That is one of the questions."
Speaker: John Ellis (King's College London)
Date: Jul 23, 2012
23. "Naturalness in SUSY models and LHC results"
Speaker: Masaki Asano (Hamburg)
Date: Jul 25, 2012
24. "Observational Cosmology: Evolution of the Universe over 13.7 billion years"
Speaker: Naoki Yoshida (Department of Physics/Kavli IPMU, University of Tokyo)
Date: Jul 25, 2012
25. "Conformal/supersymmetric interfaces for string theory"
Speaker: Yuji Satoh (Tsukuba U)
Date: Jul 31, 2012
26. "Drawing Photons from the Future – the LSST Photon Simulator and Shear Systematics Studies"
Speaker: Chihway Chang (Stanford)
Date: Jul 31, 2012
27. "Quantum K-Theory and the Geometry of Spaces of Curves"
Speaker: Leonardo Mihalea (Virginia Tech)
Date: Jul 31, 2012
28. "Correlation functions in conformal field theory"
Speaker: Juergen Fuchs (Karlstad)
Date: Aug 07, 2012
29. "Mapping class group invariants from factorizable Hopf algebras"
Speaker: Juergen Fuchs (Karlstad)
Date: Aug 07, 2012
30. "WIMP dark matter and baryogenesis"
Speaker: Lorenzo Ubaldi (Bonn)

- Date: Aug 08, 2012
31. "From a finite projective plane to the monster via hyperbolic geometry"
Speaker: Tathagata Basak (Iowa State U)
Date: Aug 09, 2012
 32. "Theory of weight in arithmetic geometry"
Speaker: Tomoyuki Abe (Kavli IPMU)
Date: Aug 09, 2012
 33. "Quasi-crystals"
Speaker: Paul Steinhardt (Princeton)
Date: Aug 10, 2012
 34. "What Next In Cosmology"
Speaker: Paul Steinhardt (Princeton)
Date: Aug 13, 2012
 35. "Cubic relations in Hall algebras and roots of zeta functions."
Speaker: Mikhail Kapranov (Yale)
Date: Aug 15, 2012
 36. "Is it a (Beyond the) Standard Model Higgs?"
Speaker: Tevong You (Imperial College London)
Date: Aug 22, 2012
 37. "Motivic integration and the p-cyclic McKay correspondence"
Speaker: Takehiko Yasuda (Osaka U)
Date: Aug 27, 2012
 38. "The Schottky problem in genus 5"
Speaker: Charles Siegel (Kavli IPMU)
Date: Aug 28, 2012
 39. "Constraining low energy supersymmetry beyond CMSSM"
Speaker: Kazuki Sakurai (DESY)
Date: Aug 29, 2012
 40. "Brane Tiling mutations and beyond"
Speaker: Rak-Kyeong Seong (Imperial College)
Date: Sep 04, 2012
 41. "Long gamma-ray burst progenitors throughout cosmological time"
Speaker: Matteo Cantiello (KITP)
Date: Sep 05, 2012
 42. "Characteristic signatures in non-gaussianity and statistical anisotropy from vector fields during inflation"

- Speaker: Ryo Namba (Minnesota)
Date: Sep 06, 2012
43. "Quantum (sl_n, \wedge^n) link invariant and matrix factorizations"
Speaker: Yasuyoshi Yonezawa (Nagoya U)
Date: Sep 10, 2012
 44. "Molecular gas and star formation in early-type galaxies"
Speaker: Martin Bureau (Oxford)
Date: Sep 13, 2012
 45. "W-constraints for the total descendant potential of a simple singularity"
Speaker: Todor Milanov (Kavli IPMU)
Date: Sep 13, 2012
 46. "The accelerating Universe, and the cosmic mystery of Dark Energy"
Speaker: Grigoris Panotopoulos (OIST)
Date: Sep 19, 2012
 47. "Black holes, Dark Energy, and other Dark Matters"
Speaker: Tommaso Treu (UC Santa Barbara)
Date: Sep 21, 2012
 48. "Positive Representations of Split Real Quantum Groups"
Speaker: Ivan Ip (Kavli IPMU)
Date: Sep 21, 2012
 49. "Lifshitz Solutions in String Theory"
Speaker: Ruth Gregory (Durham)
Date: Sep 26, 2012
 50. "MMP via stability conditions"
Speaker: Yukinobu Toda (Kavli IPMU)
Date: Sep 27, 2012

Personnel Changes

Promotions

Masahiro Takada, previously Kavli IPMU Associate Professor, was promoted to Kavli IPMU Professor on October 1, 2012.

Alexandre Kozlov, previously a Kavli IPMU distinguished postdoctoral



fellow, was appointed as Kavli IPMU Assistant Professor on July 1, 2012.

Moving Out

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

Kavli IPMU postdoctoral fellow Tsz Yan Lam [June 1, 2009 – August 31, 2012] moved to the Max Planck Institute for Astrophysics as a Humboldt fellow.

Kavli IPMU postdoctoral fellow Alexander Getmanenko [September 1, 2009–August 31, 2012] moved to Institute de Mathématiques de Jussieu, Université Paris Diderot as a postdoctoral researcher.

Kavli IPMU postdoctoral fellow Minxin Huang [September 1, 2009–August 31, 2012] moved to the Interdisciplinary Center for Theoretical Study, University of Science and Technology of China in Hefei as an Assistant Professor.

Kavli IPMU postdoctoral fellow Matthew Carl Sudano [September 1, 2009–August 31, 2012] moved to the Niels Bohr Institute, Copenhagen University as a postdoctoral fellow.

Kavli IPMU postdoctoral fellow Jason Evans [September 16, 2009–September 15, 2012] moved to Minnesota University as a Research Associate.

Kavli IPMU postdoctoral fellow Johanna Knapp [April 1, 2010–August 31, 2012] moved to Technische Universität Wien as an Assistant Professor.

Kavli IPMU postdoctoral fellow Christian Schnell [July 1, 2011–August 31, 2012] moved to Stony Brook University as an Assistant Professor.

Kavli IPMU postdoctoral fellow Siu-Cheong Lau [August 1, 2011–July 31, 2012] moved to Harvard University as a Benjamin Peirce fellow.

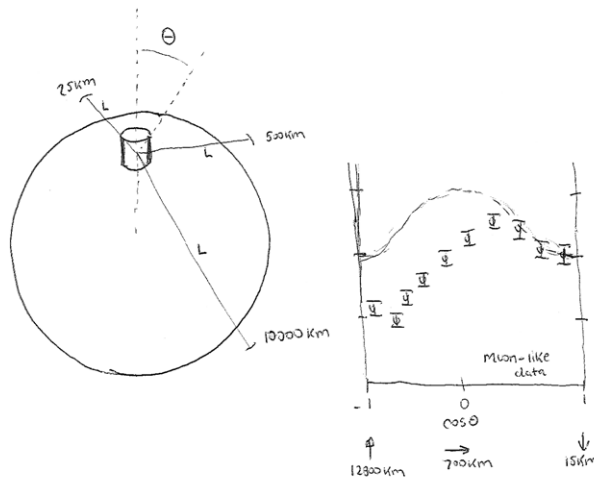
Kavli IPMU postdoctoral fellow Yu Nakayama [September 1, 2011–August 31, 2012] moved to Caltech as a Fairchild Senior Research fellow.

Atmospheric Neutrino Oscillations

Christopher W. Walter

Associate Professor, Department of Physics, Duke University
and Kavli IPMU Visiting Scientist

Neutrino mass was discovered by doing a quantum mechanics experiment using the entire earth. The neutrinos observed in experiments are states of flavor. However, these neutrinos are actually quantum mechanical mixtures of states, each with a well-defined mass. As they travel, the flavor states we measure oscillate back and forth between types. The equations that describe this oscillation are functions of mixing angles that describe how mixed the states are and mass splittings that describe the differences between their masses, along with distance and energy. By comparing the behavior of atmospheric neutrinos (see *IPMU News* No. 7, p. 28) traveling straight down with those coming thousands of kilometers from below, the mixing angle and mass splitting were measured. Atmospheric neutrinos traveling from below have about a 50% chance of changing to a type of neutrino we can't easily see. This is seen in the data from Super-Kamiokande where approximately half of the expected upward-going muon-like events are observed.



$$P_{\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}} \cong \sin^2(2\theta_{13}) \sin^2\left(\frac{1.27 \Delta m_{32}^2 L}{E}\right)$$

自然の力

Kavli IPMU 機構長

村山 斉 むらやま・ひとし

ハリケーン・サンディーは記録に残る大西洋最大のハリケーンで、200人近くの方が亡くなりました。Kavli IPMUでも何人ものメンバーがSuMIRe計画PFS装置のプリントンでの会合へ向かう途中、足止めにあいました。私自身、カリフォルニアからニューヨークへのフライトがキャンセルされてしまいました。現代の文明社会で、自然が私達の誰よりもいかに大きな存在か、思い知らされる稀な機会でした。愛する人、家、仕事を失った方々に心からお悔やみを申し上げます。

今号では日本の研究の伝統的なトピックを取り上げます。ニュートリノ天文学です。小柴昌俊さんが2002年にノーベル物理学賞を受賞されましたが、これは超新星爆発からのニュートリノの発見と、太陽ニュートリノのリアル・タイムの検出を可能にし、この分野を確立した業績に対して与えられたものです。我がマーク・ヴェイギンズ教授は小柴さんが捕えた16万光年先の超新星を遥かに超える、数十億光年先の超新星から来るニュートリノを捕えようとしています。彼のアイデアはスーパー・カミオカンデ実験装置にガドリニウムを投入するもので、装置の優れた性能を損なわずにこれができることを証明するテストが現在進行中です。

一方、すばる望遠鏡に取り付ける新しいデジカメ、ハイパー・スプライト・カムが完成しました。9億画素を持ち3トンを超える重さのカメラを使って、今後5年間にわたる大観測計画が始まり、何億もの銀河を観測し、今までにない広く深い暗黒物質の分布図を明らかにし、暗黒物質と暗黒エネルギーの競争で形作られて来た宇宙の進化の歴史を教えてくださいます。

別のニュースですが、私はノルウェー、オスロでの2012年カプリ賞の授賞式典に参加し、受賞者の素晴らしい業績にとっても刺激を受けました。ノルウェー国王ハラルド5世の前では、今までの人生で着たことのない衣装をまとうことになりました。タキシード全一式です！とても思い出に残るイベントでしたし、宇宙を研究する他の5つのカプリ研究所の所長たちと前向きな協力関係の相談をすることもできました。

最近は十月末のWPIプログラム委員会のことで頭が一杯でした。あと5つあるWPI拠点の拠点長と一緒に、昨年の委員会以来の進展を報告し、5年延長についての一刻も早い決断を訴えてきました。その後Kavli IPMUの教員一人ずつと会い、沈没するタイタニックのような状況ではないことを説明しています。現在の資金が2017年で終わることから、先行き不安になる人がでるのも当然です。私はKavli IPMUが東大、日本の学術政策にとって大事なシンボルになってきていると思っており、力ある方々が私達の明るい未来を確かなものにして下さると信じています。

(2012年11月12日原稿受領)



Kavli IPMU のニュートリノ予報： 概ね晴れ、超新星の可能性大

なぜとても深刻なのか？

超新星ニュートリノとは愛すべきものである。星の一生で最も劇的と言える過程について、他に類を見ない情報をもたらすものであり、その過程とは宇宙においてヘリウムより重いあらゆる重元素を生成させ四散させる役割を果たし、従って単に我々が知る宇宙の外観や手触りに限らず、生命それ自体にもまさしく不可欠なものなのである。

この特別の素粒子に研究者社会が抱く関心の程度を測る物差しとして、カミオカンデとIMBとバクサン各実験により観測された、超新星1987Aから飛来した世界中で高々20個のニュートリノサンプルに基づき、過去25年に渡り平均10日に1篇の論文が出版されていることを指摘する価値があると思われる。四半世紀後の今に至るまで、我が太陽より遠方に起源を持つことが知られているニュートリノとして記録されたものは、これらたった一握りの事象のみなのである。因

みに、そのニュートリノがやってきた距離は、太陽・地球間の 10^{10} 倍という覚え易いものである。

我が天の川銀河で確実な超新星が最後に観測されて以来、今や408年を超えている。それはケプラーの超新星として知られる超新星1604であった。無論、1604年の10月中旬のその日、ニュートリノ観測装置が稼働していたはずはないが、いずれにせよその超新星はIa型の爆発であり、恐らくさほど多くのニュートリノは生成しないものであった。

近傍で発生する次の重力崩壊型超新星を実験、観測、理論の各研究者がこぞって待ちわびている事実は、驚くべきことではない。残念ながら過去1800年間に我が天の川銀河で記録されたこの種の超新星は僅か6例を数えるのみである。従って、「次に起きるのはいつか」が大問題なのである。最も深刻な問題は、図1に明らかな如く、我々誰一人として無限には待てないという事実である。

