

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



The University of Tokyo Institutes for Advanced Study
東京大学国際高等研究所

Feature Using Galaxies to Shed Light on the Dark Universe
Interview with Rashid Sunyaev



No. **29**

No.

March 2015

Kavli IPMU NEWS CONTENTS

English

- 3 **Director's Corner** Hitoshi Murayama
Hitoshi Murayama at Work
- 4 **Feature**
Using Galaxies to Shed Light on the Dark Universe
Surhud More
- 10 **Interview** with Rashid Sunyaev
- 16 **Our Team** Yasunori Nomura
Edwin L. Turner
- 18 **Workshop Report**
String Theory in Greater Tokyo
Charles Melby-Thompson
René Meyer
- 19 **Workshop Report**
The 6th Open Meeting of the Hyper-Kamiokande
Project
Mark Hartz
- 20 **Workshop Report**
Workshop on "Getting a Grip on Galactic Girths"
Kevin Bundy
- 21 **Workshop Report**
Key Aspects in Exploring Road to Unification
(KAERU Conference)
Shinya Kanemura
- 22 **Workshop Report**
MadGraph5 aMC@NLO Femto Workshop
Kentarou Mawatari
- 23 **News**
- 30 **Matter Effects on Neutrino Oscillations**
Michael Smy

Japanese

- 31 **Director's Corner** 村山 斉
近況
- 32 **Feature**
暗黒宇宙の解明に銀河を利用する
スルド・モレ
- 38 **Interview** ラシッド・スニヤエフ教授に聞く
- 43 **Our Team** 野村 泰紀
エドウィン・ターナー
- 45 **Workshop Report**
String Theory in Greater Tokyo
(大東京圏における超弦理論研究会)
チャールズ・メルビー - トンプソン
レネ・マイヤー
- 46 **Workshop Report**
第6回ハイパーカミオカンデ計画オープンミーティング
マーク・ハーツ
- 47 **Workshop Report**
Kavli IPMUフォーカスウィーク研究会「銀河のサイズを理解する」
ケビン・バンディ
- 48 **Workshop Report**
Key Aspects in Exploring Road to Unification
(KAERU Conference)
兼村晋哉
- 49 **Workshop Report**
MadGraph5 aMC@NLO Femto Workshop
馬渡健太郎
- 50 **News**
- 52 **ニュートリノ振動の物質効果**
マイケル・スミ



Surhud More is an Assistant Professor at the Kavli IPMU. He graduated from the Indian Institute of Technology Bombay in May 2005. He received his Ph.D (Dr. rer.nat) from the Max Planck Institute for Astronomy in July 2009. He became a MPIA Postdoctoral Researcher at the Max Planck Institute for Astronomy in July 2009, and the Kavli Institute for Cosmological Physics Fellow at the University of Chicago in November 2009. He then became a Postdoctoral Fellow at the Kavli IPMU in September 2012. Since 2014, he has been Kavli IPMU Assistant Professor.

スルド・モレ：Kavli IPMU 助教。2005年5月にインド工科大学ボンベイ校卒業。2009年7月にマックス・プランク天文学研究所より博士の学位を取得。2009年7月にマックス・プランク天文学研究所博士研究員、同年11月にシカゴ大学カブリ宇宙物理学研究所フェロー。2012年9月にKavli IPMU博士研究員、2014年3月よりIPMU助教。

Hitoshi Murayama at Work

Director of Kavli IPMU
Hitoshi Murayama



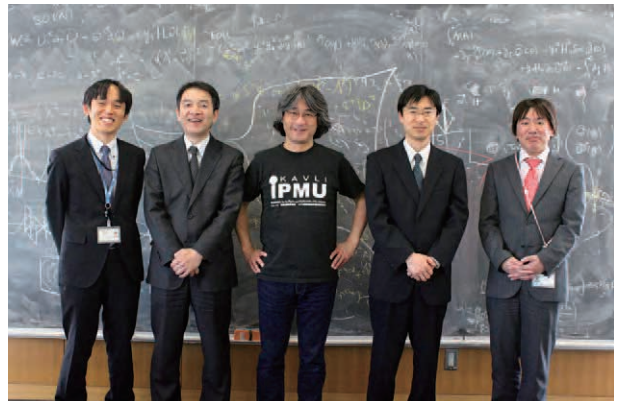
January 13: Lecture at Yamanashi Eiwa Junior and Senior High School. (Photos: Courtesy of Yamanashi Eiwa Junior and Senior High School)



March 25 and 26: Opening address (left) and a talk (right) entitled, "Life after Higgs: New SUSY Breaking and New Dark Matter," at the Conference on "Key Aspects in Exploring Road to Unification (KAERU Conference)," held at the Kavli IPMU.



March 26: With high school students, a lecturer, and teaching assistants at the "Spring Science Camp 2015: A challenge to Unravel the Mystery of the Universe through Astronomy, Physics and Mathematics," held at the Kavli IPMU.



March 26: With administrative officers who are leaving the Kavli IPMU.

Using Galaxies to Shed Light on the Dark Universe

1. The Dark Universe

The grandeur of the night sky has bedazzled mankind from time immemorial. Human curiosity has led us on a quest to understand fundamental questions about the nature of the Universe, its origin and its fate. Astrophysical observations remain at the front and center in this quest. They have continued to unravel a number of dark mysteries that the Universe holds in store for us.

The most puzzling of the many astrophysical discoveries so far, has been the existence of dark matter and dark energy. Dark energy is an omnipresent, nonclumpy form of energy (traditionally attributed to the vacuum), while dark matter is composed of slow-moving matter particles, which do not interact electromagnetically. These two components dominate (accounting for nearly 95%) the energy density budget of the cosmos over that of ordinary matter which we have explored and mastered very successfully so far with laboratory experiments (such as those carried out with particle accelerators like the Large Hadron Collider, LHC).

What is the nature of dark matter and dark energy, what are their properties, and how do they relate to ordinary matter? Do these components truly exist, or are they a result of an incomplete theory of gravity on cosmological scales? These

questions lie at the interface between particle physics and cosmology and are at the prime focus of ongoing research. The Kavli IPMU is undertaking a multi-pronged approach to attack these problems by astrophysical observations and laboratory experiments, which can be used to build a theoretical understanding of these mysterious components of nature.

2. The Early Universe and the Birth of Galaxies

In the simplest concordance cosmological model, the early Universe started very hot and dense. It underwent a rapid phase of inflation where the tiny fluctuations of a quantum field were stretched to cosmologically large scales. These fluctuations were imprinted onto the density field of dark matter particles. The fluctuations in dark matter grew by the action of gravity and led to the formation of structure in the Universe.

The growth of these fluctuations can be studied with the help of computer simulations. This topic has been previously covered in the *Kavli IPMU News* (see feature article by Naoki Yoshida in the September 2014 edition). The statistics of the dark matter distribution on the largest scales is governed by a number of important cosmological parameters, such as the amount of matter in the Universe, the amplitude of initial density fluctuations. Mapping

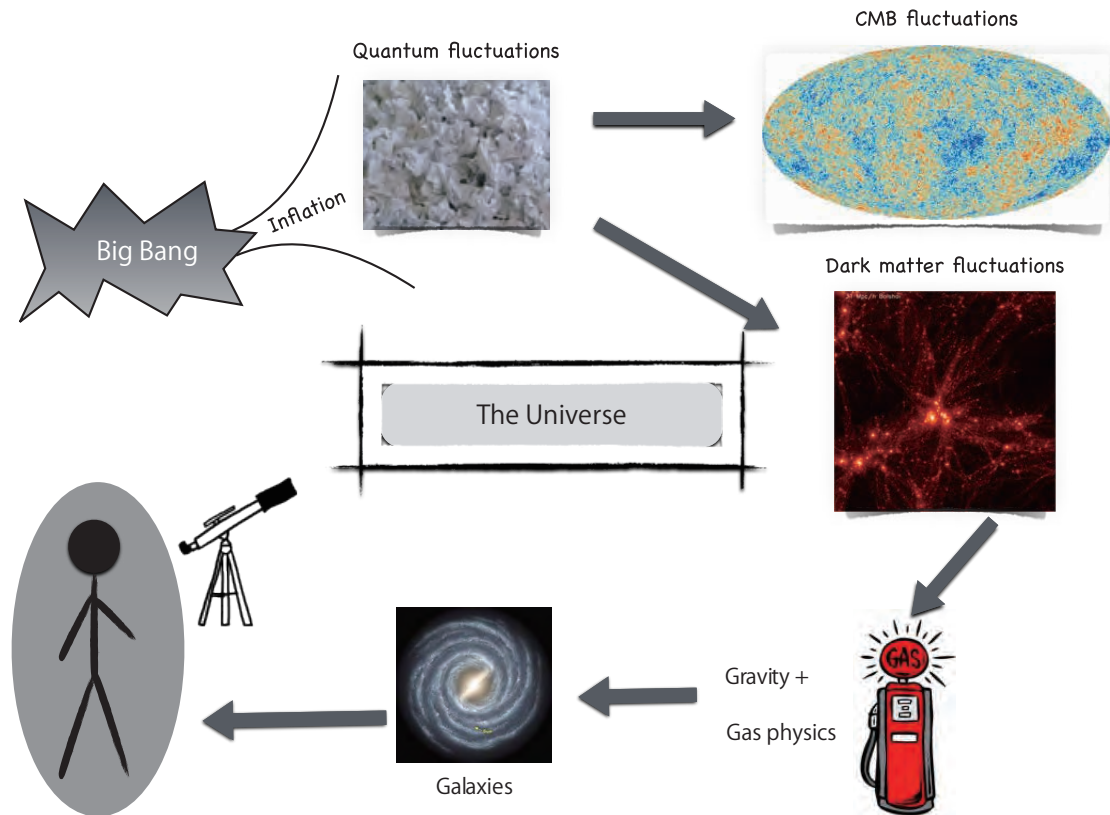


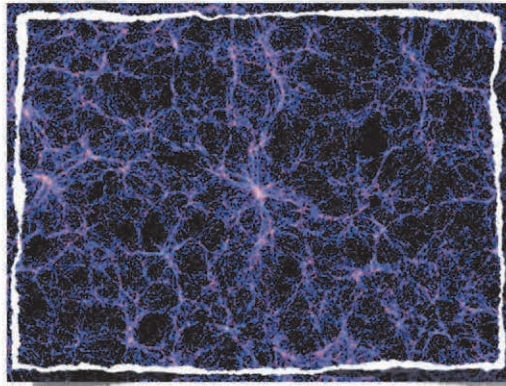
Figure 1. Cosmic inflation results in a nearly homogeneous Universe, seeded with tiny primordial fluctuations. These tiny fluctuations are imprinted onto the matter distribution. A snapshot of these fluctuations about 380000 years after the big bang can be observed by looking at the cosmic microwave background radiation (see feature article by David Spergel in *IPMU News* No. 10, June 2010). The dark matter fluctuations grow to form a cosmic web structure which forms the backbone of structure in the Universe. Complex astrophysical processes then result in the formation and evolution of galaxies. Intelligent life can arise in such galaxies which can then observe the Universe and unravel its history.

out the growth of these fluctuations with time is important to understand the temporal behavior of dark matter and dark energy. But since dark matter does not emit light, it is hard to detect. Fortunately, we have galaxies which emit lots of light and can be detected out to large distances. How are these galaxies then related to the dark matter?

Dark matter particles clump together to form gravitationally bound objects (we will call them dark matter halos). These clumps come in a variety of shapes and sizes, there are numerous small ones, but the big ones are relatively rare. Baryons (primarily primordial gas clouds) are attracted towards the center of the gravitational potential of these dark matter halos. Places which are rich in

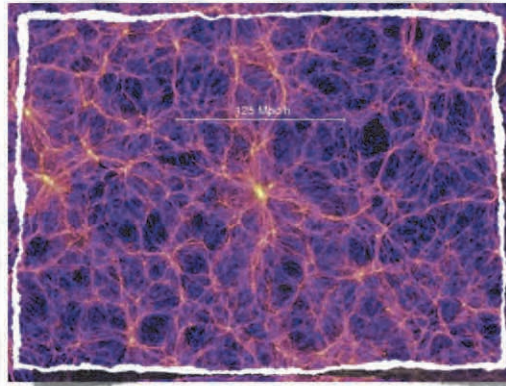
dark matter attract more baryons towards them. The baryons undergo a series of complex astrophysical processes (such as radiative cooling, star formation and feedback) and eventually form galaxies such as our own galaxy, the Milky Way.

On the largest scales, the galaxy distribution is expected to trace the dark matter distribution just due to gravity: wherever there is a lot of dark matter, we expect more and brighter galaxies to form. Galaxies can therefore be used to probe the structure of the dark matter distribution, and its growth in time, thereby improving our understanding of the nature of dark matter and dark energy.



Millennium simulation, Springel et al. 2005

Galaxies



Dark Matter

Figure 2. The expected distribution of galaxies (left) and the corresponding distribution of dark matter (right) today in the concordance cosmological model. The dark matter distribution was obtained by running large computer simulations. Semi-analytical recipes for the physics of the galaxy formation and evolution were implemented to predict the distribution of galaxies in the dark matter structure. The galaxy distribution traces the dark matter distribution on large scales. Observations of galaxies at different cosmic epochs can be used to study the growth rate of structure in dark matter. Measurements of the growth of structure can help us understand the nature of dark matter and dark energy.

3. The Clustering of Dark Matter Halos

Since galaxies live in dark matter halos, it is important to understand how halos are related to the dark matter distribution. Dark matter halos form at the peaks of the density distribution. Most massive halos form at the rare, large scale peaks of the density field. The distribution of such massive halos is highly clustered compared to the low mass halos. This behavior is qualitatively similar to that of the highest mountain peaks that we find on earth. The chance of finding a mountain peak at close proximity to another one is very high (all mountain peaks with height greater than 7200m are located in the region of the Himalayas). Therefore one gets a biased view of the dark matter distribution by just studying the peaks of the density field. Fortunately, one can also predict the distribution of dark matter halos and quantify its dependence on the mass of halos. This exact dependence of the clustering amplitude on halo mass is also a sensitive probe of cosmology (see Figure 3). In observations, one can substitute galaxies for halos, and measure their clustering amplitude. Additional measurements of

the mass of the halos of these galaxies can then yield cosmological constraints.

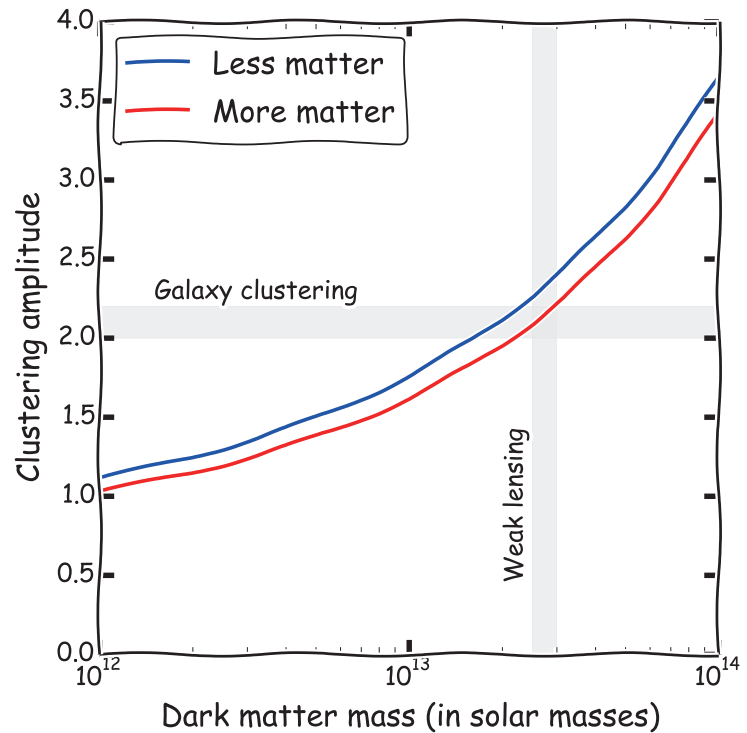
4. Galaxy Observables

4.1 Galaxy Clustering

Astronomers all over the world are carrying out large galaxy surveys to map the distribution of galaxies on large scales. One of the prime examples is the Sloan digital sky survey (SDSS), which has recently concluded its third incarnation (SDSS-III). They obtain accurate positions of galaxies in the plane of the sky via imaging data, as well as along the radial line-of-sight using the shift of galaxy spectral lines towards the red side of the spectrum (redshift). This results in a three dimensional map of galaxies in space.

Using this data, the clustering of galaxies can be quantified with one of the simplest spatial statistics, the two-point correlation function. The correlation function quantifies the excess probability to find two galaxies separated by a given distance over that if they were distributed randomly. If galaxies cluster strongly, then one should be able to find a

Figure 3. The clustering amplitude of dark matter halos of different mass depends upon cosmological parameters such as the amount of matter density in the Universe. More matter in the Universe results in a smaller amplitude of clustering for the same mass of dark matter halos. Galaxies live in dark matter halos. By measuring the clustering of galaxies, we can measure the clustering of their dark matter halos. The weak gravitational lensing effect around these galaxies can be used to measure their halo masses. Together such observations can constrain cosmological parameters (see Figure 4). (Image adapted from S. More et al., "The Weak Lensing Signal and the Clustering of BOSS Galaxies II: Astrophysical and Cosmological Constraints," arXiv:1407.1856; to be published in *Astrophysical Journal*.)



large number of pairs of galaxies at relatively short distances from each other. We have measured the clustering signal of galaxies from the SDSS-III survey with very high fidelity. This gives us the amplitude of the clustering of halos in which these galaxies reside. But how to determine the mass of the halos of these galaxies?

4.2 Gravitational Lensing

In ordinary life, we experience that light always travels in straight lines. It was Einstein's great insight that the path of light rays could be significantly distorted if it passed near a very massive object. This phenomenon called gravitational lensing has turned out to be an extremely useful tool in astrophysics. It can be used to detect and measure dark matter simply by quantifying the bending of light. Gravitational lensing in its strongest form results in beautiful mirages in the Universe, such as galaxies morphed into thin elongated arcs, or sometimes even resulting in multiple images of

single galaxies (or even objects like supernovae).

In its weak form, lensing due to intervening mass causes spherical objects to look elliptical. The minor axis of this ellipse is oriented in the direction joining the object and the intervening mass. By measuring this coherent ellipticity signal, we can measure the dark matter distribution around galaxies, and thus the masses of their dark matter halos.

For carrying out such measurements around the galaxies, we need to find surrounding background galaxies and measure their shapes. This is a very difficult task as the background galaxies are faint. A large amount of telescope time is needed to image these galaxies with a quality which is good enough to measure their shapes.

We have carried out such measurements using the deep imaging data around SDSS-III galaxies obtained by the Canada France Hawaii Telescope Legacy Survey*. This data can then be used to understand the dark matter distribution surrounding these galaxies, in particular the mass of

* www.cfht.hawaii.edu/Science/CFHTLS/

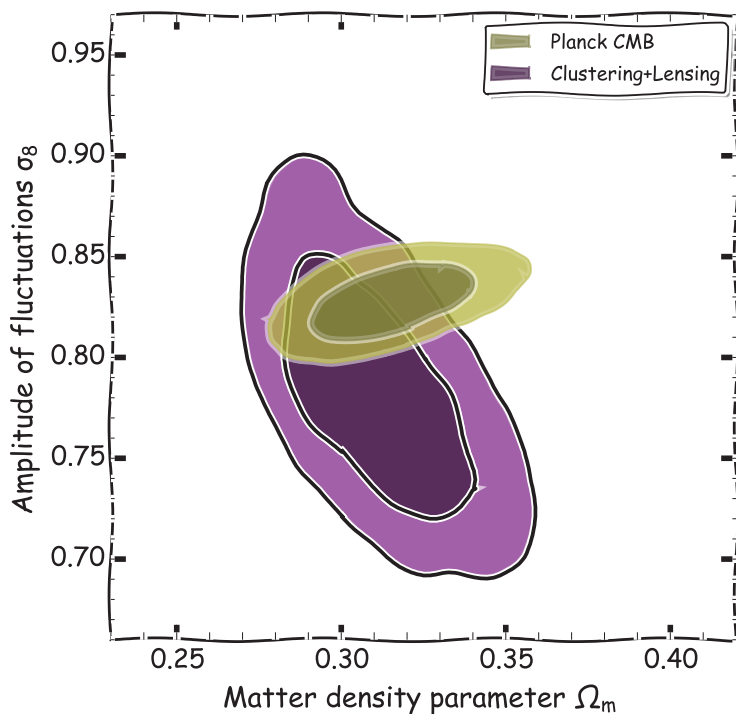


Figure 4. We have measured the clustering amplitude of galaxies from the SDSS-III Baryon oscillation spectroscopic survey (BOSS). (H. Miyatake et al., "The Weak Lensing and Clustering of BOSS Galaxies I: Measurements," arXiv:1311.1480; to be published in *Astrophysical Journal*.) The masses of the halos of these galaxies were measured by using the weak gravitational lensing effect. These measurements allowed us to obtain cosmological constraints on the matter density parameter and the amplitude of density fluctuations in the Universe today (magenta contours show the 68 and 95 percent confidence regions). We can compare our results with those obtained by the analysis of CMB observations in the very early Universe using the Planck satellite. The consistency and complementarity of the two results; the former based on non-linear gravitational physics in the late Universe, and the latter based on physics in the very young Universe, is remarkable. (Image adapted from S. More et al., "The Weak Lensing Signal and the Clustering of BOSS Galaxies II: Astrophysical and Cosmological Constraints," arXiv:1407.1856; to be published in *Astrophysical Journal*.)

their dark matter halos.

5. Cosmological Concordance

It is important to test the current cosmological model using a variety of observables. It not only establishes confidence in the model, but also implies that the current description is a very reasonable approximation of the reality, even though it may not completely represent the true underlying reality. Some of the main observations which support the current cosmological model are those of the cosmic microwave background (CMB) and the distance redshift relation obtained from observations of supernovae of Type Ia (SNeIa) and baryon acoustic oscillations (BAO).

Using the amplitude of the galaxy clustering and the dark matter halo mass, we can also infer constraints on the cosmological parameters such as the amount of matter density in the Universe and the amplitude of the initial density fluctuations.

These constraints give a consistent picture of the Universe and are often of a complementary nature to the CMB, BAO, and SNeIa measurements.

