

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

Message

Addresses given at the Kavli IPMU 10th Anniversary Ceremony

Interview with Andrei Okounkov

SPECIAL ISSUE: KAVLI IPMU 10TH ANNIVERSARY



40

No.

December 2017

Kavli IPMU NEWS CONTENTS

English

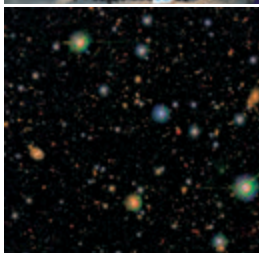
- 3 **Director's Corner** Hitoshi Murayama
Hitoshi Murayama at Work
- 4 **Message**
Addresses given at the Ceremony for the Kavli IPMU 10th Anniversary
Makoto Gonokami
Masashi Takigawa
Shing-Tung Yau
David J. Gross
Yasunao Seki
Hiroyasu Akiyama
Akira Ukawa
Steven Kahn
Robert W. Conn
Mikhail Kapranov
Tom Melia
Hitoshi Murayama
- 20 **Special Contribution**
Kavli IPMU 10th Anniversary Symposium
Hirosi Ooguri
- 24 **Interview** with Andrei Okounkov
- 30 **Our Team** Neil David Barrie
Shao-Feng Ge
Tilman Hartwig
Tatsuki Kuwagaki
Jin-Mann Wong
Louis Yang
- 32 **Tea Break**
What's "IPMU Mechanism Length"?
Kenzo Nakamura
- 33 **Workshop Report**
Focus Week on Primordial Black Holes
Alexander Kusenko
- 34 **News**
- 38 **Quiver** Akishi Ikeda

Japanese

- 39 **Director's Corner** 村山 斉
近況
- 40 **Message**
カブリ数物連携宇宙研究機構10周年記念式典におけるスピーチ和訳
五神 真
瀧川 仁
シン-トゥン・ヤウ
デイビッド J. グロス
関 靖直
秋山 浩保
宇川 彰
スティーヴン・カーン
ロバート W. コン
ミハイル・カプラノフ
トム・メリア
村山 斉
- 56 **Special Contribution**
カブリ数物連携宇宙研究機構10周年記念シンポジウム
大栗 博司
- 60 **Interview** アンドレイ・オクンコフ教授に聞く
- 66 **Our Team** ニール デイヴィッド・バリー
葛 韶鋒
ティルマン・ハートウィック
桑垣 樹
ジンマン・ウォン
ルイス・ヤン
- 68 **Tea Break**
"IPMU Mechanism Length" って何だろう?
中村 健蔵
- 69 **Workshop Report**
原始ブラックホールに関するフォーカスウィーク研究会
アレクサンダー・クセンコ
- 70 **News**
- 72 **簞(えびら)** 池田 暁志



Group photo at the ceremony for the Kavli IPMU 10th anniversary.
カブリ数物連携宇宙研究機構10周年記念式典参加者。



Background image: from HSC/Subaru Telescope.
The Subaru Telescope is operated by the National Astronomical
Observatory of Japan, based in Mitaka, Japan.
Image processing by Nate Lust and other members of the LSST/HSC
software team.

Hitoshi Murayama at Work

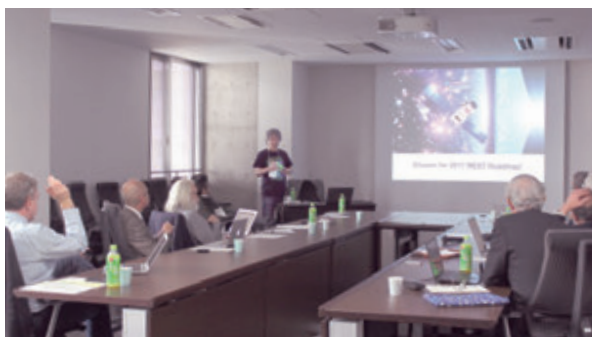
Director of Kavli IPMU
Hitoshi Murayama



October 10: Award ceremony for the University of Tokyo Shokumon Award (see p. 35). Front row: (center) President of the University of Tokyo Makoto Gonokami, (2nd from the left) Hamamatsu Photonics K.K. President and CEO Akira Hiruma. Back row: Director Murayama and other Kavli IPMU people. (Credit: The University of Tokyo.)



October 16: Kavli IPMU Chamber Orchestra and 4 members of the University of Tokyo Orchestra. They played Beethoven's "Ode to Joy" and Johann Strauss Sr.'s "Radetzky March" at the ceremony for the Kavli IPMU 10th anniversary. Director Murayama played the double bass (see pp. 20 - 23).



October 18: Kavli IPMU External Advisory Committee listen to Director Murayama's overview presentation (see p. 34).



October 30: Director Murayama introduced the University of Tokyo's Institute for Cosmic Ray Research Director and Kavli IPMU Principal Investigator Takaaki Kajita at the 2017 CSJ (Center for Japanese Studies, UC Berkeley)-JSPS (Japan Society for the Promotion of Science) International Symposium held at the International House Berkeley, where Professor Kajita was honored with the 2017-2018 Berkeley Japan Prize (see p. 35). (Credit: JSPS San Francisco Office.)



November 7: *Physics World* interviews Director Murayama. (<http://blog.physicsworld.com/2017/11/07/a-decade-of-success/>).



December 15: Award ceremony for the 2017 President's Awards for Business Transformation, held at the Yasuda Auditorium on Hongo campus (see p. 35).

Message

Addresses given
at the Ceremony
for the Kavli IPMU
10th Anniversary

Makoto Gonokami

President of the University of Tokyo



Good afternoon, distinguished guests, Ladies and Gentlemen.

On behalf of the University of Tokyo, the host institute of the Kavli IPMU, I would like to say a few words.

First of all, I am very happy to attend this 10th anniversary celebration of the Kavli IPMU. I would like to thank everyone who have come to join us in these celebrations.

When IPMU was proposed as a WPI in 2006, I was in a special position to support President Komiyama and I learned about the plan from Professor Murayama. There were two major goals: One was to solve the mystery of the universe. The other was to introduce a truly international environment in our university. The proposal was very exciting, but, to be honest, I thought the goals were too ambitious.

I am a physicist too. So, I know it is almost impossible for basic research to produce major results according to a fixed plan in a limited period. I also thought that creating a truly international environment was not

easy.

In 2007, I was invited to be a member of IPMU's External Advisory Committee. And, in April 2015, I took office as President of the University of Tokyo. Through these years, I have watched IPMU become a truly international institute. I am very impressed by how the Kavli IPMU managed to achieve so much. It has recruited top-level scientists from around the world. Half of its members are international. And, thanks to the Kavli Foundation, it attracted a major international donation. It became the first Kavli institute in Japan.

As President, I would like to praise their effort to build a truly international research institute that is highly competitive in the world.

Now, it has achieved international recognition as a top-class research institute. In its 10 years of history, more than 60% of the papers published by Kavli IPMU researchers were based on international collaborations. Every year, more than 600 people apply for jobs at Kavli

IPMU, and about 500 international visitors come here. More than 40% of its past postdocs are on faculty positions in many institutes around the world. In terms of highly cited papers, it competes well with world leading institutes, such as the Institute for Advanced Study in Princeton. This shows how internationally competitive the Kavli IPMU has become.

Indeed, it has had a great impact on our University, in terms of not only academic activity, but also strengthening our research environment. We gave special treatment to the Kavli IPMU to encourage them to introduce system reforms to become more competitive. Many of the new systems that the Kavli IPMU introduced have now become a part of our University-wide systems.

I really appreciate Professor Murayama for his great effort in achieving all of this. When I met Professor Murayama in 2006, I was struck by his vision and his energy. He was very young. He was 42.

And he was different from other people. He had a charisma that made people take a second look. He attracted many young and excellent researchers. He was very persuasive. He was able to introduce new systems to make our University even stronger. People admired his public lectures very much. He brought in huge support from the public.

The Kavli IPMU truly made a difference, and I am convinced that it will continue to do so in the future. As President of the University, I will do everything I can to support the Kavli IPMU.

Last year, we were very pleased that the MEXT approved a five-year extension of the funding for the Kavli IPMU. Last month, we were also very excited to learn that MEXT accepted our new WPI proposal to launch the International Research Center for Neurointelligence (IRCN). IRCN sets an ambitious goal of understanding human intelligence. The team will include our world-leading researchers from medicine, biology and AI. Importantly, we also aim to

combine it with the humanities and social sciences, and this will make IRCN truly unique. IRCN will cover a broad range of academic disciplines. In the application process, I also gave a presentation at the panel hearing. I emphasized that the Kavli IPMU is a great success and we can use their knowhow to quickly establish the IRCN. And I felt that this was very persuasive. I hope that there will be active academic collaboration between the Kavli IPMU and IRCN. I also I hope that the two institutes will work closely together to drive the internationalization of the whole of the University of Tokyo.

The University of Tokyo's mission is to contribute to humanity by creating new value through excellent research and education. Basic science is the foundation of the value that we create. I am pleased that the Kavli IPMU has become a world-leading research institute.

We have many things to learn from its success. I believe that by using these experiences, we can further strengthen the research and

education of the University of Tokyo.

Thank you, and congratulations again on the 10th anniversary of the Kavli IPMU!

Masashi Takigawa

Director, Institute for Solid State Physics; representing the Kashiwa Campus



Professor Murayama, distinguished researchers of the Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, ladies and gentlemen, on behalf of the Kashiwa campus of the University of Tokyo, I would like to express my hearty congratulations on the occasion of the 10th anniversary of the Kavli IPMU.

The Kashiwa campus is one of the three main campuses of the University of Tokyo and is the youngest one, which started in 2000. Since then, cutting edge research in various fields of science has been actively pursued by several research institutes, as well as the Graduate School of Frontier Sciences. Therefore, all of us were very excited ten years ago when IPMU was born in Kashiwa as a World Premier International Research Center designated by the Japanese government. It is needless to say that outstanding research of IPMU based on the unique integration of Physics, Mathematics and Astronomy to solve fundamental problems of the universe has enormously enhanced

the scientific diversity and reputation of the University and the Kashiwa Campus. In addition, I would like to emphasize that the researchers of IPMU from all over the world brought international atmosphere and cultural diversity to the campus. A large fraction of the researchers of IPMU including external visitors are from outside Japan. I appreciate that their presence and interaction with people of the campus has provided rich and stimulating environment.

Let me also mention that our institute ISSP, the Institute for Solid State Physics located next to the IPMU building, has been enjoying very fruitful interaction with IPMU. The target of our research, which includes various novel materials often with structures of nano-meter scale, is very different from the universe, the target of particle and astrophysics. Nevertheless, both fields are based on common principles of physics and it often happens that an idea developed in one field turns out to be very useful in the other field. In fact, IPMU and ISSP have hosted

several workshops jointly in the past and we saw some excellent papers came out from cross-disciplinary collaboration between IPMU and ISSP. Such kind of collaboration is truly fruitful and I hope it will be stronger and more extensive in future.

Once again, I would express my sincere congratulations for the remarkable scientific achievements of IPMU in the last decade and wish all the members of IPMU an even more successful future. Thank you very much for your attention.

Shing-Tung Yau

Professor, Harvard University



Good afternoon, leaders of the University and the Government, ladies and gentlemen, it's a great honor for me to be invited to give a short speech in celebration of the 10th anniversary of the Kavli IPMU Center. The opening of this remarkable center has afforded Japan a strong leadership position in mathematics and physics, both in Asia and throughout the world. Historically, Japanese mathematicians and physicists have played fundamental roles in creating new ideas and solving important problems in both subjects. In fact, starting from the great achievement of Professor Takaaki and Yukawa, about 100 years ago, we have seen many Japanese scholars who have opened up important research areas that have remained influential up to modern times.