然り、超新星ニュートリノを待って長く冷たい冬が続いてきたのである。しかしながら、弱い力で相互作用する素粒子の如く、ただ待ち続けるだけの諸兄弟よ、私はここに宣言する。希望の存在を証しすると。

良い報せ

さて、私を知る者はことごとく、私が常日頃、なにかんづく、そばにケーキがあれば(図2を見よ)、いかに愉快で楽観的な人間か、知るところである。ケーキについて私が嘘を言った験しがあったであろうか？



図1 超新星ニュートリノで辛いのは待つことである。死ぬまで待っても来ないかもしれないからである。右の男性のようにはなりたくない。恐らく他方の男性にも残された時間は少ない。



図2 IPMUの発足1周年記念パーティーにおいて、ケーキを持ってご機嫌な筆者（写真：Kai Martens）。

否!である。

しかしながら、私はケーキに関して楽観的なだけでなく、間もなく、多少ではあるが新たに超新星ニュートリノを捉えて研究に供することが極めて確実であるとも考える次第である。しかも、事実上、その流れは決して尽きないと予測しているのである。如何にしてこれが可能であるか? 過去1800年間に我が天の川銀河で、ニュートリノを発生するタイプの重力崩壊型超新星が、肉眼でたった6例見出されただけではなかったか? まず第一に、6個の事象の持つ力を侮ってはならない。幸運にも長寿命中性K中間子の2重ダリツ崩壊に関する私の博士論文は、正に6個の事象で書かれたものである[1]。既に名高いT2K実験の「零に非ざる θ_{13} 」の論文[2]も丁度6個の「基準体積内」事象で書かれたものである。

これら6個の超新星は、肉眼で記録され、かつ重要な点であるが、その記録が現代まで残ったものだけであることを忘れてはならない。疑いもなく、この間にはもっともっと多数の超新星爆発があったはずであり、例えばヨーロッパの暗黒時代にたった1基でもニュートリノ観測装置が稼働していたとすれば、それら全てが極めて容易に観測されたはずである。

実のところ、天の川銀河における重力崩壊型超新星

爆発の頻度は1世紀あたり1回から3回の間と信じられている。長生きすれば観測できるかどうかという意味ではまだそれほど大きな値ではないが、もし300年に1回であったら、ほとんどの場合、死に神側の勝ちとなることが確実であり、それよりは遙かにましである。

しかしそれがどうした。ただ待つだけなど忘れてしまおうが良い! 私には良い考えがある。

一緒にケーキを

我々の天の川銀河で起きる超新星は、人間の時間スケールでは比較的希な現象かもしれない。しかし超新星自体は決して希なものではない。宇宙全体では平均して毎秒1回超新星が爆発しているのである。しかも、宇宙で星の形成が開始されて以来、あらゆる超新星爆発で放出されたニュートリノ全てがこの宇宙に満ち満ちているのである。これがいわゆる「拡散した超新星背景ニュートリノ(DSNB)」であり、「過去の超新星爆発からの残存ニュートリノ」としても知られているものである。未だに観測されていないが、もし観測可能であることが証明された場合、星の重力崩壊と元素合成だけにとどまらず、宇宙の大きさ、膨張速

度、性質の進化に関する情報を定期的にもたらすであろう。さらに地球外ニュートリノ予報に関しては、「晴れ」がキーワードである。ホウ素 8 の崩壊からの太陽ニュートリノの強度は、微弱な DSNB の強度のおよそ 100 万倍にもなるのである。

2003 年に、スーパーカミオカンデ実験が過去の超新星爆発からの残存ニュートリノの探索結果を論文として公表した[3]。しかしながら、この研究はバックグラウンドの影響を強く受けており、バックグラウンドを超えるような統計的に意味のある事象数の超過は見られず、従って残存ニュートリノの強度について世界で最も厳しい上限値を与えることができたに過ぎない。2012 年には、スーパーカミオカンデから残存ニュートリノに関して、改善された新しい解析法と、遙かに多くのデータを誇る新たな論文[4]が公表されたが、データ解析でのカットの効率を改善し、エネルギーのしきい値を下げたにもかかわらず、未だにバックグラウンドが卓越し、結果として得られた残存ニュートリノの強度については、8 年前とがっかりするくらい良く似た制限しか得られなかった。残念無念。

しかし、私はこのパーティーにはケーキが出ると言わなかったか？ 然り、ケーキが 1 個近づいて来つつあるのだ。

(ニュートリノ) 天気まかせを何とかする

捉え難い DSNB の信号を決定的に観測するため、理論家のジョン・ビーコムと私は水溶性のガドリニウム (Gd) 化合物である塩化ガドリニウム、 $GdCl_3$ 、またはそれより反応性は低い溶解度も低い硫酸ガドリニウム、 $Gd_2(SO_4)_3$ 、のスーパーカミオカンデ測定器(図3)への導入を提案している。ガドリニウムによる中性子捕獲は、エネルギーの高いガンマ線を続けてカスケード的に放射するため、ガドリニウムを加えたスーパーカミオカンデ中での逆ベータ崩壊 $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ は陽電子の信号と中性子捕獲の信号を同時発生する。これを用いればバックグラウンドの大幅な低減が可能となり、超新星ニュートリノ(我々の銀河で発生したものと残存ニュートリノの両方)と原子炉反ニュートリノのいずれに対しても測定器の応答が非常に強化される。

ガドリニウムは水の中で中性子捕獲を水素と競うことになる。水素による中性子捕獲は低エネルギーのガンマ線を一つ発生するが、スーパーカミオカンデでは事実上検出されない。そこで、100 トンのガドリニウム化合物を用いる。するとスーパーカミオカンデのタンクの中身の質量比 0.1% をガドリニウムにできるであろう。そして、90% 強の逆ベータ崩壊からの中性子がガドリニウムによって捕獲され、観測可能となる

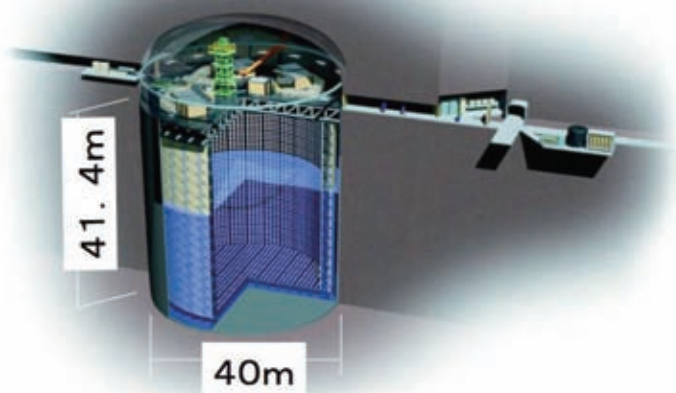


図3 岐阜県の神岡鉱業茂住坑の地下1 kmに設置されたスーパーカミオカンデ測定器。50,000トンもの水を蓄える大きさと、内側に自由の女神がちょうど収まる。

図4 「俺、トラックからこの50キロのやつを、こいつの他に1999個も運び出したぞ。いや、まったく、でっかいトラックだよ。」





図5 GADZOOKS! 計画作成中のマーク・ヴェイギンズとジョン・ビーコム。念のため、この図は2003年の我々2人の姿である。はあー…。

であろう。図4はガドリニウムの運搬方法についての概念図である。これだけのガドリニウムをスーパーカミオカンデに導入するのにかかる費用は、今日では値崩れのためたった100万ドルのはずである。スーパーカミオカンデが計画された当初では、この金額は4億ドルという驚異的なものになったであろう。

我々はこの新プロジェクトを“GADZOOKS!”と名付けた。「ガズークス」と読む。「ウワーッ!」という驚きを表現する英語であると共に、1694年に遡る捨て台詞のような古語（とはいえ、我が天の川銀河で最後に観測された超新星より1世紀近くも新しい）であるが、ここでは Gadolinium Antineutrino Detector Zealously Outperforming Old Kamiokande, Super! の略称で「古いカミオカンデよりも、スーパーカミオカンデよりも、とんでもなく優れた素晴らしいガドリニウム反ニュートリノ測定器」という意味をもつ。この「スーパーカミオカンデにガドリニウムを混ぜる」提案の基本原理解は *Physical Review Letters* に発表した我々の論文[5]に詳述されている。図5に示したのは漫画風に描写した論文作成中の我々である。スーパーカミオカンデに硫酸ガドリニウムを加えることは、単にこれまで観測されていない残存ニュートリノを検出可能とするだけでなく、超新星からのニュートリノ放出に関するパラメーターという重要且つ（我が天の川

銀河での超新星を除けば）唯一この観測からのみ得られる情報を抽出することを可能とするものである。スーパーカミオカンデにガドリニウムを加えることにより、毎年、5個程度の残存ニュートリノが観測されるはずである。最終結果は何か？ いつでもやってくる超新星ニュートリノを手に入れ、もはや苛々しながら待つ必要が無いことである。

勿論、我々が幸運に恵まれ、今後数十年の間に近傍で発生する超新星を観測できるとしよう。放出されたニュートリノの波が地球を通り過ぎる際に、稼働中の大型水チェレンコフ測定器の純水中に硫酸ガドリニウムが混入されているなら、最も効果的であろう。その主たる理由は、検出される超新星ニュートリノの信号のうち、約88%までもが逆ベータ崩壊によるためである。もし個々の事象毎に中性子捕獲信号により「反電子ニュートリノ」を特定できれば、超新星爆発の時間的構造とニュートリノ振動によるフレーバー（種類）転換を精密に調べることができ、爆発機構について貴重な洞察を得ることができよう。

ガドリニウムのR&D – または、いかにして私は配管工になったか

水チェレンコフ測定器の優れた光透過性能を維持することは決定的に重要な要請であり、どんなものであ

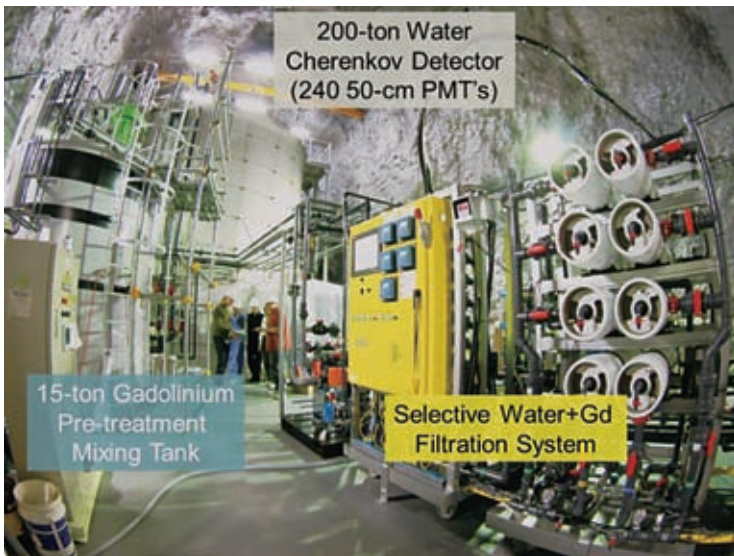


図6 神岡鉱山内の新しいガドリニウム試験装置、EGADS。

れ化合物を加えることは困難な仕事となる。さらに、GADZOOKS! を実現させようとする、直ちにもう一つの困難がもち上がる。スーパーカミオカンデのような測定器では、100メートル級という長い光の平均自由行程は、常に水を循環精製することにより維持される。現在使用されているスーパーカミオカンデの精製装置は、光学的透明度を維持するために除去される不純物と共に、混入したガドリニウム全てを忠実に素早く排出してしまうであろう。なんともはや!