6. The Future Is Here!

The Hyper Suprime-Cam instrument on the Subaru telescope in Mauna Kea, Hawaii is an engineering marvel. It consists of a wide field of view and has the world's biggest camera on any astronomical telescope. A large imaging survey was started last year in March 2014 with the help of this instrument. The aim of this survey is to provide high quality imaging at unprecedented depths over large area of the sky. The survey, once complete, will make it possible to construct a dark matter map from weak lensing observations. It will enable a lot of exciting research in areas of astrophysics and cosmology. I am looking forward in particular to revisiting the weak lensing of the SDSS-III galaxies in light of this new data. Joint analyses of clustering

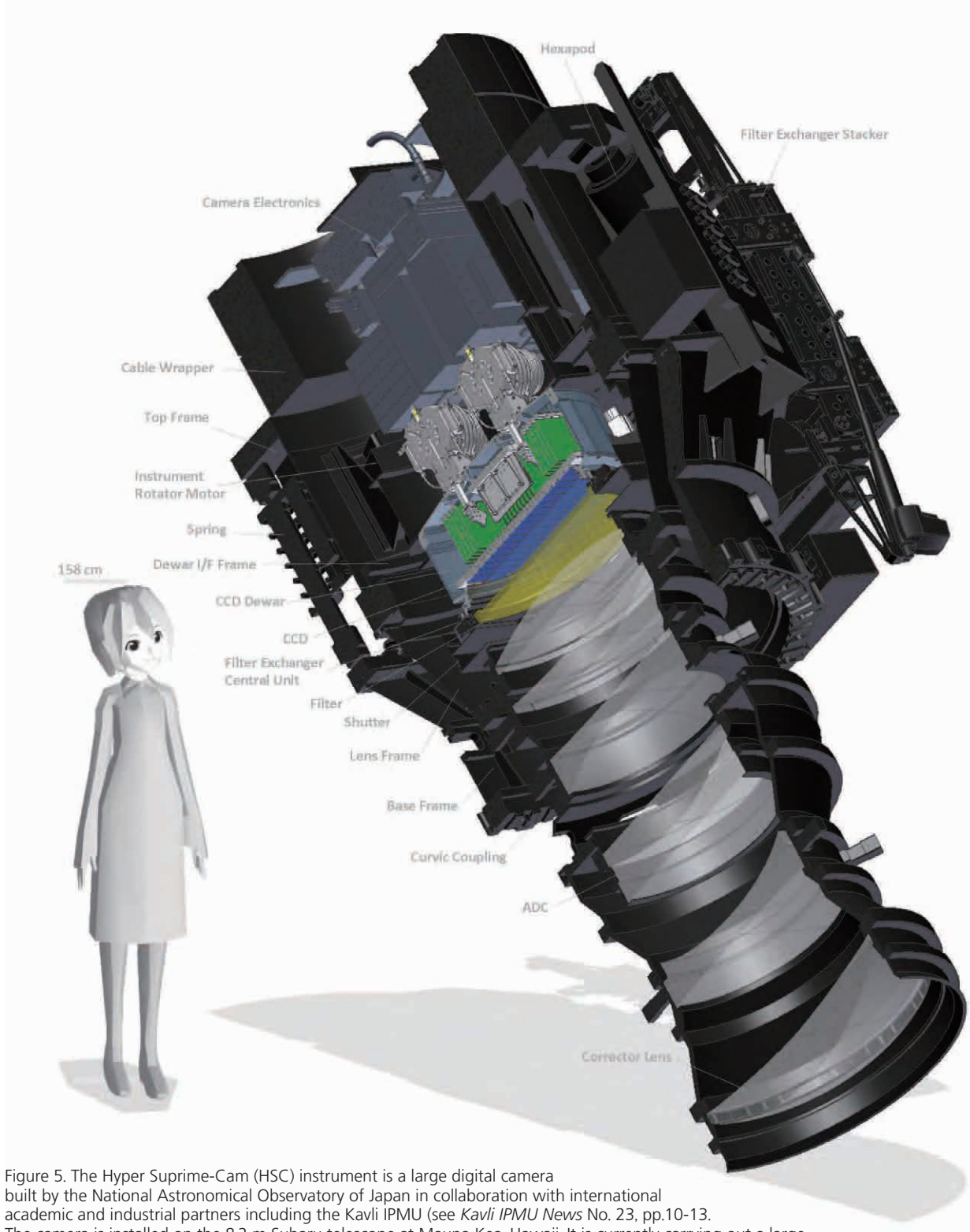
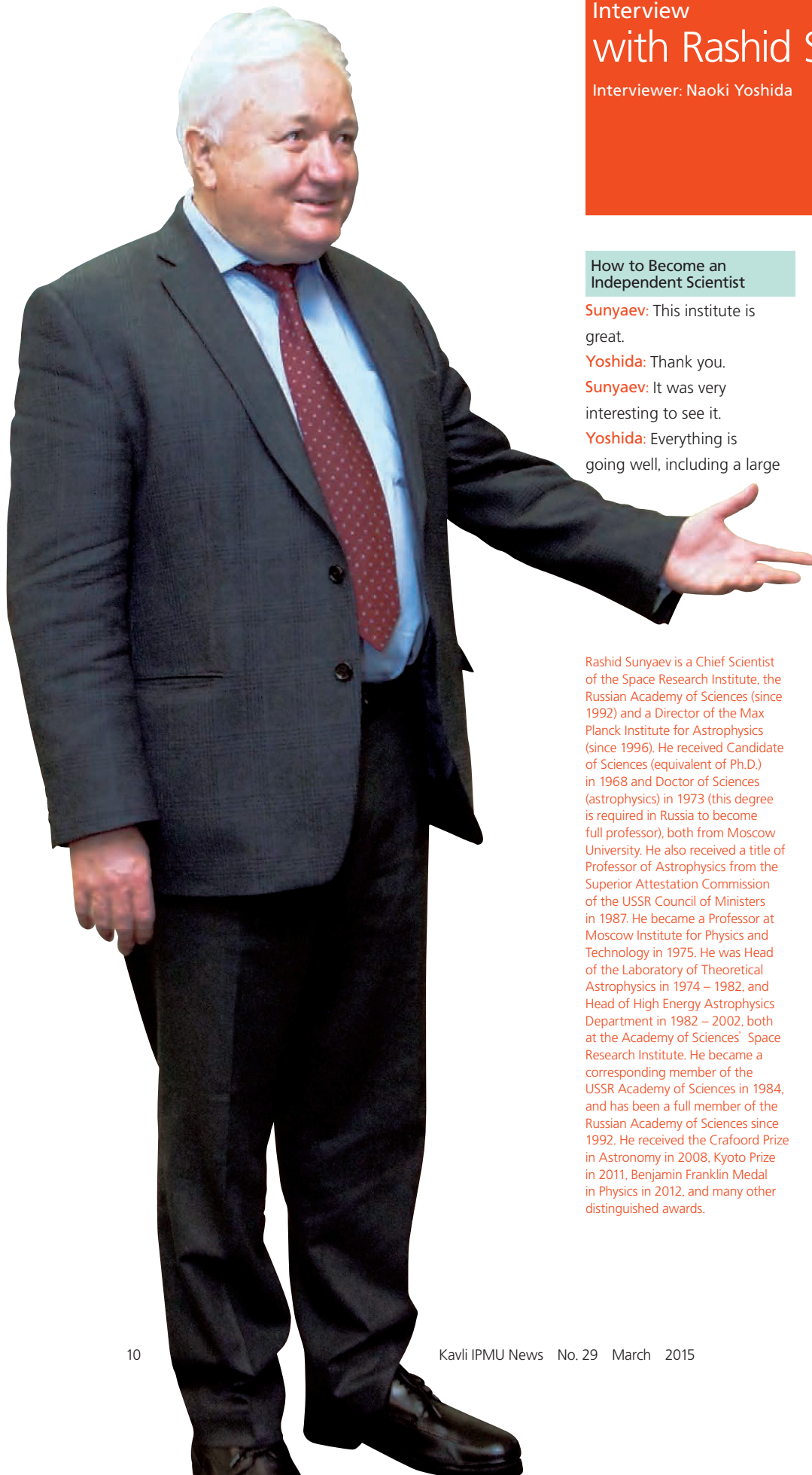


Figure 5. The Hyper Suprime-Cam (HSC) instrument is a large digital camera built by the National Astronomical Observatory of Japan in collaboration with international academic and industrial partners including the Kavli IPMU (see *Kavli IPMU News* No. 23, pp.10-13). The camera is installed on the 8.2 m Subaru telescope at Mauna Kea, Hawaii. It is currently carrying out a large galaxy imaging survey as part of a Subaru Strategic Program. The HSC survey, once complete, will cover 1400 sq deg of sky at unprecedented depths. (Image credit: NAOJ)

and weak lensing of galaxies like the one presented in this article can be performed at different epochs, tracing the growth of structure in the Universe. This

is extremely important to shed light on the nature of dark energy, one of the principal goals of the survey. Exciting times surely lie ahead!



Interview

with Rashid Sunyaev

Interviewer: Naoki Yoshida

How to Become an Independent Scientist

Sunyaev: This institute is great.

Yoshida: Thank you.

Sunyaev: It was very interesting to see it.

Yoshida: Everything is going well, including a large

astronomical survey, Subaru Hyper Suprime-Cam survey.

Sunyaev: Are you participating in it?

Yoshida: Yes, and we will get real data and real results very soon.

Sunyaev: Very good. I remember that you were working at the Max Planck Institute for Astrophysics.

Yoshida: As a student.

Sunyaev: You are now working at the Hongo campus. Are you working in the Department of Physics, not in this institute?

Yoshida: I spend 60% of my time at the Department, and 40% here.

Sunyaev: It's good sharing, okay.

Yoshida: Yes. I can conduct researches here at the Kavli IPMU. Okay, let me ask you about some questions today. The first question is about "independence." One particular thing I wanted to ask you is how to become an independent scientist. At what occasion did you first realize or become confident enough that you would be a good scientist?

Sunyaev: It's a very difficult question. I have never thought about it, but it's my

Rashid Sunyaev is a Chief Scientist of the Space Research Institute, the Russian Academy of Sciences (since 1992) and a Director of the Max Planck Institute for Astrophysics (since 1996). He received Candidate of Sciences (equivalent of Ph.D.) in 1968 and Doctor of Sciences (astrophysics) in 1973 (this degree is required in Russia to become full professor), both from Moscow University. He also received a title of Professor of Astrophysics from the Superior Attestation Commission of the USSR Council of Ministers in 1987. He became a Professor at Moscow Institute for Physics and Technology in 1975. He was Head of the Laboratory of Theoretical Astrophysics in 1974 – 1982, and Head of High Energy Astrophysics Department in 1982 – 2002, both at the Academy of Sciences' Space Research Institute. He became a corresponding member of the USSR Academy of Sciences in 1984, and has been a full member of the Russian Academy of Sciences since 1992. He received the Crafoord Prize in Astronomy in 2008, Kyoto Prize in 2011, Benjamin Franklin Medal in Physics in 2012, and many other distinguished awards.

impression that there was a moment when I recognized that I wished to become a scientist. It was a very important moment, because when you're a student, you don't know what you are interested in, but there is a great difference between the interest and the belief that you really should do this.

Yoshida: Yes.

Sunyaev: The second moment is when you're really starting to be confident that you're able to do this — Is this what you ask?

Yoshida: Yes, something like it.

Sunyaev: I was working with Yakov Zeldovich in his group at the Institute of Applied Mathematics, USSR Academy of Sciences. He was an extremely strong and bright scientist, very well recognized and very broad in his interests. He was sending me to different people to discuss science, recommending me to work with them also. Very rapidly I recognized that there are different grades of strong scientists. Zeldovich is a very high-grade scientist. There are people who are working in very narrow fields of science and who know

very well those narrow fields. And then I recognized that I can be strong in some fields even on the level of those who were already full professors at that time, by just interacting with people to whom Zeldovich sent me to discuss things which we were doing, and trying to get their advice on the concrete very narrow subject. This was important. Then I started to work with some of these people, for example, these experimentalists. Experimentalists are great. I admire them because their life is much more difficult than life of theoreticians. Anyway, at some moment, you have a pleasure recognizing that you might be extremely useful for these experimentalists. You come to them and tell that it's possible to use their data for this and that, and try to interpret their data in the best way. Then you see that you can find your own niche

Naoki Yoshida is a Professor at the School of Science and Kavli IPMU, the University of Tokyo. After having graduated from the University of Tokyo in 1996, he completed his doctoral course in the Max Planck Institute for Astrophysics in 2001 and received a Doctorate in Natural Science from München University in 2002.



and that in this niche, you're strong.

Yoshida: You found the value of yourself as...

Sunyaev: It's not only the value. I also understood the niche in which I was able to compete with many people rather successfully. I was very happy and Zeldovich also recognized this. Written together with Zeldovich, some of our papers became so successful. Sometimes, I am thinking why, and my impression is that one of the reasons was the following. At a very early stage I recognized that I'm interested in how to make the result of a theory observable. Many theoreticians around me were working only in theory, for theory, for further development of theory. I also found my niche to find what is possible to observe.

Yoshida: Interesting.

Sunyaev: This made my life much more interesting. I also recognized that it was possible to work not only with Zeldovich; I can be rather independent. This was also very useful. He was pleased when I was also working with other people, young people like a friend of mine Nikolay Shakura — we were working on the accretion onto the black holes. I had many strong students. I'm very grateful to them, not only because students are useful, but also because working with strong students is a pleasure. Students contribute a lot, but if students are

strong, you're also learning a lot from them. They're not so busy and they learn much more rapidly than you. At some moment, they're starting to be competitive. I think it's very useful to work with young people. You should really do this.

Yoshida: I see. Was that roughly when you were 30 years old?

Sunyaev: I think it was close to the age of 25-27.

Yoshida: Okay. Then, did you become so self-confident?

Sunyaev: I think I did. I also tell you this. At the beginning when I started to work with Zeldovich, he was rather tough when I was not doing something very rapidly because of difficulties. He was showing that he has no time to speak with me and sometimes he was not recognizing me. For me, it was really very, very bad feeling.

Yoshida: I understand.

Sunyaev: But, when you were getting new results and coming to tell him, "I have new results," he immediately got ecstatic, telling "Okay, let's discuss." Then, I understood that maybe his behavior was just a way to demonstrate his intention to make me work more hard.

Yoshida: To prompt or motivate you.

Sunyaev: Yes, motivating, but this was a rather tough way of motivating. At some moment, I also recognized that he was also happy to work with me. This was a great feeling. He was interested in you; he was

so strong and so well known. This also showed you that you are not absolutely the last person in the world. This was good.

Yoshida: Okay, I think your story is very encouraging to young people and that's why I wanted to ask this question to you.

Relation between a Supervisor and a Student

Sunyaev: It's important. But, you know, life is changing. The behavior of people is changing and the relation between a supervisor and a student is now very different from that in the time when I started. Also, the American way of interactions or Anglo Saxon way of interactions between professors and students is very different from that which was accepted in Russia and Soviet Union when I was young.

Yoshida: In Russia and Soviet Union, I suppose it was more like a mixture, more like a family style and also like in a more hierarchical, logical style.

Sunyaev: In Soviet Union, it was strongly hierarchical. It was the same in Germany. Usually people were staying in the same group if they were successful, practically whole their scientific life. This was completely different from the Anglo Saxon way. In America, it's important to move from place to place, and to learn more. But in Russia, in many groups, their chief was doing something like a top advisor,

and then the second person made a first correction to his theory and so on. Finally, it became the "seventh approximation." From one side, people were able to go very deep. From another side, people were slow in progress, because they were unable to become broad — the conditions to become broader were much more difficult.

Yoshida: That's very interesting, because many younger people struggle with becoming independent at some point. As a student, there is some learning without much thinking. But, eventually, they want to become very independent and this happens in a variety of ways depending on the person.

Sunyaev: Yes, it depends on personality and character. I completely agree with you. A lot depends also on the interests. Zeldovich had the feeling of what is interesting for a person. When I first came to him, he asked "What are you interested in?" At that time, I was rather good in mathematics, but I told him that I liked physical processes. It was interesting for me to learn physical processes working in, for example, gas chambers and other detectors of elementary particles. Then he was trying to direct me to where it was necessary to investigate elementary physical processes. This was interesting for me and this became very useful part of my work.

Russian System of Finding Excellent Young Talent

Yoshida: Okay, interesting. Now, the second question is somewhat related. I'm always impressed by the Russian or former Soviet Union's systems in many ways, and one thing I want to know is the following. There must be some nationwide search process for excellent young talent. You're from Tashkent, but somehow you went to Moscow. There must be some centralization system, too. How do they work in Russia?

Sunyaev: I can tell you that system of Soviet Union. It was very strongly centralized, but there are many countries with great centralization. For example, in France every young person understands that for his career, it's important to go to Paris at some stage.

Yoshida: But, in Soviet Union, I think even at the high school level, it seems to have been working...

Sunyaev: Tashkent had universities, but everybody knew that the level of these universities was lower than the universities in Moscow or Leningrad at that time — but high schools were rather good.

Yoshida: High school teachers were also very good?

Sunyaev: High school teachers were good. Schools were good. But the best students, I don't know how, knew that it's good to go to Moscow.

Yoshida: Oh, you don't know how. That's something I

wanted to know.

Sunyaev: We heard that if you wish to do, for example, science or to learn most modern things, it's better to go to Moscow. We knew that there is continuous flow of the strongest people there. For example, if a professor in Tashkent was really very good, at some moment he was invited to go to Moscow. If you had a really good ballet star at your theater, then Moscow was inviting this ballet star. Therefore, people were going up. For me, extremely important was an additional episode. When I was 17, one day I was invited to participate — just without any preparation — in the Olympiad. Do you know what it is?

Yoshida: Yes.

Sunyaev: I was invited to participate in the Mathematical Olympiad of Central Asia and Kazakhstan. These were five Soviet Republics — now, independent states — Uzbekistan, Tajikistan, Kyrgyzstan, Turkmenistan, and Kazakhstan. Altogether, there were maybe 50 million people at that time. People from different, best schools in these republics were sent to Tashkent, and several high school students from Tashkent were also invited to participate in this competition in mathematics. I don't know how, but I won, and then I was sent to Moscow to participate in the Olympiad of the whole Soviet Union.

I lived in the dormitory of Moscow University and I was very impressed: according to my level of understanding, it was a great palace. It was an enormously big building and very nice. They had theaters inside. I was going to theaters. They had very good canteens, restaurants for students. Everything was excellent. A lot of young people. For me, this was very impressive.

I was living in the room with a mathematician student. This student told me that there was another school (Moscow Institute of Physics and Technology). It was not so attractive a place, but students there were even better. In that school, entrance exams were held 1 month earlier. Therefore, I decided to go to that school to take my exams. We had competition of 11.5 people per place. I don't know how, but I passed. I was accepted. Life was not very simple. After I entered Moscow Institute of Physics and Technology, five people including me lived in one room and everything was different. And there was a very pressing system that you should learn, learn, and learn there, and very tough exams. But it was okay. I'm very grateful to that school, because professors were really brilliant. People who were teaching us were very good.

Yoshida: I guess it was also similar for your friends, perhaps, one maybe from Vladivostok, the other from St.

Petersburg and so on. They're not only from Moscow, but from all over...

Sunyaev: Soviet Union.

Yoshida: That is impressive.

Best Students Come and Learn in the Best Universities

Sunyaev: You know when Soviet Union was destroyed and we got a lot of independent states, then there were attempts to make best schools of Russia closed for people coming from different republics which were former part of Soviet Union. At that time, I had conversation with my friends in Russian Academy, and we agreed to write a letter to the top people in the country and to the Ministry of Education. It said that if they will consider the members of the Russian Academy of Sciences, they will discover that these people are not only people from Moscow. They are coming from the whole country, because talents are distributed uniformly. These talents came to Moscow and learned in Moscow in some way, and they came to belong to the academy, and they became best professors of Moscow University and so on. If we do not permit people from half of the country, now outside of Russia, to study in Moscow, then we just lose them. It's better for Russia if these people will be accepted and will get this ability to learn. I don't know how it worked, but many schools

now are permitted to accept best students from whole territory of former Soviet Union without payment.

Yoshida: Without payment?

Sunyaev: They're not paying tuition, because people in the majority of these republics are poor because they do not have oil deposits. For example, Tashkent was a very rich city in the times of Soviet Union, but now it's poor in comparison with Moscow.

Yoshida: I see.

Sunyaev: Everything is simple. Best students can come and learn in the best universities, but obviously, they should compete for their entrance. If they get excellent results, then it's not necessary for them to pay tuition. This is very important. But, there are quotas. I don't know exactly, but every year rules are changing. For example, if you wish to enter schools of economy and the like, you should pay, but if you wish to enter schools of science such as physics, it's possible not to pay as far as you are excellent.

Yoshida: I see. Actually, is physics or basic science still a top choice or popular among young students in Russia?

Sunyaev: No. Unfortunately, it has completely changed.

Yoshida: Really?

Sunyaev: Many young people wish to be in the positions where it's easier to get higher salaries and so on. But it's the same as the trend in the whole world. But in my time, physics or basic science was enormously popular and most

young people were trying to enter schools of this sort. I think maybe the same was true in Japan.

Yoshida: Similarly, yes. We still have popularity or interest of high school students in physics or basic science, but obviously, the overall interest is now decreasing. Well, there are lots of other interesting stuffs.

Sunyaev: But a lot of people understand, for example, that biology or life sciences have great future, and young people are going there.

Yoshida: Yes.

Sunyaev: There was a conference in Tallinn devoted to 100th birthday of Zeldovich, and I was attending it. There were several well-known people there. They were asked what they thought about the education system, and somebody asked "Would you recommend your children to go to astronomy?" Everybody told what profession their children had. Nobody of children of these well-known astronomers was doing astronomy. One or two were doing physics, but the majority of them were doing life sciences and economics.

Yoshida: Okay. I usually tell my students that astronomy will be probably very good at least for the next 20 years.

Sunyaev: I have no doubt that for the next 25 years astronomy will be blooming, because we expect not only great ideas, but also great instruments which leading countries are building.

Yoshida: Exactly.

Sunyaev: These instruments will give enormous amount of information, and it will be necessary to have strong people to process the data and to interpret them to do great science.

Yoshida: Yes, exactly. I really think astronomy would produce a lot of young talent.

Sunyaev: Yes, but I think life sciences certainly will be doing very well also.

Yoshida: There are many things to work in life sciences, but I still like astronomy.

Sunyaev: Astronomy is very good. I agree with you, but astronomy is still much smaller than physics, and physics now is much smaller than life sciences. Do you agree?

Computers in Basic Science

Yoshida: Okay, that is true. That's very interesting. Now, the third topic I want to talk with you is about computers, especially using computers in basic science. Here, I still have a sort of mixed feelings. I appreciate the powerfulness or usefulness of the computers, whereas still I'm not very sure whether or not computers can play an important role to reach a true or fundamental understanding. As you know I use computer simulation as my primary research tool, and I'm always asking if this kind of activity or research can really reach a very fundamental thing.

Sunyaev: I myself think that

really computers are a great addition, because I wrote majority of my papers using slide rules. Then, I saw how computers were becoming more and more useful part of our life.

Yoshida: It is.

Sunyaev: Numerical astrophysics and cosmology uses the biggest supercomputers, and is one of the fastest developing branches of our science. However, I wish to start with the statement that life today without computers is really impossible. The first thing is that they made our life much simpler. When I was young in Russia, for example, we had, I do not know the exact number, but something like a million of secretaries who were typing whole day.