To name a few such achievements, let me cite some that I am familiar with. Professor Ito, who was in the University of Tokyo, conceived of stochastic differential equations that are being used in all areas in applied mathematics and physics.

Kodaira and Hironaka created a substantial part of modern algebraic and complex geometry that has been vital to modern geometry and its interactions with physics. Sato and his students created a whole new field of hyperfunctions in micro-local analysis that has led to spectacular applications in statistical physics and many fields in mathematics.

These are all grandmasters whose names will be remembered in the history of mathematics, following the tradition of Gauss, Riemann, Poincaré and Hodge and many others. And these Japanese leaders, in turn, are now being followed by new generation of younger scholars, many of whom are presently at this center. In the last 50 years, we have witnessed tremendously important interactions between mathematics and physics, which has contributed greatly to our understanding of the laws of the universe. The leaders of this center have helped to create many important branches of this part of modern science. A number of them have made critical contributions to

my own area of research including Professor Saito and Professor Ooguri whose tremendous originality has continued to impress us over the past 30 or so years.

Now, in the 21st century, many areas of science will need ideas from other fields, requiring interactions of a deep fundamental nature. This endeavor calls for scholars of many different countries to come together. The Kavli IPMU Center has been, and will remain, a place where this coming together of scientists and disciplines can magically occur.

I congratulate the Japanese Government for providing such strong support for this center, and the success of the center should encourage further support from the government and the private sector. There certainly should be strong support from Chinese and American quarters as well, in appreciation of the expansion of the knowledge that has come from this great center of contemporary thought. If I personally can be of any help, I will do it. Thank you very much.

Message

David J. Gross

Professor, University of California, Santa Barbara



It is a great pleasure to be back here after 10 years, since the inauguration of this institute 10 years ago. It seems like yesterday. It is amazing how much has been achieved in such a short period of time. In the beginning, this was the Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, and shortly after, it became the Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, and in ten years, so much has been accomplished.

I have advised many institutes of this type that do fundamental science, mostly physics, around the world: in Brazil, in China, in Europe, and in the United States. I often try to summarize the advice that I give them by saying that there are only three guidelines to creating a great institute: excellence, excellence and excellence. IPMU followed that advice. IPMU has an excellent plan, it has excellent people, and it has excellent leadership. At IPMU, they have created a uniquely broad combination of people and institutions, including many of the leading scientists in Japan and from abroad, who probe the secrets of the universe using the language of science (mathematics), centered around the queen of science (physics), and with the oldest science of all (astronomy), or, as it is now known, as astrophysics and cosmology.

As the ex-director of a somewhat similar institute of fundamental science, the KITP, which almost 15 years ago became the first Kavli institute, I was very interested in the establishment of this new institute. Although supportive, and doing whatever I could to help, I was somewhat skeptical. Can they carry it off? Having given advice to many places throughout the world, I was aware that not all of them have succeeded. It is not easy to create a new institute. It is not easy to attract excellent people from around the world to come to a new institute. It is not easy to get the funding to make long-term investments, and to survive. I was also curious as to what they would do. Would they just copy what has been done in other places, or would they come up with some new ideas? I must say that I have been impressed, beyond my expectations, with the results that have been achieved.

I am especially impressed with many of the very new and innovative initiatives undertaken under the dynamic and creative leadership of the founding director of the IPMU, Hitoshi Murayama, and his colleagues. These include building a vibrant research staff of nearly 200 people, of which, I gather, at least 30% are from outside Japan. This would be unusual in any country, and is especially unusual in Japan.

They have made English the institute's official language, and thereby created a truly international institute, in a way that I think is clearly a breakthrough in Japan. Most importantly, they are pursuing scientific breakthroughs with this very broad and dynamic fusion of different scientific disciplines, and also by motivating people, by creating new interactions and joint research programs, and by seizing upon opportunities wherever they can. As an ex-director, these achievements impressed me greatly.

In my field of fundamental physics, I can certainly attest that, in this very short period of ten years, IPMU has become one of the top research institutes in the world and is widely known as such.

So, in conclusion, I congratulate the government of Japan, the WPI initiative (which I think was a brilliant idea), the Ministry of Education MEXT, Tokyo University, the Kavli Foundation, and, most of all, the leadership, the staff, and the scientists at IPMU who have created so much, in such a short time, with enthusiasm and dedication. I have no doubt that IPMU is here to stay, and will continue to develop and flourish and contribute to Japan and to science. I hope to be here for the 20th anniversary. Thank you.

Yasunao Seki

Director-General, Research Promotion Bureau of Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology



Ladies and gentlemen, on behalf of Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, I would like to extend my sincere congratulations to the researchers and staff of Kavli IPMU for the institution's 10th Anniversary. It is my pleasure to offer a few words on the occasion of the 10th Anniversary Ceremony.

The WPI program aims to enhance the level of science and technology in Japan and to continuously trigger innovation that serves as an engine of the future growth, by establishing world-class basic research centers which attract top-notch researchers from all over the world and form the "pivotal hubs for global brain circulation".

Founded in 2007, in the same year as the WPI program was launched, the Kavli IPMU of the University of Tokyo constantly has achieved the outstanding research results through the interdisciplinary approach between mathematics, physics and astronomy while playing a major role as a 'world premiere' research center

in the global sphere of research. It has also greatly contributed to the success of the WPI program as a leading model of the WPI center.

I believe it is due to the considerable effort devoted by Director Murayama, all researchers and staff of the Kavli IPMU for conducting vigorous research and developing the first-rate research environment for such a long period of 10 years.

In addition, I think it was only possible with the cooperation from many, such as a substantial support provided by the host institution, the University of Tokyo, and the generous supports offered by the stakeholders including the Kavli Foundation.

I would like to express my respect to all of you for your great efforts up until now.

Following the past 10 years, the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology will work hard to ensure that Kavli IPMU will continue carrying out excellent research activities and accelerate its further development to be held in

high esteem globally.

In closing, I wish you all the best for your future endeavors. Thank you.

Hiroyasu Akiyama

Mayor of Kashiwa City



I would like to offer my congratulations to the Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe as they celebrate their 10-years anniversary.

The most important feature of the Kavli IPMU is that physicists, mathematicians, and astronomers can work together on their research in the same place. Because of this very unique effort, the Kavli IPMU has earned a high reputation worldwide. In addition to being a source of pride among our residents for being based here in Kashiwanoha, the accomplishments from the research have received great acknowledgement, and been granted an extension for their activities as a World Premier International Research Center Initiative (WPI) with the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). Dr. Hitoshi Murayama, the director of the Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, the researchers and staff, as well as everyone with the University of Tokyo, all deserve our deepest respect for their extraordinary work and the results of their endeavors.

Our city is located about 30 kilometers from the heart of the Tokyo Metropolitan Area, and has a population of about 420,000 people. Kashiwa is a key area for transportation, with two

national highways and expressways, and three major railways JR Joban Line, Tobu Urban Park Line, and the Tsukuba Express Line all providing access. This area is blessed with an abundance of nature, and has been developed as a bedroom community to the metropolitan area. Among the highlights of our city are the downtown area around Kashiwa Station, with commercial shops including major department stores, and the large commercial activity base that draws in the younger generation. There is also a rich natural water area around Tega Lake, and a thriving urban agriculture community has been developed, which produces an abundance of fruits and vegetables.

The development of the Kashiwanoha area where the Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe is located, began in 2005 with the opening of the Tsukuba Express railway. In just 12 years, the area has seen an incredible amount of development, not only with commercial establishments, hospitals, and large condominium complexes, but also as a new city center which has accumulated a number of scientific research institutes including the University of Tokyo and Chiba University.

The Kashiwanoha Campus Area in particular is moving towards the

creation of an international scientific city. The development of the area places a great importance on scientific research resources and activities, and internationalization. The community-building centers on the Kashiwanoha International Campus Town Initiative, which comprises six participants, Chiba Prefecture, Kashiwa City, the University of Tokyo, Chiba University, Mitsui Fudosan Co. Ltd., and the Independent Administrative Institution, the Urban Renaissance Agency (UR). Based on the principle of our Initiative, "harmony between university and town," we hope to realize the Initiative's three pillars of an Environmental-Symbiotic City, City of Health and Longevity, and City of New Industry Creation, through public, private, and academic partnerships. In particular, we hope to promote advanced city planning utilizing the state of the art knowledge from the University of Tokyo.

The Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe continues to develop as a pioneer, clearing a path through the field of space research. I would like to offer my congratulations, and I hope that, with the cooperation between the University of Tokyo and Kashiwa City, the Kashiwanoha Campus area continues to develop even more as a "pillar of knowledge on which the world can depend."

Akira Ukawa

Deputy Director, RIKEN Advanced Institute for Computational Science; WPI Program Director



Ladies and gentlemen, distinguished guests, Professor Murayama and all members of Kavli IPMU.

It is my great pleasure to be here as Director of the WPI Program, and present a few words on the occasion of the 10th Anniversary Symposium of Kavli IPMU.

The WPI Program was launched 10 years ago in 2007. The Program aims to create research centers in Japan that are internationally opened and globally visible. It was strongly felt at the time that, science in Japan, though already having had distinguished history, was still suffering from borders and barriers hindering progress.

Accordingly, four missions were set up for the research centers of the WPI Program. First, of course, is that Top Level Science should be conducted. This does not simply mean progress in already existing disciplines but, more importantly, breaking the barriers and borders of disciplines and scientific communities. Hence the second mission of Fusion Research. The third is Globalization going beyond national borders, and the fourth is the Reform of the traditional Japanese research system which is full of borders and barriers.

In the course of 10 years since the start of the Program, 9 WPI centers have been established. These 9 centers cover the frontiers of science ranging from the Origin of the Universe/Earth/Life to Materials/Energy and Life Sciences.

Kavli IMPU is one of the first 5 centers launched in 2007. It aims to study the crucial questions of our Universe by physics and mathematics, and by theory, experiment, and observation.

I am happy to say that the first decade of Kavli IPMU has been an impressive success in each of the four missions of the WPI Program. The top level of science, and success in the fusion of physics and mathematics, is apparent if one only looks at the scientific program of the 10th Anniversary Symposium and appreciates the speakers and their expertises. Physics and mathematics have long been the areas where the activities have transcended national borders and continents. Even so, the success of Kavli IPMU to establish a truly international research hub in Japan, far away from both American and European continents, is a remarkable feat. Finally, by endeavoring to establish a

research environment that conforms to the international standard, Kavli IPMU has led the system reform of University of Tokyo.

Needless to say, the strong leadership of Hitoshi Murayama, many top level scientists who gathered at Kavli IPMU, and the strong support of University of Tokyo, have been instrumental in bringing out this success. I would like to express the highest appreciation for their effort.

Now, Kavli IPMU has entered into the second decade of its activity. It is my sincere hope that Kavli IPMU continues to develop further by making further challenges in the quest toward the origin of our Universe.

Let me end by saying that, just as Kavli IMPU, the WPI Program is also developing. This year, two new WPI Centers have been selected to start their activity.

These are International Research Center for Neurointelligence of the University of Tokyo, and Nano Life Science Institute of Kanazawa University. It is my sincere wish that Kavli IPMU continues to be the model for WPI research centers in the years to come. Thank you very much.

Steven Kahn

Professor, Stanford University; Chair of the External Advisory Committee for Kavli IPMU



Thank you very much for the invitation to be part of this extremely distinguished panel congratulating KIPMU on the first 10 years of its existence. Most of those of us who have been on the External Advisory Committee for this institution have been with it for a number of years, almost from the beginning. We have witnessed the construction of this building, the award from the Kavli Foundation the first major private funding of an academic institution in Japan, the creation of UTIAS, the conferral of World Premier Status, and, of course, the renewal of funding for KIPMU programs over many years.