この重大問題を解決するため、2006年に私は根本的に新しいタイプのフィルターシステムを組み立てることができるかと仮説を立てた。(因みに、「仮説」とは、「当て推量」を意味する幻想的な科学用語である。) 私の「分子帯域フィルター」は、水流中から選択的に硫酸ガドリニウムを分離し、タンクに戻し、同時に他の全ての不純物を除去するであろうと考えられた。2007年に、私はカリフォルニア大学アーバイン校（現在も私の併任先）でプロトタイプシステムを組み立てた。驚いたことに、そのがらくたが動いたのである。次のステップに進む時であった。

2008年早々、私はIPMUで最初の外国人教授として採用される光栄に浴した。私の雇用契約書には実質的には次のように書かれていた。「スーパーカミオカ

ンデにガドリニウムを導入するために来たれ。」

神岡鉱山内のスーパーカミオカンデ近傍に新しい実験室が掘削され、そこに図6に示す専用の大規模ガドリニウム試験装置と水チェレンコフ測定器（実質的にはスーパーカミオカンデの200トン縮小模型）が建設された。EGADS（イーガズと読む。Evaluating Gadolinium's Action on Detector Systemsの略称で、「ガドリニウムが測定器システムに及ぼす作用の評価」の意味）と名付けられたこの装置を利用して、最終的にスーパーカミオカンデにガドリニウムを導入するために必要な条件に合致することを検証する。即ちガドリニウムが測定器を構成する物質と反応しないことを完璧に確認し、また、大規模なガドリニウムの混入技術の実行可能性を証明する。

この新しい設備のために日本で大枚3億9千万円（当時の為替レートで約430万ドル）の予算が得られ、2009年9月に建設が開始された。それから9ヶ月でおよそ2500トンの岩盤を掘削し、実験装置を置く準備が整い、200トンのステンスタックが完成した。その6ヶ月後、カリフォルニア大学アーバイン校での選択的水濾過システムをかなりの程度スケールアップした装置の組み立て・据え付けが行われた。2011年1月には純水を用いて運転が開始され、その年の8月か

らは硫酸ガドリニウムを溶かして濾過を続けている。現在、目標のガドリニウム濃度で、超純水の場合の15%以内の透過率を得ている。恐らくこれは既に十分な値であるが、この結果を改善するべく試験が続けられている。更に、2013年には200トンタンクにガドリニウムを混入した場合と混入しない場合を比較する研究を実施する。全てがうまく行けば、今後数年内にスーパーカミオカンデにガドリニウムを導入する準備が整うはずである。最終目標は、2016年までに世界初の決定的な残存ニュートリノ観測が可能となることである。正に「ウワーッ!」である。

最後に、数ヶ月前、私は日本の科学研究費補助金おおよそ160万ドル相当を得たことを記す。この経費によって、R&D フェーズの終了後、EGADS 試験装置を世界最先端の超新星ニュートリノ測定器に転換し、日本の光学、X線、ガンマ線、赤外、重力波の観測ネットワークと連携させる予定である。

大胆な長期予報

GADZOOKS! の概念は既に世界中で相当に勢いを増している。この方法が、中性子検出を合理的なコスト（測定器建設の総経費のたった3%が加わるのみ）で数百キロトン、及びそれ以上の規模に拡大できる唯一の方法であることに注意されたい。中性子検出により追加的に可能となる物理（超新星の研究、及びそれとは関係ない陽子崩壊のような他の研究テーマ）の到達限界を考えれば、この能力が最小限のコストで得られることは魅力的な可能性である。多分、提案されている主要な次世代水チェレンコフ測定器全てが、ガドリニウム混入を公式にオプションとして採用したり（アメリカのLBNE計画[6]）、単に基本デザインの一部として仮定したり（日本のハイパーカミオカンデ計画[7]）及びヨーロッパのMEMPHYS計画[8]）しているのは、これが理由であろう。昨年のハイパーカミオカンデの予備的合意書(Letter of Intent)[7]の報告概要においては、ガドリニウムの利点について記述する所まで踏

み込んだ。

これらの新しい測定器は、ガドリニウムを混入すればどれも過去の超新星爆発からの残存ニュートリノを1年当たり100個のオーダーで記録できるであろう。従って、これらの測定器は、運転している限り、毎月カミオカンデが観測した超新星1987Aからのニュートリノの全事象数と同等の統計を積み上げることになるであろう。それでも目のくらむような楽観主義に陥るのはまだ早い。ガドリニウムで能力を拡大した巨大測定器が次の天の川銀河で発生する超新星を待ち受けているという展望には、全くもって興奮させられる。言い換えれば、全員が美味しいケーキを味わえるのだ。

従って、私は超新星ニュートリノの長期的展望は極めて明るい晴天続きと予言して差し支えないと考える。

文献

- [1] M. R. Vagins, R. K. Adair, H. B. Greenlee, H. Kasha, E. B. Mannelli, K. E. Ohl, M. P. Schmidt and E. Jastrzembski et al., "Measurement of the Branching Ratio for $K_L \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$," *Phys. Rev. Lett.* **71**, 35 (1993).
- [2] K. Abe et al. [T2K Collaboration], "Indication of Electron Neutrino Appearance from an Accelerator-Produced Off-Axis Muon Neutrino Beam," *Phys. Rev. Lett.* **107**, 041801 (2011) [arXiv:1106.2822 [hep-ex]].
- [3] M. Malek et al. [Super-Kamiokande Collaboration], "Search for Supernova Relic Neutrinos at Super-Kamiokande," *Phys. Rev. Lett.* **90**, 061101 (2003) [hep-ex/0209028].
- [4] K. Bays et al. [Super-Kamiokande Collaboration], "Supernova Relic Neutrino Search at Super-Kamiokande," *Phys. Rev. D* **85**, 052007 (2012) [arXiv:1111.5031 [hep-ex]].
- [5] J. F. Beacom and M. R. Vagins, "Antineutrino Spectroscopy with Large Water Cherenkov Detectors," *Phys. Rev. Lett.* **93**, 171101 (2004) [hep-ph/0309300].
- [6] T. Akiri et al. [LBNE Collaboration], "The 2010 Interim Report of the Long-Baseline Neutrino Experiment Collaboration Physics Working Groups," arXiv:1110.6249 [hep-ex].
- [7] K. Abe, T. Abe, H. Aihara, Y. Fukuda, Y. Hayato, K. Huang, A. K. Ichikawa and M. Ikeda et al., "Letter of Intent: The Hyper-Kamiokande Experiment — Detector Design and Physics Potential —," arXiv:1109.3262 [hep-ex].
- [8] A. de Bellefon, J. Bouchez, J. Busto, J. -E. Campagne, C. Cavata, J. Dolbeau, J. Dumarchez and P. Gorodetzky et al., "MEMPHYS: A Large Scale Water Cherenkov Detector at Frejus," hep-ex/0607026.

カブリ賞授賞式

大栗博司 おおくり・ひろし

Kavli IPMU 主任研究員

フレッド・カブリ氏はノルウェー出身の発明家で企業家です。ノルウェー工科大学で物理学を学んだ後、米国に渡り、ロサンゼルスで航空機や自動車の精密機器の会社を起こして財を成されました。2000年に経営から退かれ、カブリ財団を立ち上げ、基礎科学の振興に貢献されています。

カブリ財団は2000年にカリフォルニアにカブリ理論物理学研究所を設立したのを皮切りとして、現在では全世界で16の研究所を支援しています。IPMUも今年の2月にこのネットワークに加わり、Kavli IPMUと改名しました。これに伴い、カブリ財団からの寄付による基金が設立され、基金からの年間支払配当により本研究所の研究が助成されることになりました。また、カブリの名を冠した教授職基金をいくつかの大学に設立し、私もカリフォルニア工科大学で初代のカブリ冠教授に任命されています。

このカブリ財団のもう一つの大きな事業が、ノルウェー科学文学アカデミーとノルウェー文部省と共同で運営するカブリ賞の授賞です。天文物理学、ナノ科学、神経科学の3分野の顕著な功績が、カブリ財団と独立した委員会によって選ばれ、2年に1度ノルウェーのオスロで開かれる授賞式では100万ドルの賞金、純金のメダルと賞状が授与されます。



授賞式でスピーチをするフレッド・カブリ氏。向かって左側の前列に座っているのは、端から天体物理学賞受賞者のデイビッド・ジューイット氏、ジェーン・ルー氏とマイケル・ブラウン氏。右側は神経科学賞受賞者のアン・グレイビエル氏。

2008年に始まったカブリ賞は今年で3回目。私は、ベルリンで開かれていた国際会議で講演をしたあと、週末にオスロに向かいました。日曜日の夕方には、グランドホテルでカブリ財団主催のレセプションが開かれ、全世界から集合したカブリ研究所の所長、カブリ冠教授、過去のカブリ賞受賞者、そして今回のカブリ賞受賞者が紹介されました。カーボン・ナノチューブの発見に対して第1回のカブリ賞を受賞された飯島澄男氏とも再会することができました。

今回の授賞式はカブリ研究所の間の交流にもよい機会でした。天体物理学の分野では、スタンフォード大学、シカゴ大学、MIT、北京大学、ケンブリッジ大学にあるすべてのカブリ研究所の所長がオスロに勢ぞろいしたので、カブリ賞に関連したイベントの合間にインフォーマルな会合があり、Kavli IPMUの村山斉機構長も参加することができました。

月曜日の午前中には、オスロ大学で受賞者による講

演会がありました。天体物理学賞の授賞対象は、海王星の軌道の外側にあるカイパーベルトの天体の発見とその研究による太陽系の起源の解明。受賞者の一人でカリフォルニア工科大学で私の同僚でもあるマイケル・ブラウン氏は、カイパーベルトに大きな天体を見つけることで、冥王星が惑星から準惑星に降格になる契機を作ったことでも知られています。ナノ科学賞受賞者は、ナノ構造の解明に先駆的な研究をされたMITのミルドレッド・ドレッセルハウス氏。カブリ賞初の単独受賞です。また神経科学賞は、認知や意思決定にかかわる神経機構の解明に貢献した3名が受賞しました。講演をお聞きして、高解像度でニューロンの活動を観察する新技術など、神経科学とナノ科学の連携にも強い印象を受けました。今回は、7名の受賞者のうち4名が女性であったことも特筆すべきでしょう。

午後には公衆衛生についてのカブリ科学フォーラムがあり、日本からは政策研究大学院大学の黒川清氏がパネリストとして参加されていました。夕方にノルウェー科学文学アカデミーで開かれるレセプションに出席するために王宮の庭を歩いていくと、5次以上の代数方程式には根の公式がないことを証明した数学者ニールス・アーベルの大きな記念碑がありました。首都の最も重要な位置におかれているのが、数学者の記念碑だというのが素敵だと思いました。

翌日の授賞式はオスロ市のコンサートホールが会場。日本学術会議からは春日文子副会長が列席されていま



カブリ賞受賞記念夕食会会場にて、村山斉Kavli IPMU機構長(右)と大栗博司主任研究員夫妻(左)。

した。ノルウェー国王のハーラル5世がご臨席になり、受賞者一人ずつに賞状と純金のメダルを手渡されました。授賞式の最後にはフレッド・カブリ氏が登壇され、宇宙物理学、ナノ科学、神経科学の各々の分野の最近の発展をご自身の興味に沿ってお話になりました。自然を理解することでより豊かに生きることのできる喜びを、情熱を持って語るすばらしいスピーチでした。

受賞記念の夕食会は、ノーベル平和賞授賞式の時と同じく、オスロ市の市庁舎の大広間で開かれました。ブラック・タイもしくは自国の民族衣装。ノルウェー人の参列者には、ノルウェー各地の民族衣装をお召しになっている方も多くいらっしゃいました。夕食会はオスロ市長の歓迎の辞から始まり、受賞者を代表するスピーチは「炭素の女王」と紹介されたドレッセルハウス氏。合間にはノルウェーの若手音楽家たちの楽しいショーもあり、気取らない心づくしの歓待で、気持ちのよい夕食会でした。デザートが終わるとオスロ市長が「では2階にコーヒーを用意しました」とおっしゃいます。オスロ湾を見渡す2階の広間ではダンスが始まり、ホテルに戻ったときには深夜零時近くになっていました。

Our Team

葉 智皓

チーホー・イップ 専門分野: 数学

博士研究員

私が最も興味をもっている研究対象は量子群の表現論とその古典的行列群との関係です。現在、特に、コンパクト量子群の理論と強い平行関係をもつ分裂実型量子群の正値主系列表現のクラスに取り組んでいます。

この研究プログラム全体は、ファデーエフのモジューラー・ダブル量子群、量子二重対数関数 (quantum dilogarithm) と q -特殊関数、半群の調和解析、クラスター代数、ルスティックによる全正値性のパラメータ化、 C^* 環と非有界作用素等の理論と関連しています。応用として期待されるものに新しいトポロジカルな場



の量子論 (TQFT) と圏論化 (Categorification) の構成があります。

クレア・ラックナー Claire Lackner 専門分野:天文学

博士研究員

銀河の形態は、星々の年齢、金属量、星の総質量、ガス質量の割合、局所的環境などの銀河の多数の性質と強く相関しています。これらの相関を考慮し、銀河の性質を調べることで、異なる種類の銀河がどのように形成され、進化してきたかを知ることができます。私は特に銀河の形態と星形成に対する局所的環境の影響に興味があり、学位論文の研究課題として赤方偏移0においてこの問題を詳細に調べました。すばる望遠



鏡に搭載される新カメラのハイパーシュプリームカムは、銀河の形態と環境についての研究をより高い赤方偏移にある、より小さな銀河に拡張することができますようになります。

チャールズ・メルビー-トンプソン Charles Melby-Thompson 専門分野:理論物理学

博士研究員

最近、理論物理学で幾つか非等方性が問題となる状況が起きています。先に、私はペトロ・ホジャバと共に、非等方性により power-counting (量子論的な次元解析) の意味で繰り込みを可能とする、動的な時空の理論であるホジャバリフシツツ重力について研究を行いました。その研究から得たアイデアを、現在行っている量子重力とホログラフィーをより広く理解するための研究に一部応用しています。私は、現在、非等方的な場の理論のホログラフィック双対と、その