Yoshida: I see.

Sunyaev: Now, it's a very rare case for a secretary to type. Everybody is typing on computers himself or herself — very fast and easy work. This is just an example of the changes that an enormous number of people were replaced by computers. Second, it was rather difficult at that time to make the computations, and we had to spend a lot of time to solve even simple problems using approximate methods or using tables and special functions. Computers did this really very easily. Programs like Mathematica or many others just made use of simple mathematics much easier. It's not necessary to sit

whole day to compute with a slide rule. But I understand that this is one side which is very useful and very important, and computers will become more and more useful. At some stage, it will be possible to dictate a paper. Computers can publish and edit it, and so on. Computers can do a lot, and this will help enormously. But, then, there is a question. Can computers learn absolutely fundamental things? There are two possibilities. The first possibility is to make very deep mathematics. I think for that we still need people. I don't know for how long.

Yoshida: I just remembered, many of these great Russian or Soviet scientists, like you, Aleksandr Kompaneets, and Leonid Sedov.

Sunyaev: Academician Sedov and Prof. Kompaneets found great analytical solutions and derived now well-known equations. These solutions and equations are always useful and often necessary.

Yoshida: I think you know that was actually...

Sunyaev: In this field, I don't think that computers will replace people in this direction very soon. People are still very good in such things and also a lot depends on the intuition. It is one case where I think our brains possibly will compete rather long with the most powerful computers, but there is a chance.

Yoshida: Maybe, yes.

Sunyaev: Then, there are simulations in the

complicated problems where we understand a lot, but we cannot estimate numerically all consequences. And here obviously, computers are just unavoidable, and they will give us a lot. Progress without simulations, without these huge, computational resources will be really much slower. Therefore, I think that it is great that they are there. But, again, analytical solutions are extremely useful, because if you have the exact solution for something, you can always check if everything is correct. This is also a very important and useful thing. But, I think that it's already impossible to return to science without great computational facilities.

Yoshida: I always ask this question to myself and to students so that we keep a sort of balance between...

Sunyaev: Yes, we should keep balance, but I think that computers have changed our life. Just for normal life, already calculators were useful. But with what we have now, we can solve a lot of simple problems. What is simple? Now you can solve any differential equation which was enormously difficult 200 years ago. It's not great science today. It's just useful.

Yoshida: It is.

Sunyaev: I think it's important not to forget this part of classical mathematics, which is useful.

Yoshida: Quite an interesting viewpoint. I actually asked everything that I wanted to

ask, I think. Do you have any questions or suggestions?

Sunyaev: No, I'm just grateful, because I'm first time at this institute, and it is a great pleasure to see a really international institute here in Japan, where I had conversation with several young people from Germany, from Australia, from America, and from Russia. Everybody looks happy and everybody is saying that your top people have created here the atmosphere where people are happy to work, where it is interesting for them, and it's great. And you have these visitor programs. It seems that they are very good, because you are inviting really the best young people. It's a mistake to invite only old people. It's important to invite people who are actively working now, and it seems that this is the case here.

Yoshida: Thank you very much. I appreciate your compliments.

Sunyaev: No, it's not compliment. It seems that it's true and I think that this institute should have a great future. In Russia, we are till now unable to create similar atmosphere; I'm very unhappy for that. There have been attempts, but in fundamental science, there are practically no places, internationally, similarly open for discussions, except, possibly, the Euler International Mathematical Institute in Saint Petersburg.

Yoshida: I hope you keep your attention to our institute, and

also give us many suggestions in the future. We will really appreciate it.

Sunyaev: Thank you and it's a pleasure.

Yoshida: Thank you very much.

Our Team

Yasunori Nomura

Research Field: **Theoretical Physics**

Kavli IPMU Professor

I am a theoretical physicist, working mainly on particle physics and cosmology. In the past two decades, our understanding of the universe has improved dramatically, which includes the Nobel-awarded discovery of the accelerated expansion. Also, recent progresses in quantum gravity are revealing remarkable natures of spacetime and gravity, beyond what we can learn from quantum field theory in curved spacetime. These new developments together suggest a surprising picture of the “quantum multiverse”: our universe may be one of the many universes in which low energy physical laws take different forms, and that quantum mechanics plays a crucial role in describing these many universes even at the largest distance scales. I am pursuing what this new picture implies for fundamental aspects of



quantum gravity as well as for future cosmological observations. I also study related questions in quantum gravity, such as the information problem in black hole physics.

Edwin L. Turner

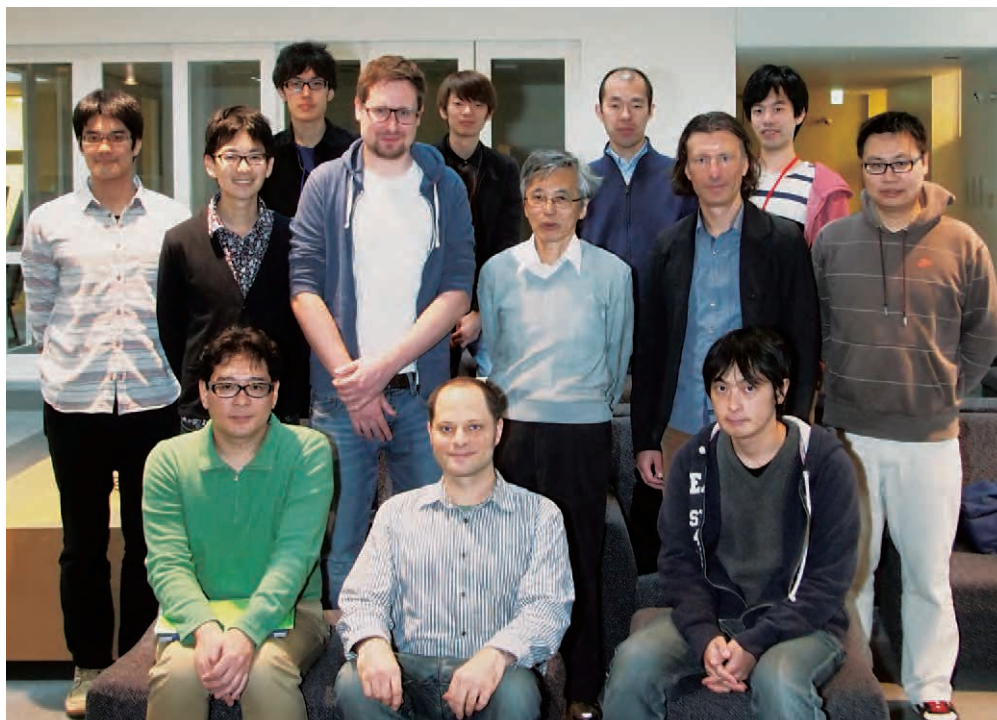
Research Field: **Astronomy (Astrophysics)**

Kavli IPMU Professor



My recent research interests are focused on exoplanet studies, astrobiology, astro-statistics and the origin of life problem in a cosmological context. Much of my past research has been in the area of classical cosmology with substantial concentrations on gravitational lensing phenomena, quasars, cosmic structure formation and determination of the fundamental parameters of the standard FLRW world model. In most cases my efforts involve both theoretical and observational techniques and are frequently located at the intersection of the two; they also often employ Bayesian and/or non-parametric statistical tools. I am still involved in cosmological research at a modest level, particularly via the SuMIRe project. Finally, a small component of

my time is devoted to issues in epistemology and the limits of reductionist science.



Particle Phenomenology

Our Team

String Theory in Greater Tokyo

Charles Melby-Thompson

Kavli IPMU Postdoctoral Fellow

René Meyer

Kavli IPMU Postdoctoral Fellow

Kavli IPMU greeted 2015 by hosting the inaugural workshop in a new series, String Theory in Greater Tokyo. The workshop series is aimed at bringing together researchers in string theory and related fields from throughout Tokyo and the surrounding prefectures.

Each workshop is a one-day event held at a different institution in the Tokyo area. The workshops offer several talks by well-known researchers in various fields, but also place a strong emphasis on interaction and collaboration between participants. The next workshop will be organized by the high energy physics group at RIKEN, on June 9, 2015.

The inaugural workshop took place on January 19, and was organized by the Kavli IPMU members Simeon Hellerman, Charles Melby-Thompson, René Meyer, and Masahito Yamazaki. There were roughly 50 scientists in attendance.

We were pleased to welcome as the series' first lecturers Prof. Xi Yin (Harvard University), Dr. Dionysios Anninos (Institute for Advanced Study), and Prof. Daniel Grumiller (Vienna University of Technology).

Recent developments in little string theory found a clear expositor in the first talk by Prof. Xi Yin. He discussed

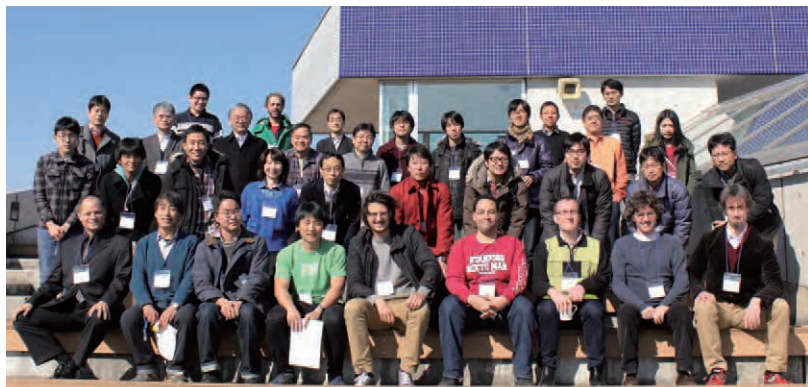
his recent work on scattering amplitudes in double scaled little string theory and the UV completion of 6D super Yang-Mills theory. By expressing correlators in little string theory in terms of correlation functions of exactly solvable CFTs, he could compute numerical coefficients in the α' expansion. The results shed light on the structure of the perturbation theory expansion of 6d super Yang-Mills.

The second talk by Dr. Dionysios Anninos dealt with the long-standing problem of defining a consistent quantum theory on de Sitter space-time. His approach was to constrain the theory using holography. In Vasiliev's theory of higher spin gravity he calculated the de Sitter entropy, and argued that his result implies an upper bound on the number of degrees of freedom produced during inflation, hence predicting additional correlations in the Cosmic Microwave Background. He finished with several

thoughts about promising lines of attack on this long-standing problem.

Prof. Daniel Grumiller's lecture was on three-dimensional gauge-gravity duality beyond AdS/CFT. He discussed several ideas extending AdS/CFT in three dimensional toy models of gravity, including higher derivative gravity, higher spin gravity, and holography in flat space. One very interesting program regards extending the AdS/CFT correspondence to non-unitary systems. His clear exposition was of great help to those interested in pushing the envelope of the gauge-gravity correspondence.

In addition to the talks, participants also appreciated ample time for interaction with other researchers. Many introductions were made and new contacts formed, making the workshop a promising start to what we hope becomes a long tradition at Kavli IPMU and throughout Greater Tokyo.



The 6th Open Meeting of the Hyper-Kamiokande Project

Mark Hartz

Kavli IPMU Assistant Professor

The discovery of muon neutrino to electron neutrino oscillations by T2K in 2013 has focused the attention of the experimental neutrino community on next generation neutrino experiments that will make precision searches for CP violation in the lepton sector. Hyper-Kamiokande (Hyper-K) is a proposed 1 megaton water Cherenkov detector in Japan that will have the world's best sensitivity to detect CP violation by neutrinos. Hyper-K will also make the world's best searches for nucleon decay and world leading measurements with accelerator, atmospheric, supernova, and solar neutrinos. The 6th Open Meeting of the Hyper-Kamiokande Project was held at the Kavli IPMU on January 28-31. The meeting was attended by 123 scientists from 12 countries who are collaborating to realize the successful design, construction, and operation of Hyper-K.

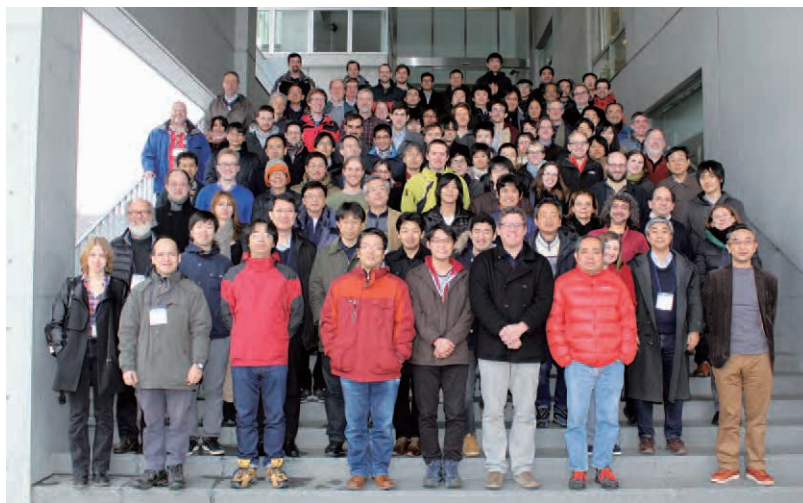
The meeting included sessions covering the design of the Hyper-K cavity and tank, water system, photo-detectors, electronics, calibration system, and near detectors. Sessions

also covered the J-PARC accelerator status, analysis software development, and Hyper-K physics potential studies. Among the highlights was the photo-detector session, where test results from new photo-detector technologies including high quantum efficiency photocathodes, hybrid photo-detectors, and new dynode designs were presented. The goal of these studies is to identify technological solutions that can be used to maximize the physics potential of Hyper-K in a cost effective manner. The meeting included a tour of the photo-detector testing facility located in the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR) building on the Kashiwa campus.

In addition to Hyper-K design reports, the J-PARC beam facilities that will provide the accelerator neutrinos to Hyper-K and designs for near detectors that will characterize the accelerator neutrino beam at its source were presented. The beam reports focused on the potential for delivery of a megawatt power beam to Hyper-K. The near detector reports

presented novel detector designs that will make measurements to address one of the dominant sources of uncertainty for Hyper-K, the modeling of neutrino interactions with nuclei. These sessions emphasized the synergy between the neutrino beam facilities of J-PARC and the Hyper-K detector to achieve world leading measurements.

Perhaps the most exciting development from the meeting was the launch of the Hyper-K proto-collaboration. The new proto-collaboration structure will enable the Hyper-K project to successfully move from the conceptual design stage to a funded, built, and operating experiment. The proto-collaboration formation culminated with the signing of a memorandum of understanding (MOU) between the KEK Institute of Particle and Nuclear Studies (IPNS) and the University of Tokyo Institute for Cosmic Ray Research (ICRR) by IPNS director Masanori Yamauchi and ICRR director Takaaki Kajita. The signing ceremony included talks highlighting the achievements of the Japanese experimental neutrino program and emphasizing the importance of international collaboration to realize the Hyper-K experiment.



Workshop on “Getting a Grip on Galactic Girths”

Kevin Bundy

Kavli IPMU Assistant Professor

One of the most puzzling conclusions from the last decade of galaxy observations is that massive, elliptical galaxies apparently grow in size by a factor of nearly five after they form, roughly 12 billion years ago. This growth is mysterious because ellipticals otherwise seem to change very little after they are established at early times. Numerous explanations have been put forward but none is completely satisfactory, motivating further observations to quantify the exact rates of growth, which apparently depend on the cosmic epoch as well as the galaxy’s mass, type, and local environment, not to mention detailed assumptions about the size measurement itself.

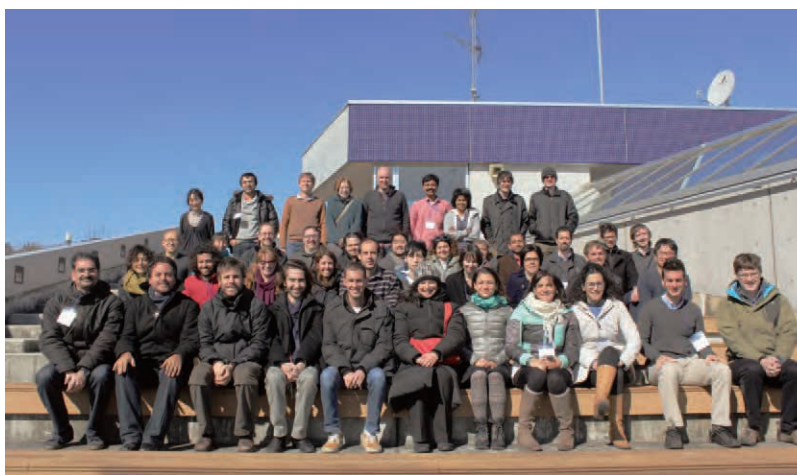
This active area of research was the subject of a lively Kavli IPMU Focus Week (February 2-6, 2015) titled “Getting a Grip on Galactic Girths.” Organized by Kavli IPMU astro postdocs Benedetta Vulcani, Claire Lackner, and Song Huang, with support from faculty members Alexie Leauthaud and Kevin Bundy, the meeting drew a highly diverse and international audience for a week of focused talks and intense discussion. Particular attention was given to ensuring ample time for debate and to highlighting work by young researchers in the field as exemplified

by the outstanding response to the final meeting summary given by postdoc Song Huang, a privilege typically reserved for the most senior attendees at academic meetings.

The meeting generated a very positive immediate response. Participants were appreciative of the opportunity to get a global view of the latest work in the field, as told by some of the most active researchers. In addition, several aspects of the subject that were initially hazy, emerged from the week with greater clarity. There was some consensus, for example, that galaxies living in dense environments (e.g., galaxy clusters) at early times have experienced accelerated size growth, a head-start that apparently disappears by the present day. There was also progress

towards interpreting apparently discrepant observations about the frequency of galaxies with a certain size and mass over cosmic time.

One of the meeting highlights was the full Kavli IPMU APEC seminar given by Nacho Trujillo, one of the founders of the subject. Dr. Trujillo relayed his successful hunt for “relic” galaxies that have remained compact and unevolved since their initial formation. He argued that such a relic galaxy was present in our own backyard, cosmologically speaking, affording a valuable opportunity to study how these objects form. His observations represent just one of the many programs astronomers presented at the Focus Week that seek to resolve the physical nature of galaxy growth in the coming years.



Key Aspects in Exploring Road to Unification (KAERU Conference)

Shinya Kanemura

Associate Professor of Graduate School of Science and Engineering for Research,
Toiyama University

The International Conference “Key Aspects in Exploring Road to Unification (KAERU Conference)” was held at the Kavli IPMU from 25 March 2015 for two days. It was a pure scientific conference for high energy physics on the occasion of the retirement from KEK at the end of March 2015 of Kaoru Hagiwara, who has achieved great contributions to particle physics for a long time from the era of the experimental establishment of the standard model up to the present day, the era of exploring the new physics beyond the standard model. The conference was planned by a group of Kaoru’s former students and collaborators such as Hitoshi Murayama, Yukinari Sumino, and Gi-Chol Cho, and was realized with the cooperation of the Kavli IPMU. Reflecting the wide research areas in high energy physics to which Kaoru has contributed and also his wide circle of friends all around the world, more than 110 researchers including about 40 from abroad participated in KAERU Conference, so that the conference was a fruitful one, covering a wide range of the fields in high energy physics.

On the first day, following the opening address by Murayama (Chair of the conference) and Sumino (Co-Chair) and greetings by Hagiwara,

Roberto Peccei gave a talk on the physics of axion and its relation to cosmology. Zoltan Fodor then spoke about the recent development of lattice calculations for hadron masses. Light higgsino scenarios solving the naturalness problem have been discussed by Xerxes Tata and Howard Baer. Keisuke Fujii presented the physics at the International Linear Collider. In the afternoon, after Thomas Teubner and Naohito Saito gave talks on theoretical and experimental developments on muon $g-2$, recent results by Hagiwara on T-odd Asymmetry etc. were given by his collaborators Toshifumi Yamada, Hiroshi Yokoya and Kentarou Mawatari etc. Kingman Chiang then gave a talk about the model independent analyses of the Higgs boson pair production.

On the second day, Dieter Zeppenfeld discussed the QCD correction to vector boson fusion processes at hadron colliders, Manuel Drees spoke on the topic of naturalness, and Tilman Plehn stressed the importance of study of jets at LHC. Then Junichi Kanzaki, Rohini Godbole and Fabio Maltoni gave talks on LHC phenomenology. In the



afternoon, Tao Han discussed the potential of a 100 TeV hadron collider, and Nobuchika Okada discussed the prospects of SUSY phenomenology. There were then several talks on neutrino physics such as T2KK, CP violation in the lepton sector, and testability of Majorana neutrinos. Finally, after Murayama discussed a new model for SUSY breaking and dark matter, Cho closed the conference.

Therefore, at the conference, a variety of interesting topics in particle phenomenology were discussed, in particular, in collider physics, QCD physics, models beyond the standard model, Higgs physics, flavor physics and particle cosmology. The conference was greatly successful, providing a nice opportunity to overview the history, current status and future prospects of particle physics.

MadGraph5_aMC@NLO Femto Workshop

Kentarou Mawatari

Junior Research Professor at Vrije Universiteit Brussel

The workshop was held on March 27, 2015 at the lecture hall of the Kavli IPMU, as a satellite workshop after the KAERU (Key Aspects in Exploring Road to Unification) Conference on March 25-26. [Organizers: Kaoru Hagiwara (KEK), Fabio Maltoni (UCLouvain), Shigeki Matsumoto (Kavli IPMU), Kentarou Mawatari (Vrije U Brussel), and Tim Stelzer (Illinois)].

These days, Monte Carlo event generators are indispensable for reliable theory predictions as well as experimental data analyses at the CERN LHC (Large Hadron Collider), which will resume soon at the upgraded 13 TeV center-of-mass energy, as well as at the ILC (International Linear Collider), which is planned to be built in Japan.

“MadGraph5_aMC@NLO (MG5_aMC in short)” is one of the event generators for high-energy physics, and has been used by many theorists as well as experimentalists. Although MG5_aMC has been maintained and developed for decades mainly by people in Europe and the US, the core code to compute Feynman diagrams (the so-called HELAS: HELicity Amplitude Subroutines) was created by Kaoru Hagiwara (one of the organizers of this workshop), Hitoshi Murayama (Director of the Kavli IPMU), and Isamu Watanabe

in 1991. Tim Stelzer (Illinois) and Olivier Mattelaer (Durham) told us this interesting history in the opening address and in the review talk on MG5_aMC, respectively.

In the first half of the workshop, developers introduced their state-of-the-art simulation tools [Benjamin Fuks (Strasbourg): FeynRules2, MadAnalysis5; Olivier Mattelaer (Durham): MadGraph5_aMC@NLO; Barbara Jaeger (Tuebingen): VBFNLO], while Davide Pagani and Eleni Vryonidou (UCLouvain) reported recent progress on the automation of electroweak corrections and loop induced processes, respectively.