We have also witnessed the growth and evolution of Hitoshi Murayama from a brilliant young particle physics theorist to a brilliant academic administrator, political strategist, leader of large experimental collaborations, expositor extraordinaire to the general public about fundamental science, and, more recently, “ambassador” to the United Nations on behalf of science

and extraterrestrial intelligence.* We have also seen a large number of outstanding young physicists, astronomers, and mathematicians come through KIPMU, and we have followed their remarkable achievements as they have distributed themselves over a number of distinguished sister institutions around the world.

The uniqueness of KIPMU is its breadth. In our last report, we pointed out that there is no other institution like this in the world, which combines pure mathematics with theoretical physics, experimental physics and observational astronomy. It is that combination that has made it particularly interesting to serve on this Committee. During our annual visits, we have benefited from hearing in-depth presentations of the significance of new results from both the scientists and mathematicians here at KIPMU, and from our colleagues among the Committee members. For me personally, that has been one of the most rewarding elements of being part of this.

As we have all seen, it has been an absolutely remarkable decade for this field. We witnessed the discovery of the Higgs boson, the increasing confirmation of the Concordance Model of Cosmology that includes the mysteries of dark energy, dark matter, and inflation. The unbelievable success of the Standard Model of Particle Physics in explaining a large number of interactions at the B-factory at KEK, as well as at SLAC, and more recently, the first detection of gravitational waves from colliding black holes and colliding neutron stars. This has been a tremendously fun time to be in this field and to witness such a remarkable institution move forward from its inception. Therefore, on behalf of the External Advisory Committee, let me congratulate again the leadership and all those involved with KIPMU. Thank you.

* See, *Kavli IPMU News* No. 28, pp. 4-6 and p. 33, as well as its cover.

Robert W. Conn

President and CEO, The Kavli Foundation



I'd like to begin by thanking President Gonokami, Mayor Akiyama, the various members of the government ministry MEXT – particularly Dr. Seki and Dr. Ukawa – and the distinguished people here today. As importantly, I'd like to express thanks and congratulate the Japanese government for its conception of the absolutely unique idea of the World Premier International Research Center Initiative, known as WPI. We have many science institutes in the United States funded by our government agency, the National Science Foundation. But the notion of establishing top-tiered research institutes that bring researchers from around the world, use English as the lingua franca of communication among the scientists in the institutes, and doing this in Japan ... well, this is very distinctive and special.

You – the Japanese Government and people – have been innovative and imaginative, and you have put something together of very large scale. When I look at what you are attempting to achieve by way of

globalized scientific activity – both projecting science out of Japan, as well as bringing scientists and science to Japan – this is a remarkable thing, and not something I've seen anywhere else in the world. So, for all of this, I congratulate the Japanese government, the University of Tokyo and its people, Hitoshi Murayama, the director of the Kavli IPMU, the Institute's leadership team, and all the members of the Kavli IPMU.

The Kavli Foundation became very aware of IPMU when we began thinking about our next generation of Kavli Institutes. As David Gross pointed out, the Kavli Institute for Theoretical Physics at UC Santa Barbara, where he served as director for many years, was announced as KITP in 2002, and it became the first Kavli institute. Over the next seven years, The Kavli Foundation established and funded 14 more Kavli Institutes.

During the Great Recession that began in 2008 and extended well into 2010, we stopped our large programs and began thinking about what we would do next

once things recovered. And when that opportunity arrived, we began to look at where in the world the best work is being done in the science fields that we provide support. At The Kavli Foundation, we support basic research in four areas: astrophysics and cosmology, nanoscience, neuroscience, and theoretical physics. We do so by providing funding whose use is unconstrained. So, when we looked around the globe at what was being achieved, one place that stood out was here, at the University of Tokyo, and what you were attempting to do with the IPMU.

Today, we are celebrating the 10th anniversary of the IPMU, and the 5th anniversary of the Kavli IPMU. With that in mind, I want to point out the portrait of Fred Kavli on the back wall of this room. There are only five of these portraits, each distinct. There's another at the Norwegian Academy of Science and Letters in Oslo, Norway, the country where Fred Kavli was born. A third portrait hangs outside the Fred Kavli Auditorium at the U.S. National Academy of

Message



Figure 1: Celebrating the establishment of Kavli IPMU. Kavli IPMU Director Hitoshi Murayama and Fred Kavli in 2012.



Figure 2: Left to right: Robert W. Conn, President and CEO, The Kavli Foundation, Hitoshi Murayama, Fred Kavli, and Japanese PM Yoshihiko Noda. (2012).

Sciences in Washington, D.C. There is a fourth hanging at the Kavli Royal Society International Centre in the U.K., and the Foundation has the fifth and last portrait. So it is wonderful to see Fred's portrait here, especially in this room and during this very special celebration.

Fred Kavli was an extraordinary person with an extraordinary vision. He liked to say he was a physicist by training, and he was; but he was also an engineer, and a very inventive one at that. He was also a remarkable businessman and entrepreneur who created a great fortune.

When he thought about what to do with his wealth, Fred Kavli decided to give it all back in support of basic science. People like David Gross, here today, and many others had a large influence on Fred as he thought about what to do. In 2000, he began the Foundation with \$100–150 million. That is a lot of money but modest by philanthropic standards in the United States. Now, that sum is more than \$600 million, no longer modest by any standard, and all of it is from Fred Kavli. He

gave it all The Kavli Foundation for support of basic science.

The establishment of the Kavli IPMU was one of the two last great events of Fred Kavli's life. When you look at the picture of Fred and Hitoshi (Figure 1), taken at the ceremony when the Kavli IPMU was announced in May 2012, you see in his face the enthusiasm he had for doing something in Japan that was going to be truly transformative from a scientific point of view. In this picture, he is holding a gift commemorating that moment, and you can see that he cares enormously, just as we at The Kavli Foundation care enormously, about your success in pursuit of great questions in science. During our visit then, we could tell that great science was happening and Fred is expressing that joy.

I remarked earlier about what I consider to be this extraordinarily innovative and imaginative approach of the WPI program that you have undertaken here in Japan. We don't get to visit the prime minister or president of most countries, but

when we came for the inauguration five years ago of the Kavli IPMU, we were graced by the willingness of the Prime Minister of Japan to visit with us, and he did. We had that visit in his office. It was Prime Minister Noda at the time.

You can see here the four of us with a rather special wine glass (Figure 2). The glass is a beautiful piece of art, with the blue bowl of the glass celebrating cosmology and the universe's evolution from the big bang until now. In this picture, we are enjoying a laugh together after the Prime Minister asked, "What's this glass about?"; and Hitoshi helped him out with the explanation. But more importantly, the presence of the Prime Minister was an expression by the leader of the government and people of Japan that science is important, and we were very appreciative that he met with us.

The celebration then, with people coming from around the world, just as the celebration today, reflects the character of what you have established here. In the United States, we have had many people come



Figure 3: The Kavli Foundation community of programs and initiatives.



Figure 4. Fred Kavli, founder of The Kavli Foundation (1927-2013).

from Europe and Asia, including from Japan, to contribute to our science. This is now what you're doing. And just as it was very successful for us, I think it's going to be extraordinarily successful for you.

Let me say a few words about The Kavli Foundation and its work. As you know, our mission is to support basic science for the benefit of humanity. It's a core belief, you might say, that if you do the basic research, the results will contribute to humanity in ways that are unpredictable but certain to happen. I feel deeply confident in this statement. Why? Well, if you ask why over the past century-and-a-half the average life expectancy of people has increased from 45 to 85 years in so many countries, you can trace that fact to just two things. One is achievements in engineering that have led to cleaner air, cleaner water, and addressed the sources of disease such as sanitation. Pasteur understood all that. The second is the contributions of basic science. These two developments have changed life around the world in ways never seen in human history. It has made

life extraordinarily different, and here in Japan, where you have one of the longest average life spans in the world, it's because of science. That's the simplest measure, life expectancy, of why supporting science is so important - it benefits everyone.

The program areas we support at a Foundation are shown in the graphic that is Figure 3. The red circles represent our programs supporting basic science and accounts for more than two-thirds of everything we spend. By the way, the Kavli Institutes receive the bulk of this support.

But we also care enormously about public understanding and public appreciation of science. Why? We in science want to do lots of things and to do our work, we need governments to invest generously in research. Governments, lest we forget, spend the people's money. It follows that people - citizens - need to understand how basic research benefits humanity, why scientists work the way we do, and why it can take a long time to make from breakthrough discoveries to extraordinary benefits to society. This

is the reason there are three Nobel prizes that were awarded across a span of more than 60 years, each associated with the basic scientific discoveries, that underlie the MRI's everyone gets these days. Not one, not two, but three different Nobel prizes underpin the science of an MRI, the most widely used diagnostic today in medicine. The green circles in Figure 3 are the programs we support in this important area.

The year 2012 was the last year that Fred Kavli lived life to its fullest. In that year, as I said earlier, he came to Japan to celebrate the inauguration of your Kavli Institute the Kavli IPMU. That September, he traveled to Oslo for the 2012 Kavli Prizes. Later that year, he became gravely ill and in 2013 he passed away at the age of 86, having lived a long and fruitful life.

So, on his behalf, and on behalf of The Kavli Foundation, we wish you a future full of creative activity and discoveries, a future that will advance science for the benefit of us all.

Thank you very much.

Mikhail Kapranov

Principal Investigator, Kavli IPMU



Thank you very much. It's a great honor to be able to say a few words on this occasion, the 10th anniversary of Kavli IPMU. I am a relative newcomer to the institute being here for three years. I moved from Yale University. And the reason I moved was because I was attracted by the spirit of interaction and collaboration which I haven't seen elsewhere. What I was used to see is that different departments are situated in different places and often in different buildings and every interaction is so rare and precious. Before Yale, I was in Toronto and one of our great achievements was to have a joint position in physics and mathematics, which was very luckily occupied by Kentaro Hori who is here now.

So then when I went to Yale, the next thing I know is that Kentaro is at IPMU. So they should be doing something right. And when I visited IPMU, I realized that it's not just one position, the entire institute is like this. And all the seminars are joint by definition. So it's a completely different type of

environment, completely different type of interaction. So being here is an incredibly inspiring experience because, in this very specialized age, you see the place of what you are doing in the larger scheme of scientific endeavor, you hook up to the power of the fundamental science. And this has been an incredible experience.

So glimpsing into the future, I can see even more intense interaction and collaboration with people who have been here for some time and who are just joining the IPMU. And I am very proud and happy to be a part of the IPMU team and I think it's only appropriate to finish by thanking once again all the people and organizations that made this environment possible. Thank you very much.

Tom Melia

Project Assistant Professor, Kavli IPMU



Good afternoon. Well, I have the honor of being a newly appointed assistant professor in theoretical physics here at Kavli IPMU and what I wanted to do with you is to share a few of the reasons why it is that I wanted to come here and what excites me about my future. In fact, I am going to give you four reasons because, in my head, I associate each one of them with one of the letters IPMU.

So “ I ” stands for international. My research is in particle physics, and by its very nature is international. So the focus here on fostering international collaboration is very important to me. “ P ” stands for “ part of something ”. I was drawn by the idea of becoming a part of what is a very ambitious and somewhat scarily successful project and group of people, and I am excited about bringing my own contributions to team IPMU. “ M ” stands for multidisciplinary. In the past I have worked with experimental physicists, mathematicians and I have even worked with chemists and so I know how good multidisciplinary

research can be. And so naturally, I am very excited about what the future holds for me between the four walls of this beautifully designed building: walls without borders. And finally “ U ” stands for “ unusually happy ”. One observation I have made in the month since I came here is that people just seem to be *unusually happy*. At first I put this down to the daily cake and tea that we are provided with, but actually I think there is a little more to it than meets the eye, and I am looking forward to finding out exactly what that is. Thank you.