ホジャバリフシツツ重力との関係、非等方的な理論におけるワイル異常とその他の異常、3次元量子重力などを研究しています。更に、私は超弦理論、数理論物理学などにも広く興味を持っていますが、また、いつでも新しいことに挑戦するつもりでいます。

レネ・マイヤー René Meyer 専門分野:理論物理学

博士研究員

私は主として強結合・強相関の存在する系、例えばクォーク・グルーオンプラズマ、銅酸化物高温超伝導体、分数量子ホール効果などへのゲージ/重力双対性の応用に関する研究を行っています。フェルミオンが関与するこれらの系は、格子ゲージ理論や凝縮系の物理で通常使われる近似は大抵の場合役に立たず、従ってその物理は捉え所がない状況です。私の研究の目標は、超弦理論によって触発された、強結合・強相関問題の重力の自由度という言葉を用いた再定式化である



ゲージ/重力双対性を利用して、これらの問題のダイナミクスに関する新しい知見を得ることと、運が良ければこれらの系を完全に解明することです。

Our Team

アナプリータ・モレ Anupreeta More 専門分野:天体物理学及び宇宙論

博士研究員

重力レンズは宇宙の物質分布を探る上で最良の方法の一つです。強い重力レンズ天体は視覚的に華々しいだけでなく、見えるもの（例えば銀河）と見えないもの（例えばダークマター）について極めて多くの情報をもたらします。私は、主として重力レンズ観測を用い、銀河のスケールから銀河団のスケールに至る物質分布を理解するための研究を行ってきています。最近、私は大規模サーベイデータから強い重力レンズ現象を自動的に探す手法を開発しました。Kavli IPMUで



はSuMIReプロジェクトから得られるデータにこの手法を適用することを期待するとともに、強い重力レンズを用いて宇宙の物質分布に関する私たちの理解を進めたいと思っています。

スルド・モレ Surhud More 専門分野:天体物理学及び宇宙論

博士研究員

過去20年ほどの天文観測により、宇宙のエネルギー密度の大部分（～96%）が、神秘的で、未発見の2つの成分、ダークマターとダークエネルギーによって構成されていることがわかりました。私は観測される銀河の性質と、銀河の住み処であるダークマターの集積領域の間の関係に焦点を当てた研究を行っています。この研究により、宇宙の銀河を「輝く灯台（目印）」として用いることで、我々の「暗黒の」宇宙を記述するパラメータを探ることが可能となります。Kavli



IPMUにおける私の研究の中心的課題は、SuMIRe観測キャンペーンの一部として計画されている銀河サーベイから宇宙論的情報を引き出す最適な方法を立案することです。

マウリシオ・ロモ Mauricio Romo 専門分野:理論物理学

博士研究員

私の現在の研究は、超弦理論から知ることのできる、場の理論と幾何学の間相互関係の種々の様相に焦点を当てており、一方ではノンコンパクトな複素4次元カラビ-ヤウ多様体の特異点を探るM2ブレーン(2次元の膜)を記述する3次元超共形場理論におけるサイバグの双対性を研究しています。他方では、コンパクトな複素3次元カラビ-ヤウ多様体をターゲット空間とするゲージ化された非可換2次元線形 σ 模型



を研究しています。これに関連して、私はこれらの場の理論を調べて得られるトポロジカルな不変量と、そのミラー対称性との関係に興味をもっています。

チャールズ・シーゲル Charles Siegel 専門分野: 数学

博士研究員

私は曲線の幾何学とそのファミリー中での変化の様子について研究しています。特に古典的な問題に興味があり、学位論文はショットキー問題を取り上げました。ショットキー問題とは、リーマン面上の閉曲線の周囲の積分として可能なものは何か、という問題であると要約することができます。私は現在、このような問題を追究する上で有用な道具（曲線の被覆のプリ



ム多様体、モジュラー形式で定義された写像、モジュライ空間の幾何など)を拡張する研究を行っています。

王一 いーワン 専門分野: 宇宙論及び理論物理学

博士研究員

私の中心的な研究課題はインフレーションで、非ガウス性、宇宙論的摂動論、インフレーション模型を含んでいます。非ガウス性の分野では、連続的な *squeezed limits**をもつ非ガウス性の準局所的な形の自然な可能性について示しました。また、一般的な単一場インフレーションに対して4点相関関数を計算しました。宇宙論的摂動論を用いた研究では、インフレーションがループ補正の紫外カットオフに敏感であることを示しました。更に、準単一場インフレーション



やマルチストリームインフレーション等のインフレーション模型を構築しました。

* 運動量空間での3点相関関数は、和がゼロすなわち3角形を成す3つの運動量ベクトルの関数である。この3角形の一辺の長さが、他の2辺に比べて極端に短い極限を、*squeezed limit*と言う。



Interview

佐藤勝彦教授に聞く

聞き手: 杉山 直

世界で進む大型地上望遠鏡次期計画

杉山 佐藤さん、今日はどうもお忙しいところ、ありがとうございます。

佐藤 名古屋からわざわざ来ていただきまして、こちらこそありがとうございます。

杉山 北京で開催されたIAU (国際天文学連合) 総会から帰られたばかりということで、何か新しい話、面白い話がありましたか?

佐藤 インターネットの時代ですから、突然新しい話が出てくるということはありませんが、改めて感じたことは、大型計画は本当に世界の色々なところで進んでいるということでした。天文学分野としては本当にうれしい状況だと思います。

杉山 なるほど。日本でも今、大型計画が色々議論されています。佐藤さんは、自然科学研究機構長として、天文学関係だったらTMT(30メートル望遠鏡)とか、すばる望遠鏡の次期計画とかを進められる立場ですので、その

佐藤勝彦さんは大学共同利用機関法人自然科学研究機構の機構長です。IPMU発足以来、2010年度末まで主任研究員の一人として活躍され、現在もKavli IPMUの客員上級科学者を兼ねておられます。1974年、京都大学理学博士。1976年、同助手。1982年、東京大学理学部助教授。1990年、同教授。2010年から現職。この間、東京大学理学系研究科長、日本物理学会会長、国際天文学連合宇宙論部会長など、要職を歴任。井上賞(1989年)、仁科記念賞(1990年)、紫綬褒章(2002年)、学士院賞(2010年)受賞。

辺について伺いたいと思います。

佐藤 そうですね。第一にALMA (アルマ) 望遠鏡です。来年3月に完成記念式典を行います。運営費は単年度の特別経費で概算要求しなければなりませんので、これが非常に大事なことです。それから、もちろん、すばる望遠鏡も大事です。素晴らしい成果を挙げており、特に色々な画像を発信することによって国民の皆様にごく大きなサポートを頂いていると思います。でも、今や、30メートル、40メートルの望遠鏡になる時代ですから、現在、国立天文台で参加しようとしているTMT計画は非常に重要だと思います。世界では、このクラスの望遠鏡はいろいろ計画されていて、GMT (Giant Magellan Telescope) もあるし、ELT (Extremely Large Telescope) もあります。

杉山 GMTはアメリカ中心、ELTはヨーロッパの計画ですね。

佐藤 はい、そうです。しかも、GMTは既に鏡の1枚2枚は磨いていますし、彼らは結構順調に進んでいる感じを受けました。

杉山 先ほど、すばる望遠鏡の話が出ましたが、Kavli IPMUは次の宇宙論の大きな謎の一つであるダークエネルギー解明に向けて、今すばる望遠鏡を利用するSuMIReプロジェクトを進めています。

佐藤 すばる望遠鏡はTMTで行うものの準備的な研究と同時に、

そういう大きな望遠鏡の時代になりますので、10メートルクラスの望遠鏡として特色を出すような研究も必要と思います。個人的にはSuMIRe計画はよく知っていますし、まさにすばるの特色を生かした素晴らしいプロジェクトだと思います。自然科学研究機構構長という立場からは、各研究所の各論的なことについての口出しは控えるべきと考えますが、この4月から新しく国立天文台長になられた林正彦先生も私が考えることと同じようなことを考えて進められていると思います。元すばるの観測所長でしたから、SuMIRe計画もよくご存じだと思います。

杉山 広視野という強みを生かして非常に広い範囲のサーベイを行う計画です。

佐藤 そうですね。既にハイパーシュプリームカム(HSC)も完成していますし、成果を期待しています。マルチファイバーのPFSは、いつ頃になるのでしょうか。

杉山 少なくとも部分的なファーストライトは2014年ぐらいを予定しています。

佐藤 一研究者として、それも是非早く成果を出してほしいと思います(笑)。

杉山 是非推進をバックアップしていただければと思います(笑)。宇宙論として、今後非常に重要な問題は、一つはダークエネルギーの解明であり、また、初期宇宙のインフレーションの最終的な証拠を掴むことだと思うのですが、ひょっとしたら両方が関係するかもしれません。というのは、スカラー場みたいなものがあるとそういうことが起こるからです。エネルギースケールは全然違いますが。今話題のヒッグス粒子がファンダメンタルなスカラー場ですが、インフレーションを一番最初に唱えられたときに、ヒッグ

ス粒子と宇宙論を結びつけた経緯について、お伺いしたいと思います。

ヒッグス場を宇宙論に結びつける

佐藤 実は、京都大学時代に超新星の研究のためにワインバーグ・サラム理論を勉強していたことがきっかけでした。そのときはニュートリノ物理はよく分かっていたのですが、益川先生からワインバーグ・サラムでやったらどうかと勧めていただきました。それまで、ワインバーグ・サラムを知りませんでしたのでしっかり勉強して超新星に使いました。ニュートリノが超新星のコアにニュートラル・カレント相互作用でトラップされるということも、私のもう一つの大きな仕事です。

杉山 それは非常に大きなお仕事ですね。すると今まで佐藤さんのお仕事で、初期宇宙、宇宙論にかかわる部分と、超新星爆発、高エネルギー天文学にかかわる部分というのが何となく2つ別な山のように見えていたのですが、実は、ワインバーグ・サラム理論というか、素粒子物理学でつながった2つの山だったということなのですか。

佐藤 そうなのです。本当にスムーズに連続につながっていったのです。大学院に入ったときは、宇宙の初期のことをやりたいと思っていましたが、その頃は、ちょっと宇宙論が冴えない時代でした。いわゆる3度Kが見つ

杉山 直さんは名古屋大学大学院理学研究科教授でKavli IPMUの主任研究員を兼務しています。



って、その後やるべきことはほとんどやられてしまい、どうも大学院の若い学生ができるような宇宙論の研究はないという感じがしました。そういう中で、私は、ハンス・ベアテさんが湯川先生の客人として京都に半年間滞在されたこともあって、中性子星と超新星の研究を始めることになったのです。しかし、超新星の研究をしている中で、益川さんに教えてもらったワインバーグ・サラムを勉強することで、ニュートリノの研究と同時に、実はその基礎になっているのは自発的対称性の破れであり、それは僕らにとってみれば温度とともに変化して相転移が起こることと同じなものですから、宇宙の初めのときに相転移が起こるのだということに気が付いたということなのです。

杉山 それはすごい。大学院のときにノーベル賞受賞者のハンス・ベアテと共同研究をされていたのですね。

佐藤 そうですね。私の最初の論文です(笑)。

杉山 うーん、ハンス・ベアテと共同研究をしたおかげで中性子星の話に行き、益川さんと話した結果としてワインバーグ・サラム理論に行ったということですね。2人のノーベル賞物理学者に大学院生が教えを受けたとはすごく贅沢な院生時代でしたね。

佐藤 本当ですね。一介の院生であるにもかかわらず、そんな偉い人とも話もできるというのは、やはりそのころの京都のいい雰囲気のおかげでした。もっとも、益川さんは助手だったわけですけどね。

杉山 ええ、まだ若かったですね。

佐藤 大事なことは、隣の研究室の教授や助手の人と気楽にいくらでも触れる機会があったことです。

杉山 そうですね。

佐藤 それはもう素晴らしかったと思います。当時の京都大学では研究計画委員会というものがあり、それは選挙で選ばれた理学部物理学第2教室の内閣を構成する、そして院生でも誰でも、選ばれば研究計画委員になるのです。私は選ばれて、益川さんも選ばれて出てきていました。そういうことで、第2教室では院生もスタッフもほとんど互いに顔を知り合っていました。素粒子も、原子核の方々も、私はほとんど名前と顔を知っていましたし、個人的にもコンタクトできました。私にとっては、原子核、素粒子、宇宙、これを一緒にやるというのが研究の動きなのですが、それが本当にできたのです。そのような京都大学のその当時の雰囲気、そのメリットを本当にそのまま受け取りました。先生方、偉い教授の先生にも、院生の方で全然臆することなく(笑)、いくらでも行って議論できました。その雰囲気は本当に良かったですね。益川さんとこんな話をしたことを覚えています。「いや、今回は、素粒子は3世代あるということを論文に書いたんだよ」と自慢していましたから、私は、「えー、そんなの、あなたの先生は何と言っているか、知っていますか? 無限階層論と言っているんですよ」と。