In the latter part, we discussed more physics applications based on tools. Chung Kao (Oklahoma) and Tilman Plehn (Heidelberg) talked about the importance of the Higgs-top couplings, while Mihoko Nojiri (KEK/Kavli IPMU) explained her recent paper on jet physics. After the tea break held at Piazza Fujiwara, the

workshop resumed with Junichi Kanzaki (KEK), and this author reporting on the GPU project and the Higgs characterisation project, respectively. We also had three talks by young Japanese physicists, Sayaka Kawabata (Tohoku), Junya Nakamura (KEK) and Kohsaku Tobioka (KEK/Tel Aviv/Weizmann), leading to intense and exciting discussions with more than 50 participants from many countries.

The workshop was successfully closed by Fabio Maltoni (UCLouvain), who promised a similar workshop again in the near future. We hope that the workshop provided a valuable opportunity to learn about recent simulation tools and physics at the LHC as well as at the ILC, especially for young people.

We would like to thank Kavli IPMU Director Hitoshi Murayama for his support and the administrative staff members for their kind help.



News

WPI Support to Kavli IPMU Will Be Extended from FY 2017 for Five Years

On February 13, 2015, the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) announced the 2014 follow-up results of the WPI Program Committee. The Committee concluded that all five WPI centers selected in 2007 had achieved “World Premier Status,” fully meeting the goal of the WPI program; namely, advancing leading edge research, establishing international research environments, reforming research organizations, and creating interdisciplinary domains. Further, concerning a five-year extension of WPI support, the Committee decided that only truly exceptional cases could be considered for an extension. The Committee nominated the Kavli IPMU for a five-year extension starting from FY 2017 because its demonstrated achievements are far beyond the already very high WPI standard.

TODIAS Renamed to UTIAS

Effective as of April 1, 2015, the Todai Institutes for Advanced Study (TODIAS) has been renamed the University of Tokyo Institutes for Advanced Study (UTIAS). The TODIAS logo has also been changed to the UTIAS logo. The Japanese name

remains the same, however, as this renaming only reflects the change of English abbreviation of the University of Tokyo from “Todai” to “UTokyo.”

Eiichiro Komatsu Awarded the 2014 Chushiro Hayashi Prize

Eiichiro Komatsu, a Director of the Max Planck Institute for Astrophysics and a Visiting Senior Scientist of the Kavli IPMU, received the 2014 Chushiro Hayashi Prize for “Precision Cosmology Based on the Cosmic Microwave Background (CMB).” From 2001 to 2010, he worked as a key member of the WMAP team, leading data analysis and theoretical interpretation. He is the first author in some frequently-cited WMAP papers. For these reasons, his contribution to the development of astrophysics has been recognized.



Eiichiro Komatsu

The 6th Yoji Totsuka Prize to Tsuyoshi Nakaya and Masato Shiozawa

Tsuyoshi Nakaya, Professor of Kyoto University and Visiting Senior Scientist of the Kavli IPMU, and Masato Shiozawa, Professor of the Institute for Cosmic Ray Research, the University of Tokyo and Senior Scientist of the Kavli IPMU shared the 6th Yoji Totsuka Prize with Takashi Kobayashi, Professor of the Institute of Particle and Nuclear Studies, High Energy Accelerator Research Organization (KEK) for “the observation of electron neutrino



Tsuyoshi Nakaya



Masato Shiozawa

appearance in a muon neutrino beam” in the T2K long-baseline neutrino oscillation experiment.

Toshiyuki Kobayashi Awarded the 2015 JMSJ Outstanding Paper Prize

Toshiyuki Kobayashi, Professor of the Graduate School of Mathematical Sciences, the University of Tokyo, and Principal Investigator of the Kavli IPMU received the 2015 JMSJ Outstanding Paper Prize. This prize is awarded to the authors of up to three outstanding articles published in the *Journal of the Mathematical Society of Japan (JMSJ)* in the previous year. Professor Kobayashi and his coauthors, J. Hilgert and J. Möllers, received this honor for their paper, “Minimal representations via Bessel operators,” which was published in *JMSJ* 66 (2014) 349-414.



Toshiyuki Kobayashi

WPI Institutes Jointly Participated in AAAS 2015 in San Jose, California

All nine WPI institutes jointly participated again this year in the 2015 AAAS (American Association for the Advancement of Science) Annual Meeting held for five days, February 12-16, 2015, in San Jose, California, with a theme of “Innovations, Information, and Imaging.” Similar to last year’s participation in Chicago, the WPI institutes for three days jointly ran the WPI booth, where each institute displayed a panel poster and brochures. At the WPI booth, MEXT (the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) and JSPS (Japan Society for the Promotion of Science) officers in charge of the WPI program as well as officers from

eight WPI institutes including the Kavli IPMU welcomed visitors and explained to them the WPI program and the research activities and outcomes of the WPI institutes. In three days, nearly 400 people visited the WPI booth.

To date, the Kavli IPMU has joined AAAS Annual Meetings for four consecutive years from 2012, sending a few officers each time. The next AAAS Annual Meeting will be held in February 2016 in Washington, D.C.

Spring Science Camp for High School Students Held at the Kavli IPMU

For three days, March 25-27, 2015, "Spring Science Camp 2015: A Challenge to Unravel the Mystery of the Universe through Astronomy, Physics, and Mathematics" was held at the Kavli IPMU.

The Spring Science Camp 2015 is one of the projects supported by JST (Japan Science and Technology Agency) for next-generation S&T human resource development, providing hands-on experience for high school students. The three-day camp during spring break was held at 12 different host universities and private companies where cutting-edge research is conducted in a variety of fields. Each host provided a different program and accommodated 8 to 20 students (168 students in total). Students were directly guided by scientists and engineers working at the frontiers of S&T.

The participants in the Kavli IPMU program were 10 male and 10 female students selected from a highly competitive field of applicants from all over Japan. They learned cutting-edge research on unraveling the mystery of the Universe through lectures as well as exercises and an experiment by Kavli IPMU researchers in physics,

mathematics, and astronomy. In the evening after classroom learning, the students were given plenty of time to ask questions and to interact with lecturers and teaching assistants (undergraduate and graduate students). There were continued conversations with lecturers and teaching assistants on what students wanted to ask more regarding the lectures and exercises. Students also asked them about such topics as the life of university students and the life of researchers. In the afternoons, students joined the Kavli IPMU's everyday tea time and enjoyed chats with both Japanese and foreign researchers. On the last day, students presented what they had learned in the camp, and were given a certificate of completion.



Kavli IPMU Professor Masahiro Takada giving a lecture



A scene of astronomy exercises

Public Lecture on Recent Supernovae Research

On Sunday, March 29, 2015, the Kavli IPMU held a public lecture on recent supernovae research at the Yayoi Auditorium, Ichijo Hall on the University of Tokyo's Hongo campus. There were about 200 people in the audience. Supernovae research

is important in understanding the evolution of galaxies and the history of the expansion of the Universe, and it is one of the main research topics at the Kavli IPMU. At the public lecture, Kavli IPMU Principal Investigator, Professor Ken'ichi Nomoto, explained "What are supernovae?," Kavli IPMU Professor Mark Vagins discussed how to observe "Neutrinos from Supernova Explosions" in English with simultaneous interpretation into Japanese, and Kavli IPMU Assistant Professor Nao Suzuki spoke on the "Dark Energy Discovery Story." After the lecture, there was a tea break with the three lecturers, who answered a great number of questions asked by the audience.



Kavli IPMU Principal Investigator Ken'ichi Nomoto giving a lecture



Kavli IPMU Professor Mark Vagins giving a lecture



Kavli IPMU Assistant Professor Nao Suzuki answering questions

Kavli IPMU Seminars

1. "Singularities of Special Lagrangian Submanifolds"
Speaker: Yohsuke Imagi (Kavli IPMU)
Date: Sep 11, 2014
2. "Residue Formulas for Prepotentials, Instanton Expansions and Conformal Blocks"
Speaker: Andrei Marshakov (HSE)
Date: Sep 15, 2014
3. "Relativistic Integrable Systems, Quiver Representations, and Line Operators"
Speaker: Harold Williams (U Texas at Austin)
Date: Sep 16, 2014
4. "Progenitors of Core-Collapse Supernovae"
Speaker: Melina Bersten (Kavli IPMU)
Date: Sep 18, 2014
5. "Dissipative dynamics of cosmic inflation and some basic problems"
Speaker: Masahiro Morikawa (Ochanomizu U)
Date: Sep 24, 2014
6. "The environments and progenitors of supernovae: highlight on an integral field spectroscopy survey of supernova sites"
Speaker: Hanindyo Kuncarayakti (U Chile)
Date: Sep 25, 2014
7. "Positive representations and quantum higher Teichmuller theory"
Speaker: Ivan IP (Kavli IPMU)
Date: Sep 25, 2014
8. "EFT Beyond the Horizon: Stochastic Inflation and How Primordial Quantum Fluctuations Go Classical"
Speaker: Richard Holman (Carnegie Mellon U)
Date: Sep 26, 2014
9. "String Field Theory Solution for Any Open String Background"
Speaker: Theodore Erler (LMU Munich)
Date: Sep 30, 2014
10. "Project of Neutrino Mass Spectroscopy: Its theory and experimental progress"
Speaker: Motohiko Yoshimura / Noboru Sasao (Okayama U)
Date: Oct 01, 2014
11. "To what extent do we understand pulsars?"
Speaker: Koichi Hirofuchi (ASIAA)
Date: Oct 01, 2014
12. "Deformations of Superconformal Field Theories"
Speaker: Clay Cordova (Harvard U)
Date: Oct 02, 2014
13. "Holography of 3d-3d correspondence at large N"
Speaker: Gang Dongmin (Kavli IPMU)
Date: Oct 07, 2014
14. "Hilbert Series and Mass-deformed Brane Tilings"
Speaker: Rak-Kyeong Seong (KIAS)
Date: Oct 14, 2014
15. "Central extensions of the Ptolemy-Thompson group T from quantization of universal Teichmuller space"
Speaker: Hyun Kyu Kim (KIAS)
Date: Oct 15, 2014
16. "Entanglement Entropy and Lattices"
Speaker: Djordje Radicevic (Stanford U)
Date: Oct 16, 2014
17. "The Millennium Institute of Astrophysics MAS: Astronomy in the era of big data"
Speaker: Mario Hamuy (U Chile)
Date: Oct 16, 2014
18. "High cadence Transient Survey (HITS): real-time detection of supernovae and other transients with DECam"
Speaker: Francisco Forster (U Chile)
Date: Oct 16, 2014
19. "Higher Genus Gromov-Witten invariants and BCOV equations"
Speaker: Mauricio Romo (Kavli IPMU)
Date: Oct 16, 2014
20. "Latest results from AMS"
Speaker: Sadakazu Haino (Academia Sinica)
Date: Oct 17, 2014
21. "Photometric calibration of Wide field Imagers—Lessons from SNLS"
Speaker: Nicolas Regnault (LPNHE, IN2P3 CNRS)
Date: Oct 20, 2014
22. "Precision Cosmology with Type Ia Supernovae"
Speaker: Reynald Pain (LPNHE, Université Pierre et Marie Curie)
Date: Oct 20, 2014
23. "Spinning supermassive black holes"
Speaker: Benny Traktenbrot (ETH-Zurich)
Date: Oct 21, 2014
24. "Chern-Simons-matter theories and non-supersymmetric dualities in three dimensions"
Speaker: Djordje Radicevic (Stanford U)
Date: Oct 21, 2014
25. "An introduction to (p-adic) Langlands functoriality"
Speaker: Judith Ludwig (Imperial College London)
Date: Oct 21, 2014
26. "Phenomenology of the MOND alternative to dark matter"
Speaker: Mordehai Milgrom (Weizmann Institute in Rehovot)
Date: Oct 22, 2014
27. "The SNLS+SDSS hubble diagram"
Speaker: Marc Betoule (LPNHE)
Date: Oct 22, 2014
28. "The MESSIER satellite: unveiling galaxy formation"
Speaker: David Valls-Gabaud (Observatoire de Paris)
Date: Oct 23, 2014
29. "Large-Field and Open EFTs, Decoherence and Inflation"
Speaker: Cliff Burgess (McMaster U)
Date: Oct 23, 2014
30. "Quantum Entanglement of Local Operators"
Speaker: Masahiro Nozaki (YITP Kyoto)

- Date: Oct 24, 2014
31. "Dark Nuclear Physics"
Speaker: Matthew McCullough (CERN)
Date: Oct 27, 2014
32. "Dark Matter and Continuous Flavor Symmetries"
Speaker: Jure Zupan (CERN)
Date: Oct 27, 2014
33. "Bridgeland stability conditions on abelian threefolds"
Speaker: Dulip Piyaratne (Kavli IPMU)
Date: Oct 27, 2014
34. "Measuring Dark Energy to 1% Accuracy Using Cosmological Simulations"
Speaker: Alina Kiessling (JPL)
Date: Oct 28, 2014
35. "Electric Field Quench in AdS/CFT"
Speaker: Keiju Murata (Keio U)
Date: Oct 28, 2014
36. "International Linear Collider: Overview of Physics and Detectors"
Speaker: Tomohiko Tanabe (ICEPP) / Taikan Suehara (Kyushu U)
Date: Oct 29, 2014
37. "Recent Planck results and the future of CMB observations"
Speaker: Jacques Delabrouille (CNRS)
Date: Oct 29, 2014
38. "Indirect detection of dark matter with gamma rays: constraints and intriguing hints"
Speaker: Simona Murgia (UC Irvine)
Date: Oct 30, 2014
39. "Towards a Holographic Bose-Hubbard Model"
Speaker: Mitsutoshi Fujita (YITP Kyoto)
Date: Oct 30, 2014
40. "Search for Parity-odd signatures in the gamma ray sky"
Speaker: Hiroyuki Tashiro (Nagoya U)
Date: Oct 30, 2014
41. "Fourier-Sato transform, braid group actions, and factorizable sheaves"
Speaker: Vadim Schechtman (U Toulouse)
Date: Oct 30, 2014
42. "WFIRST and Euclid"
Speaker: Jason Rhodes (NASA JPL)
Date: Oct 31, 2014
43. "Self-Interacting Dark Matter from a Non-Abelian Hidden Sector"
Speaker: Tim Tait (UC Irvine)
Date: Oct 31, 2014
44. "Resurgence in quantum field theory: handling the Devil's invention"
Speaker: Aleksey Cherman (U Minnesota)
Date: Nov 04, 2014
45. "Measuring neutrino properties through relative flows"
Speaker: Ue-Li Pen (CITA)
Date: Nov 04, 2014
46. "Classification theorem for torsors over the sheaf of K-theory spaces"
Speaker: Sho Saito (Nagoya U)
Date: Nov 04, 2014
47. "Decoupling during Inflation and the presence of High Energy Physics in the CMB"
Speaker: Vicente Atal (Leiden U)
Date: Nov 05, 2014
48. "Core-collapsing supernovae — hybrid stars - quark matter connection"
Speaker: Andrei Yudin (ITEP, Moscow)
Date: Nov 05, 2014
49. "Cosmological magnetic fields from inflation and their non-Gaussian imprints"
Speaker: Rajeev Kumar Jain (U Southern Denmark)
Date: Nov 07, 2014
50. "Aspects of Galilean fields in curved spacetime"
Speaker: Kristan Jensen (YITP Stony Brook)
Date: Nov 11, 2014
51. "Higgs relaxation and leptogenesis"
Speaker: Alexander Kusenko (Kavli IPMU/UCLA)
Date: Nov 12, 2014
52. "Visible actions on generalized flag varieties"
Speaker: Yuichiro Tanaka (U Tokyo)
Date: Nov 13, 2014
53. "Multi-component dark matter from AMS-02"
Speaker: Da Huang (National Tsing Hua U)
Date: Nov 14, 2014
54. "Analytic torsion for Borcea-Voisin threefolds"
Speaker: Kenichi Yoshikawa (Kyoto U)
Date: Nov 17, 2014
55. "Gauge theories with rigid supersymmetry in $d=4, 5$ "
Speaker: Johannes Schmude (U Oviedo)
Date: Nov 18, 2014
56. "Constraints on axion in high scale inflation"
Speaker: Kwang Sik Jeon (IBS)
Date: Nov 19, 2014
57. "Knots And Quantum Theory"
Speaker: Edward Witten (IAS)
Date: Nov 20, 2014
58. "A New Look At The Gopakumar-Vafa Formula"
Speaker: Edward Witten (IAS)
Date: Nov 21, 2014
59. "Heavy element production in asymptotic giant branch stars"
Speaker: Amanda Karakas (ANU)
Date: Nov 25, 2014
60. "Conductivities in a holographic model of momentum relaxation"
Speaker: Keun-Young Kim (GIST)
Date: Nov 25, 2014
61. "The Tilting conjecture"
Speaker: Dennis Gaitsgory (Harvard U)
Date: Nov 26, 2014
62. "Higgs: Naturalness and some other issues"
Speaker: Anirban Kundu (U Calcutta)
Date: Nov 26, 2014
63. "The evolution of supernova progenitors"
Speaker: Sam Jones (U Victoria)
Date: Nov 27, 2014
64. "The Tilting conjecture"
Speaker: Dennis Gaitsgory (Harvard U)

- Date: Nov 27, 2014
65. "Impact of Nuclear Reactions on the Fate of Intermediate-mass Stars"
Speaker: Heiko Moller (Darmstadt)
Date: Nov 27, 2014
66. "Non-perturbative properties of large-scale structure formation and their implications to cosmology"
Speaker: Takahiro Nishimich (IAP)
Date: Nov 28, 2014
67. "Beauville's examples of irreducible symplectic manifolds and the cones conjecture of Kawamata and Morrison"
Speaker: Kota Yoshioka (Kobe U)
Date: Dec 01, 2014
68. "MApping the Most Massive Overdensity Through Hydrogen (MAMMOTH)"
Speaker: Zheng Cai (U Arizona)
Date: Dec 02, 2014
69. "Higher dimensional formal loop spaces"
Speaker: Benjamin Hennion (U Montpellier)
Date: Dec 03, 2014
70. "Structure formation with fast particles"
Speaker: Neal Dalal (U Illinois)
Date: Dec 04, 2014
71. "Derived varieties of complexes and Kostant's theorem for $gl(m, n)$ "
Speaker: Slava Pimenov (Yale U)
Date: Dec 04, 2014
72. "Geometry of 3-folds, and noncommutative deformations"
Speaker: Will Donovan (Kavli IPMU)
Date: Dec 08, 2014
73. "Spectral distortion of the Cosmic Background Radiation"
Speaker: Rashid Sunyaev (MPA)
Date: Dec 09, 2014
74. "CMB statistics"
Speaker: Wayne Hu (KICP)
Date: Dec 09, 2014
75. "Position-dependent power spectrum and the application to the BOSS DR10 CMASS sample"
Speaker: Chi-Ting Chiang (MPA)
Date: Dec 09, 2014
76. "Anomalous hydrodynamics kicks neutron stars"
Speaker: Matthias Kaminski (U Victoria)
Date: Dec 09, 2014
77. "Perturbation Theory"
Speaker: Wayne Hu (KICP)
Date: Dec 10, 2014
78. "Inflation"
Speaker: Wayne Hu (KICP)
Date: Dec 10, 2014
79. "The scientific goals of Spectrum-X/eRosita X-Ray observatory"
Speaker: Rashid Sunyaev (MPA)
Date: Dec 10, 2014
80. "CMB temperature and polarization phenomenology"
Speaker: Wayne Hu (KICP)
Date: Dec 11, 2014
81. "Hot gas in clusters of galaxies, CMB and cosmology"
Speaker: Rashid Sunyaev (MPA)
Date: Dec 11, 2014
82. "Nerve construction, A-infinity functors and homotopy theory of dg-categories"
Speaker: Giovanni Faonte (Yale U)
Date: Dec 11, 2014
83. "The role of gas flows in regulating star-forming galaxies"
Speaker: Nicolas Bouche (IRAP)
Date: Dec 12, 2014
84. "Q&A session with Prof. Rashid Sunyaev"
Speaker: Rashid Sunyaev (MPA)
Date: Dec 12, 2014
85. "D-modules and arithmetic: a theory of the b-function in positive characteristic"
Speaker: Thomas Bitoun (Higher School of Economics, Moscow)
Date: Dec 12, 2014
86. "Five-dimensional Gauge Theory Phases and Singularities"
Speaker: Shu-Heng Shao (Harvard U)
Date: Dec 16, 2014
87. "Probing the stop and Higgsinos at the LHC in Natural Supersymmetry"
Speaker: Chengcheng Han (APCTP)
Date: Dec 17, 2014
88. "Ground state degeneracy of non-Abelian topological order in open surfaces"
Speaker: Janet Ling-Yan Hung (Fudan U)
Date: Dec 18, 2014
89. "Is cosmological constant screened in Liouville gravity with matter?"
Speaker: Yu Nakayama (Caltech)
Date: Jan 06, 2015
90. "Flavor and Minimal SUSY GUT"
Speaker: Satoshi Shirai (DESY)
Date: Jan 07, 2015
91. "Anomalies, Chern-Simons Terms and Black Hole Entropy"
Speaker: Gim Seng Ng (Harvard U)
Date: Jan 07, 2015
92. "A holographic entanglement triptych"
Speaker: Mukund Rangamani (Durham U)
Date: Jan 08, 2015
93. "Redeeming 'Bad' theories holographically"
Speaker: Akikazu Hashimoto (U of Wisconsin)
Date: Jan 09, 2015
94. "From Ising spins to large N matrices"
Speaker: Dionysis Anninos (IAS)
Date: Jan 13, 2015
95. "Surface operators, Hitchin systems, and conformal field theory"
Speaker: Joerg Teschner (DESY)
Date: Jan 14, 2015
96. "The end of the dark ages"
Speaker: Aravind Natarajan (Kavli IPMU)
Date: Jan 15, 2015
97. "The homotopy theory of convenient dg-algebras"
Speaker: James Wallbridge (Kavli IPMU)
Date: Jan 15, 2015
98. "A theory of opers in positive