Message

Hitoshi Murayama

Director of the Kavli IPMU



Distinguished guests, friends, colleagues, ladies and gentlemen, thank you so much for the nice words given to us from distinguished speakers today and all of you being present at this ceremony which means so much to all of us.

Well, I was very impressed by this new interpretation of the name IPMU. I really like that. I always used to joke that IPMU stands for Informal Physicists and Mathematicians ' Utopia but "unusually happy " is better than utopia, so I really like that.

So, what a difference 10 years can make. You have seen the video. My hair used to be black, no longer. My belly used to be flat, no longer. This building didn't exist back then but now we have this magnificent building for physicists, mathematicians, and astronomers to interact with. And there were no scientists on site 10 years ago. Now, they are two hundred of them right here in this building today. What a difference 10 years can make.

When we started, I didn't

really believe that a world class international research center can be brought up from scratch. According to all the talks I listened today, apparently we made it, that's fantastic.

Ten years ago, all the efforts we had to make to create this institute required new ideas and new systems, and President Gonokami emphasized this aspect. And I was kind of skeptical that all of these new ideas would stick with the university because they were so unusual and foreign compared to the traditional system of the university. But instead of alienating us, University of Tokyo embraced Kavli IPMU, which is remarkable in my mind, and I really appreciate all the effort done by the president, previous presidents, Professor Takigawa heading this campus as well. So this was a big change in the way the university operates, and according to Professor Ukawa program director, what we have done here apparently also changed the Japanese academia as a whole which is amazing, and

something we had not anticipated 10 years ago.

Also 10 years ago, we didn't think that this institute would continue to exist. The funding was guaranteed only for 10 years. I was very worried, 10 years later I will be standing here alone, empty, but now we see these many people celebrating this occasion which shows strong support from MEXT, president of the university, administration and Kavli Foundation, which also provided us very important resources to keep creating exciting research as well. So, this three-way support is really new in a Japanese system, if I understand correctly, and that enabled us to continue to exist and thrive beyond the initial 10 years. What a difference 10 years can make.

But we have to look beyond that. I specifically asked Mikhail Kapranov and Tom Melia to give a brief speech today because that's the future of this institute. At the onset, at the time of the launch, a lot of great scientists joined this effort believing in the future but also somewhat on

a risky path. They didn't know quite what they were getting into but they were happy with this idea to create a new type of institute combining physics, mathematics, astronomy and many of them have left the institute since then and are doing great work elsewhere. But looking at Mikhail Kapranov and Tom Melia, they came here knowing what kind of institute this is. They already knew what was going on here and they appreciated that. They liked that. That's why they came here. So, this is a new phase for the institute.

Ten years is a long time. It's been a long time for me. But looking at the history of humanity, looking at 13.8 billion years of life of the universe, it's such a blip of a moment and even just focusing on the history of science since Galileo and so on, you see the inscription of Galileo's word on this pillar right here, 'Universo scritto in lingua matematica, Universe Is Written in the Language of Mathematics. In 400 years, 10 years is such a short period of time.

We are a startup company. We

are like the beginning of Apple or Uber, the startup companies. We have a long way to go. So, 10 years is actually a very short period of time and there will be the next decade and the decade after and I really appreciate the long-term support from the Japanese government, University, and Kavli Foundation to at least think ahead about what may be happening in decades from now and that happens thanks to all of you here today.

All the support we get within the university, outside the university, from Japan and from the whole planet, maybe from extraterrestrial life as well and all the scientists, who created amazing research here at this institute and all the dedicated staff that supported the work by scientists, and as you saw in the video, they also led the system reform of the university.

This is a very unique combination. If we are missing any of them, we wouldn't be here today and that's the difference 10 years have made for this institute. Thank you so much

for being here and I truly appreciate your support and presence today and thank you very much again.

Kavli IPMU 10th Anniversary Symposium

Hiroshi Ooguri

Kavli IPMU Principal Investigator

On 16 – 18 October, 2017, the Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (Kavli IPMU) celebrated its 10th anniversary with a ceremony and a scientific symposium.

The IPMU was established ten years ago, on 1 October, 2007, as a part of the World Premier International Research Center Initiative (WPI) of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan. In the spring of 2017, the Ministry solicited proposals to open “globally visible research centers that boast a very high standard and outstanding research environment, sufficiently attractive to prompt frontline researchers from around the world.” Our proposal for the IPMU was submitted in late May. After mail reviews and the initial selection process, a dozen of groups including ours were invited to oral presentations and interviews in late August. We were delighted when we learned in September that our proposal was selected as one of the five WPI centers. After the announcement, we had only a couple of weeks before launching the IPMU on 1 October. Unlike the other four institutes selected at the time, the IPMU was built from scratch, by bringing in Hitoshi Murayama from UC Berkeley as the Founding Director and by attracting Principal Investigators (PIs) and faculty members from around the world. Four and half years later, in February 2012, the IPMU joined the Kavli family of research institutes and was renamed the Kavli IPMU in April.

As the 10th anniversary of the institute approached, Hitoshi wrote to me in January 2017, “I know you also chaired the Opening Symposium which was a smashing success. Unfortunately no



The poster features a dark background with mathematical symbols like Ω , ρ , and H_0 scattered across it. A large, stylized '10th' is written in blue and white, with 'KAVLI IPMU' in white and blue text to its left. A yellow ribbon banner across the middle contains the text 'Anniversary Symposium with Ceremonial Session'. Below the banner, the dates 'Oct 16 (Mon) - 18 (Wed), 2017' and the location 'Kashiwanoha Conference Center, Kavli IPMU' are listed. Two columns of speaker names are provided, categorized as 'Distinguished Speakers', 'IPMU Alumni Speakers', and 'IPMU Researcher Speakers'. At the bottom, there is a URL for more information and logos for The University of Tokyo, WPI, and The Kavli Foundation.

KAVLI IPMU 10th Anniversary Symposium with Ceremonial Session

Oct 16 (Mon) - 18 (Wed), 2017
Kashiwanoha Conference Center
Kavli IPMU

Distinguished Speakers:
John Ellis King's College London
Richard Ellis UCL
David Gross KITP
Takaaki Kajita ICRR / Kavli IPMU
Masayuki Nakahata ICRR / Kavli IPMU
Andrei Okounkov Columbia University
David Spergel Princeton University
Shing-Tung Yau Harvard University

IPMU Alumni Speakers:
Robert Quimby San Diego State University
Susanne Reffert University of Bonn
Mauricio Romo Institute for Advanced Study
Christian Schnell Stony Brook University
Fuminobu Takahashi Tohoku University

IPMU Researcher Speakers:
Shigeki Matsumoto
Kenzo Nakamura
Yoichiro Suzuki
Yuji Tachikawa
Masahiro Takada
Yukinobu Toda
Mark Vagins
Tsutomu Yanagida

FOR MORE INFORMATION <http://indico.ipmu.jp/indico/event/134/>
Kavli IPMU, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-8583, Japan

THE UNIVERSITY OF TOKYO WPI THE KAVLI FOUNDATION

good deeds go unpunished.” This way, I became the chair of the organizing committee of the 10th anniversary symposium. The other committee members were: Mikhail Kapranov in mathematics, Mihoko Nojiri in particle phenomenology, Masahito Takada in cosmology and astrophysics, and Mark Vagins in experimental high energy physics.

We wanted the 10th anniversary symposium to be an occasion to showcase the institute's achievements over the past ten years and to explore future directions of our research. With this in mind, we brought back some of our successful former students and postdoctoral fellows to learn their current research interests and to strengthen their networks. We invited leading scientists in our fields to survey



research frontiers and new opportunities. We also gave our current research scientists opportunities to present their research results by their plenary talks, three-minute “Gong Show” talks, and posters during the symposium.

The venue of the Symposium was a hotel near the Kashiwa-no-ha Campus Station. After opening remarks by Hitoshi Murayama, David Gross (2004 Nobel Laureate) and Shing-Tung Yau (1982 Fields Medalist) gave scientific talks. Both of them were at our opening symposium in 2008, and it was wonderful to have them back at our 10th anniversary and to show them the progress we have made with the institute. We asked them to give talks that represent their current research interests rather than overviews of their fields. David Gross responded by discussing his tour de force calculation of correlation functions of the Sachdev-Ye-Kitaev (SYK) model in the large N limit, which are deeply connected to the mystery of quantum black holes. Shing-Tung Yau discussed problems with mass and angular momentum in general relativity, in particular on their definitions for a space-like region bounded

by a closed surface, which was listed as one of the most important problems in general relativity by Roger Penrose in 1979. Yau presented a recent breakthrough he and his collaborators made in this problem.

These talks were followed by David Spergel, who is one of the PIs of the Kavli IPMU and is also the Founding Director of the Center for Computational Astrophysics at Simons Foundation's Flatiron Institute in New York. He discussed opportunities in observations of the cosmic microwave background. John Ellis, a leader in phenomenological high energy physics and a member of the External Advisory Committee of the Kavli IPMU, surveyed implications of the Higgs discovery at CERN and discussed directions of high energy physics research based on various possible outcomes of the LHC experiments at 13 TeV. Richard Ellis, a leader in observational cosmology, discussed the future of observation of the first galaxies and their roles in cosmic reionization. Andrei Okounkov (2006 Fields Medalist) works in an area of mathematics that is deeply connected to research interests of both mathematicians and

theoretical physicists at the Kavli IPMU. He gave a pedagogical introduction to issues one encounters in counting mathematical objects of physical interests and discussed how to overcome them. Takaaki Kajita (2015 Nobel Laureate) and Masayuki Nakahata, both of whom are PIs of the Kavli IPMU, discussed atmospheric neutrino experiments and supernova neutrinos, respectively.

The Kavli IPMU has been successful in attracting talented young researchers from all over the world and in mentoring them and providing them with an ideal research environment to become leaders in their fields. We are proud of the fact that many of our former postdoctoral fellows and graduate students are having successful careers with leadership positions at major research universities and institutes all over the world. To showcase their achievements, we have invited some of them to give talks at the symposium. Each of them was introduced by her/his mentor at the Kavli IPMU.

Susanne Reffert was one of our first postdoctoral fellows, who arrived at the Kavli IPMU in the fall of 2008. She is currently a full professor at the University of Bern, Switzerland. You can read her interview on her experience at the Kavli IPMU, in volume 16 of the *IPMU News*.^{*} At the symposium, she was introduced by Simeon Hellerman.

Christian Schnell is a mathematician and an associate professor at Stony Brook University, and he was introduced by Kyoji Saito. He works on the geometry and topology of complex algebraic varieties. Ken-ichi Nomoto introduced Robert Quimby, who is an associate professor at San Diego State University and the Director of the Mount Laguna Observatory. On the first day of this symposium, an announcement of the first observation of gravitational waves and subsequent electromagnetic signals from a pair of inspiralling neutron stars was made by the LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, and their partners. Given the excitement surrounding this discovery, I asked Quimby, who co-authored one of the papers that

analyzed the data, to give an extra talk to tell us about the discovery. Despite the short notice, he gave a beautiful presentation summarizing the observations and discussing their significance.

Fuminobu Takahashi, a phenomenological high energy theorist and a full professor at Tohoku University, was introduced by Tsutomu Yanagida, and Mauricio Romo, who is a postdoctoral fellow at the Institute for Advanced Study, was introduced by Kentaro Hori.