杉山 坂田先生ですね。

佐藤 「たかだか3個なんて言わず、無限にあるんでしょう?」と冗談というか、遊びですけどね。そんな風に気楽に話すことができました。実を言うと、私は宇宙論に入る前には、ワインバーグ・サラムの相転移自身が高密度物質、中性子星ですが、その中でも起こるのだという論文を書いたのです。フェルミオンとヒッグスの相互作用のために対称性が破れて

いたものが、実は、回復するのです。但し、ヒッグスポソンの質量がすごく小さいという大きな仮定があって、その当時、せいぜい何百 MeV ぐらいに考えていました。

杉山 今の1,000分の1とか数百分の1ですね。

佐藤 ええ。そのころは、ヒッグスの質量は全く分からなくて、結構小さいことを議論している論文が多かったので、そういうことを考えることはできたのです。ですから、フェルミオンの場が対称性を回復するのだという論文を書きました。実は、そのころから、リンデもよく似たことをやっていたので知り合いになりました。フェルミオン場での対称性の回復だとか、温度を上げての回復だとか、その辺りをやっていたのです。それは70年代でしたが、私が論文を送ったり、リンデからも「俺も、こういうことをやったんだ」といって、レベデフ研究所のプレプリントを送って来ました。

杉山 まだソ連から出るのが難しかった時代ですね。

佐藤 はい、彼はもちろん出られません。手紙でのやりとりで1ヵ月くらい経つと返事が返ってくるという悠長な時代でした。後で、ソ連時代ですけども、リンデがやってきて、「俺は主に自宅の研究しているんだ。レベデフ研究所へ行くのは、文献を読んで調べるだけで、帰ってきて、もう全部自宅の研究しているんだ」と、そういうことをものすごく元気な声で言っていました。彼は必ずその日どこへ行ったとかの報告をソ連大使館にしなければいけなかったのですが、でもそんなに偉くなかったんで、誰かがついてくるということはなく、随分好き勝手を言っていました。ものすごく元気な人で、そういう意味では大変いい人にも巡り合いました。

素晴らしかった林先生の天体核研究室

杉山 京都時代は非常にいい雰囲気があって、そこで人との色々な出会いがあったのですね。

佐藤 ええ。そうです。

杉山 そのころの京都の話はとも興味があります。佐藤さんは、林忠四郎先生の天体核研究室ご出身なわけですが、そこからすごくたくさんの人材が輩出されて、今、数えてみると、直弟子でなく、孫弟子、その先ぐらまで行くと、ほとんど日本の宇宙物理学理論研究者をカバーするのではないかと思います。私自身も孫弟子ぐらいいになるのですが。

佐藤 そういう意味ではそうですね。

杉山 その成功の秘訣は、何だったのでしょうか。

佐藤 やはり、林先生の方針、つまり全ての現象を基礎から、物理プロセスから研究しろというプリンシプルで、研究室のロキウムの中で、徹底して鍛えられたことが大きかったのではないかと思います。現象論的なことをいっぱい調べるのではなく、エレメンタリープロセスをちゃんと押さえてからやれ、つまり、基礎方程式からちゃんとやれというプリンシプルだったと思います。やはりそれが大きかったと思います。天文学からの現象を見るときは、データの解析をするほうが学会全体にはインパクトがあるかもしれませんが、林先生のそういうやり方、その影響がずっと生きた時代だったと思います。とにかく、土曜日の12時から、いつ終わるか分からないような感じでロキウムで鍛えられました。

杉山 夜、夜中までやっていた。

佐藤 うーん。時には、そうなたったりもしました。とにかく、林先生の研究室では、林先生が疑問に思うことは何でも聞き、準

備がものすごく大変でした。半年ぐらい前から大体テーマを決めて、どんなことを報告するか考えておかないと、その場で立ち往生間違いなしでした。

杉山 (笑)

佐藤 やはり関連する論文など徹底してサーベイしてからやらないと、「そんなことも調べていないのか」としかられてしまいます。それは鍛えられました。私も東大へ来たとき、そういうことをやりたいと思っていたのですが、そんなことを1時間も2時間もとなると、院生でも用があるとか、忙しいとか、もうそういう時代だったので、とてもできる雰囲気ではありませんでした。

杉山 今は、なかなかそれは難しいですね。アカデミック・ハラスメントみたいな話もありますし。しかし、やはり非常に突っ込んだ議論、それから物理基礎過程からの積み上げがキーだった訳ですね。あとは、風通しの良さみたいなものもありましたか。

佐藤 そうですね。多分第2教室だけですが、自由に本当に議論できる雰囲気があって、しかも研究室だけでなく、原子核でも素粒子でも、実験でも理論でも、互いに顔を知り合っていて議論できました。それはやはりすごく大きかったですね。

杉山 なるほど。そういう中でインフレーション理論に結び付いた訳ですが、それはコペンハーゲンへ客員で行かれる前の話ですか。

佐藤 ええ。本当にコペンハーゲンに行く3カ月前と言っているかもしれません。その頃私は、ワインバーグ・サラムだけではなくて、いわゆる大統一理論に基づいての相転移の研究、物質の中の相転移の研究とか、ヒッグス粒子そのものに対して宇宙論

的な制限を付けられないとかいう研究をしていました。今から考えるととても非常識な話ですが、ヒッグス粒子が宇宙背景放射の中にあったとして、それが崩壊すると3度Kの背景放射にかぶるという研究もしてまして、そういうことから、ヒッグスの寿命に制限を付けるとか、また、星の中からそういうヒッグス粒子が出てくるとすると、星の進化から制限が付くとか、論文を書いていたのです。最近、その方法は、素粒子の人が何か新しい粒子を考えときの標準的なやり方です。

杉山 そうですね。

佐藤 やはりその頃、いわゆるタウ粒子が発見されました。当時は、ヘビーレプトンといわれていました。それに関連して、ニュートリノの質量と寿命について制限を付けるとか、小林誠さんと一緒に仕事をしました。有名なリー・ワインバーグという論文と比べると3、4日投稿するのが遅れたのです。しかし、私たちは、崩壊する可能性も考えて議論していたのです。有名なリー・ワインバーグは、質量に制限を付けるだけであって、寿命については何ら制限を付けない話でした。小林誠さんと一緒に仕事ですから、この点は強調しておきたいと思います。

杉山 またここでノーベル賞受賞者と一緒の仕事ですか。贅沢ですね。

佐藤 小林誠さんと一緒に共同で研究ができたことは素晴らしいです。私は細かな計算はできませんけども、小林さんはニュートリノ崩壊のダイアグラムをいろいろ書いて、主な計算とか、宇宙論以外のところは、小林さんがその当時の素粒子の実験から、どの程度パラメータに制限が付いているかと調べた上で、理論としての制限がある範囲と宇

宙論からの制限を合わせて論文を書いたのです。

杉山 それは、佐藤さんが助手になられた前後ですか。

佐藤 助手になったころです。小林誠さんはもちろん、その当時、助手だったわけです。

オーバードクター時代

杉山 今、助手の話が出ましたが、助手になるまで5年ほどポストで、結構苦勞されていました。インフレーションに話を戻す前に、少しその話を伺いたいと思います。

佐藤 そうですね、ほぼ4年間ですが(笑)。振り返ってみると天体核は確かにレベルが高かったのですが、院生の数以上にポストが多かったのです。そういう条件の中で、ここで頑張らないとどうしようもないと厳しい時代を過ごしたことで自分の気を引き締められて、かえて良かったと思います。

杉山 当時の大学院生の方、もちろん今は教授になっていらっしゃる方々から話を伺うと、大学院に入ってみて、ポストという、パーマナントなポストにまだついていない人がたくさんいて、佐藤さん、高原さんなんていうのが上にいるので、もう自分なんかどうなってしまうんだろうと言っていましたね。

佐藤 そうですね。やはりポストというのは、その研究室では戦力ですね。そういう人たちが半分以上いるのですから、議論もものすごく活発ですし、広い分野でありながら皆が議論に参加できて、林先生の研究室の素晴らしさがあったのでしょうね。教室全体の雰囲気も合わせて、素晴らしかったと思います。

杉山 就職難だった代わりに、その人たちが今の助教の役割を

完全に果たしていて、研究室で研究をリードしていたということですね。

佐藤 そうですね。私も、そういう意味では勝手に徒党を組んでいましたね。実は、杉山さんがご存知かどうか知りませんが、星間分子の研究もやっていました。

杉山 それは知らなかったです。

佐藤 私がオーバードクターの1年目ぐらいでしたか、夏の学校のために、徒党を組んで何か新しいテーマで発表しようということになったのです。そのとき、私たちは原子核反応のネットワーク、原子核の元素合成のネットワークを作ったところだったので。

杉山 それは、超新星の中に使うためですか。

佐藤 そうです。世間はあまり知らないけれど、実は、日本でそういうのを作ったのは、私たちのグループが最初で、私たちの作った原子核のコードは、野本さんとか、杉本さんのグループが全部使っているのです。そのコードが星間分子に使えるのではないかと思ったのです。その当時の星間分子の論文を読みますと、化学の人が自分の都合のいい反応ばかり並べて化学反応で合成されるのだという論文を書いているのです。しかし、いくらでも壊す反応もあるではないか、そういうことを総合してやらないと意味のないのではないかというのが、私の目的だったのです。その当時、重要だったのは、鈴木博子さんでした。元々彼女は星の中での元素合成をやろうとしていたし、それで私ども、一緒にやろうということになったのです。収縮している星間雲の中で密度と温度は変わってきますから片一方はイオンで、片一方はニュートラルのイオンモレキュール反応というものに着目して、ネットワークで計算し、



論文に書いたのです。星間分子の中のイオン分子反応はやはり主要な合成ルートであって、水素分子は表面反応でなければ難しいですが、それ以外は、この反応で起こっているということになっていいます。鈴木さんは、それ以後ずっとやられて、日本の星間分子の分野を彼女が理論的に切り開いていったのです。

杉山 分野で切り分けるというのではなく、持っている物理の力でもって、それが当てはまる対象は色々やったということですね。

佐藤 そうです。しかも、風通しがいいから、平気で野合できたのですよ(笑)。

宇宙初期のインフレーションを唱える

杉山 そういうことをやりつつ、ワインバーグ・サラム理論でヒッグス粒子を宇宙にどう応用するかと考えられた訳ですね。

佐藤 まず、星の中でやっていたけども、当然、宇宙の初めで相転移が起きることは、見れば明らかなので…

杉山 エネルギー的には、宇宙の初めで起こることはすぐ分かる。

佐藤 ええ。オーバードクターの時代ですが、佐藤文隆さんが「自然」に原稿を頼まれたので私に声を掛けて、「君がやっていることを中心に書かないか?」と言うので、そこで書いたのが力の枝分かれの図です。横に温度を

書いて、時間を書いて、温度とともに相転移が起こって枝分かれする、あの図は世界で最初に私が書いたのだと思います。文章とか内容は、いろいろ文隆さんが直して加えたりもしました。

杉山 「自然」というのは、中央公論の雑誌でしたね。もう今はない。それは、何年ごろですか。

佐藤 1976、1978年ですね。その頃、吉村太彦さんのバリオンの非対称性の仕事も出てきて、素粒子の人も宇宙の方に段々興味が増えてきたのではないかと思います。それまでは余り見向きがくれなかったですね。素粒子の研究会で宇宙の相転移の話をしたとき、すぐに言われたことは、「あなた方は、ヒッグスの自発的対称性の破れが本当に起こると思っているのですか?」という言い方でした。特に温度が上がって相転移が起こるとか、そんなことは、対称性が破れればそれによいので、それを本当に起こるような現象と思うのは…

杉山 それは便法にすぎないという意見が当時あった。

佐藤 当時の先生に怒られましたよ。それは数学的な、単に道具にしかすぎないと。まさに便法なのですよという言い方でした。しかも、その当時は、また、別の人から、「ヒッグス粒子なんて見つからなくてもいいよ。ワインバーグ・サラム? あるいはもしない素粒子を仮定して議論してる論文で、そんなもので超

新星の研究をするなんておかしいよ」と言われました。本当にあきれましたね。1970年代初めの頃はそういう時代でした。ちょっとそのムードが変わったのは、まさにニュートラル・カレントが発見された頃からで、うれしいことに、超新星の研究をやっているところに、CERNのガルガメールの実験グループがニュートラル・カレントを見つけたのです。それで随分ワインバーグ・サラムの価値が上がりました。