- characteristic and Joshi's conjecture"
 Speaker: Yasuhiro Wakabayashi (Kyoto U)
 Date: Jan 16, 2015
99. "The BV formalism for L_∞ -algebras"
 Speaker: Alexander Voronov (U Minnesota)
 Date: Jan 16, 2015
100. "Pure spinor superspace and nonabelian DBI action"
 Speaker: Xi Yin (Harvard U)
 Date: Jan 20, 2015
101. "Indirect Dark Matter Search with GAPS through cosmic-ray antiparticle measurements"
 Speaker: Hideyuki Fuke (JAXA)
 Date: Jan 21, 2015
102. "Coulomb branch and the moduli space of instantons"
 Speaker: Noppadol Mekareeya (CERN)
 Date: Jan 26, 2015
103. "Non-unitary holography"
 Speaker: Daniel Grumiller (TU Vienna)
 Date: Jan 27, 2015
104. "Large Field Inflation in String Theory"
 Speaker: Gary Shiu (UW Madison/HKUST)
 Date: Jan 28, 2015
105. "Stripping galaxies of their gas"
 Speaker: Bianca Poggianti (INAF)
 Date: Jan 30, 2015
106. "Towards a mathematical definition of Coulomb branches of 3d gauge theories"
 Speaker: Hiraku Nakajima (RIMS)
 Date: Feb 02, 2015
107. "Comments on BPS Solitons and Localization"
 Speaker: Heng-Yu Chen (NTU)
 Date: Feb 03, 2015
108. "Quantum Reduction of Couplings with Applications on Finite Unified Theories and the MSSM"
 Speaker: George Zoupanos (NTUA)
 Date: Feb 04, 2015
109. "On self-dual Yang-Mills theory"
 Speaker: Alexei Rosly (ITEP / HSE)
 Date: Feb 05, 2015
110. "Shintani descent and character sheaves on algebraic groups"
 Speaker: Tanmay Deshpande (IPMU)
 Date: Feb 05, 2015
111. "The hunt for relic galaxies"
 Speaker: Nacho Trujillo (IAC)
 Date: Feb 05, 2015
112. "SUSY Implications from WIMP Annihilation into Scalars at the Galactic Centre"
 Speaker: Anibal Medina (U Melbourne)
 Date: Feb 06, 2015
113. "Non-equilibrium Quantum Field Theory and cosmological applications"
 Speaker: Joao Rosa (Aveiro U)
 Date: Feb 06, 2015
114. "Neutrino Interactions at MINERvA"
 Speaker: Kevin McFarland (U Rochester)
 Date: Feb 09, 2015
115. "Prospects and status of Next-to-minimal SUSY"
 Speaker: Shoaib Munir (APCTP)
 Date: Feb 09, 2015
116. "Null category of morphism of relative dimension one"
 Speaker: Agnieszka Bodzenta (HSE)
 Date: Feb 09, 2015
117. "Non-equilibrium Quantum Field Theory and cosmological applications"
 Speaker: Joao Rosa (Aveiro U)
 Date: Feb 09, 2015
118. "Toward 3D integrability from quantum groups"
 Speaker: Atsuo Kuniba (U Tokyo)
 Date: Feb 10, 2015
119. "Non-equilibrium Quantum Field Theory and cosmological applications"
 Speaker: Joao Rosa (Aveiro U)
 Date: Feb 10, 2015
120. "Superconformal quantum mechanics from M2-branes"
 Speaker: Tadashi Okazaki (Osaka U / Caltech)
 Date: Feb 12, 2015
121. "Interaction with hydrogen-less envelopes as the least energetic model for a bulk of Type I Superluminous Supernovae"
 Speaker: Elena Sorokina (Lomonosov Moscow State U)
 Date: Feb 12, 2015
122. Dbar-superconnections on compact and non-compact complex manifolds"
 Speaker: Alexey Bondal (Kavli IPMU)
 Date: Feb 12, 2015
123. "Study a collimated muons for the degenerated SUSY scenario"
 Speaker: Myeonghun Park (APCTP)
 Date: Feb 16, 2015
124. "ADHM revisited: Instantons, Wilson lines and D-branes"
 Speaker: Kenny Wong (U Cambridge)
 Date: Feb 16, 2015
125. "Secrets of the Higgs Boson"
 Speaker: Michael E Peskin (SLAC)
 Date: Feb 18, 2015
126. "Investigations on photon-pair cascades from nearby blazars"
 Speaker: Mariana Orellana (Universidad Nacional de Río Negro)
 Date: Feb 19, 2015
127. "On cylinders on cubic hypersurfaces"
 Speaker: Ilya Karzhemanov (Kavli IPMU)
 Date: Feb 19, 2015
128. "The supersymmetric nonlinear sigma model as a geometric variational problem"
 Speaker: Volker Branding (TU Vienna)
 Date: Feb 24, 2015
129. "Higher-dimensional unification

- with continuous and fuzzy coset spaces as extra dimensions”
Speaker: George Zoupanos (NTUA)
Date: Feb 25, 2015
130. “The cosmic growth of the active black hole population out to $z=2$ ”
Speaker: Andreas Schulze (Kavli IPMU)
Date: Feb 26, 2015
131. “Recent status of the SuperKEKB accelerator control system”
Speaker: Masako Iwasaki (KEK)
Date: Mar 09, 2015
132. “Effects of non-self-annihilating dark matter on stellar objects”
Speaker: Leung Shing Chi (The Chinese U of Hong Kong)
Date: Mar 10, 2015
133. “Elliptic genus of phases of $N=2$ theories”
Speaker: Anatoly Libgober (U Illinois, Chicago)
Date: Mar 10, 2015
134. “An LG-LG mirror theorem”
Speaker: Yefeng Shen (Stanford U)
Date: Mar 11, 2015
135. “What do the star formation histories of galaxies look like?”
Speaker: Camilla Pacifici (Yonsei U Observatory)
Date: Mar 12, 2015
136. “The Eynard-Orantin recursion for simple singularities”
Speaker: Todor Milanov (Kavli IPMU)
Date: Mar 12, 2015
137. “Metal-free pair-instability supernova progenitors with large mass loss”
Speaker: Takashi Moriya (AIFA, U Bonn)
Date: Mar 16, 2015
138. “Toric mirror symmetry via shift operators”
Speaker: Hiroshi Iritani (Kyoto U)
Date: Mar 16, 2015
139. “Studying the Expansion of the Universe with quasar spectra”
Speaker: Andreu Font-Ribera (LBL)
Date: Mar 17, 2015
140. “Toric mirror symmetry via shift operators”
Speaker: Hiroshi Iritani (Kyoto U)
Date: Mar 17, 2015
141. “Lepton-flavor-violating Higgs decay $h \rightarrow \mu\tau$ and muon anomalous magnetic moment in a general two Higgs doublet model”
Speaker: Kazuhiro Tobe (Nagoya U)
Date: Mar 18, 2015
142. “Holography for Hadron Scattering in the Regge Kinematics”
Speaker: Taizan Watari (Kavli IPMU)
Date: Mar 19, 2015
143. “A south Hemisphere prospective on Dark Matter”
Speaker: Elisabetta Barberio (U Melbourne)
Date: Mar 20, 2015
144. “The Coulomb branch of 3d $N=4$ theories”
Speaker: Tudor Dimofte (IAS)
Date: Mar 23, 2015
145. “Inequalities from Poisson brackets”
Speaker: Irina Davydenkova (U Geneva)
Date: Mar 23, 2015
146. “ADE Little String Theory and Triality”
Speaker: Mina Aganagic (UC Berkeley)
Date: Mar 24, 2015
147. “Knots and Mirror Symmetry”
Speaker: Mina Aganagic (UC Berkeley)
Date: Mar 24, 2015
148. “An area law for cosmology”
Speaker: Raphael Bousso (UC Berkeley)
Date: Mar 26, 2015
149. “Machine-learning Inference of Fundamental Stellar Parameters From Large Photometric Surveys”
Speaker: Adam Miller (Caltech)
Date: Mar 26, 2015:
150. “Fast Radio Bursts (FRBs)”
Speaker: Shri Kulkarni (Caltech)
Date: Mar 27, 2015
151. “Interstellar dust and its modelling”
Speaker: Ranjan Gupta (IUCAA, Pune)
Date: Mar 30, 2015
152. “The A_∞ structure from the Berkovits formulation of open superstring field theory”
Speaker: Yuji Okawa (U Tokyo)
Date: Mar 31, 2015

Kavli IPMU Komaba Seminar

1. “Donaldson-Thomas theory for Calabi-Yau fourfolds”
Speaker: Naichung Conan Leung (The Chinese U of Hong Kong)
Date: Nov 25, 2014

Personnel Changes

Moving Out

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

Kavli IPMU postdoctoral fellow Nobuhiro Okabe [September 1, 2013 – March 31, 2015] moved to the Graduate School of Science, Hiroshima University, as an Assistant Professor.

JSPS postdoctoral fellow Koichi Nagasaki [April 1, 2014 – March 31, 2015] moved to the Institute of Particle and Nuclear Studies, KEK, as a research fellow.

Also, JSPS postdoctoral fellow Hiroshi Takano [April 1, 2014 – March 31, 2015] was appointed as a support scientist at the Kavli IPMU.

Erratum to the Printed Version of the Kavli IPMU News No. 28

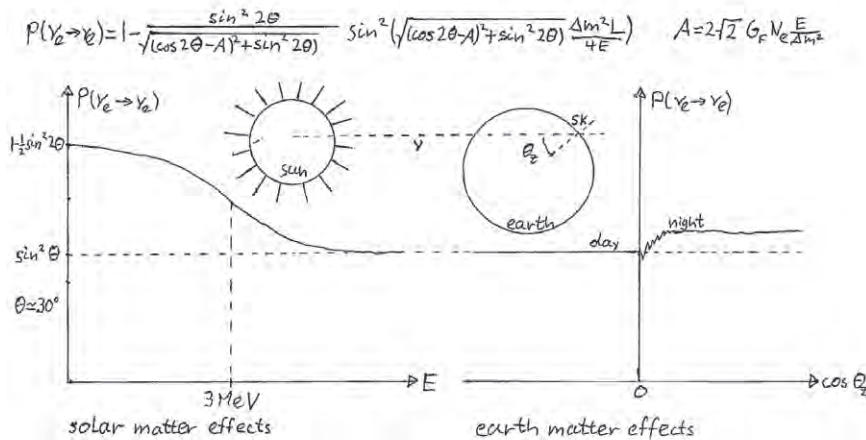
On page 14, at the bottom of the middle column, “Poincare” should read “Pasteur.” (This erratum does not apply to the web version of the *Kavli IPMU News* No. 28.)

Matter Effects on Neutrino Oscillations

Michael Smy

Researcher, Department of Physics and Astronomy, the University of California, Irvine
and Kavli IPMU Visiting Associate Scientist

Neutrino types or flavors are described as different linear combination of several distinct mass eigenstates. When neutrinos propagate through space, the type appears to oscillate due to phase shifts between the mass eigenstates: a mass eigenstate of mass m and energy E acquires the phase $L(E-m^2/E)$ after propagating a distance L in vacuum (if the mass is much smaller than the energy). When propagating through matter, elastic scattering of electron-neutrinos differs from those of other types which results in additional phase shifts affecting the oscillations. The large density of the solar core resonantly converts solar electron-neutrinos above an energy of about five MeV to the second mass eigenstate (Mikheyev-Smirnov-Wolfenstein resonance), while solar electron-neutrinos below one MeV oscillate only because of the propagation phase difference. On earth this appears as an energy dependence of the fraction of electron-neutrinos in the solar neutrino beam. In addition, some of the non-electron solar neutrinos passing through the Earth at night convert back to electron-neutrinos leading to a diurnal variation of the electron-neutrino fraction. Super-Kamiokande has searched for both energy dependence and diurnal variation and found a $\sim 3\sigma$ significance indication of a $\sim 5\%$ diurnal variation, but so far no evidence of the energy dependence of the solar resonance.



近況

Kavli IPMU 機構長
村山 斉 むらやま・ひとし



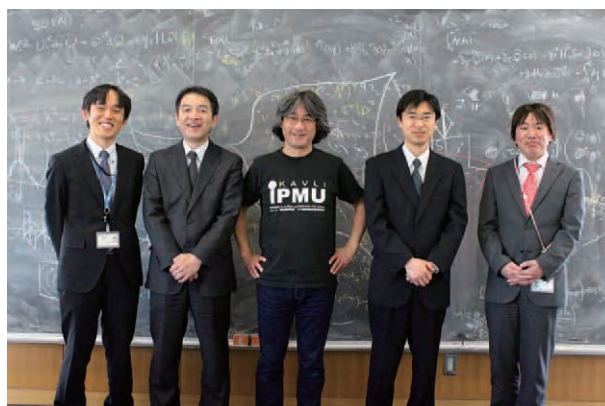
1月13日：山梨英和中学校・高等学校で講演。(写真提供：山梨英和中学校・高等学校)



3月25日、26日：Kavli IPMUで開催された“Key Aspects in Exploring Road to Unification (KAERU Conference)”で。開会の挨拶(左)と講演(右)。



3月26日：Kavli IPMUで開催された「スプリング・サイエンスキャンプ2015 天文、物理と数学で宇宙の謎とときに挑戦」の参加者、講師、ティーチング・アシスタントと。



3月26日：異動する事務職員と記念撮影。

暗黒宇宙の解明に銀河を利用する

1. 暗黒宇宙

人類は太古の昔から華麗な夜空に魅了されてきました。そして人類の好奇心は、宇宙の起源や運命といった、根源的な疑問の探求に私たちを駆り立ててきたのです。天体物理学的な観測は、この探求の最前線、しかもその中心に位置しています。これまでに、そういった観測が、私たちを待ち受けている宇宙の暗黒の謎を幾つも解き明かし続けてきました。

これまでの多くの天体物理学的な発見の中で、ダークマターとダークエネルギーの存在は最も難解な問題となっています。ダークエネルギーは普遍的かつ一様に存在するエネルギーで、真空に固有のものとされています。一方、ダークマターは、電磁的な相互作用をもたず動きの遅い物質粒子とされています。この2つの成分が宇宙のエネルギー密度のほぼ95%を占めており、私たちがこれまで実験室での実験（例えば大型ハドロンコライダー LHC のような加速器による実験）によって探求し理解してきた通常の物質のエネルギー密度を凌駕しています。

ダークマターとダークエネルギーの正体は何か？ その性質は？ 通常の物質との関係は？ それらは本当に存在するのだろうか？ それとも宇宙論的なスケールで重力の理論が不完全であることによるものなのだろうか？ こういった疑問は素粒子物理学と宇宙論の接点に存在し、現在進行中の研究の中心となっています。Kavli IPMU はこれらの問題に挑戦するため、天体物理

学的な観測と実験室での実験による多角的な取り組みを行っています。それは、自然の謎の成分であるダークマターとダークエネルギーの理論的な理解を得るために資するものとなるでしょう。

2. 初期宇宙と銀河の誕生

様々な観測結果を統一的に説明する最も簡単な宇宙論モデルでは、初期宇宙は非常に高温・高密度で始まり、量子場の微かな揺らぎが宇宙論的に巨大なスケールに急激に引き延ばされたインフレーションという時期が起きます。これらの揺らぎはダークマター粒子の密度場に痕跡を残します。そして、重力の作用によりダークマターの揺らぎが成長して宇宙の構造を形成します。

計算機によるシミュレーションの助けを借りて、これらの揺らぎの成長を調べることができます。この話題は、以前 *Kavli IPMU News* で取り上げられました（2014年9月号の吉田直紀による解説を参照のこと）。最も大きなスケールでのダークマターの統計的な分布は、宇宙の物質質量、初期密度揺らぎの振幅、といった幾つかの重要な宇宙論パラメータに支配されます。これらの揺らぎの成長を時間の関数として描き出すことは、ダークマターとダークエネルギーの時間的な振る舞いを理解するために重要です。しかし、ダークマターは光を出さないため、検出困難です。幸いなことに、銀河は大量の光を放射するので、非常に遠方の銀河ま

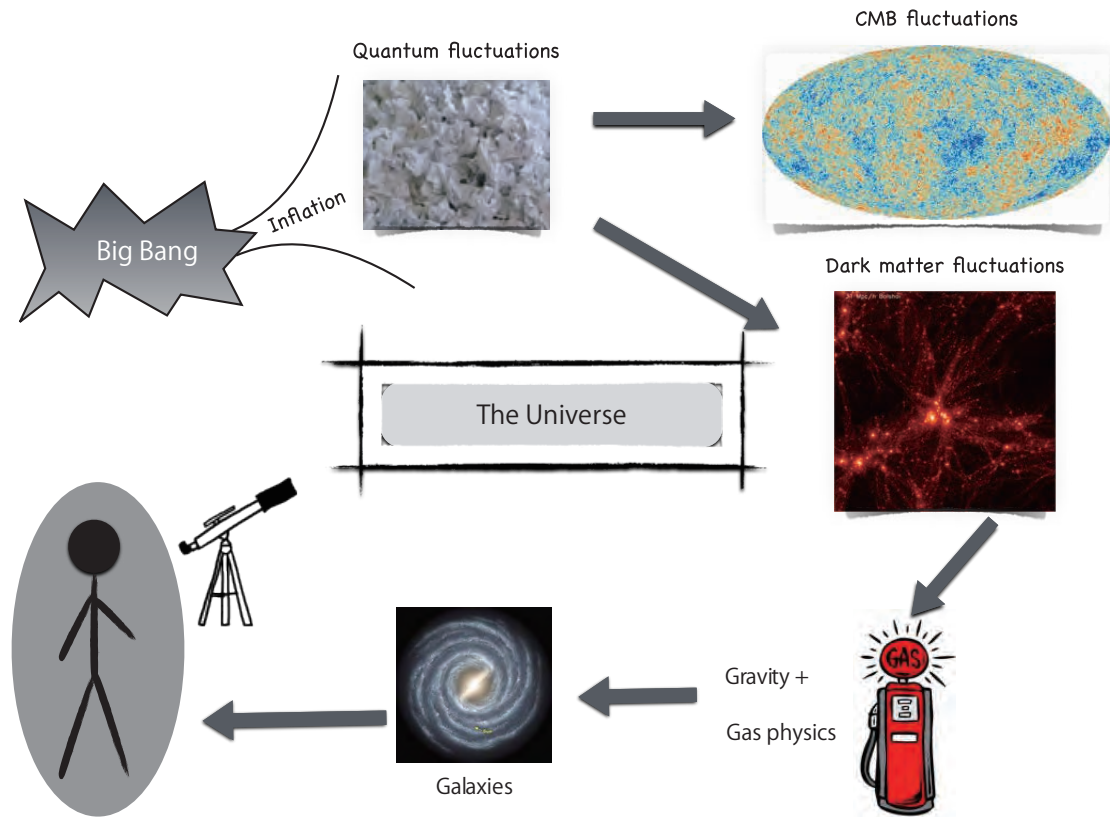


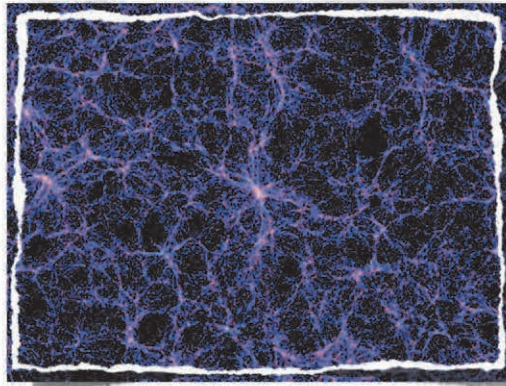
図1. 宇宙のインフレーションは、微小な初期揺らぎが仕込まれた、ほとんど一様な宇宙を作り出しました。これらの微小な揺らぎは物質の分布に痕跡を残しました。宇宙マイクロ波背景放射を調べることで、ビッグバンから38万年後の揺らぎのスナップショットを観測できます（2010年6月発行の*IPMU News No. 10*に掲載されたデービッド・スパーゲルの解説を参照）。ダークマターの揺らぎは宇宙規模の網目状の構造に成長し、宇宙の構造の骨格を形成しました。その後、複雑な天体物理学的な過程を経て銀河が形成され、進化してきました。銀河には知的生命が誕生し、宇宙を観測し、その歴史を解明するということが起こります。

で検出が可能です。では、これらの銀河は、ダークマターとどのような関係にあるのでしょうか。

ダークマターの粒子は凝集して、ダークマター・ハローと呼ばれる重力的に束縛された塊を形成します。こういった塊は形も大きさも様々で、小さな塊は数多くありますが、大きな塊は比較的希な存在です。主として原始ガス雲として存在するバリオンは、これらのダークマター・ハローの重力ポテンシャルの中心に向けて引き寄せられます。ダークマターが豊富に存在する場所には、より多くのバリオンが引き寄せられます。バリオンは、一連の複雑な天体物理学的プロセス（放射冷却、星形成と超新星爆発によるフィードバックな

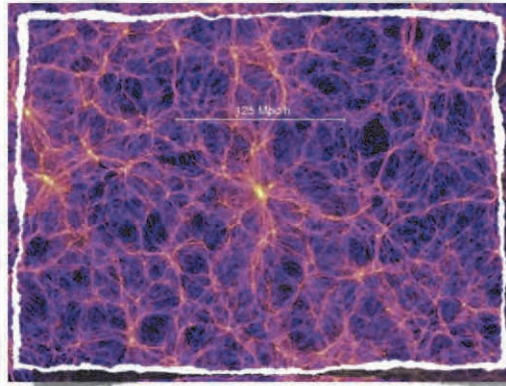
ど）を経て、やがて私たちの天の川銀河のような銀河を形成します。

最も大きなスケールでは、重力だけによるので、銀河の分布はダークマターの分布をトレースしたようなものになることが期待されます。どこであろうとダークマターが多い場所では、より明るい銀河がより多く形成されると期待されます。従って、銀河を使ってダークマターの分布の構造とその時間的成長を探ることができ、それにより私たちのダークマターとダークエネルギーの正体についての理解を進歩させることができます。



Millennium simulation, Springel et al. 2005

Galaxies



Dark Matter

図2. 標準的宇宙モデルで期待される現在の銀河の分布（左図）とそれに対応するダークマターの分布（右図）。ダークマターの分布は大規模な計算機シミュレーションによって得られたものです。ダークマターの構造の内部での銀河の分布を予測するには、銀河の形成と進化の物理について半解析的な取り扱いが適用されました。大規模なスケールでは銀河の分布はダークマターの分布をトレースしています。異なる宇宙年齢の時代で銀河を観測すると、ダークマターの構造の成長率の研究に用いることができます。構造の成長を測定すると、ダークマターとダークエネルギーの正体を理解する上で役立ちます。

3. ダークマター・ハローのクラスタリング

銀河はダークマター・ハローの中にあるため、ハローがダークマターの分布とどのように関係しているかを理解することが重要です。ダークマター・ハローは、密度場の分布のピークで形成され、そして最も大質量のハローは、稀にある密度場の非常に高いピークで形成されます。このような大質量のハローの分布は、低質量のハローと比べると非常に密集しており、この振る舞いは、定性的に地球上で見られる最も高い山のピークに似ています。つまり、山のピークが別のピークのすぐ近くにある可能性が非常に高いのです。（山頂の高さ 7200 m 以上の山は全てヒマラヤ山脈地帯に存在しています。）従って、密度場のピークを調べるだけではダークマターの分布について、偏った見解が得られてしまいます。幸いなことに、ダークマター・ハローの分布について、予測することと、ハローの質量に対する依存性を定量化することも可能です。ハローの質量に対するクラスタリング振幅の正確な依存性は、感度の良い宇宙論のプロープでもあります（図3参照）。観測ではハローの代わりに銀河を用いてクラスタリング振幅を測定することができます。さらにこれらの銀河のハローの質量を観測することにより、宇