The research of our current staff scientists was presented by talks by Mark Vagins (supernova neutrinos), Yuji Tachikawa (quantum field theory), Shigeki Matsumoto (collaboration of particle physics and astrophysics), Masahiro Takada (Subaru Hyper Suprime-Cam) and Yukinobu Toda (Gopakumar-Vafa invariants), by the three-minute “Gong Show” talks, and by poster presentations.

The symposium ended with three historical talks on the genesis of the Kavli IPMU. I myself joined the planning of the IPMU in March of 2007, when I arrived at the University of Tokyo to spend a sabbatical quarter in the spring. For me, therefore, it was particularly interesting to listen to the talk by Yoichiro Suzuki, who discussed how a germinal idea of the institute was formed before my arrival in Tokyo in March.

After the proposal was submitted in May and even before it was selected in September, we started discussing a plan for our building, which has won awards for its design to stimulate collaboration. Tsutomu Yanagida, who led the planning of the building, discussed how the innovative concept of the building came about.

In addition to its scientific goals, another important mission of the Kavli IPMU was to “revolutionize conventional modes of research operation and administration in Japan” by introducing new practices such as flexible appointment schemes to attract best scientists from abroad. Kenzo Nakamura, who was the first administrative director of the Kavli IPMU, discussed the challenges we faced in implementing

^{*} http://www.ipmu.jp/sites/default/files/webfm/pdfs/news16/J_TalkingIPMU.pdf



(Top row, left to right): Hiroshi Ooguri, Hitoshi Murayama, David Gross, Shing-Tung Yau, David Spergel, John Ellis. (Second row): Takaaki Kajita, Richard Ellis, Andrei Okounkov, Masayuki Nakahata, Susanne Reffert, Christian Schnell. (Third row): Robert Quimby, Fuminobu Takahashi, Mauricio Romo, Mark Vagins, Yuji Tachikawa, Shigeki Matsumoto. (Fourth row): Masahiro Takada, Yukinobu Toda, Yoichiro Suzuki, Tsutomu Yanagida, Kenzo Nakamura, poster session.

new administrative initiatives and how we have overcome them.

On the first day of the symposium, we also had the 10th anniversary ceremony at the IPMU building with speeches by President Makoto Gonokami of the University of Tokyo, Director General Yasunao Seki of MEXT, WPI Program Director Akira Ukawa, and other dignitaries. Robert Conn, President and CEO of the Kavli Foundation also gave a speech, pointing out the portrait of Fred Kavli at Fujiwara Hall, where the ceremony was taking place, and discussing the successful partnership between the Kavli Foundation and the Kavli IPMU. The first contact between us was made in September 2007 at the 80th birthday symposium in honor of Fred Kavli, and it is wonderful to see how our partnership has grown in the past ten years.

The anniversary ceremony ended with a flash mob performance, starting with Yuuko Enomoto,

the director's assistant playing the koto (traditional Japanese strings), followed by Hitoshi Murayama playing the double bass, and by the Kavli IPMU orchestra and the University of Tokyo Orchestra Quartet, and finally everyone joined by singing the Ode to Joy from Beethoven's ninth symphony.

We have experienced a remarkable journey over the past ten years, building the institute from scratch, gathering together the best and brightest scientists, and having fun doing science at the same time. We have also made great successes in system reforms and outreach activities. I am grateful to everyone who believed in our dreams and supported our efforts. As the chair of the organizing committee, I would also like to thank staff members of the Kavli IPMU for their dedicated services. The institute is still young and full of hope for future, and we look forward to its next ten years.



Interview with Andrei Okounkov

Interviewer: Hiraku Nakajima

Studied Real Math in Special Courses in the Evening at Moscow State University

Nakajima: Thank you very much for making time for our conversation today. This is a nice opportunity for me to ask you some questions. I wanted to ask you them during your stay at our RIMS.

Okounkov: It's my pleasure. I also have some questions I want to ask you later.

Nakajima: Okay, let me start with hearing about your academic background. What did you study at Moscow University, especially in mathematics and physics? Your supervisors were Kirillov and Olshanski, so I guess you studied representation theory originally, but your current works are linked with many fields: algebraic geometry, probability, and also physics, gauge theory, string theory, integrable systems. Why do you have such a wide range of knowledge?

At the University of Tokyo, which I graduated from many years ago, I studied

Andrei Okounkov is Professor of Mathematics at Columbia University (since 2010). In 2006, he was awarded the Fields Medal, the world's highest honor in mathematics, for his contribution to bridging probability, representation theory, and algebraic geometry. He received his Ph.D. in mathematics from Moscow State University in 1995.

physics only in the 1.5 years of the undergraduate course. I heard only basic things (including experiments, which I did not like at all). Later I learned physics when Witten's paper on Chern-Simons appeared, but not from physics colleagues, but from Tsuchiya (who worked on CFT) and also the notes of an Oxford seminar on Jones-Witten theory. Then I heard physicists talks on Seiberg-Witten theory after 1994. It is not systematic, hence I cannot give advice to younger readers on my path.

Okounkov: I studied mathematics at Moscow State University from 1989 to 1993, so missed the golden age of mathematics there and met many of its heroes only in the West. When I was a student, there were two very different layers to our education. The regular curriculum was, I think, very much oriented towards employment in the space or defense industries, with a lot of numerical methods, mechanics, and core physics. I enjoyed many aspects of it, and later really liked teaching numerical methods myself, but for me the real math was in the special courses and the seminars that were happening in the evenings. I believe the only regular course that contained Lie groups was M. Zelikin's course

on optimal control. But in the Kirillov seminar (often led by Olshanski when Kirillov was away), the Gelfand seminar (led by Rudakov after Gelfand left), as well as in the courses by Beilinson and Feigin, representation theory was certainly very much at the center of things.

My Ph.D. project, inspired by the work of Olshanski, was on representation theory of the infinite symmetric group. Other projects we worked on with Olshanski while I was a graduate student could perhaps be described as classical and combinatorial representation theory inspired by the infinite-dimensional and asymptotic points of view (that may be traced to the Gelfand school, and to the ideas of Vershik and Kerov, respectively). So, by training, this is my mathematical home.

I learned very early from Olshanski, and I now repeat to my students, that there is a huge difference between learning a subject abstractly, *in libro*, and learning to work with it *in vivo*. At Moscow state, we had a physics course based on Landau and Lifshitz, and also courses in probability and stochastic processes, which were certainly very solid and rigorous courses, but... When, by a very lucky chance, I got into Dobrushin's laboratory, and saw people

really do mathematical physics, it was completely different, and very intuitive in its unpolished form. I think I've been very fortunate to be able to learn a lot of things practically, while working on projects and papers, including learning so much directly from my collaborators.

Nakajima: I have heard of the "two layer" system in Moscow several times. It does not exist in Japan and other countries. Could you explain it to readers? Does it still exist now?

Okounkov: I am surprised to hear this, in Russia there has been a strong tradition of what we call "circles" in schools after regular classes, continuing with various "schools," etc. where university students and faculty teach high-school students in the evenings, and then on to special courses and seminars outside of the regular curriculum at the university. I don't know the history, but maybe this enthusiasm for teaching has its roots in the effort of the intelligentsia to educate the masses in the 19th century? It is charming to see these traditions now blossoming on foreign soil, e.g., in some parts of the US.

Hiraku Nakajima is Professor at the Research Institute for Mathematical Sciences (RIMS), Kyoto University. He will join the Kavli IPMU in April, 2018.



I think I learned more through such channels than through the regular ones, and this is also how I met many dear friends, including my wife Inna, when we were both at one such school called EMSch for Economics + Mathematics + School. In fact, when we first met, I was a student and she was already a teacher. EMSch is still going very strong, and just had its 50th anniversary.

Happy Graduate Student Days with Family and Plenty of Free Time

Nakajima: You mentioned to me that you had plenty of time in your graduate course (and have two daughters). You also told me that you read textbooks in the Moscow subway. How was that possible? It is different from me, and probably many others. People study hard in graduate course in order to arrive at the cutting edge of the field. I was fortunate to get a permanent position after graduating from my master's course (that was popular in my day in Japan), but young people nowadays have only temporary postdoc positions for many years. They must study even harder than we did, I think.

Okounkov: Maybe my case is not so representative, because when I started graduate school in 1993, I already had a family, the country's economy was in total collapse, and traveling to the West was basically the only source of income for most Russian scientists. In my case, my wife Inna started a business and provided for our family, while I had plenty of time to think about math

while looking for food to buy, cooking, and washing and ironing the home-made diapers, etc. We didn't have disposable diapers, nor a washing machine, and the iron was a combined wedding gift from all of our friends. In fact, on the day of my thesis defense I mishandled the boiling diapers, and so came to the defense with one arm bandaged. I don't recall people on the defense committee expressing any concern; nothing was out of the ordinary in those times. But all things considered, I think those were exceptionally happy years, as a family is certainly the greatest source of happiness in life, and the second largest source of happiness is to understand something new, of which there was also plenty.

Compared to the stress of being a junior faculty member on a short-term contract, I still think that graduate school is a local maximum of free time for a young researcher in mathematics and one should really make the best possible use of it. This means, of course, that one should study hard, but also take time to simply ponder or to consider examples, as well as to be curious about mathematics and science in general. It is true that many books that were formative for me I read on the subway rides to and from the University, and to this day I try to always have a book with me for the subway ride, also in NYC.

Collaboration with Rahul Pandharipande on Quantum Cohomology

Nakajima: Now I want to ask you about collaborations with

Rahul (Rahul Pandharipande) on quantum cohomology. How did it start? You did know Hurwitz theory before, but Gromov-Witten invariants were new to you at that time. Did you have an outlook before you started the collaboration? I have several collaborations (Yoshioka, Goettsche, Braverman, Finkelberg, and others), but I needed several years of mutual understanding of respective work before we actually started collaboration. For you and Rahul, did you know each other's work well before you started? And how did it go after you started?

Okounkov: By another lucky chance, Rahul was my next-door office neighbor in Chicago, and I was coming to a very lively seminar that Fulton, Rahul, and others were running at the University of Chicago on quantum cohomology. Amusingly, in one talk by Rahul, Spencer Bloch pointed out that Bernoulli numbers are appearing in Faber-Pandharipande computations of Hodge integrals in exactly the same form as in Spencer's and my work [B. Spencer and A. Okounkov, *The character of the in nite wedge representation*, *Adv. Math.* 149 (2000), 1] on the character of the in nite wedge (with hindsight, this is the degree 0 term in the eventual theory of completed cycles of Rahul, Eskin, and I). So I had some familiarity with the subject, but of course no real technical knowledge.

And then, after moving to California, Rahul wrote a paper on various implications of the then conjectural Toda equations of Eguchi, Hori,

and Yang for the Gromov-Witten theory of P^1 , including a conjecture about Hurwitz numbers. Hurwitz numbers, of course, I knew since first, this is just a different name for the characters of the symmetric groups, and so was something from the world that Olshanski and I spent a long time rethinking; and second, they were very much on my mind because at the time I had just proved the Baik-Deif-Johansson conjecture on increasing subsequences in random permutations precisely by a geometric argument with Hurwitz numbers. So, I thought it couldn't be such a hard conjecture to prove (which was indeed the case) and this was the first point of actual mathematical contact.