杉山 ちょうどその超新星で、ニュートリノ・トラップの話が出てきた頃で、ちょうど実証が得られたということですか。

佐藤 そうですね。やはり研究しているときにガルガメールの実験があったので、随分影響されました。これが本当なんだということ、やはり今度は、宇宙初期のヒッグスの宇宙論的な制限もどンドン論文に書きました。そうすると、当然、相転移のことはすでに気が付いていたわけなので、宇宙の相転移によって力の枝別れ、進化が起こることも当然わかっていました。しかし力の進化が起こるだけでは現在の宇宙がこうしてできましたよというだけの単なる昔話ですから、この相転移が何か現在の宇宙に影響を残さないと面白い話にならないわけです。いろいろ勉強していると、これはまたヒッグスの質量を変えないと駄目なのですが、質量をちょっと小さめに選ぶと、輻射補正がものすごく効いて、実は、ヒッグス場が0のところと対称が破れた状態の間に小さな山ができるのです。そういう意味では、ファインチューニングをせざるを得ないのですが、そうすると適当な一次の相転移になります。もちろん一次相転移では相転移が遅れるということは分かり

ますので、真空のエネルギーがドミナント、つまりヒッグスエネルギー・ドミナントの時代があるとすれば、ヒッグス場の真空のエネルギーによって宇宙は指数関数的に急膨張することもすぐ気づきました。また一次相転移ではガタンと落ちるから、その途端に、一番簡単なモデルでは、宇宙はそのとき一挙に加熱されて火の玉になるというシナリオができて、1979年の4月にそういうモデルを作ったのです。そこで我々のサブグループのセミナーで、その話は5月ごろしたのですが、小玉さんにポロクソに批判されました。

杉山 今はKEKの教授をされていらっしゃる小玉さんですか。

佐藤 それは、自分もちょっと後ろめたかったので仕方ないのですが、「これで一挙に地平線問題は解決する」と話したのです。小玉さんが言われたことは、「佐藤さん、あなたの仮定したモデルは、一様等方モデルを使って宇宙は一様になると言っているのでしょうか? そんなこと、おかしいんじゃない?」と。つまり、「一様等方モデルで一様になるなんて、結論が先あって、言っているのでしょうか? 非等方モデルでそれを言ったなら価値があるけれど、一様の方で宇宙は一様になるとか、3度Kの一様性が言えるなんて、それはトートロジーですよ」というのが彼の批判です。そう言われるとそのとおりなので、単なる地平線問題とか哲学的な話でなく、そういうことはあまり強調せずに、現実には天文学での影響があるような、何か見えるような、役に立つことを沢山探そうというポリシーで3つほど考え出しました。その第一がいわゆる揺らぎの問題で、大構造の起源。

杉山 そうですね。そこはかなり強調して書かれていますね。

ニールス・ボーア研究所に在籍した頃

佐藤 そうなのです。それから、第2がいわゆるバリオン・反バリオン対称(ドメイン構造)宇宙モデル、これはちゃんと生き延びているのだと。それから第3、最後はモノポールです。コペンハーゲンでは、そういう格好で三つの論文を書いたのですが、その当時、インフレーションを提唱するのに都合が悪かったのは、実は、宇宙の密度パラメータ、 Ω はその頃は0.01と決まっていたからで、観測事実と反すること、宇宙の平坦性問題を言えなかったのです。

杉山 0.01だったのですか。

佐藤 そうです。0.01か、0.02なのです。これは、要するにバリオンですからね。

杉山 バリオンで見えている分はどれだけかという話ですね。

佐藤 そうなのです。堂々と平坦と言えるかという、やはり言えなかったですね。

杉山 それは、まるでアインシュタインが静的な宇宙を無理やり作ったみたいなお話とちょっと似ていますね。観測の方がついていかなかったのですね。

佐藤 同じような話ですね。やはり地平線を越えるスケールの大きい揺らぎを作り、その成長によって宇宙の大構造を作るとするような話が、論文として有力だと思ったので、「マンズリー・ノーティス」に投稿することに決めました。

杉山 物理ではなく、天文学の雑誌ですね。グースよりは先に投稿されています。

佐藤 私の論文は、この論文と物質・反物質対称宇宙を作るという論文の二つは2月の初めで、最後のモノポールの論文は7月に投稿しています。3つ論文を書きましたが、グースは8月に投稿ですから、3つの論文全てグース

よりは早く、最初の2つは、ほとんど半年ぐらいい早かったですね。役に立つということでインフレーションを考えたときに、「マンズリー・ノーティス」に、「宇宙は平坦だ」という論文は観測に合っていないではないかという話になるのは分かっていたので、言えなかったのです。グースのようにフィジカル・レビューに出せば良かったのかもしれませんが。

杉山 なるほど。それで、ちょっとモチベーションがあいまいな感じを与えることになってしまったということですか。

佐藤 今から見れば、平坦性を強調するのが世間では分かりやすかったですね。

杉山 しかし、昨年宇宙の加速膨張の発見がノーベル賞を受賞したときに、インフレーションに言及していて、その中でスタロピンスキー、佐藤、で、グースと2番目に佐藤さんの名前を挙げていました。

佐藤 そうですね。やっぱり世界的にもそれを認めてくれているのだということ、うれしかったですね。

杉山 ノーベル賞委員会が認めてくれたということですね。それがちょうどコペンハーゲンに行かれた時のことで、佐藤さんの研究にとって大きな転機になったという印象があります。

佐藤 そうですね。もちろん、アイデアそのものはあった訳ですが、これをいかに論文として仕上げるかは、コペンハーゲンの客員教授で呼んでくれたのは、超新星のニュートリノのニュートラル・カレントによるトラッピングの研究を高く評価してくれたからなのです。呼んでくれた人には申し訳なかったのですが、向こうでは全く超新星の研究をしなくて、もう本当にインフレーション

のことだけでした。

杉山 でも、大きな成果が出たから良かったのではないですか。ただ、そのコペンハーゲン時代に、いろいろ同年代の外国人研究者と随分交流を深められました。

佐藤 ええ。M. Rees、M. Turner や S. Perlmutter など含めて随分いろんな人がやってきましたし、やはり世界のニールス・ボーア研究所ですよ。ですから、本当にいろんな人に会うことができました。

杉山 人脈は随分広がり、その後京都に帰られ、すぐに東大に移られたのでしょうか。

佐藤 半年から1年近く京都にいて、その時代にいわゆる宇宙がたくさんできるというマルチユニバースを作る論文を京都の人と一緒に書くことができました。一次相転移のときには、本当は細かく議論すると一挙に相転移が終わることはありません。実は、相転移が終わった泡に囲まれた、まだ偽真空のところがある程度大きい場合、その領域はもちろんインフレーションしているから、相転移が終わらないことになってしまいます。しかし、相転移が終わったところから見ると、その偽真空の領域は向こうに収縮しているはず。表面が収縮しているのに、全体の体積だけはどうも増えているというパラドックスで、そこに苦しんで悩んでいました。7月に日本に帰りましたが、当時サブグループと一緒に作っていた若い人達、佐々木さん、小玉さん、前田さんと議論をして、きれいな論文にして書いたのは9月でした。今言ったようなパラドックスはワームホールを考えればなくなるということ、特にきれいな球対称を仮定すると式がスムーズになることに気がついたので、球対称な偽真空が残っていて、小さな泡が囲んでいるよ

うなモデルを作りました。そうすると、数学的にきれいな格好で、ワームホールになっているということを示したのです。

東大に移る

杉山 その後、東大へ移られて、研究グループを率いられたのです。今、日本をリードしている研究者を育てられました。東大時代、研究室運営はどんなところに気を使われましたか。

佐藤 自分は林先生の指導の下に育ったわけですから、現象論よりは、やはり基礎から積み上げていくということを指導方針にしました。それからコロナ禍はすごく大事で、議論を続けていこうと努力しました。最初の助手として小玉さんに来てもらいましたが、彼もそういう精神の人ですから、随分院生にとっては厳しい指導になったと思います。特に小玉さんは厳しいですから。

杉山 そうでしょうね(笑)。インフレーションにも衝突して文句を言っているくらいですから。

佐藤 いや、その批判精神は本当に大事なことで、批判精神がなければ、科学は成功しません。だからこそ、助手になってもらったわけです。そういう中で、いろんな人が育っていったわけですが、研究の上では院生でも対等であるという京都の雰囲気とうまく持ち込めて、その点も良かったと思います。

杉山 なるほど。その後、もちろん、研究室は非常に活発でしたが、佐藤さん自身は物理学会長とか理学系研究科長をされて、アドミニストレーションのほうも随分されました。その辺は、研究者としての自分と、アドミニストレーションと、普段、どういうふうに分けてお考えでしたでしょうか。

佐藤 確かに、50歳くらいころから、アドミニストレーションにかかわるような話が増えてきたと思います。そのきっかけになったのは私が代表者としてCOEプログラムに応募し採択されたことです。いわゆる初期宇宙研究センターをつくる辺りからそういうことに力を入れざるを得なかったというのが本当でしょうか。実は、釜江先生とか、折戸先生とか、偉い先生に囲まれて、彼らにとっては貴重な観測の研究費になるし、理論にとっては、ちょっとしたスーパーコンピュータも買えるし、これでやろうということで、祭り上げていただいたのが最初だと思います。

杉山 でも、ずっと続いて、ポストも純増1つ付いてうまくいきました。

佐藤 COEは5年なのですが、さらに2年追加して7年になり、合計で20億円の予算をいただきました。それで折戸先生のバルーンも上がりましたし、釜江先生や牧島先生のASTRO Eに搭載したX線検出器の開発もできました。そういう意味では、東大の宇宙グループの強化にすごく役立ちましたし、東大全体の底上げに随分寄与できたのではないかと思います。理論研究者は若いころにオリジナルの研究が出るものですが、ある程度の年齢になったときに、やはりある程度アドミニストレーションのようなことに力を注ぐのが年相応の義務であろうという感じですね。年を取ってもそうでない人もおられるし、それはそれで立派だと思いますが。

杉山 その務めを立派に果たされたと思います。その初期宇宙センター、今はビッグバン宇宙国際研究センターという名前です。

佐藤 文部省の省令としてつくっていただく申請の段階で、特にマスコミの方に名前のアイデアを

聞いたりすると、「初期宇宙センターなんて、何だか、覚えられもありませんよ」と言われて、初期宇宙センターではなくて、ビッグバン宇宙国際センターにしようということになりました。しかし、化学の先生からはこう言われました。「え、ビッグバンセンター？ビッグバンなんて単なる仮説で、何も分かっていないような話でしょう？それをセンターの名前に付けるのはおかしいですよ」とね。

杉山 化学の先生に？10年ぐらい前ですよ。

佐藤 ええ。キョトンとしましたね。
杉山 証拠は山ほどあると言わなければいけないところでは。

佐藤 いや、10年前ですら他の分野から見ると、ビッグバンで始まったというのは、単なるお話としか思われていなかったのです。理学部の中でセンターをつくるための手続きを学部長に上げて審議してもらった過程でしたが、啞然としました。

杉山 その辺りは、本当にアウトリーチ活動をきちんとやって、我々の得た知識を伝えていかなければいけない。

佐藤 そうですね。私、理学部長になったときに、理学部講演会というのを始めました。それまでの理学部の雰囲気というのは、「そんなことをする暇があったら、ちゃんと論文を書きなさい」というものでした。しかし、特に天文とか宇宙の分野は、これだけ予算をもらってやっている以上、一般の人に面白いと思ってもらわないと、やはり支持してもらえません。そういうことで、天文分野では、本当に色々な方が発信されています。私は理学部の他の分野でも全てそうだと思います。そういう意味で、理学部の講演会は本当に大事だと思い、年に2回始めることにしました。その頃から、やはり世間の雰囲気も

ガラッと変わってきました。私が全部そうしたわけではなくて、その時代の流れだと思いますが、随分、広報活動を熱心に行っていました。

杉山 そうですね。宇宙は、特に広報はやりやすいのですが、素粒子はなかなか難しい所があります。しかしカブリIPMUでは、そこにも力を入れて、本当に話のうまい人がいて、色々なところでアウトリーチに励んでいます。

佐藤 ホームページを見ても、動画までリンクされていて、村山機構長の色々な講演の様子が見られますね。強力なスタッフをもっていることは素晴らしいですね。自然科学研究機構も、天文台はその辺り、優れていると思います。また、生物系の岡崎の研究所も、常に記者会見を開くとか、高校生に体験していただくようなプログラムを色々走らせていますし、随分強気に進めています。生理学研究所は、特に脳科学ですので、脳科学に関する体験ができるようなことまで色々取り組んでいます。核融合研は核融合研で、やはり特に日本科学未来館で体験できるブースを持っていて、また年に1回ですが大きなイベントをやっていますし、随分努力しています。

コミュニティの支持が必要な基礎科学の大型プロジェクト

杉山 基礎科学は、何か税金の無駄遣いだと思われるところがどうしてもあります。これから天文分野で非常に大きな計画がどんどん進み、素粒子の方もLHCの次、もしILCに行くとなると、巨額なお金が掛かります。その辺を我々がどういう風に社会に納得してもらって進めていくかという辺りが、今後は非常に大きな問題になってきます。

佐藤 全くそのとおりだと思います。

私は、いわゆる応用分野が大事なこと、日本の産業、経済のために必要なことは全くそのとおりで、基礎科学と応用技術が適当な割合を保つことは不可欠だと思います。それをどういう割合に設定するかというのが、基本的に大きな政策だと思います。我々はどうしても基礎科学にも少し予算があつていいのではないかと思う訳で、自然科学研究機構の中でも素晴らしい計画が色々進んでいます。核融合の大型ヘリカル装置は、温度とか密度はまだトカマクほど上がってはいませんが、トカマクと比べて長時間運転できるということで、色々改良が進んでいます。核融合のための3条件、時間、密度、温度についても、着実に上がっています。やはり核融合の研究は大きなITERを造ればいいというものではなくて、基礎研究からきちんと積み上げることが必要です。ですから、やはりもう少し政府からサポートがあったらいいと思います。私たち基礎科学者から見れば、今の政策は少し応用に偏っているのではないかと思います。いわゆる「集中と選択」は聞こえはいいのですが、結局、集中したところで、お金のコストパフォーマンスは決して良くないのは明らかだと思います。日本の科学政策を決めているような政治家を含めて、総合科学技術会議の議員とか、やはりもう少し基礎科学を重視してもらえればと思います。

杉山 そういう意味では、我々としては、学術会議からの発信が重要になりますね。

佐藤 ええ、そういう意味で、杉山さんに本当にお世話になりました。学術会議の物理学委員会天文宇宙分科会が作成した、天文学の大型将来計画も素晴らしいものができましたね。やはり天文コミュニティが一丸となって

これを推進するのだと決めること、それによって、政府に対して発信ができています。それが拡大して、学術会議で全分野の大型将来計画が...