宙論的な制限が得られます。

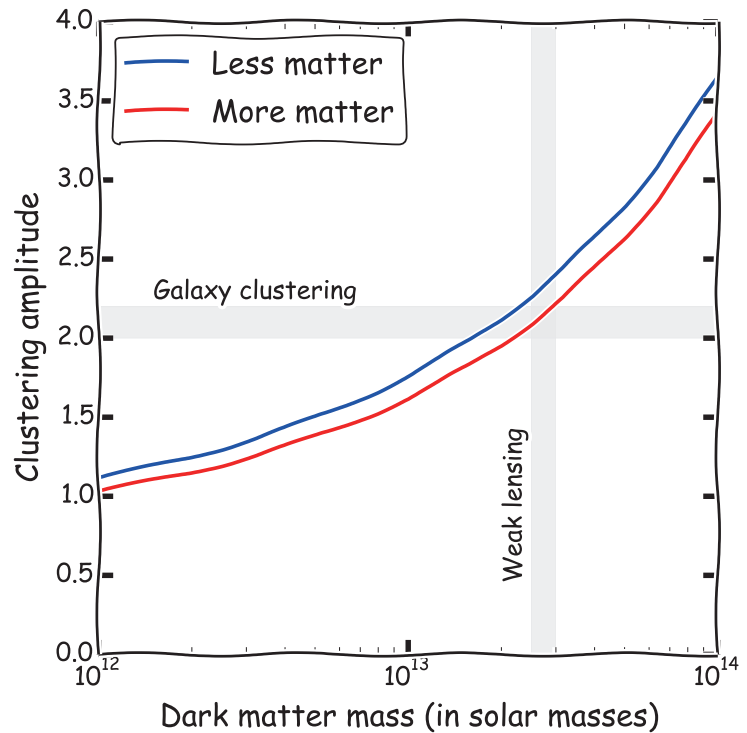
4. 銀河の観測量

4.1 銀河のクラスタリング

世界中の天文学者が大スケールでの銀河の分布をマッピングするため、大規模銀河探査を行っています。スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS) はその主要な例の一つであり、最近その第3段階 (SDSS-III) が完結したところで、イメージングデータから銀河の天球面上の正確な位置が、また銀河のスペクトル線の長波長側 (スペクトルの赤に近い側) へのずれ (赤方偏移) を用いて、その視線方向の正確な位置が得られています。この結果、宇宙空間における銀河の3次元マップが作られました。

このデータを用いて、2点相関関数という最も簡単な空間統計の一つにより銀河のクラスタリングを定量化することができます。相関関数は、与えられた距離にある2つの銀河を見出す確率が、銀河がランダムに分布しているとした場合よりどれくらい多いかを定量化するものです。もし銀河が強く群れ集まっているとすれば、互いの距離が比較的近い銀河のペアが数多く見られます。私たちはSDSS-III サーベイから非常に高

図3. 質量の異なるダークマター・ハローのクラスタリング振幅は宇宙の物質密度などの宇宙論パラメータに依存します。同じ質量のダークマター・ハローに対して、宇宙の物質が多い場合はクラスタリング振幅は小さくなります。銀河はダークマター・ハローの内部に存在します。銀河のクラスタリングを測定することにより、ダークマター・ハローのクラスタリングを測定できません。これらの銀河の周りで弱い重力レンズ効果を測定すれば、銀河を包むハローの質量を測ることができます。このような観測を両方行うことにより、図4に示すような宇宙論パラメータに対する制約条件を得ることができます。(本図は次の論文中の図から翻案したものです。S. More et al., "The Weak Lensing Signal and the Clustering of BOSS Galaxies II: Astrophysical and Cosmological Constraints," arXiv:1407.1856; *Astrophysical Journal* に出版予定。)



い信頼度で銀河のクラスタリングの信号を観測しました。この結果から、これらの銀河が属しているハローのクラスタリング振幅が得られます。しかし、ハローの質量を決めるにはどうすればよいのでしょうか。

4.2 重力レンズ

私たちが日常見る光は常に直進します。しかし、光が非常に重い物体の近くを通過する際、その進路は著しく曲げられるであろう、ということはアインシュタインの偉大な洞察でした。重力レンズと呼ばれるこの現象は、天体物理学にとって極めて有用な手段であることが分かりました。単に光の曲がり具合を定量化することにより、ダークマターの検出、測定に用いることができるのです。強い重力レンズ効果と呼ばれる場合には、宇宙における美しい蜃気楼を発生させ、例えば銀河が薄く引き延ばされた円弧のように見えたり、時には一つの銀河（あるいは超新星のような天体）の像が何個も見えたりさえします。

弱い重力レンズ効果と呼ばれる場合には、球状の天体が、途中に介在する質量によりレンズ効果を受けて楕円形に見えます。この楕円の短径は、天体と介在する質量を結ぶ方向を向いています。楕円率の信号を測定することにより、銀河の周りのダークマターの分布を、従ってダークマター・ハローの質量を測定することができます。

銀河の周りでこのような測定を行うには、背景にある複数の銀河を見つけてそれらの形を測ることが必要です。背景の銀河は遠くにあるため非常に暗いので、これは非常に難しい仕事です。

私たちは、SDSS-III で観測された銀河の周りで、カナダ・フランス・ハワイ望遠鏡レガシーサーベイ*によって得られた深宇宙撮像データを用いてこのような測定を行いました。そして、この結果を SDSS-III カタログにある銀河を取り巻くダークマターの分布、特にダークマター・ハローの質量を理解するために使うことができました。

* www.cfht.hawaii.edu/Science/CFHTLS/

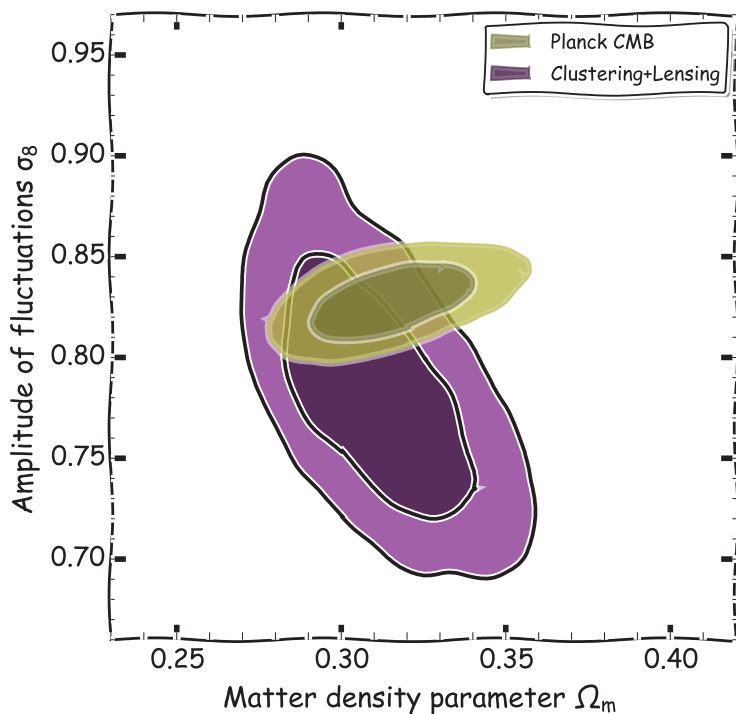


図4. 私たちはSDSS-IIIのバリオン音響振動サーベイ (BOSS) により銀河のクラスタリング振幅を測定しました。(H. Miyatake et al., "The Weak Lensing and Clustering of BOSS Galaxies I: Measurements," arXiv:1311.1480; *Astrophysical Journal* に出版予定。) これらの銀河を包むハローの質量は、弱い重力レンズ効果を用いて測定されました。以上の測定により、現在の宇宙の物質密度パラメータと密度揺らぎの振幅に対して宇宙論的な制約条件が得られました。マゼンタ (赤紫色) の等高線は68%信頼域 (内側の等高線の内部) と90%信頼域 (外側の等高線の内部) を示しています。私たちの結果をプランク衛星を用いた非常に初期の宇宙のCMB観測を解析して得られた結果 (黄色の等高線) と比較すると、2つの結果 (前者は最近の宇宙の非線形重力物理に基づき、後者は非常に若い時代の宇宙の物理に基づく) には顕著な整合性と相補性が見られます。(本図は次の論文中の図から翻案したものです。S. More et al., "The Weak Lensing Signal and the Clustering of BOSS Galaxies II: Astrophysical and Cosmological Constraints," arXiv:1407.1856; *Astrophysical Journal* に出版予定。)

5. 首尾一貫した宇宙像

現在の宇宙論モデルを、様々な観測量を用いて検証することは重要です。それはモデルの信頼性を立証するだけでなく、現在の記述が、根底にある事実を必ずしも忠実に反映してはいないかもしれないにせよ、十分に妥当な近似であることを意味します。現在の宇宙論モデルを支持する主な観測には、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の観測、および Ia 型超新星 (SN_{Ia}) とバリオン音響振動 (BAO) の観測から得られた距離と赤方偏位の関係などがあります。

銀河のクラスタリング振幅とダークマター・ハローの質量を用いて、宇宙の物質密度の大きさや宇宙初期の密度ゆらぎの振幅のような宇宙論パラメータに対する制約条件を推定することもできます。これらの制約条件は首尾一貫した宇宙像を与え、また多くの場合 CMB、BAO、SN_{Ia} の観測と相補的な性質を有しています。

6. 未来はここに!

ハワイのマウナ・ケアのすばる望遠鏡に搭載されたハイパーシュプリーム・カムはエンジニアリングにおける驚異です。広い視野を有しており、天体望遠鏡に搭載される世界最大のカメラです。この装置を用いる大規模サーベイが昨年 (2014年) 3月に開始されました。このサーベイは、前例のない深さで天球の大領域をカバーする高品質の撮像データを提供することを目的としています。

このサーベイが完了すると、弱い重力レンズ効果の観測からダークマターのマップを構築することが可能となります。すると、天体物理学と宇宙論の分野で、数多くの非常に面白い研究が可能となります。私は、特に、SDSS-III のカタログにある銀河の弱い重力レンズ効果に立ち返り、新しいデータに照らして再検討することを楽しみにしています。ここで紹介したような銀河のクラスタリングと弱い重力レンズ効果の同時解

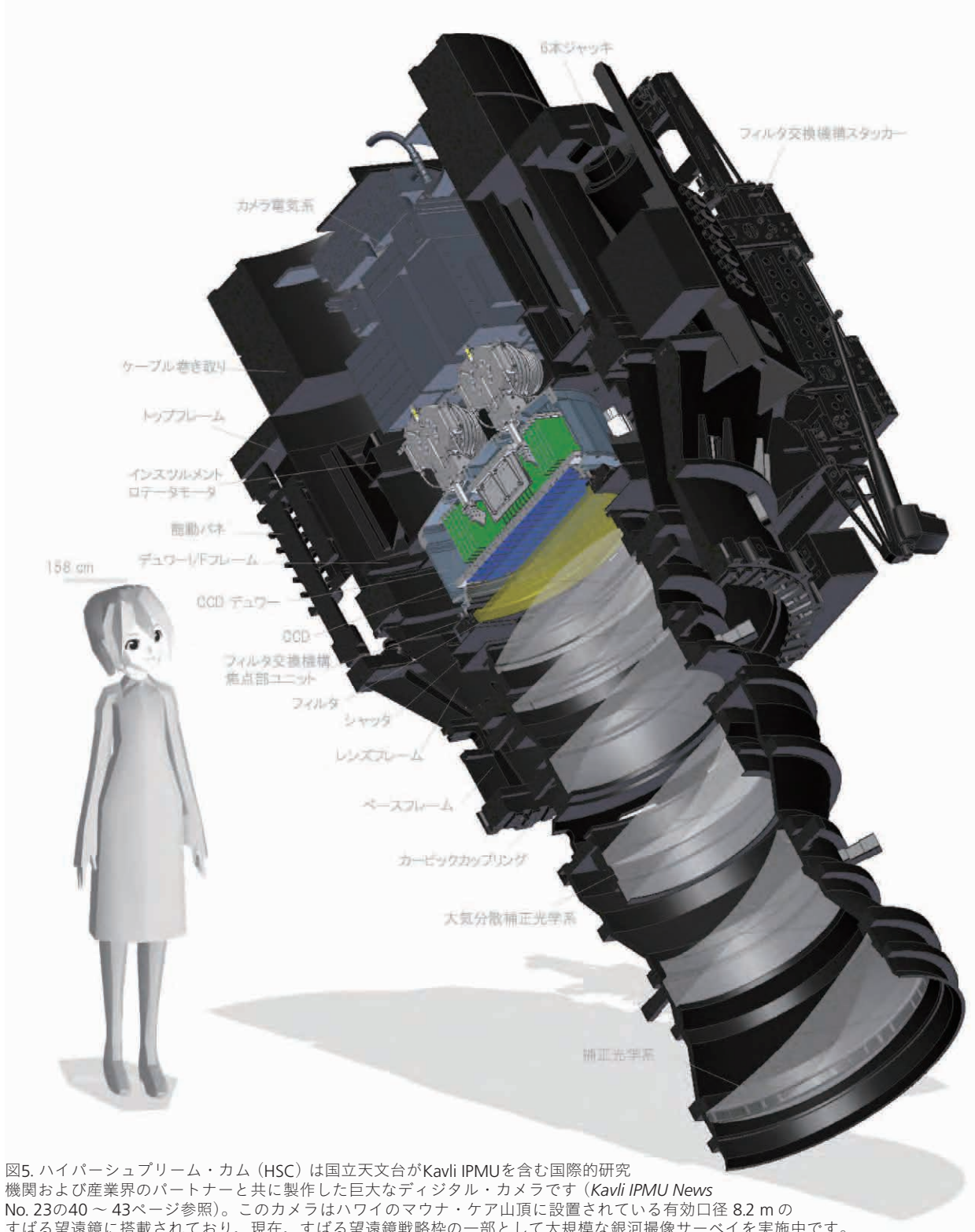


図5. ハイパーシュプリーム・カム (HSC) は国立天文台がKavli IPMUを含む国際的研究機関および産業界のパートナーと共に製作した巨大なデジタル・カメラです (Kavli IPMU News No. 23の40～43ページ参照)。このカメラはハワイのマウナ・ケア山頂に設置されている有効口径 8.2 m のすばる望遠鏡に搭載されており、現在、すばる望遠鏡戦略枠の一部として大規模な銀河撮像サーベイを実施中です。HSCサーベイは、完了すると天球の1400平方度を前例のない深さで観測することになります。(Image credit: NAOJ)

析は、宇宙の構造の成長を追いかけて異なる宇宙年齢の時代で行うことが可能です。これはダークエネルギーの正体を明らかにする上で極めて重要であり、こ

のサーベイの主要な目標の一つです。前途には間違いなくエキサイティングな時代が待ち受けています。



Interview

ラシッド・スニヤエフ教授 に聞く

聞き手: 吉田 直紀

いかにして科学者として自立する
か

スニヤエフ:ここは素晴らしい
研究所ですね。

吉田:ありがとうございます。

スニヤエフ:とても興味深く見
せてもらいました。

吉田:大規模天文サーベイの
「すばるハイパー・シュプリーム

カム (HSC) サーベイ」も含め、
全てがうまくいっています。

スニヤエフ:あなたもHSCに参
加しているのですか?

吉田:はい、試験観測ではない

ラシッド・スニヤエフさんは1992年
以来ロシア科学アカデミー宇宙科学研
究所のチーフ・サイエンティストで、
また1996年以来ドイツのマックス・
プランク天体物理学研究所のディレク
ターを務めています。1968年にモスク
ワ大学よりPh.D.と同等のCandidate
of Scienceの学位を、また1973年に
同じくモスクワ大学よりDoctor of
Sciences (astrophysics) の学位 (ロシ
アでは正教授となるために必要) を取
得、1987年にはソビエト社会主義共
和国連邦閣僚会議・高等資格審査委員
会より天体物理学教授の称号を取得し
ました。1975年にモスクワ理工科大
学教授、1974年～1982年、科学
アカデミー宇宙科学研究所・理論天体
研究室長、1982年～2002年、同高
エネルギー天体物理学部長を歴任し、
1984年にソ連科学アカデミー通信会
員、1992年にロシア科学アカデミー
正会員に選ばれました。2008年にク
ラフォード天文学賞、2011年に京都
賞、2012年にベンジャミン・フラン
クリン・メダル (物理学) を受賞した他、
多くの輝かしい受賞歴があります。

本当のデータと本当の結果がも
うすぐ得られます。

スニヤエフ:それは結構なこと
ですね。あなたがマックス・ブ
ランク天体物理学研究所にいた
頃のことを思い出します。

吉田:大学院生でした。

スニヤエフ:今、本郷キャン
パスにいますね。Kavli IPMU
ではなく物理教室で研究して
いるのですか?

吉田:60%の時間を物理教室に、
40%をKavli IPMUに案分して
います。

スニヤエフ:それは良い時間配
分ですね。

吉田:有効に活用できています。
では、本題に入って、今日伺いた
い話が幾つかあるのですが、最
初は「自立」についてです。特
に、いかにして科学者として自
立するかということです。あな
たが自分は優れた科学者になる
だろうと初めて自覚した、ある
いは十分自信が持てたのは、ど
んな時でしたか?

スニヤエフ:難しい質問ですね。
今までそういうことを考えたこ
とはありませんが、科学者になり
たいと悟った時があったと思い
ます。学生のときは何に興味か
あるか分からないものですが、
興味をもつことと、実際何かを
するべきであるという信念とは
非常に大きな違いがありますから、
それは非常に重要な時でした。

吉田:そうですね。

スニヤエフ:二番目の時点とい
うのは、これができると本当に確信

を持ち始めた時のことですか？

吉田: はい、研究を続けていけると実感できた時などありましたか。

スニヤエフ: 私はソビエト社会主義共和国連邦科学アカデミーの応用数学研究所でヤーコフ・ゼルドビッチのグループで研究していました。彼は非常に優れた能力をもつ科学者として有名で、また非常に幅広い興味をもった人でした。彼は私を彼のグループとは違う人たちのところに科学の議論をするために送り出し、またそこで一緒に研究するように勧めたのです。私はたちまちのうちに、優れた科学者にもグレードの違いがあることを悟りました。ゼルドビッチは非常にグレードの高い科学者です。科学の非常に狭い領域で研究していて、その領域のことは非常によく知っている人たちもいます。それから、私たちが研究していたことを議論するため、また具体的な非常に狭い課題についてアドバイスをもらうようにとゼルドビッチが送り込んだ先の人たちと交流するだけで、私はある領域ではその時既に正教授の地位にある人たちのレベルにさえ達することができると悟りました。これは重要なことでした。それから私は彼らのうちの、例えば実験研究者と一緒に研究を始めました。実験研究者は大したものです。彼らの生活は理論家の生活よりはるかに大変です。嬉しいことに、ある時点で自分がこういう実験研究者のために極めて役に立つのではないかと認識することになります。彼らのところに行き、彼らのデータを色々なところに使えることを話し、そのデータを解釈する最も良い方法を試みるのです。そうすると自分独自の仕事を見つけることができ、そこで自分が優れているということが分かります。

吉田: 自分自身の価値を見出したわけですね。

スニヤエフ: 価値だけではありません。私は、その仕事で多くの人たちと競って勝つことができるということも分かりました。私は非常にうれしく思い、ゼルドビッチもそれを認めてくれました。ゼルドビッチと一緒に書いた論文の幾つかは、大変な成功を収めました。時々、私はそれがなぜかを考えますが、一つの理由はこういうことだと思います。私は非常に早い段階で、どうすれば理論の結果を観測できるようにできるかということに興味をもっていることを認識しました。私の周りの理論家の多くは、単に理論の中で、理論のために、理論をさらに発展させるためだけの目的で研究していました。私は、また、何が観測可能かを見出すという私独自の仕事を見つけたのです。

吉田: 興味深いお話ですね。

スニヤエフ: おかげで私の生活は、はるかに面白くなりました。また、私はゼルドビッチと一緒に研究する以外のことが可能であると知りました。ある程度自立できたのです。これは非常に役立つことでもありました。私が友人のニコライ・シャクラのような—彼とはブラックホールへの降着について研究しました—他の若い人たちと研究するのはゼルドビッチは喜んでくれました。私には多くの優れた学生がいました。学生たちは役に立つだけでなく、優れた学生と一緒に研究することは喜びでもあり、私は彼らに非常に感謝しています。学生たちの貢献は多

吉田直紀さんは東京大学理学系研究科教授とKavli IPMU教授を兼務しています。1996年に東京大学を卒業後、2001年にマックス・プランク天体物理学研究所で博士課程を修了し、2002年にミュンヘン大学から理学博士の学位を取得しています。



大ですが、彼らが有能であれば彼らから学ぶことも多いのです。彼らはそれほど忙しくないし、私たちよりずっと速く学びます。ある時点で彼らは競争力をもち始めます。若手と一緒に研究するのは非常に役に立ちます。是非そうするべきです。

吉田:なるほど。今のお話は30歳くらいの時のことですか？

スニヤエフ:25歳から27歳の頃だと思います。

吉田:それから非常に自信をもったのですか？

スニヤエフ:そうだと思います。それから、ゼルドビッチと一緒に研究を始めた当初は、私がやっていることが難しく余り速く進まない時、彼は結構厳しかったですね。私と話をする時間はないというそぶりをして、時には半ば無視されました。それは私にとって何とも実に情けない感じでした。

吉田:分かります。

スニヤエフ:しかし、新しい結果が得られて彼に「新しい結果です」と言う途端に夢中になって「よし、議論しよう」と言いました。多分彼の態度は、私をもっと努力させようという彼の意図を示す方法に過ぎないということに私は気がつきました。

吉田:やる気を起こさせようということですね。

スニヤエフ:ええ、そういうことですが、ある時点で、彼は私と一緒に研究することが楽しいのだと分かりました。最高の気分でした。彼が自分に興味をもってくれていたのです。彼はとても有能で、とてもよく知られている人でした。これは、自分が決して彼に避けられているのではない、ということも示していました。良い気分でした。

吉田:とても参考になります。あなたのお話は若い人たちにとって非常に励みになると思いま

す。この質問をしたのは、それが理由でした。

指導教員と学生の関係

スニヤエフ:それは重要ですが、世の中は変わっていきます。人の振る舞いも変わるし、指導教員と学生の関係も、現在は私が研究を始めた時代のものとは非常に違っています。また、教授と学生の交流もアメリカ式あるいはアングロ・サクソン式のやり方は、私が若い頃ロシアやソ連で受け入れられていたものとは非常に違います。

吉田:ロシアやソ連では少し違ったスタイルだと想像します。研究室全体が家族的であった、また指導教員を中心とした序列的な雰囲気のようなものだったのではないかと思いますか？

スニヤエフ:ソ連では序列性が非常に強いものでした。ドイツでも同じでした。研究者はうまくいっている場合は実質的に研究生活全般を通じて同じグループにいるのが普通でした。これはアングロ・サクソン式のやり方と全く違っていました。アメリカでは、どんどん違う場所に移動して、より多く学ぶことが重要です。しかし、ロシアでは多くのグループでボスが最高指導者のような役割をし、その理論を第2順位の者が最初に修正し、という具合に進みました。遂には“seventh approximation”^{*}になってしまいます。一つの方向からは非常に深く掘り下げることができませんが、幅広く考えることができないため—そうするための条件は遥かに困難でした—、別の方向からの進歩は非常に遅いものでした。