In the work on BDJ, I observed a connection with Kontsevich's combinatorial formula for Witten's intersection numbers on the moduli spaces of curves, a very fashionable topic at the time. One could see how through Hurwitz theory and the ELSV formula (which, at the time, was fresh from the oven) one could reach an independent and, all things considered, transparent proof of that combinatorial formula. I was very curious to learn more algebraic geometry, and I hope Rahul was equally happy to listen to my explanations of other relevant ingredients, so this was the start. From the beginning, it was clear that this project was going to work; sometimes collaborations just have such a lucky beginning. (Later, for example, when we proved those Toda equations, or in some of the $GW=D$ T

(Gromov-Witten/Donaldson-Thomas correspondence) papers, we really had to try many different things before we found the right mix of ideas.) Now, I don't think anybody reads that first paper of ours, even though Rahul's part contains an excellent introduction to virtual classes and virtual localization, among other things. But this is okay, the subject has reached much higher heights since then.

Collaboration with Nikita Nekrasov

Nakajima: Next, collaboration with Nikita (Nikita A. Nekrasov). Nikita understand mathematics very well, but he is still a physicist. I do not know many examples of mathematicians, other than you, who have joint papers with physicists. Many mathematicians are interested in physics these days (and it is the reason why we have IPMU), but it is not that easy to overcome the communication barrier yet. In particular, I do not have many examples of collaboration between physicists and mathematicians. How do you communicate with Nikita? More concretely how did you get your result on instanton counting?

I have a personal interest, as I had a different proof of the same result with Yoshioka. In my case, we did not originally intend to give a proof. We had an unsuccessful joint project on instantons on blowup before, and we wanted to correct it by using instanton counting. Quite unexpectedly we were able to find a proof. Nevertheless, it took us some time to understand the meaning of Seiberg-Witten



curves. It seems that you had a good understanding from the beginning.

Okounkov: I think mathematics and theoretical physics grow very differently. In math, we spend a lot of time rethinking our foundations and count it as progress when a phenomenon is presented in its most general form, with all essential details highlighted and accidental features removed. As a result, our subject is solid, not just in the sense of rigor, but also in the sense of our knowledge filling a certain volume, with a well-defined boundary, beyond which lies the unknown. In physics, it seems to me, it is very important to be the first to add some new key bit to the tip of the current research focus, a bit like a DLA (Diffusion-limited aggregation) growth, or a discussion in a social network, may my physics colleagues forgive the comparison. As we know, this grows faster, but also results in very fractal dendriform structures, in which, for a mathematician, it is very hard to trace the boundaries or to navigate the

continuum of literature on any given popular topic. Very fortunately, there are people like Nikita, in whose head it is all ordered and all the voids are filled in. I never had any problems understanding him.

Sometime in the spring of 2002, I was in Paris and Nikita gave me a draft of his "Seiberg-Witten Prepotential from Instanton Counting" that contained the Nekrasov partition function Z , as we know it now. Among other things, Z is a sum over partitions, and I admit I like partitions and find their elementary geometry very comforting. Nikita knew that. To get to the SW prepotential, one has to take a certain limit in Z , and at first I was sure that it had to be something very subtle since, after all, we are talking some of the deepest structures known to man at that time. So I didn't give it much thought at first until Nikita came to visit Princeton the following winter. It is remarkable how much in science depends on social aspects, because humans are social animals and our brains are wired for interaction with others.

Anyway, once the right neurons fired, it was obvious that the SW limit is just about the law of large numbers for partitions and the SW curve is just the associated limit shape (which is a Vershik-Kerov-style math that I knew really well), and it became a purely mathematical problem, as a physicist would say, to work out the details.

You see, a power series is just an integral over natural numbers \mathbf{N} , or over the reals \mathbf{R} with respect to a measure μ supported on the natural numbers. Sometimes, the asymptotics of the series can be computed by the Laplace method, i.e. by looking at the largest terms, which means the law of large numbers for suitably rescaled μ . This works for much more general spaces, e.g., for the space of Lipschitz functions on \mathbf{R} instead of \mathbf{N} . (Following Vershik and Kerov, Russians draw partitions with 45° axes, which saves space in the paper by the factor of $\sqrt{2}$ and also makes the boundary of a diagram a function with Lipschitz constant 1.) The largest term, that is, the limit

shape, is determined by a certain variational problem, which in this instance is very elegantly solved by the SW curve. This is all really basic probability, except for the part in which one can actually solve the variational problem explicitly using algebraic geometry. With Rick Kenyon, we later developed some general theory about this. One of the simplest among these limit shapes, the limit shape for a uniformly random 3-dimensional partition, was at some serendipitous moment recognized as identical to the Hori-Vafa mirror of \mathbb{C}^3 . That was the start of whole GW=DT story...

Relation between Quiver Varieties and Quantum Integrable Systems

Nakajima: You explained the relation between quiver varieties and quantum integrable systems in your lectures for students. They were very interesting, and I was impressed that you understood the works of Jimbo-Miwa and others very well. How did you learn quantum integrable systems?

Okounkov: I am very glad you liked it, even though I am surely still very much behind people like Jimbo and Miwa. I find our brains really repel some parts of math while very easily absorbing others. This depends maybe on some inborn qualities, but also very much on what you already know and understand. I always tell my students to go with what comes naturally... Maybe this is what Kirillov meant by his saying that “math can be only learned adiabatically.” Anyway, I find the Jimbo-

Miwa-Faddeev-Reshetikhin... style math really easy to absorb, because, first, it is, fundamentally, representation theory with a mix of statistical mechanics, two subjects to which I can relate really well. But maybe more importantly, it both answers some fundamental enumerative geometry questions and also is illuminated in a new and, I think, simplifying light by these geometric considerations.

I've spent a very long time doing and analyzing various enumerative computations, which is really a very hard subject. It may be a fashionable topic to discuss, but to actually work out a solution to a modern enumerative question is a different matter. There may be a trivial case you can do from the definition, a couple more with some cleverness and tricks, perhaps a bunch more with the help of a computer, maybe a lucky guess, and then at some point some miracle needs to happen. So any time there is a framework to explain a certain totality of answers, your brain is already prepared to flesh it out with concrete data and features. I certainly felt that immediately after Nikita and Samson (Samson L. Shatashvili) had their vision for how curve counts in Nakajima varieties and related geometries should be tied with the quantum integrable systems. Things that I sort of understood from one side suddenly shone in a new light from the other—a great feeling.

Andrei Asks Hiraku Questions

Okounkov: Now, let me

ask you some questions. As someone who has studied Nakajima quiver varieties for many years, I am naturally very curious about their origin and early history. How did it happen?

Nakajima: I was impressed by Mukai's work on moduli spaces of holomorphic vector bundles on K3 surfaces in 1988, and started to study similar problems for ALE spaces, which are noncompact version of K3 surfaces. Then I collaborated with Kronheimer to give the ADHM description (or quiver description) of holomorphic vector bundles, or instantons on ALE spaces. This happened in summer of 1989 at Berkeley. Kronheimer changed his interests to applications of the gauge theory to topology, but I continued to study these particular moduli spaces. In 1990 at ICM (International Congress of Mathematicians) Kyoto, I heard Lusztig's plenary talk and knew that quivers appeared in his works. I started to study his works, but it was hard as they were very far away from my background at that time. Meanwhile, I found that Slodowy slices appear as moduli spaces, and knew that Hotta-Springer (and also Hotta-Shimomura) computed their Betti numbers in the context of Springer representations. In 1991, I found that their computation in top degrees gave weight multiplicities of irreducible representations in type A, and it gave a link to Lusztig's works. This observation occurred when I read a paper by Kashiwara-Nakashima, and I still remember that I was very excited at that time. Thus I understood how moduli

spaces (called quiver varieties after that) were related to representation theory, and study went on smoothly afterwards.

Okounkov: You worked in both differential and algebraic geometry; which one did you enjoy more? How do these two different kinds of geometry compare for you?

Nakajima: I studied differential geometry, especially nonlinear PDE on manifolds, when I was a student. Since Kobayashi-Hitchin correspondence was one of the hot topics in the area at that time, I had seminars with algebraic geometers. I was also interested in Kaehler-Einstein metrics on Fano manifolds. Since these problems were related to geometric invariant theory, I gradually learned it. On the other hand, the minimal model program was the central topic for most Japanese algebraic geometers. It looked difficult to me, and I classified myself as a differential geometer at that time.

After I had analyzed quiver varieties for several years, I needed algebraic geometry more and more. For example, I wrote differential geometric aspects in the quiver variety paper written in 1994, but not in the paper in 1998. This shows a shift in my interest. Finally, I found smooth quiver varieties were best understood as moduli spaces of sheaves and Hilbert schemes of points, rather than moduli of holomorphic vector bundles and instantons. This was the time when I stopped my interest in differential geometry.

Nevertheless, I feel that

my differential geometric background is useful when I read physics papers. I like joint works with Yoshioka on instanton counting on blow-up. He is an actual algebraic geometer and very strong in moduli theory. Thus I concentrated on looking for relevant physics literature, and found the paper on the RG equation.

Okounkov: You are a frequent visitor to Moscow now, but what things surprised you the most at first? Do you see many similarities and differences between mathematics in Moscow and in Japan?

Nakajima: When I was a student, we did not have many chances to hear talks by foreign mathematicians. Since Japanese professors could cover limited areas in mathematics, we learned many things from written texts and papers. We were encouraged to read many papers in detail. There were also many expository talks where new preprints sent from abroad (by ordinary mail) were introduced. The situation might be different in other fields, where more Japanese mathematicians were working, like number theory and algebraic geometry. But I got my basic knowledge through papers, rather than direct communications from professors when I was young. When I met many people who learn many things from talks in US and other places, I was surprised.

Feigin visited Kyoto every summer starting around 1990. Opportunities to hear talks by foreign people had already drastically increased at that time (partly because

of ICM 90), but his talks were very different from anyone else's. He usually started with easy examples, and gave some computation, but suddenly said something very mysterious but interesting towards the end of lectures. They were very hard to follow as I was not used to hear unorganized talks like his. Also it was impossible for me to understand from where he got his ideas. His thinking looked very mysterious.

I had an idea for a long time that all Russian mathematicians gave talks like him, and Russian students were accustomed to learn things from such talks. I met other Russian mathematicians, and gradually understood that Feigin is unique even among Russians, and most people are not so different from us. Therefore, when I first visited Moscow in 2013, I was not surprised at all. My first encounter with Feigin was a much bigger surprise.

Okounkov: Okay, this is my last question. In Japan, many things are very carefully preserved, while many other things are very dynamic. What is your sense of the balance of tradition and innovation between the generations in Japanese mathematics?

Nakajima: Last year Takeuchi published a text book on D-modules (in Japanese), and he wrote that he regrets that D-modules theory did not become popular in Japan despite the fact that it was born in this country. Also as you observed, quantum integrable systems are not popular in Kyoto any more since Miwa retired. (It is partly because researchers in integrable systems spread

outside Kyoto.) And we do not have classes teaching integrable systems. A similar thing happened on algebraic topology, where it was popular in Kyoto at some period, but only a very few people remain now. On the other hand, algebraic geometry, number theory, probability, and many other areas are taught in regular classes. Their research groups keep the same size, or even grow. There was no symplectic geometry when I was a student. But we have a strong group in Tokyo and Kyoto.

As far as I understand, these changes and preservations did not happen by plan. The number of faculty member is fixed (in fact, decreasing recently), and we need to hire good researchers in newly born fields, like symplectic geometry, as we cannot keep up the level of research otherwise. Hence some fields shrink in turn. Another factor is the availability of textbooks. There are many good Japanese textbooks from the undergraduate level to advanced ones in algebra. We have a few good books on integrable systems, but certainly not enough. It is difficult for students to learn integrable systems.