杉山 そうですね。マスタープランができ上がりました。あれは、ほとんど我々天文学の活動が契機になっています。

佐藤 そうですね。やはりそれが例になって、色々な分野がコミュニティから意見を吸い上げて支持を得なければ駄目だということを理解した訳ですね。そのお陰で、文部科学省サイドでも、やはり学術会議のそういう答申に基づいて決めていかなければならないのだということが基本的になってしまったのです。全く様子が変わりました。それ以前は、言ってみれば大きなプロジェクトをやりたい先生が文部省のお役人に直接会って説明するという話でした。今は、学術会議が個々の計画を評価するのは難しいですから、評価だけは私も委員を務めている科学技術・学術審議会の中の大型プロジェクトに関する作業部会で、学術会議から出てきたものについて審議を行い、その中から決めていくということに進んでいます。先ほどのTMTはそのトップで進捗すべきと結論され、すばると一緒に含めてTMTを準備するという事で、文部省からはオーソライズされました。更に来年度予算には本格的予算が計上されています。それから、スーパーBも、全額ではないですが予算が付きました。やっぱり学術会議からボトムアップで上がってきたものです。

杉山 そうですね。しっかりコミュニティのサポートがある、良い計画であるということですね。それを我々は見せなくては行けない。

佐藤 何かのプロジェクトを進めようとするれば、まさに自らのコミ

ュニティーでまとまって意見を出さなければ駄目なのということ、を各コミュニティが自覚するようになってきたと思います。それはすごく大きなことです。

期待される物理学の大きなパラダイムシフト

杉山 最後に、この10年、20年ぐらい、宇宙論、観測を含めて、急速に進展しましたが、今これから佐藤さんの関連分野で、何を期待されますか。

佐藤 そうですね。すごく近いところでは、超新星の研究です。特に日本ではシミュレーションをやる人がすごく増えて、私が始めたころは、重力崩壊型超新星の研究では日本ではほとんど唯一だったと思うのですが、今コミュニティはすごく大きくなり、日本の寄与が随分高くなってきました。そういう意味では、やはり世界のトップとして大きな成果を期待できると思います。

杉山 なるほど。超新星を爆発させるとかですね。

佐藤 ええ。そうです。もちろん、学問として極めるのは、ダークマター、ダークエネルギーです。ダークマターに関しては、なかなか見えないとか色々言われますが、エネルギーも上がっていくことですしやはりLHCに期待したいと思っています。捕える方の研究も随分進んできて、鈴木洋一郎さんのXMASSもさらに増強されて、ほとんど限りなく限界に近づけていけると思います。そういう意味で、ダークマターの方は、10年ぐらい以内には何とか結論が観測的にも実験的にも可能になってくるのを期待したいと思います。ダークエネルギーの方は、インフレーションとの関係が絶対あると思います。私は時々、今のダークエネルギーが満ちている宇宙のことを第2のインフレーション

が起きているのだという言い方をしますが、そういう気持ちがあることです。今は、インフレーションを起こす場をインフラトンという訳の分からない名前と呼んでいますが、インフラトンのエネルギーとか、空間の持つエネルギーがどうなっているかという、素粒子のまさに根源的な問題だと思うのです。現象論的には、スカラー場でいいと思いますが、私はその本質はそんな単純なものではないと思います。

杉山 ヒッグス粒子の性質を詳しく調べたら、何か大きなヒントが得られる可能性があるのでは。

佐藤 全くそうだと思います。そういう意味では、ヒッグス場も超伝導のアナロジーで現象論的にはきれいに単純にできていると思いますが、その本当のメカニズムというものは分かっていないと思います。質量を与える粒子として根源的なものと言われていますが、私は素粒子が専門ではないけれども、ヒッグス粒子が本当に根源的な粒子かという、それはやはり単なる現象論のモデルだと思います。現象論で相転移が起こることは本当だと思うのですが、もっと深いものがあって、いわゆる真空というものに関係するような、ものすごく大きな深い概念だと思えるのです。そういう意味では、本当の正体が分かったときは、物理学の大きなパラダイムシフトの時期だと思います。昔、「サイエンティフィック・アメリカン」の解説で、L. アボットは「真空」について「我々は現在、かつて建設した、物理学の体系という摩天楼を破壊することなく、その欠陥のある土台を取り替えることに挑戦しているのだ。」と述べています (*Scientific American*, vol. 3, no. 1 (1991) p. 78)。私は全くそうだと思うのです。物

理学の体系という摩天楼は決して壊れることはないのだけれども、土台を取り替えることによって、また物理学の大きな発展があるのではないか、というのが今の夢ですね。それがどういふことで実現するのにはよく分かりませんが、今で言えば超弦理論に期待するということになるのでしょうか。そういう意味では、大栗さんたちは本当に世界のリーダーですから、ぜひ根底にかかわるようなパラダイムシフトを起こしてほしいと期待しています。

杉山 なるほど。カブリIPMUに期待するところ、大ということですね。実験的にも、LHCから次のILCへ向けて、そこは非常に詳しく調べられるところだと思うので、私もちょっと門外漢になりますが、期待して見ていきたいと思っています。

佐藤 そうですね。本当にそういう意味では、まだまだ物理学には素晴らしい展開があるはずだと思います。

杉山 まず土台からきちっと作り変えなければいけない。

佐藤 多分、そういうことが21世紀には起こるのではないかと思います。10年以内とは言いませんが、やはり大きなパラダイムシフト、物理学の革命がもう一回あるはずだと思うのです。

杉山 最後に元気が出るお話をいただき、ありがとうございました。

Hyper Suprime-Camが遂に始動!

高田昌広 たかだ・まさひろ

Kavli IPMU教授

ついにHyper Suprime-Cam (HSC) が始動した! 2012年8月16日からの試験観測で、新主焦点カメラHSCは口径8.2mのすばる望遠鏡に搭載され、織り姫星(ベガ)からの光を捕らえました。2002年の初期検討を契機に、その後日本国内の研究者、台湾、プリンストン大学の研究者が参加し、約10年間の開発を経て*1 完成したHSCカメラが正しく動いていることを、国立天文台の宮崎聡准教授が中心となり遂に確認したのです。

HSCは、現すばる主焦点カメラSuprime-Camの結像性能を維持しつつ、その視野を約7倍も拡大させることに成功しました。*2 重さ3トン、高さ3メートル、カメラの焦点面には116枚のCCDチップを配置し約8億7000万画素をもつ、まさに巨大なデジタルカメラです。宇宙の進化、未来を探るためには、できるだけ遠くの宇宙、つまりより遠くにある暗い銀河まで、またできるだけ広い天域に渡り、多数の銀河像をくまなく「サーベイ」することが必要です。この理由で、大口径、広視野、高解像度の特性を合わせ持つHSCは世界最高のサーベイスピード*3 を可能にするカメラです。

日本、台湾、プリンストン大学の研究者からなるHSCチームは、現在約160人も研究者からなる巨大チームに成長しています。我々は、この数年間HSCカメラによる大規模銀河サーベイを行うための準備を進めてきています。HSCサーベイは、宇宙に数1000億個も存在する銀河のうち数億個もの銀河の各々を詳しく調べる、まさに宇宙の国勢調査ともいえる人類史上最大の宇宙サーベイ計画です。特に、HSCサーベイデータから、アインシュタインの一般相対性理論が予言する重力レンズ効果を精密に測定し、宇宙の暗黒物質の分布を解明することを目指しています。さら



主要な部分の組み上げが完了した HSC の全体像 (クレジット: 国立天文台・HSC プロジェクト)。

に、宇宙の年齢とともに暗黒物質の集積過程が如何に進行しているかを調べることで、宇宙膨張および宇宙進化を陰で支配しているダークエネルギーの性質を調べることが可能になります。このHSC銀河サーベイは2013年中期から5ヶ年計画で進める予定です。HSCカメラ始動はこの壮大なHSC計画のまさにスタートラインであり、いよいよこれからが本番です。エキサイティングな研究成果を報告できるよう頑張りますので、皆さんご期待ください。

*1 筆者自身は、特定領域研究への参加以来、2006年からHSCプロジェクトに関わっています。

*2 視野とはカメラが一度に観測できる天域の領域。HSCの視野は、満月が約7個入る視野に相当します。

*3 サーベイスピードを測る指標としては、例えば望遠鏡の口径とカメラの視野の積があります。この指標のもとでは、HSCは世界最高で、例えば競合する米国のDark Energy Survey計画で用いられるDark Energy Camera (DECam) より約3倍のサーベイスピードを誇ります。

WPI平成24年度現地視察

WPIの平成24年度現地視察のため、黒木登志夫 WPI プログラムディレクター(PD)、三田一郎 Kavli IPMU 担当プログラムオフィサー(PO)とワーキンググループ委員らが8月1日(水)に柏キャンパスの Kavli IPMU 研究棟を、また、8月3日(金)に2007年の発足以来初めて Kavli IPMU 神岡分室を訪問されました。

まず8月1日にはPD、PO及びワーキンググループ委員の内から5名(三輪哲二、Matthias Staudacher、細谷 裕、中島 啓、Ian Shipsey)、文部科学省研究振興局基礎研究振興課の上田光幸基礎研究推進室長らの視察団が柏キャンパスを訪れました。ホスト機関の東京大学からは松本洋一郎理事・副学長が出席されました。

例年通り、村山機構長の概要説明で開始された現地視察は、昨年の方式を踏襲して主任研究員、専任研究員の口頭での研究発表と質疑応答、博士研究員や大学院生など若手も含めたポスターセッションなど、研究成果の発表と質疑応答が十分な時間をかけて行われました。



柏の Kavli IPMU 研究棟での現地視察で、概要説明をする村山機構長

一日において8月3日(金)に神岡分室を訪れた三輪委員を除く視察団には、京都大学のWPI拠点iCeMS担当の仲野 徹 PO が新たに加わりました。神岡分室研究棟に隣接する東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設のセミナー室を借用し、まず鈴木洋一郎副機構長の概要説明及び質疑応答の後、視察団はバスで神岡鉱業茂住坑内の実験室に移動し、XMASS、カムランド、EGADS、スーパーカミオカンデの順に実験の状況を視察しました。大型のタンクや複雑な装置類の並ぶ現場で、実験の成果や展望を研究者から直接説明を受け、視察団は大きな感銘を覚えた様子でした。坑内実験室の視察終了後、視察団はセミナー室に戻り、神岡分室の若手研究者をインタビューし、最後に村山機構長他、同行した Kavli IPMU の主だったメンバーとのフリーディスカッションで全てのスケジュールを終えました。



神岡鉱業茂住坑内の実験エリアに到着した視察団と随行者。

第5回外部諮問委員会

WPIの現地視察に先駆けて、2011年7月24日(火)に Kavli IPMU の第5回外部諮問委員会が開催されました。出席された委員はRoberto Peccei(UCLA、委員長)、John Ellis (King's College London)、Steve Kahn (Stanford/SLAC)、小島定吉(東京工大)、David Morrison (UC Santa Barbara)、岡村定矩(法政大学)、Nigel Smith (SNOLAB) の7名でした。委員会は Kavli IPMU の活動状況について、村山機構長及びこの4月に着任した片山伸彦副機構長から報告を受け、