吉田:とても興味深いお話です。若手研究者の多くはどこかの時点で自立しようと苦労しますから。学生としては、余り深く考

えなくて技術を習得することはあります。しかし、いずれは自立したいわけで、その方法は人さまざまです。

スニヤエフ:ええ、その通り個性や人格によります。また、何に興味があるかにもかなり依存します。ゼルドビッチは、人が興味をもつものに好意的でした。私が最初に彼のところに行った時、彼は「君は何に興味を持っているのかね？」と聞きましました。当時、私はかなり数学ができましたが、彼には物理的過程が好きだと話しました。私は、例えばガスチェンバーや他の素粒子検出器の中で起きている物理的過程を学ぶことに興味がありました。そこで彼は物理の素過程の研究が必要な場に私を導こうとしました。これは興味深く、私の研究にとって非常に役立つ部分になりました。

優れた才能をもつ若者を見つけ出すロシアのシステム

吉田:なるほど。大変興味深く参考になります。さて、次は少し関連した質問です。私はいつもロシアあるいは以前のソ連のシステムに色々感銘を受けていますが、一つ知りたいのはこういうことです。全国的に優れた才能を持つ若者を探すプロセスがあるに違いないと思います。あなたはタシュケント出身ですが、後にモスクワに行きました。ですから、中央に集中させるシステムもあるに違いありません。ロシアでは、それらをどういう風に運用しているのですか？

スニヤエフ:ソ連のシステムをお話ししましょう。非常に強い中央集中制でしたが、そういう国は他にも数多くあります。例えばフランスでは、若者は皆ある段階でパリに出ることがキャリアを形成する上で重要であると理解しています。

吉田:しかし、ソ連では高等学校レベルでさえそういうシステムが機能していたと思います。

スニヤエフ:タシュケントにはいくつか大学がありましたが、モスクワやレニングラードの大学よりレベルが低いと当時は誰もが知っていました。しかし、高等学校は結構良かったのです。

吉田:高校の先生たちもすばらしかったのですか？

スニヤエフ:高校の先生たちは良かったし、学校も良かったのです。しかし、なぜかわかりませんが一番できる生徒たちはやがてモスクワに行くことが良いということを知っていました。

吉田:なぜかをご存じないのですか。私の知りたいのはまさにその理由あるいは経験なのですが。

スニヤエフ:科学や最新のことを勉強したければモスクワに行く方が良いということは聞いていました。最も優秀な人たちは定期的にモスクワに行く流れがあることを私たちは知っていました。例えば、タシュケントの教授が本当に優れていたなら、彼はある時点でモスクワに招待されました。もしある劇場に本当に優れたパレーのスターがいたら、モスクワが招待しました。ですから、人々はモスクワに行ったのです。私には、別のエピソードが極めて重要でした。17歳の時に全く何の準備もないままオリンピックに参加するように招待されたのです。何のことかご存知ですか？

吉田:はい。数学や物理のコンテストのことですね。

スニヤエフ:私は中央アジアとカザフスタンの数学オリンピックに招待されたのです。現在は独立国になっていますが、ウズベキスタン、タジクスタン、トルクメニスタン、カザフスタンは5つのソビエト共和国でした。当時、多分総計5千万人ほどが

^{*} アメリカで1960年に「包括的土壌分類体系第7次試案」として公表された新しい土壌分類方式。矛盾を克服するために次々と定義の数を増やしたり、余りに形式主義的過ぎるという批判もあるという。(参考:菅野一郎、ペドロジスト 15 (1971) 43)

住んでいました。それぞれの最優秀校から生徒たちがタシュケントに送られ、またタシュケントから高校生数人がこの数学の競争に招待されました。どういう訳か知りませんが、私はコンテストで優等で、そしてソ連全体のオリンピックに参加するためモスクワに送られました。私はモスクワ大学の寮に滞在しましたが、大変感銘を受けました。私のレベルの理解では、大宮殿でした。巨大な建物で、すごく立派でした。内部に劇場があり、学生のために非常に良い食堂やレストランがありました。全てが素晴らしいものでした。多くの若者がいました。私は、非常に強い印象を受けました。

私は数学の学生と一緒に部屋で暮らしていました。この学生は別の大学（モスクワ物理工科大学）があることを私に話してくれました。それほど魅力的な場所ではありませんでしたが、学生はもっとましでした。その大学は入学試験が1ヶ月早く行われたので受けに行くことにしました。競争率は11.5倍でした。なぜかわかりませんが、私は合格し、入学を許されましたが、楽な生活ではありませんでした。入学後、私を含めて5人が一部屋に住み、何もかも違っていました。そして、そこでは勉強に次ぐ勉強と非常に手強い試験という非常に圧迫感のあるシステムでした。しかし、それでも大丈夫でした。教授陣は実にすばらしかったので、私はその大学に非常に感謝しています。私たちを教えてくれた人たちは、非常に優秀でした。

吉田: あなたの学友たちにとってもそれは同じようだったのではないかと思います。多分、彼らの一人はウラジオストックから、もう一人はサンクト・ペテルブルグから、といったようにモス

クワからだけでなく、ソ連のあちこちから集まったのですね。

スニヤエフ: ソ連全体からきていました。

吉田: それはシステムとして大変機能していますね。

最高の学生たちは最高の大学で学ぶ

スニヤエフ: ソ連が崩壊して多くの独立国ができた時、以前ソ連を形成していた別の共和国の人たちをロシアの最高レベルの大学には受け入れないという動きがありました。当時、私はロシア科学アカデミーの友人たちと、ロシアの指導者たちと教育省に手紙を書こうと一致しました。その手紙には次のようなことが書かれていました。「もしロシア科学アカデミー会員を考えてみれば、彼らはモスクワ出身者だけでないことが分かるでしょう。才能は一様に分布しているのです、全国から集まっています。彼らは何らかの方法でモスクワに来て学び、アカデミーに所属するようになり、モスクワ大学等の最も優れた教授になりました。もし今やロシアの外となった全国の半分からの人々がモスクワで学ぶことを許さなければ、彼らを失うだけです。これらの人々が受け入れられ、学ぶことができるなら、それはロシアにとってより良い途でしょう。」私はそれがどう作用したのか知りませんが、現在多くの大学が以前のソ連の領土全体から最も良くできる学生たちを無料で受け入れています。

吉田: 本当に無料で、ですか？

スニヤエフ: 学費を払わなくて良いのです。ほとんどの共和国には石油鉱床が無いので、貧しいためです。例えば、ソ連時代タシュケントは非常に豊かな都市でしたが、現在はモスクワに比べて貧しいのです。

吉田: たしかに現在はそうかも知れませんが。

スニヤエフ: 全てがシステムとしては簡潔です。最高の学生たちは最高の大学で学ぶことができます。しかし、当然ですが入学試験で競争しなければなりません。成績が非常に優れていれば学費が免除されます。これは非常に重要な点ですが、人数に制限はあります。正確には知りませんが、毎年規定が変わっています。例えば、経済学系の大学に入学しようとするれば学費を払わなければなりません、物理など科学系の大学に入学しようとするれば、優秀である限り学費を払わずに済みます。

吉田: なるほど。現在でも、物理学や基礎科学は、ロシアの若い学生に人気があり、最も専攻したい科目なのでしょうか。

スニヤエフ: いいえ。残念ながら全く変わってしまいました。

吉田: 本当ですか？

スニヤエフ: 若者たちの多くは高給などを得やすい職を望んでいます、それは世界中の傾向と同じことです。私が若かった時代には、物理学や基礎科学は極めて人気が高く、ほとんどの若者はその類の学校に入学しようとしていました。多分、日本でも同じだったと思います。

吉田: ええ、似ていました。日本では現在でも物理や基礎科学が高校生にそれなりに人気があり、興味をもたれたりしていますが、明らかに全体としては興味の度合いは減ってきていると感じます。なにしろ、他に面白いものがたくさんありますから。

スニヤエフ: しかし、多くの人たちが、例えば生物学や生命科学には大いなる未来が期待されると理解していて、若者たちはそちらに進んでいます。

吉田: そうですね。

スニヤエフ: タリンで開催され

たゼルドビッチ生誕100周年記念の会議に参加してきましたが、有名な人たちが何人か出席していました。彼らは教育システムについての考えを聞かれていて、誰かが「あなた方は自分の子供に天文学に進むように勧めますか?」と聞きました。皆、自分の子供たちの仕事を話しましたが、これらの著名な天文学者の子供達は誰一人として天文学をやってはいませんでした。一人、二人物理をやっている者もいましたが、大多数は生命科学と経済学でした。

吉田: おおよそ想像がつかます。しかし、私は普段学生たちに、天文学は多分少なくとも今後20年は非常に素晴らしい時代が続くだろうと言っています。

スニヤエフ: 私も疑いもなく次の25年間は天文学の華々しい時代となるであろうと考えます。素晴らしいアイデアだけでなく、天文学をリードする諸国が建設する素晴らしい観測装置が期待できるからです。

吉田: その通りです。

スニヤエフ: こういった観測装置は膨大な情報をもたらすことになり、素晴らしい科学的成果を上げるためにデータを処理したり、それを解釈する有能な人たちが必要になります。

吉田: 全くその通りです。私は本当に天文学が才能のある若い研究者を輩出すると考えています。

スニヤエフ: そうですね。しかし、生命科学も間違いなく非常に成果を上げるでしょう。

吉田: 生命科学では研究すべきことが数多くありますが、私はそれでも天文学が好きです。

スニヤエフ: 天文学は非常に良いですね。私はあなたに同意見ですが、天文学はまだ物理学よりずっと規模が小さく、物理学は今や生命科学よりはるかに小さいのです。同意されますか？

基礎科学におけるコンピューターの役割

吉田: 確かにそうですね。非常に面白い視点です。さて、3番目の話題ですが、特に基礎科学にコンピューターを用いることについてお聞きしたいと思います。この点では、私は複雑な心境です。コンピューターの能力や有用性は認めますが、一方でコンピューターが、真の、あるいは根源的な理解に至る上で重要な役割を果たせるのか、未だに確信がもてません。ご存じの通り、私はコンピューター・シミュレーションを主要な研究手段として用いていますが、常日頃この種の研究活動が本当に極めて根源的なことに到達可能であろうかと自問しています。

スニヤエフ: 私自身はコンピューターが現れたことは実にすばらしいことだと思います。なぜなら、以前、私は計算尺を使って大部分の論文を書いていました。それからどのようにしてコンピューターが私たちの生活の一部として益々役に立つようになってきたか、見てきました。

吉田: 実際、非常に役立ちます。

スニヤエフ: 天体物理学と宇宙論の数値計算は最大級のスパコンを使用しており、最も急速に進展している科学分野の一つです。しかし、私は今日の生活はコンピューター無しでは、実際、不可能という話から始めたいと思います。第1に、コンピューターのおかげで私たちの生活はずっと簡単になりました。例えば、私の若い頃、ロシアでは、正確な数は知りませんが一日中タイプを打っている百万人もの秘書たちがいました。

吉田: そんなに多くですか。

スニヤエフ: 今や、秘書がタイプすることはほとんどありません。誰もがコンピューターを使って非常に速く、簡単にタイプ

しています。これはコンピューターが膨大な数の人たちの代わりをするようになった変化の単なる一例に過ぎません。第2に、当時は計算するのはかなり大変で、単純な問題でさえ、近似的方法を用いたり、数表と特殊関数を使ったりして解くためには、多くの時間を費やさなければなりません。コンピューターはこれを実に簡単にやってくれます。マセマティカやその他多くのプログラムが、実際、簡単な数学を使うことをずっと楽にしてくれました。一日中座って計算尺で計算する必要はありません。しかし、これはコンピューターが非常に役に立ち、非常に重要な一面に過ぎず、コンピューターは益々役に立つだろうと思います。ある段階では論文に影響を与えることも可能になるでしょう。コンピューターは論文を出版したり、編集したりすることができます。コンピューターは色々なことができるので、今後も極めて役立つでしょう。しかし、一つ疑問があります。コンピューターは完全に根源的な事を学ぶことができるだろうか？ これには2つの可能性があります。第1の可能性は、非常に深遠な数学を構築することです。私はそれにはまだ人間が必要だと思います。いつまでそうであるかは分かりませんが。

吉田: その話で、あなたやアレクサンドル・カンパニエーツやレオニード・セドフのようなロシア、あるいはソ連の偉大な数学者を何人も思い出しました。

スニヤエフ: アカデミシャン・セドフとカンパニエーツ教授は重要な解析解を発見し、また現在良く知られている方程式を導きました。これらは常に役立つし、またしばしば必要でもあります。

吉田: あなた自身も数学的あるいは解析的な手法が必要だと思

われるのですね。

スニヤエフ: この分野ではコンピューターがすぐ人間にとって代わることはないと思います。こういう面では人間はまだ非常に良くやっていて、また直観によるところが大です。ここでは私たちの脳が、恐らくかなり長い間最も強力なコンピューターと競い合うかもしれないと考えます。成算はあると思います。

吉田: 多分そうでしょう。

スニヤエフ: それから、多くのことが分かるけれども、全ての結果を数値的に推測することはできない複雑な問題があります。明らかにここではコンピューターは不可欠で、多くのことを与えてくれます。シミュレーション無しでは、つまりこれらの巨大な計算資源無しでは、進展は遥かに遅いものになるでしょう。ですから、コンピューターが使えることはすごいことだと思います。しかし、ここでも解析解は極めて重要です。もし何かの厳密解を知っていれば、常にすべてが正しいかチェックできるからです。これも非常に重要で役に立つことです。しかし、私は大きな計算機設備をもたない科学に立ち返ることは既に不可能であると思います。

吉田: 私はいつも自分や学生にその質問をします。一種のバランスを保つためです。

スニヤエフ: ええ、バランスを保つべきですが、コンピューターは私たちの生活を変えたと思います。普通の生活にさえ、既に電卓が役立ちました。しかし、今や私たちが持っているもので多くの簡単な問題を解くことができます。何が簡単かということ、今やどんな微分方程式でも解けますが、それは200年前には非常に難しいことでした。現在は大した科学ではありません。単に役に立つだけです。

吉田: そうですね。

スニヤエフ: 私は、古典的数学のこの役に立つ部分を忘れないことが重要だと思います。

吉田: 非常に興味深い見方です。これで私はお聞きしたいことを全部伺いましたが、何かご質問とかご提案はありますか？

スニヤエフ: いえ、Kavli IPMUに來たのは初めてですが、日本で本当に国際的な研究所を見て、ドイツ、オーストラリア、アメリカ、ロシアから来ている若手と話し、大変うれしく思いました。皆満足そうで、この研究所の首脳陣が楽しく研究できて興味もてる雰囲気を作り出してくれたと言っています。それは素晴らしいことです。それから、Kavli IPMUのビジタープログラムは本当に優れた若手を招へており、とても良いものに見えます。年配の研究者だけを招へいするのは間違いです。今現在活発に研究している人々を招へいすることが重要で、まさにその通りになっています。

吉田: ありがとうございます。お褒めいただいて感謝します。

スニヤエフ: いや、褒め言葉ではありません。本当にそう見えるし、Kavli IPMUの将来は素晴らしいものになるに違いありません。ロシアではまだ似たような雰囲気を創り出すことができません。私はそれがとても残念です。そういう試みはありましたが、基礎科学では国際的に同じように自由に議論できる場合は、恐らくサンクトペテルブルグのオイラー国際数学研究所を除いて、無いも同然です。

吉田: これからもずっとKavli IPMUに注目していただき、また将来色々ご意見をいただければ大変ありがたいと思います。

スニヤエフ: ありがとう、喜んでそうします。

吉田: ありがとうございます。

Our Team

野村 泰紀

のむら やすのり 専門分野:理論物理学

Kavli IPMU 教授

私は理論物理学者です。主に素粒子物理学と宇宙論を研究しています。我々の宇宙についての理解は、(例えば、ノーベル賞を授与された宇宙が加速膨張している事実の発見等) 過去20年程の間に飛躍的に進展しました。また、最近の量子重力理論の研究は、伝統的な曲がった時空における量子場の理論を超える、時空と重力の数々の注目すべき性質を明らかにしつつあります。これらの最新の発展は、我々の宇宙が異なる空間の次元や素粒子の種類、質量等を持った数多くの宇宙(マルチバース)の一つにすぎないこと、またこのような世界を正しく記述するには、元来小さなスケールの物理を理解するのに重要と思われた量子力学が非常に大きなスケールでも決定的に重要な役割を果たすこと、等を示唆します。私はこの新たな「量子的マルチバース」とも言うべき描像が、量子重力理論の根源



的な定式化および将来の宇宙論的観測にどのような意味を持つのかを研究しています。また、ブラックホールの物理における量子情報の問題等、関係する量子重力理論の問題についても取り組んでいます。

Our Team

エドウィン・ターナー Edwin L. Turner 専門分野:天文学 (天体物理学)

Kavli IPMU 教授

私は最近、太陽系外惑星、宇宙生物学、天文統計学、宇宙論的な状況における生命の起源の問題をテーマとする研究を進めています。以前は、重力レンズ現象、クエーサー、宇宙の構造形成、標準FLRW（フリードマン・ルメートル・ロバートソン・ウォーカー）宇宙モデルの基本パラメーターの決定、といった古典的な宇宙論の分野での研究が大部分を占めていました。大抵の場合、私の研究は理論的手法と観測的手法の両方を含んでおり、その境界に位置していることもよくあります。また、しばしばベイズ統計や母集団の分布について特定の仮定を設けないノンパラメトリック統計、あるいはその両方を用いて研究を行います。今のところ、まだある程度、特にSuMIReプロジェクトへ



の参加を通じて、宇宙論的研究にも関わっています。最後に、少々時間を割いて、認識論と還元主義的科学の限界に関する諸問題にも取り組んでいます。



素粒子現象論

String Theory in Greater Tokyo (大東京圏における超弦理論研究会)

チャールズ・メルビー-トンプソン Charles Melby-Thompson

Kavli IPMU 博士研究員

レネ・マイヤー René Meyer

Kavli IPMU 博士研究員

Kavli IPMUは2015年を迎え、「String Theory in Greater Tokyo (大東京圏における超弦理論研究会)」という新たな研究会シリーズの第1回を主催しました。この研究会シリーズは、超弦理論とその関連分野の研究者を東京と東京周辺の各県から結集することを目的とするものです。

毎回の研究会は1日だけ行うものとし、東京地域の異なる研究機関が持ち回りで主催します。毎回、色々な分野の良く知られた研究者が何人か講演しますが、それだけでなく参加者の交流と共同研究にも力点を置きます。次回の研究会は理化学研究所の高エネルギー物理学グループが組織し、2015年6月9日に開催されます。

第1回の研究会はKavli IPMUのSimeon Hellerman、Charles Melby-Thompson、René Meyer、山崎雅人の4人が組織し、1月19日に開催されました。参加者は約50名でした。

この研究会シリーズの最初の講演者として、Xi Yin 教授（ハーバード大学）、Dionysios Anninos 博士（プリンストン高等研究所）、Daniel Grumiller 教授（ウィーン工科大学）をお迎えできたことは、私たちの喜びとするところです。

Xi Yin 教授による最初の講演は、little string theory (小弦理論) の最近の進展を明快に説明するもので、double scaled little string theory (二重スケ

ール小弦理論) における散乱振幅と6次元超対称ヤン-ミルズ理論のUV completion (紫外完全化) に関する自身の最近の研究について議論しました。小弦理論の相関関数を、厳密に解ける共形場理論の相関関数によって記述することにより、彼は α' 展開の数係数を計算することができました。その結果は、6次元超対称ヤン-ミルズ理論の摂動論展開の構造を明らかにするものです。

Dionysios Anninos 博士による2番目の講演は、ド・ジッター時空の無矛盾な量子論を定義するという長年の問題を取り上げました。彼の手法は、ホログラフィーを用いて理論に制限を与えるものでした。Vasiliev の高いスピンの重力理論において、彼はド・ジッターエントロピーを計算し、その結果はインフレーション中に生成される自由度の上限を意味するものであり、従って宇宙マイクロ波背景放射に更なる相関を预言するものであると議論しま

した。彼はこの長年の問題に対する有望な攻め口について幾つかの考えを述べて講演を終えました。

Daniel Grumiller 教授の講演は、AdS/CFT対応を超える3次元ゲージ-重力双対性に関するものでした。彼は高階微分重力、高いスピンの重力、平坦空間のホログラフィーを含む3次元重力のトイ・モデルにおいてAdS/CFT対応を拡張する幾つかのアイデアを議論しました。なかでも、AdS/CFT対応の非ユニタリーな系への拡張は非常に興味深いプログラムでした。彼の明かな解説は、ゲージ-重力対応の限界に挑むことに興味をもつ人たちに非常に役立つものでした。

講演に加えて、参加者は十分な時間をかけて他の研究者と交流することができました。多くの出会いがあり、新しい関係が形成され、この研究会がKavli IPMUと大東京圏全体の長期的な伝統になると期待されるものに向けての有望な出発点となりました。



第6回ハイパーカミオカンデ計画オープンミーティング

マーク・ハーツ Mark Hartz

Kavli IPMU 助教

2013年のT2K実験によるニュートリノから電子ニュートリノへの振動の発見により、レプトンセクターでのCP対称性の破れを精密に探索する次世代ニュートリノ実験に、ニュートリノ実験研究者コミュニティの注目が集まりました。ハイパーカミオカンデ (Hyper-K) は日本で提案されている100万トンの水チェレンコフ検出器で、ニュートリノによるCP対称性の破れに対して世界最高の検出感度を有するものです。また、Hyper-Kは核子崩壊探索でも世界最高感度を誇り、加速器からのニュートリノ、大気ニュートリノ、超新星ニュートリノ、太陽ニュートリノの観測でも世界をリードします。このハイパーカミオカンデ計画の第6回オープンミーティングが2015年1月28日から31日までKavli IPMUで開催されました。参加者は12ヶ国から計123名で、Hyper-Kの実現を目指して、ベストなデザインと建設および実験実施の検討のために協力する研究者が集まりました。

ミーティングのプログラムは、Hyper-Kのための空洞掘削と水タンク、純水装置、光検出器、電子回路、較正システム、前置検出器に関するセッション、それに加えてJ-PARCの加速器の状況、解析用ソフトウェアの開発、およびHyper-Kによる物理の可能性の検討の各セッションで構成されました。光検出器のセッションは特に注目されたものの一つで、高量子効率の光電陰極やハイブリッド光検出器、新しいデザイ

ンのダイノードなど、新しい光検出器技術の試験結果が発表されました。これらの検討の目的は、Hyper-Kの物理の可能性を最大化するとともに対費用効果を高めるために使える技術的な解決策を見出すことにあります。今回のミーティングでは、柏キャンパスの宇宙線研究所棟にある光検出器試験設備の見学も行われました。