Since I have successfully changed my fields in my career, I enjoy discussion with people with a different background. So I like the dynamic changes of my surroundings. On the other hand, I understand that I should write textbooks for future generations, but it is not easy for various reasons. I promised to write three books, but I cannot finish

them many years...

Okay, I really enjoyed talking with you. Thank you.

Okounkov: Thank you.

Our Team

Neil David Barrie

Research Field: **Theoretical Physics**

Postdoc

My research interests focus mainly on the interconnectivity of particle physics dynamics and the physics of early universe cosmology. Through such investigations, possible beyond the Standard Model physics can be tested through considering observational searches in combination with particle phenomenology at terrestrial experiments. In the past, I have been particularly interested in the



implications of quantum anomalies in the settings of baryogenesis, inflation, and gravitational waves. I plan to continue exploring these possibilities along with other astroparticle physics models.

Shao-Feng Ge

Research Field: **Theoretical Physics**

Postdoc

I have been mainly working on new physics beyond the Standard Model of particle physics, including neutrino, dark matter, collider, and electroweak symmetry breaking models. Recently we proposed the TNT2K (Tokai and Toyama to Kamioka) experiment in Japan for better CP measurement with neutrino oscillation. It's a combination of T2(H)K and muon decay at rest part (muSK or muHK), using the same SK or HK detector. This configuration can significantly improve the CP phase uncertainty for the currently preferred maximal CP, remove degeneracy, and



increase statistics. In addition, it can guarantee CP sensitivity against non-orthodox models, such as non-standard interactions and non-unitarity mixing. I hope this proposal can be finally realized and help Japan to win the competition of measuring the leptonic Dirac CP phase.

Tilman Hartwig

Research Field: **Astronomy**

Postdoc

I study the nature of the first stars in the Universe with high-resolution computer simulations. Depending on their mass, the first stars eject heavy elements into the interstellar medium when they die as supernovae. We can observe this specific chemical fingerprint in the oldest stars in the Milky Way and constrain their progenitor masses. My simulations help to correctly interpret observations, to optimise



upcoming surveys, and to eventually constrain the characteristic masses of the first stars.

Tatsuki Kuwagaki

Research Field: **Mathematics**

Postdoc

I am broadly interested in mathematical physics, especially around mirror symmetry. Recently, my research has been about the application of the microlocal method to symplectic geometry. For example, I proved homological mirror symmetry for toric varieties using this method. Currently, I am trying to use the method to understand/compute



Fukaya categories of compact symplectic manifolds.

Jin-Mann Wong

Research Field: **Theoretical Physics**

Postdoc

My research pursuits lie within the areas of F-theory and M-theory. In the former, my research has focused on understanding geometric aspects of elliptically fibered Calabi-Yau manifolds related to the presence of additional $U(1)$ symmetries in F-theory compactifications. With regards to the M-theory, I am interested in compactifications of the M5-brane theory down to various dimensions and



how the lower dimensional theories can be used to understand aspects of three- and four-manifolds, and the conjectured 4d - 2d correspondence.

Our Team



My research interests lie at the interface of theoretical particle physics, cosmology, and astrophysics. In particular, I have been working on the dynamics of the Higgs field condensate in the early universe. During inflation, scalar fields can develop large vacuum expectation values, which later relax in the reheating stage of the universe. The relaxation of the Higgs or other scalar fields can play an important role in the history of the universe. Beside this, I am

also interested in the possible connection between the dark matter and the Higgs vacuum stability problem.

Tea Break:

What's "IPMU Mechanism Length" ?

One day, I encountered a mysterious string of words while I was Googling something with keywords including "IPMU." It is shown below, copied from the web page from which I found it. It seems to have been created from a corresponding Japanese page using a free machine translation service on the internet. If you understand a bit of Japanese, you can readily figure out what the latter half, "IPMU mechanism length," refers to. Here "mechanism" is translated back into 機構 in Japanese, while "length" is translated back into 長. As we all know, "IPMU機構長" normally translates into "IPMU Director."

turnip re-Mr. IPMU mechanism length

Although AI has greatly developed, it seems that free machine-translation services on the internet can still create incomprehensible nonsense.

Now, please look at the figure once again. The entire string of words seems to state "Kavli IPMU Director." Note that in Japanese "Kavli" is written as カブリ and it is pronounced as *kaburi*. So, the translation machine must have interpreted the "kabu" in "kaburi" as 蕪(カブ *kabu*) the "turnip." But, what I don't understand is why "リ *ri*" has been translated into "re-Mr." Does the string of words actually mean to say "turnip re: Mr. IPMU mechanism length (Hitoshi Murayama) ?"

(Contributed by Kenzo Nakamura)

Focus Week on Primordial Black Holes

Alexander Kusenko

Professor, Department of Physics and Astronomy, University of California, Los Angeles, and Kavli IPMU Visiting Senior Scientist

The focus week on primordial black holes, held on November 13-17, 2017, coincided with the 50th anniversary of the first paper, by Zeldovich and Novikov, which suggested that black holes could form in the early universe. This fascinating possibility was brought in sharper focus by recent progress in theoretical understanding as well as observations, in traditional and gravitational wave astronomy.

There is growing evidence that black holes exist, but their origin is not well understood. Black holes with masses, roughly, ten times the solar mass have recently been discovered in gravitational waves. Observations confirm the existence of supermassive black holes in active galaxies, as well as a large black hole at the center of Milky Way. While explosions of massive stars can lead to formation of black holes, our understanding of the mass function of astrophysical black holes is limited. There is no compelling explanation of how astrophysically produced black holes could grow to be supermassive in a short amount of time since the big bang. Black holes of primordial origin

could be an important component of today's universe, and they could be the key to solving astrophysical puzzles.

The workshop started with a historical overview by Bernard Carr, who pioneered the field. The participants discussed a broad range of topics, from formation mechanisms, to observational constraints, to interactions of primordial black holes with neutron stars. There is a fascinating possibility that recently discovered gravitational waves from merging black holes can be, at least in part, due to primordial black holes. In a different mass range, there is a three-orders-of-magnitude window for primordial black holes to account for all dark matter in the universe. Finally, disruptions of neutron stars by primordial black holes can contribute to formation of gold, platinum, and other heavy elements.

One of the recent developments at the focus of discussion was a class of new, fairly generic, mechanisms by which primordial black holes could be produced. Depending on their origin, such black holes can have

different masses and spins.

The subject of primordial black holes has a strong overlap with scientific programs at the Kavli IPMU, and it illustrates how particle physicists, astrophysicists, and cosmologists work together, building on synergy of the multidisciplinary institute. Particle theorists Masahiro Kawasaki, Alexander Kusenko, and Tsutomu Yanagida, along with several collaborators have contributed some key theoretical ideas: they identified several new ways in which black holes could form in the early universe, showed how primordial black holes could seed supermassive black holes found at the centers of galaxies, and pointed out that neutron star disruptions by primordial black holes can be responsible for synthesis of heavy elements. Astrophysicists Hiroko Niihara, Masahiro Takada, Surhud More, and their collaborators have carried out an observational campaign searching for black holes in the mass range previously inaccessible to observations. The new opportunity to search for black holes opened up thanks to the unique capabilities of Hyper Supreme-Cam on the 8.2m Subaru telescope.

The workshop participants were united in anticipation of exciting future developments and, hopefully, great discoveries.



Kavli IPMU Celebrated the 10th Anniversary of its Foundation

The Kavli IPMU celebrated its tenth anniversary in October 2017. It was launched on October 1, 2007 as a WPI center, named the IPMU, and after four and half years, it was renamed the Kavli IPMU. On October 16-18, the Kavli IPMU 10th anniversary symposium was held at the Mitsui Garden Hotel near the Kashiwanoha Campus Station (see pp. 20-23). In the afternoon of the first day (October 16), a ceremony to commemorate the 10th anniversary was held at the Kavli IPMU research building on the Kashiwa campus (see cover page and pp. 4-19).

10th Kavli IPMU External Advisory Committee

In conjunction with Kavli IPMU's tenth anniversary, the 10th meeting of the Kavli IPMU External Advisory Committee was held in the afternoon on October 18, 2017. Chairman Steve Kahn (Stanford/SLAC) and committee members, John Ellis (King's College London), Sadayoshi Kojima (Tokyo Institute of Technology), David Morrison (UC Santa Barbara), Sadanori Okamura (Hosei University), and Nigel Smith (SNOLAB), were present.

As a five-year extension of the WPI support to the Kavli IPMU until the

end of FY 2021 had already started this year, the Committee was asked to discuss and advise on an appropriate faculty composition, and the present status and future direction of the current research projects. The Committee provided many useful comments and suggestions. (Also see photo in Director's Corner on p. 3.)

Inauguration of the Next-Generation Neutrino Science Organization (NNSO)

The University of Tokyo's Kavli IPMU, Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), and School of Science partnered to form the Next-Generation Neutrino Science Organization (NNSO) on October 1, 2017. ICRR Director and Kavli IPMU Principal Investigator Takaaki Kajita has been assigned as the Director of the NNSO. The Organization aims to pioneer the future of neutrino physics through the development of neutrino research techniques and detector technologies. In particular, it aims to advance the Hyper-Kamiokande project. It will work to lead collaborations between theoretical and experimental researchers and to establish a center for the world's neutrino research so that when the Hyper-Kamiokande project is realized, its research program will proceed smoothly.

On November 8, an inaugural ceremony of NNSO was held at the ICRR's Kamioka Observatory in Hida City, Gifu Prefecture.



A group photo of the participants in the NNSO inauguration ceremony, taken in front of the Kavli IPMU's Kamioka Branch Office (Credit: NNSO).

Director Murayama Receives Research Award from Alexander von Humboldt Foundation

Kavli IPMU Director Hitoshi Murayama receives a Research Award from the Alexander von Humboldt Foundation (AvH)



Hitoshi Murayama

in Germany; it was announced in October. The award is one of up to 100 the AvH grants every year to internationally renowned academics from abroad in recognition of their achievements to date; particularly academics whose fundamental discoveries, new theories, or insights have had a significant impact on their own discipline and who are expected to continue producing cutting-edge achievements in the future.*1

The award ceremony will be held in June 2018 at the Annual Meeting of AvH.

David Spergel and Eiichiro Komatsu Awarded the 2018 Breakthrough Prize in Fundamental Physics

On December 3, 2017, the Breakthrough Foundation announced the 2018 Breakthrough Prize in Fundamental Physics to be awarded to



David Spergel

Charles L. Bennett, Gary Hinshaw, Norman Jarosik, Lyman Page Jr., David N. Spergel, and the Wilkinson Microwave



Eiichiro Komatsu

Anisotropy Probe (WMAP) Science Team for detailed maps of the early universe that greatly improved our knowledge of the evolution of the cosmos and the fluctuations that seeded the formation of galaxies.

One of the five leading WMAP

*1 <https://www.humboldt-foundation.de/web/humboldt-award.html>

scientists, David Spergel is Professor of Astronomy at Princeton University and Kavli IPMU Principal Investigator. Also, Max Planck Institute for Astrophysics Director and Kavli IPMU Principal Investigator Eiichiro Komatsu is among the remaining 22 members of the WMAP science team.

Takaaki Kajita Awarded the 4th Berkeley Japan Prize

ICRR Director and Kavli IPMU Principal Investigator Takaaki Kajita was awarded the 2017-2018 Berkeley Japan Prize. This Prize is a lifetime achievement award from the Center for Japanese Studies to an individual who has made significant contributions in furthering the understanding of Japan on the global stage.*2 (Also see Director's Corner on p. 3.)



Takaaki Kajita

The past recipients of this prize are: Haruki Murakami (inaugural, 2008-2009), Hayao Miyazaki (2nd, 2009-2010), and Ryuichi Sakamoto (3rd, 2013-2014).