また各分野の研究者の研究報告を聞き、研究発表ポスターを見て、Kavli IPMU のこれまでの活動を評価すると共に、今後の活動に対する助言を行いました。



村山機構長、「世界で活躍し『日本』を発信する日本人」に選ばれる

2012年9月18日、内閣官房国家戦略室は国際社会で顕著な活動を行い、世界で『日本』の発信に貢献した日本人に感謝状を贈る「世界で活躍し『日本』を発信する日本人プロジェクト」の対象者63名を発表しましたが、その一人として Kavli IPMU の村山齊機構長が選ばれました。外国人プレス関係者などより構成される選考委員会によって、スポーツ、文化、社会貢献など様々な分野から選出された対象者には古川国家戦略担当大臣より感謝状が贈られました。

大栗博司主任研究員、第1回サイモンズ研究賞受賞

カリフォルニア工科大学のカプリ冠教授で、Kavli IPMU の主任研究員を併任する大栗博司さんが、米国サイモンズ研究員賞の初代受賞者に選ばれました。大栗さんには10年間にわたり総額で132万ドル(約1億円)の研究費が支給されます。サイモンズ研究員賞は、米国のサイモンズ財団が、数理学において大きな業績をあげ、今後さらに活躍をすると期待される研究者を顕彰し支援するために、



大栗博司主任研究員

本年設立した賞です。2012年7月24日に発表された受賞者は、物性物理学から天体物理学にわたる理論物理学の分野から9名、数学から7名、情報科学から5名で、そのうち素粒子物理学分野からの受賞者は大栗さんだけでした。

授賞理由は、①トポロジカルな弦理論を超弦理論に応用する革新的な方法、②カラビ-ヤウ多様体の研究を通じたDブレーンに関する重要な発見、及び③重力のホログラフィー原理の発展への本質的な貢献など、類まれな想像力と学問の幅を持つ研究者であることと発表されています。

戸田幸伸特任准教授、2012年日本数学会幾何学賞受賞

代数多様体上の接続層の導来圏は、超弦理論、非可換代数、シンプレクティック幾何などに関わる種々の分野の対称性を体現する興味深い研究対象ですが、Kavli IPMU 准教授の戸田幸伸さんが「導来圏の安定性条件とDonaldson-Thomas 不変量の研究」で日本数学会の2012年度幾何学賞を受賞し、2012年8月21日に授賞式が行われました。

幾何学賞は、日本数学会幾何学分科会により1987年に創設された賞で微分幾何学、位相幾何学や代数幾何学を含む広い意味での幾何学の研究において目覚ましい業績、長年にわたる重要な業績の累積、また戸田幸伸特任准教授著書等によって後進へのよき指針を与えた数学者に贈られます。



戸田幸伸特任准教授

Kavli IPMU 研究棟にBCS賞

カブリ数物連携宇宙研究機構の研究棟が、社団法人日本建設業連合会の選定した第53回BCS賞の受賞15作品の一つに選ばれました。表彰式は本年

11月20日(火)に東京・内幸町の帝国ホテルで行われる予定です。

BCS賞は、「優秀な建築物をつくり出すためには、デザインだけでなく施工技術も重要であり、建築主、設計者、施工者の三者による理解と協力が必要である」という趣旨のもと、当時の社団法人建築業協会 (Building Contractors Society) によって1960年に創設された賞で、毎年国内の優れた建築作品に授与されます。Kavli IPMU 研究棟については、設計者の東京大学新領域創成科学研究科教授、大野秀敏さんが2011年建築学会賞(作品)を受賞 (IPMU News No.14, 55ページ参照) されていますが、同賞が設計者に与えられるのに対し、BCS賞はその趣旨により、設計者と共に建築主(東京大学)及び施工者の三者に対して与えられます。

今年も好評、多摩六都科学館でのサイエンスカフェ2012

Kavli IPMUが多摩六都科学館との共催で毎年同科学館に於いて開催してきたサイエンスカフェシリーズは、今年で4年目を迎えました。今年の第1回は6月30日に前東京大学国際高等研究所長で現在法政大学理工学部教授の岡村定矩さんが「バリオンの宇宙」、第2回は7月7日に東京大学理学系研究科教授でKavli IPMU 上級科学研究員を兼務する吉田直紀さんが「宇宙が光で満たされるまで」、第3回は9月8日にKavli IPMU 助教の阿部知行さんが「図形から語る数学の世界～不思議な3つのラングランズを巡って～」と題して、それぞれ講演を行いました。

第1回と第3回のサイエンスカフェは定員80名という少人数の会場で、クイズなども取り入れ講師と参加者との交流を重視した和やかな雰囲気で行われました。また第2回は当日リニューアルオープン初日を迎えたばかりの多摩六都科学館の新しいプラネタリウムを第1部の会場として、科学館閉館

時刻の午後5時から開催され、吉田さんの解説による投影を含めた七夕の夜にふさわしいプログラムとなりました。なお、第2部は別室に移動し、講師を囲む恒例の“カフェ”形式で行われました。

いずれの回も中学生から70代までという幅広い年齢層の参加者から活発な質問が飛び出すなど盛況のうちに終了しました。



6月30日の岡村定矩さんの講演風景。



7月7日の吉田直紀さんの講演。第1部はプラネタリウムを会場として行われました。



9月8日の阿部知行さんの講演風景。

高校生のためのサイエンスキャンプ「数学と物理学で挑む素粒子と宇宙」

2012年7月28日、東京大学柏キャンパスでKavli IPMU 主催の高校生向け最先端科学体験イベント「宇宙をのぞいてみよう!」を開催し16名の高校生が参加しました。

マックスプランク天体物理学研究所宇宙論物理学部門ディレクターでKavli IPMU 客員上級科学研究員でもある小松英一郎さんの宇宙論の講義に加え、

国立天文台ハワイ観測所や Kavli IPMU の神岡分室にあるXMASS 実験施設とテレビ会議システムを使った通信授業を行い、最先端の研究に興味を持つ高校生からは次々と質問が飛び出しました。

イベントには Kavli IPMU 機構長の村山齊さん、副機構長の片山伸彦さんも飛び入り参加し、高校生に科学や宇宙の楽しさを直接伝える機会となりました。



講義後村山齊機構長を囲んで

ハイパーシュプリームカム、性能試験観測に成功

国立天文台が東京大学 Kavli IPMU 等と共同で開発を進めてきた新型の超広視野イメージング装置、ハイパー・シュプリーム・カム (HSC; Hyper Suprime-Cam) が2012年8月16-17日に国立天文台ハワイ観測所のすばる望遠鏡に搭載され、8月28日の夜から性能試験観測を開始しました。Kavli IPMU においては、最先端研究開発支援プログラム (FIRSTプログラム) の一つとして選定され村山機構長を中心研究者として進められている SuMIRE プロジェクトの2つのサブテーマの一つとしてHSCの開発が進められてきました。HSCの性能試験観測の様子と今後のサーベイ計画については、52ページの研究報告をご覧ください。

SDSS-III、過去最大の3次元宇宙地図を公開

東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構の研究者を含むスローン・デジタル・スカイ・サーベイIII (SDSS-III) 研究グループはこれまでで最大の3次元宇宙地図となる、データリリース9 (DR9) を公開しました。公開されたこ

の3次元地図を用いて、世界中の宇宙物理学者が宇宙の96%を占めていると考えられる暗黒物質や暗黒エネルギーの謎の解明に挑みます。

昨年はじめ、SDSS-III は過去最大の宇宙カラーイメージを公開しました (IPMU News No.13、51ページ参照)。SDSS-III では、このイメージを3次元の地図として拡張することを開始し、今回オンライン公開された DR9 では6年計画で完成させる宇宙地図の最初の1/3が利用可能になりました。

実はでこぼこ? 超新星爆発の形—すばる望遠鏡で迫る超新星の爆発機構

国立天文台の田中雅臣助教 (前 IPMU 特任研究員)、広島大学の川端弘治准教授、国立天文台の服部亮研究員、Kavli IPMU の前田啓一特任助教、野本憲一特任教授らの研究グループはすばる望遠鏡を用いた観測により、大質量星が一生涯の最期に起こす「超新星爆発」が塊状の3次元構造をもつことを明らかにしました。

この研究は超新星爆発の形状を探る道を新たに開くもので、長年にわたる謎である爆発機構解明の糸口となることが期待されます。研究成果は米国の天体物理学専門誌 *Astrophysical Journal* の2012年7月20日号に掲載されました。

人事異動

昇任

Kavli IPMU 准教授の高田昌広さんが2012年10月1日付けで Kavli IPMU 教授に昇任されました。

また、Kavli IPMU 上級博士研究員のアレクサンドル・コズロフさんが2012年7月1日付けで Kavli IPMU 助教に採用されました。



転出

次の方々が転出しました。[括弧内は Kavli IPMU 在任期間です。]

Tsz Yan Lam (林 梓仁) さん [2009年6月1日-2012年8月31日]、Kavli IPMU 博士研究員からドイツの Max Planck 天体物理学研究所フンボルト・フェローへ。

Alexander Getmanenko さん [2009年9月1日-2012年8月31日]、Kavli IPMU 博士研究員からパリ第7大学ジュシュー (Jussieu) 数学研究所博士研究員へ。

Minxin Huang (黄 民信) さん [2009年9月1日-2012年8月31日]、Kavli IPMU 博士研究員から中国科学技术大学交叉学科理論研究中心 (Interdisciplinary Center for Theoretical Study) 助教授へ。

Matthew Carl Sudano さん [2009年9月1日-2012年8月31日]、Kavli IPMU 博士研究員からコペンハーゲン大学ニールス・ボーア研究所博士研究員へ。

Jason Evans さん [2009年9月16日-2012年9月15日]、Kavli IPMU 博士研究員からミネソタ大学リサーチ・アソシエイトへ。

Johanna Knapp さん [2010年4月1日-2012年8月31日]、Kavli IPMU 博士研究員からウィーン工科大学助教授へ。

Christian Schnell さん [2011年7月1日-2012年8月31日]、Kavli IPMU 博士研究員からニューヨーク州立大学ストーニーブルック校助教授へ。

Siu-Cheong Lau (劉 紹昌) さん [2011年8月1日-2012年7月31日]、Kavli IPMU 博士研究員からハーバード大学 Benjamin Peirce フェローへ。

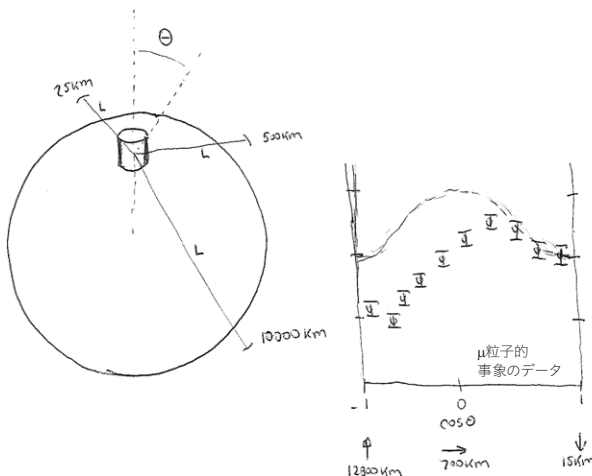
中山 優さん [2011年9月1日-2012年8月31日]、Kavli IPMU 博士研究員からカリフォルニア工科大学 Fairchild Senior Research フェローへ。



大気ニュートリノ振動

クリストファー W. ウォルター デューク大学物理学科准教授、Kavli IPMU客員科学研究员

ニュートリノの質量は、地球全体を用いて量子力学の実験を行うことによって発見されました。実験ではニュートリノはフレーバーの定まった状態として観測されます。しかし、実はその状態のニュートリノは、はっきり質量が決まった状態の量子力学的な重ね合わせなのです。ニュートリノが進むにつれて、私たちが測定するフレーバー状態は、振動しながら入れ替わってゆきます。この振動を記述する方程式は、距離とエネルギーと共に、状態の重ね合わせの程度を表す混合角(θ)、および質量の違いの程度を表す質量の2乗差(Δm^2)の関数となっています。真上から降ってくる大気ニュートリノ (IPMU News No. 7, p. 52参照) と下から数千kmを通過してくる大気ニュートリノの振る舞いを比較することにより、混合角と質量の2乗差が測定されました。下からやってくるニュートリノは、約50%の確率で簡単には測定できないタイプのニュートリノに変身します。このことは、スーパーカミオカンデのデータで、上向き μ 粒子的事象が期待値のおよそ半分しか観測されないことから分かります。



$$P_{\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}} \cong \sin^2(2\theta_{13}) \sin^2\left(\frac{1.27 \Delta m_{32}^2 L}{E}\right)$$