Hyper-Kのデザインについての報告に加えて、Hyper-Kに加速器からのニュートリノを供給するJ-PARCのニュートリノビーム生成施設と、加速器からのニュートリノビームの特性を生成地点で測定する前置検出器のデザインの発表もありました。ビームについての報告は、メガワット級のビームパワーのビームをHyper-Kに送る可能性に焦点を当てたものでした。前置検出器についての報告では、Hyper-Kの測定に対する主要な誤差源の一つであるニュートリノ・原子核反応モデルの問題に対処するための測定を行う新しい検出器

デザインが発表されました。これらのセッションは、Hyper-K検出器が世界をリードする測定を行うために、J-PARCのニュートリノビーム生成施設とHyper-K検出器の連携を強調するものでした。

恐らくこのミーティングでの進展で最も興奮したことは、Hyper-Kプロトコラボレーションの発足でした。新たなプロトコラボレーションの組織により、Hyper-K計画は概念設計段階から予算獲得、建設、実験実施へと進むことが可能となります。プロトコラボレーションの結成は、高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所 (KEK・IPNS) と東京大学宇宙線研究所 (ICRR) の合意書に山内正則 IPNS 所長と梶田隆章 ICRR 所長がサインすることにより最高潮に達しました。そのセレモニーでは、日本のニュートリノ実験プログラムの成果をハイライトする講演と、Hyper-K実験を実現するための国際協力の重要性を強調する講演も行われました。



Kavli IPMUフォーカスウィーク研究会 「銀河のサイズを理解する」

ケビン・バンディ Kevin Bundy

Kavli IPMU 助教

過去10年の銀河観測で最も理解し難い結論の一つは、大質量の楕円銀河がおよそ120億年前に形成された後、そのサイズが5倍近く成長したように見えることです。楕円銀河は、宇宙初期に誕生して以来、他の点ではほとんど変化していないように見えることから、このような成長は大きな謎です。色々な説明が試みられてきましたが、どれも完全に満足のいくものではなく、楕円銀河の成長率を正確に測定するため、さらなる観測を行おうという機運が盛り上がっています。楕円銀河の成長率は、サイズの測定自身に関する仮定の詳細は言うまでもなく、どの宇宙年齢時代の楕円銀河を調べるのか、またその質量、種類、局所的な環境にも依存することが分かっています。

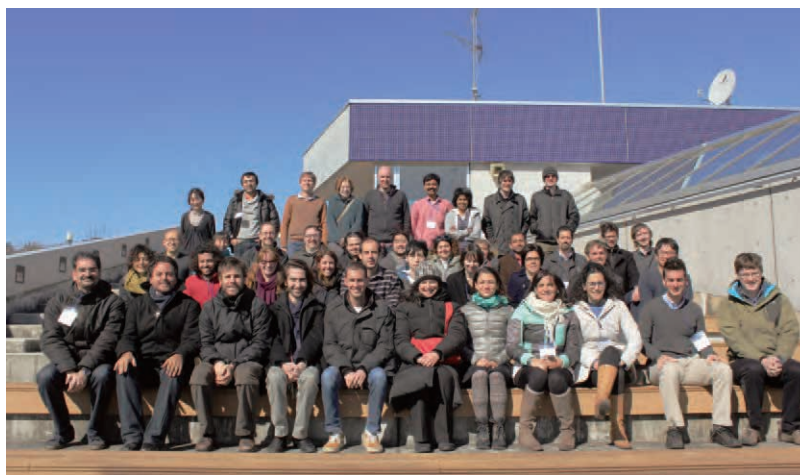
この活発な研究分野が2015年2月2日～6日に「Getting a Grip on Galactic Girths (銀河のサイズを理解する)」と題して開催されたKavli IPMUフォーカスウィーク研究会の主題でした。この研究会は、Kavli IPMUで宇宙物理の博士研究員をしているベネデッタ・ブルカニ、クレア・ラックナー、ソン・ホアのリードのもと、助教のアレクシー・レオトとケビン・バンディの助力を得て組織しましたが、世界中から非常に多彩な参加者が集まり1週間にわたってテーマを絞った講演と熱心な議論が行われました。討論に十分な時間をかけることと、この分野の若手研究者の研究にハイライトを当てることに特に注意が払われました。その一例

を挙げれば、研究会の最後に行われるサマリートークは、通常、特権として最も年長の参加者に依頼するものですが、今回は博士研究員のソン・ホアが行い、大きな反響を呼びました。

この研究会は、直ちに非常にポジティブな反応を引き起こしました。この分野で最も活躍している研究者の複数も言っていたように、参加者はこの分野の最近の研究の全体像を得る良い機会であったと感謝していました。加えて、当初は漠然としていた幾つかの問題が、研究会の議論によりはっきりと認識された例もあります。研究会を通して幾つか意見の一致を得た例もありました。例えば、密度の高い環境（銀河団など）に存在した銀河は、宇宙初期にサイズの成長が加速された時期があったことが分かっていますが、この有利なスタートは現在では見られなくなってしまったようです。また、宇宙の進化史のあいだに特定のサイズと質量を持つ楕円銀河の出現頻度について矛盾するように見える観測結果があり

ますが、それを理解する方向に向けての進展もありました。

この研究会のハイライトの一つは、研究会の主題の創始者の一人、Nacho Trujillo (ナーチョ・トルヒーヨ) によるKavli IPMUのAPEC Seminar (APECはAstronomy - Particle Physics - Experimental Physics - Cosmologyの略) として行われた講演でした。Trujillo博士は、形成されて以来、サイズがコンパクトなままで、進化していないように見える「化石」銀河の探索に成功したことを伝えました。彼はこのような化石銀河が、近傍の宇宙、つまり宇宙論的に言えば私たちの「裏庭」に存在しており、それらがどのようにして形成されてきたのかを研究する貴重な機会を与えてくれていると議論しました。このフォーカスウィーク研究会では、彼の観測の他にも、今後数年にわたり銀河の成長の物理的性質を解明しようとする数多くの計画が天文学者によって発表されました。



Key Aspects in Exploring Road to Unification (KAERU Conference)

兼村晋哉 かねむら・しんや

富山大学大学院理工学研究部准教授

国際会議 Key Aspects in Exploring Road to Unification (KAERU Conference) は、2015年3月25日から2日間にわたりカブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU) で催されました。この会議は、標準理論の確立期から標準理論を超えた新しい統一理論を模索する現代に至る素粒子物理学の黄金期に、数々の重要な研究を行ってきた萩原薫氏が2015年3月末に高エネルギー加速器研究機構を定年退職されることを機会に、村山斉氏、隅野行成氏、Gi-Chol Cho氏を初め萩原氏の薫陶を受けた研究者らによって企画され、Kavli IPMUの協力によって実現しました。萩原氏の研究の幅広さと交流の広さを反映して、海外からの約40名を含む110名以上の研究者が集まり、素粒子物理学の広い領域をカバーする充実した会議となりました。

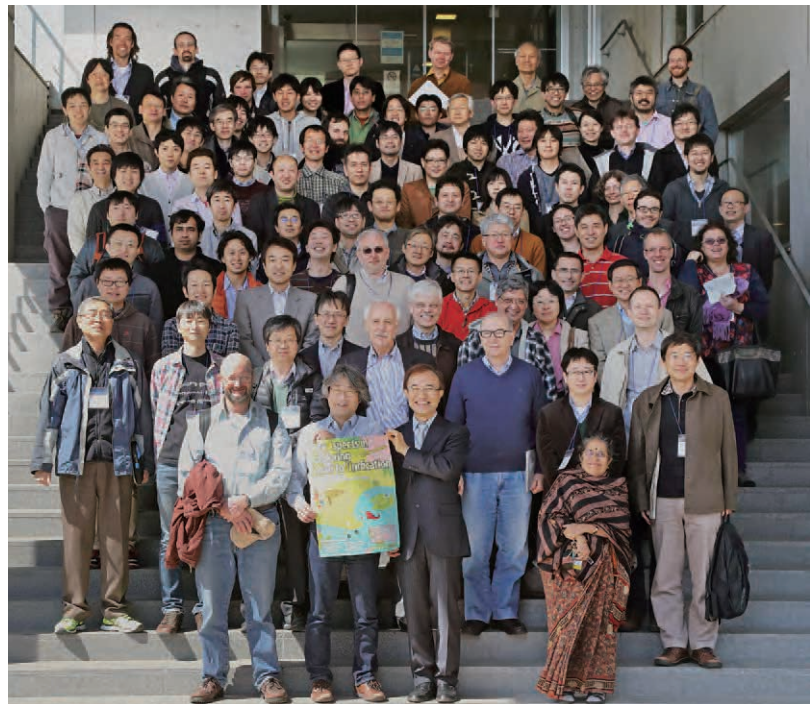
初日は世話人代表の村山氏と隅野氏による趣旨説明と萩原氏の挨拶に引き続いて、Roberto Peccei氏がアクションの宇宙論との関係や検証可能性を話しました。次にZoltan Fodor氏のラティスによるハドロン質量の計算等の報告、Xerxes Tata氏とHoward Baer氏がNaturalness問題を解く超対称模型(ライトヒグシーノシナリオ)、藤井恵介氏が国際リニアコライダーの物理学を講演しました。午後はThomas Teubner氏と齊藤直人氏によるミュオン $g-2$ の理論と実験に関するトークがあり、次いでT-odd asymmetryの研究を初め、萩原氏の最近の一連の研究が

共同研究者の山田敏史氏、横谷洋氏、馬渡健太郎氏等によって紹介され、最後はKingman Cheung氏がヒッグス対生成の解析を話しました。

2日目はDieter Zeppenfeld氏によるベクトルボソン融合過程のQCD補正、Manuel Drees氏によるNaturalnessの話題、Tilman Plehn氏によるLHCでのジェット研究のトークの後、神前純一氏、Rohini Godbole氏、Fabio Maltoni氏によるLHC現象論のトークが続きました。午後はTao Han氏が100 TeV コライダーの話題、岡田宣親氏が超対称性の展望等を講演、その後T2KK、レ

プトンセクターのCPの破れやマヨラナニュートリノの観測可能性などニュートリノに関する話題が続き、最後に村山氏が超対称性の破れと暗黒物質の新模型を紹介した後、Cho氏が閉会の挨拶を行いました。

こうして、素粒子現象論に関する幅広い分野、とりわけコライダー物理学、標準理論を超えた新物理学理論、フレーバー物理学、QCD、ヒッグス物理、宇宙物理等に関する最近の話題が広く議論され、素粒子物理学の現状と将来を俯瞰する素晴らしい機会となり、会議は盛況に終わりました。



MadGraph5_aMC@NLO Femto Workshop

馬渡 健太郎 まわたり・けんたろう

ブリュッセル自由大学 (Vrije Universiteit Brussel) 特任助教

この研究会は3月25、26日にKavli IPMUで開催されたKAERU(Key Aspects in Exploring Road to Unification) 会議のサテライト会議として、3月27日に同じ場所で行われました。組織委員は萩原 薫 (KEK)、Fabio Maltoni (UCLouvain)、松本重貴(Kavli IPMU)、馬渡 健太郎 (Vrije U Brussel)、Tim Stelzer (Illinois) が務めました。

衝突エネルギー 8 TeVから13 TeVへアップグレードされた実験が現在始まろうとしているCERN大型ハドロン衝突加速器 LHC (Large Hadron Collider)、そして近い将来日本で計画されている電子・陽電子線形加速器 ILC(International Linear Collider) では、信頼のおける理論予言と実験データ解析のためにイベント生成のシミュレーションツールが必要不可欠となっています。

MadGraph5_aMC@NLO (以下 MG5_aMC) は、高エネルギー加速器実験におけるイベントシミュレーションを行うモンテカルロプログラムの一つで、現在多くの理論家、実験家が使用しています。MG5_aMCは欧米の研究者を中心に維持、開発されていますが、その起源は、実はこの会議の組織委員の一人である萩原 薫氏、村山 斉 Kavli IPMU 機構長らによって1991年に発表された HELAS (HELicity Amplitude Subroutines) という、場の理論に基づく Feynman ダイアグラムを計算するプログラムコードにあります。MG5_aMCの開発者である Tim Stelzer 氏の開会の挨拶、Olivier

Mattelaer 氏 (Durham) のプログラム概観の発表の中で、この興味深い歴史について説明がありました。

会議の前半では最先端ツールの開発者からそれぞれのプログラムについて説明があり [Benjamin Fuks (Strasbourg): FeynRules2, MadAnalysis5; Olivier Mattelaer: MadGraph5_aMC@NLO; Barbara Jaeger (Tuebingen): VBFNLO]、また、Davide Pagani 氏、Eleni Vryonidou 氏 (UCLouvain) から電弱補正、loop-induced プロセスの自動化についての最新レポートがありました。

会議の後半では、最先端ツールを用いた物理への応用を中心に議論され、Chung Kao 氏 (Oklahoma) と Tilman Plehn 氏 (Heidelberg) がヒッグス粒子とトップクォークの関係について、野尻美保子氏 (KEK/Kavli IPMU) がジェット物理について講演しました。テ

ィータイムの後は、神前純一氏 (KEK) がGPUプロジェクトについて、私が Higgs Characterisation プロジェクトについて発表し、また日本人若手研究者、川端さやか氏 (東北大)、中村純也氏 (KEK)、飛岡幸作氏 (KEK/Tel Aviv/Weizmann) による講演が行われ、50名を超える国内外からの参加者と共に活発な議論が行われました。

会議は Fabio Maltoni 氏が次回の会議の開催を約束し、盛会のもと終了しました。本研究会を通して、特に日本の若手研究者に、最先端のイベントシミュレーションツールを学び、それに基づく物理の議論を行う場を提供できたと思います。

最後に、この会議の開催を後押ししてくださった村山機構長と、開催にあたり裏方としてご尽力いただいた Kavli IPMU のスタッフの皆様にご心より感謝申し上げます。



Kavli IPMUへのWPI支援、2017年度から5年間の延長決定

2015年2月13日に文部科学省からWPIプログラム委員会による2014年度フォローアップの結果が示され(http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/toplevel/1355021.htm)、2007年度にWPI拠点として採択されたKavli IPMUを含む5拠点は、共にWPIプログラム開始当初の目的とされていた世界最高峰の研究水準の進展、国際的な研究環境の実現、既存の研究組織の改革、そして融合領域の創出を達成し、世界トップレベル研究拠点(World Premier Status)という地位を確立したという高い評価を受けました。さらにWPI支援の5年延長に関して、委員会は、拠点の成果が非常に高いWPI基準をはるかに超えた、高度に例外的な場合に相当するとして、Kavli IPMUに対する2017年度から5年間にわたる支援延長が適当と評価しました。

東京大学国際高等研究所の英文名称、変更される

2015年4月1日より東京大学国際高等研究所の英文名称が、Todai Institutes for Advanced Study (略称TODIAS) から The University of Tokyo Institutes for Advanced Study (略称UTIAS) へ変更されます。これは東京大学の英文略称が“Todai”から“UTokyo”に変更されたことに伴うもので、ロゴマークも変更されます。なお、和文名称には変更はありません。

小松英一郎客員上級科学研究员、2014年度林忠四郎賞を受賞

マックスプランク天体物理学研究所ディレクターでKavli IPMU客員上級科学研究员を兼ねる小松英一郎さんが「宇宙マイクロ波背景放射に基づく精密宇宙論の開拓」により2014年度林忠四郎賞を受賞しました。小松さんは2001年から2010年まで宇宙マイクロ波背景放射の精密観測を行ったWMAP衛星の実験グループに参加し、論文の筆頭著者を努めるなど、主要メンバーとしてデータ解析やデータの理論的解釈をリードし、宇宙物理学分野の発展に寄与してきたことが評価されました。



小松英一郎さん

中家剛客員上級科学研究员と塩澤真人上級科学研究员に第6回戸塚洋二賞

京都大学大学院理学研究科教授でKavli IPMU客員上級科学研究员の中家剛さんと東京大学宇宙線研究所教授でKavli IPMUの上級科学研究员の塩澤真人さんが、高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所教授の小林隆さんと共同で、T2K長基線ニュートリノ振動実験での「加速器ニュートリノビームによる電子ニュートリノ出現現象の発見」により、第6回戸塚洋二賞を受賞しました。



中家剛さん



塩澤真人さん

小林俊行主任研究员、2015年JMSJ論文賞を受賞

東京大学大学院数理科学研究科教授で、Kavli IPMU主任研究员の小林俊行さんが2015年JMSJ論文賞を受賞されまし



小林俊行さん

た。この賞は前年の *Journal of the Mathematical Society of Japan (JMSJ)* に掲載された論文の中から、特に優れた論文(3篇以内)の著者に贈られます。今回の受賞論文は、“Minimal Representations via Bessel Operators (ベッセル作用素による極小表現の理論)”, *JMSJ* 66 (2014) 349-414”で、共著者である Joachim Hilgert, Jan Möllers 両氏との共同受賞です。

カリフォルニア州サンノゼにおけるAAAS年次大会にWPI拠点が合同参加

アメリカ科学振興協会(AAAS: American Association for the Advancement of Science)の第181回年次大会が2015年2月12日から16日の5日間、米国カリフォルニア州サンノゼで『Innovations, Information, and Imaging』をテーマに開催され、シカゴで行われた昨年到现在に続いてWPIの全9拠点が合同でブースを出展しました。ブースでは各拠点のパネルや、パンフレット等が展示され、文部科学省と日本学術振興会からWPI担当者、及びKavli IPMUを含む8拠点から職員が参加して説明を行いました。展示を行った3日間にブースを訪れた400名弱の人たちには、WPIプログラムおよび各拠点の研究活動や成果を直接伝えることで、興味深く聞いてもらうことができました。Kavli IPMUはAAAS年次大会に4年連続で職員を派遣して参加したことになります。次回は2016年2月に米国ワシントンD.C.で開催される予定です。

スプリング・サイエンスキャンプ「天文、物理と数学で宇宙の謎とときに挑戦」を開催

2015年3月25日から27日までの3日間、Kavli IPMUで「スプリング・サイエンスキャンプ 2015天文、物理と数学で宇宙の謎解きに挑戦」が開催されました。

スプリング・サイエンスキャンプ 2015は、科学技術振興機構(JST)の事業の一つである科学技術系の人材育成の一環として行われた高校生向けの

科学技術体験合宿プログラムです。3月の春休み期間中、様々な分野において、先進的な研究テーマに取り組む大学、民間企業等の12会場で、それぞれ8～20名（計168名）の規模で実施され、参加者は2泊3日の合宿生活を送りながら、第一線で活躍する研究者・技術者による直接指導を受けました。

Kavli IPMUのプログラムへの参加者は、日本全国から応募し、高倍率の書類選考で選ばれた男女各10名の高校生で、物理学者、数学者、天文学者による最先端の研究の講義や実習を通して、宇宙の謎を解き明かす研究を体験しました。講義や実習の終了後、夕方には講師およびティーチング・アシスタントの大学生、大学院生との交流会や質問コーナーが設けられ、講義と実習で聞き足りなかったこと、大学生生活、研究者の生活についてなど、じっくり話し合うことができました。また、午後3時のKavli IPMUのティータイムにも参加し、国内外の研究者との交流も楽しみました。最終日には参加者発表会が行われ、修了証書が授与されてキャンプが終了しました。



高田教授による講義



天文学実習風景

一般講演会「超新星から探る宇宙の姿と運命」を開催

2015年3月29日に東京大学本郷キャンパスの弥生講堂一条ホールにおいて、Kavli IPMU主催の一般講演会「超

新星から探る宇宙の姿と運命」が開催され、約200名が来場しました。この講演会は、Kavli IPMUの主要な研究テーマの一つである超新星研究の最先端を広く一般に発信する目的で開催されたもので、主任研究員の野本憲一教授が「超新星とは」、マーク・ヴェイギンズ教授が英語から日本語への同時通訳つきで「超新星からのニュートリノ」、鈴木尚孝助教が「暗黒エネルギー発見物語」と題して講演しました。3人の講演終了後には、講師を囲んでのティータイムが設けられ、参加者からの質問が続きました。



講演する野本憲一教授



講演するマーク・ヴェイギンズ教授



質問に答える鈴木尚孝助教

人事異動

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。]

岡部信広さん [2013年9月1日 - 2015年2月28日]、Kavli IPMU 博士研究員から広島大学大学院理学研究科助教へ。

長崎晃一さん [2014年4月1日 - 2015年3月31日]、日本学術振興会特別研究員から高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所協力研究員へ。

高野浩さん [2014年4月1日 - 2015年3月31日]、日本学術振興会特別研究員から Kavli IPMU 学術支援専門職員へ。

訂正

前号のKavli IPMU News No. 28の
 ・44ページ第2コラム（中央）本文の下から6行目、「フィーブル賞」を「フィールズ賞」に
 ・48ページ第1コラム（左端）本文の2行目、「ポアンカレ」を「パスツール」に
 ・51ページ第1コラム（左端）下から10行目より、「超弦理論」を「超重力理論」に
 それぞれ訂正します。（Web版では訂正済みです。）



ニュートリノ振動の物質効果

マイケル・スミ カリフォルニア大学アーバイン校物理学・天文学科研究員、Kavli IPMU客員准科学的研究員

電子ニュートリノやミューニュートリノといったニュートリノの種類のことをフレーバーという言葉で表します。決まったフレーバーのニュートリノは、質量の固有状態のある決まった線形結合で表されます。ニュートリノが空間を伝播すると、質量の固有状態の間の位相のずれのために、フレーバーの振動が起きます。質量 m の固有状態の全エネルギーが E のとき、真空中で距離 L を伝播すると（質量エネルギーが全エネルギーよりはるかに小さければ）、位相 $L(E - m^2/E)$ を獲得します。物質中を伝播する際、電子ニュートリノは弾性散乱が他の種類（フレーバー）のニュートリノの弾性散乱と異なるため、余分な位相のずれが生じて振動に影響します。太陽の中心核では密度が高いため、発生した太陽電子ニュートリノは全エネルギー約 5 MeV 以上の場合、共鳴的に 2 番目の質量固有状態に転換されます（これを Mikheyev-Smirnov-Wolfenstein 共鳴と呼びます）。一方、全エネルギー 1 MeV 以下の太陽電子ニュートリノは、伝播による位相差によってのみ振動します。地球上では、この現象は太陽ニュートリノビーム中の電子ニュートリノの割合がエネルギーに依存するようになります。加えて、夜に観測される太陽ニュートリノは地球を通過してくるため、電子ニュートリノではない太陽ニュートリノのうちの一部が電子ニュートリノに戻り、電子ニュートリノの割合に日変化が生じます。スーパーカミオカンデはエネルギー依存性と日変化の両方を調べてきました。これまでのところ、有意度 $\sim 3\sigma$ で約 5% の日変化の兆候を突き止めましたが、太陽ニュートリノの共鳴効果によるエネルギー依存性はまだ証拠が得られていません。