Yasunori Nomura Named New American Physical Society Fellow

Director of the Berkeley Center for Theoretical Physics at UC Berkeley and Kavli IPMU Principal Investigator Yasunori Nomura has been named a new fellow of the American Physical Society (APS). He was recognized for his pioneering contributions to a variety of areas of particle theory, including gauge unification in extra dimensions, electroweak symmetry breaking, supersymmetric models, dark matter, the multiverse, foundations of quantum mechanics, and black holes.*3



Yasunori Nomura

*2 http://ieas.berkeley.edu/cjs/berkeley_japan_prize.html

*3 <https://www.aps.org/programs/honors/fellowships/archive-all.cfm>

Daisuke Kaneko Receives Young Scientist Award from the Physical Society of Japan

Kavli IPMU postdoctoral fellow Daisuke Kaneko is one of several researchers who have received the 2018 Physical Society of Japan Young Scientist Award. He has been recognized for his Ph.D. thesis on the search for $\mu^+ e^+$ decay in the MEG experiment at the Paul Scherrer Institute in Switzerland. In this experiment, the world's most stringent limit was obtained. A positive observation of this decay would be evidence of physics beyond the Standard Model, and currently, the MEG experiment is being upgraded to the MEG II experiment.



Daisuke Kaneko

Long Time Kavli IPMU Supporter Hamamatsu Photonics Honored by the University of Tokyo

In recognition of establishing the first endowed professorship for fundamental science and their support for Kavli IPMU research into dark matter and dark energy, Hamamatsu Photonics was awarded the "University Of Tokyo Shokumon Award" on October 10, 2017 (see photo in Director's Corner on p. 3).

This is the second time an organization associated with the Kavli IPMU has received a Shokumon Award. Fred Kavli, representing the Kavli Foundation, received this Award in 2012 (see *Kavli IPMU News* No. 20, p. 25, where the story of "Shokumon" from Chinese history is also briefly explained).

Kavli IPMU Staff Receive 2017 President's Award for Business Transformation

For their risk management work in

normalizing harassment prevention education, a group of Kavli IPMU staff, represented by Project Specialist Rieko Tamura, has been awarded the 2017 University of Tokyo President's Award for Business Transformation (see photo in Director's Corner on p. 3).

The Kavli IPMU team was commended for developing a harassment education video and online quiz in English. The team and their families (and one cat) developed the education video's storyboard, script, props, and starred in the video.

The video was made for researchers within the institute, half of whom are from overseas, and was also uploaded to the university's E-learning system to allow researchers on overseas trips to take part in university activities. Moreover, the video and quiz also became accessible to all University of Tokyo researchers with access to the university portal site.

Open Campus Kashiwa 2017

At the Kashiwa campus of the University of Tokyo, open campus is an annual event held in October to introduce research and education of the Graduate School of Frontier Sciences and various institutes, including the Kavli IPMU, on campus. In 2017, it was held for two days, on October 27 and 28. As usual, the Kavli IPMU offered a rich program. In particular, the lectures delivered at the lecture hall were very popular. On the first day, Kavli IPMU Assistant Professor Chiaki Hikage talked about "Dark matter and dark energy: probing the invisible universe by the Subaru Telescope," and on the second day, Kavli IPMU Associate Professor Takeo Higuchi talked about "Belle II will start soon - an electron-positron colliding-beam experiment opens

new elementary-particle physics .”

In two days, a total of 8,800 people visited the campus. The Kavli IPMU attracted more than 3,100 people.



Chiaki Hikage, giving a lecture.



Takeo Higuchi showing how to assemble a component of the Bell-II detector, and Kavli IPMU postdoctoral fellow Tomoko Morii assisting with his lecture.

17th Kavli IPMU/ICRR Joint Public Lecture

On November 3, 2017, the Kavli IPMU and ICRR presented the 17th joint public lecture at the Ito Hall on the University of Tokyo's Hongo campus with the catchphrase “Circus of waves and grains: A look at the tiny phenomena with big effects on the Universe.” There was an audience of about 370 people including junior high-school and high-school students.

The first lecture, entitled “Gravitational wave Einstein's song created by the notes in the Universe,” was given by ICRR Professor Seiji Kawamura, who works on the Large-scale Cryogenic Gravitational wave Telescope (KAGRA) located underground in Kamioka. Kavli IPMU Assistant Professor Mark Hartz then talked about “Probing the nature of neutrinos with the Tokai-to-Kamioka (T2K) experiment and beyond.” He spoke in English with a simultaneous interpretation service into Japanese.

After the lectures, a discussion was held between the lecturers and attendees, and many of them eagerly asked questions.



After the lectures, Mark Hartz (left) and Seiji Kawamura (right) answered each other's questions. They also answered questions from the audience.

Event: “Actually I Really Love Physics! Career Paths of Female Physics Graduates”

This year again, the University of Tokyo's Kavli IPMU, Institute for Solid State Physics, and Institute for Cosmic Ray Research jointly hosted an event called “Actually I Really Love Physics! Career Paths of Female Physics Graduates” at the Kavli IPMU. The event was held on November 18, 2017, and there were 19 participants. (See *Kavli IPMU News* No. 36, p. 25 for last year's event).

Kavli IPMU Seminars

1. “Braiding statistics / Link invariants of Quantum Matter in 2+1 and 3+1 dimensions”
Speaker: Juven Wang (IAS)
Date: Jul 12, 2017
2. “Highlights from the Gordon Research Conference”
Facilitator: Young-Kee Kim (U Chicago), Speakers: Hitoshi Murayama, Masahiro Takada, Michihisa Takeuchi, Po-Yen Tseng, and Benda Xu
Date: Jul 13, 2017
3. “Categorical dynamical systems on derived categories of K3 surfaces”
Speaker: Genki Ouchi (Kavli IPMU)
Date: Jul 13, 2017
4. “New physics searches in ATLAS,

the latest results from Run-2 and beyond”

Speaker: Osamu Jinnouchi (TITECH)

Date: Jul 14, 2017

5. “Shuffle algebras and integrable systems”
Speaker: Boris Feigin (HSE Moscow)
Date: Jul 19, 2017
6. “LHC as an Axion Factory: Probing an Axion Explanation for $(g-2)_\mu$ with Exotic Higgs Decays”
Speaker: Matthias Neubert (MITP)
Date: Jul 19, 2017
7. “Multi-Messenger Implications of High-Energy Cosmic Particles”
Speaker: Kohta Murase (Penn State)
Date: Jul 20, 2017
8. “Cluster Cosmology with the South Pole Telescope”
Speaker: Tijmen de Haan (UC Berkeley)
Date: Jul 21, 2017
9. “Dark Energy: constant or time variable? (...and other open questions)”
Speaker: Bharat Ratra (Kansas State U)
Date: Jul 28, 2017
10. “Categorifying non-commutative deformation theory”
Speaker: Agnieszka Bodzenta (Edinburgh U)
Date: Aug 04, 2017
11. “Mixed Hodge structure of character varieties”
Speaker: Fernando Villegas (ICTP Italy)
Date: Aug 08, 2017
12. “How to efficiently use effective field theories”
Speaker: Xiaochuan Lu (UC Davis)
Date: Aug 09, 2017
13. “Gaugino Condensation and Holomorphic BF Theory”
Speaker: Richard Eager (U Heidelberg)
Date: Aug 10, 2017
14. “The Quest for Neutrinoless

- Double-Beta Decay ”
Speaker: Jason Detwiler (U Washington)
Date: Aug 18, 2017
15. “ W-algebras, moduli of sheaves on surfaces, and AGT ”
Speaker: Andrei Negut (MIT)
Date: Aug 22, 2017
16. “ Cubic fourfold, its variety of lines, and their gauged linear sigma models ”
Speaker: Sergey Galkin (HSE Moscow)
Date: Aug 22, 2017
17. “ Supersymmetric Twin Higgs ”
Speaker: Keisuke Harigaya (UC Berkley)
Date: Aug 23, 2017
18. “ Stellar twins and Galactic phylogenetics ”
Speaker: Paula Jofre (Cambridge U)
Date: Aug 29, 2017
19. “ Fusion structures on Temperley-Lieb algebras ”
Speaker: Kenji Iohara (U Lyon)
Date: Aug 29, 2017
20. “ Triggering on Physics Signatures and Recent Physics Highlights from the LHC-ATLAS experiment ”
Speaker: Yu Nakahama (Nagoya U)
Date: Aug 30, 2017
21. “ Strongly-coupled Infrared Fixed Points, Confinement and Chiral Symmetry Breaking ”
Speaker: Kenichi Konishi (U Pisa)
Date: Aug 30, 2017
22. “ b sll decays, from the Standard Model to New Physics ”
Speaker: Sebastien Descotes-Genon (CNRS & U Paris-Sud)
Date: Sep 06, 2017
23. “ Physics of Gravitational Redshifts in Clusters of Galaxies ”
Speaker: Nick Kaiser (U Hawaii)
Date: Sep 07, 2017
24. “ Cosmic gamma-ray lines: observations, lessons, and puzzles ”
Speaker: Roland Diehl (MPE)
Date: Sep 12, 2017
25. “ The formation of massive black-hole binaries: understanding the Advanced LIGO detections ”
Speaker: Philipp Podsiadlowski (U Oxford)
Date: Sep 19, 2017
26. “ Braids, fences, and quadratic algebras ”
Speaker: Anatol Kirillov (RIMS, Kyoto U)
Date: Sep 19, 2017
27. “ Magnetizing the Universe during the Epoch of Reionization ”
Speaker: Daegene Koh (Stanford U)
Date: Sep 19, 2017
28. “ Cosmology with X-ray Galaxy Clusters ”
Speaker: Hans Boehringer (MPE)
Date: Sep 20, 2017
29. “ Random Matrices in Classical and Quantum Chaos ”
Speaker: Masanori Hanada (Kyoto U)
Date: Sep 21, 2017
30. “ Decoding the Apparent Horizon ”
Speaker: Netta Engelhardt (Princeton U)
Date: Sep 26, 2017
31. “ Galactic Astroarchaeology: Chemical Abundances and Evolution of Galaxies ”
Speaker: Francesca Matteucci (Trieste)
Date: Sep 28, 2017
32. “ Maximizing Inference from Galaxy Observations ”
Speaker: Peter Behroozi (U Arizona)
Date: Oct 03, 2017
33. “ Multiple zeta values in deformation quantization ”
Speaker: Brent Pym (U Edinburgh)
Date: Oct 03, 2017
34. “ Halo-independence with quantized maximum entropy at DAMA/LIBRA ”
Speaker: Andrew Fowlie (Monash U)
Date: Oct 04, 2017
35. “ Continuing the Legacy of Supernova Cosmology ”
Speaker: Ryan Foley (UC Santa Cruz)
Date: Oct 05, 2017
36. “ Enhancements in derived and triangulated categories ”
Speaker: Alice Rizzardo (U Liverpool)
Date: Oct 05, 2017
37. “ Yangian Symmetry for Fishnet Feynman Graphs ”
Speaker: Florian Lobbert (Humboldt U)
Date: Oct 10, 2017
38. “ Conformal Bootstrap At Large Charge ”
Speaker: Alexander Zhiboedov (Harvard U)
Date: Oct 12, 2017
39. “ The role of radial migration in the chemical evolution of the Milky Way ”
Speaker: Nicolas Prantzos (Institut d'Astrophysique de Paris)
Date: Oct 12, 2017
40. “ Higher Chow groups, van Geemen lines, and mirror symmetry for open strings ”
Speaker: Dave Morrison (UCSB)
Date: Oct 19, 2017

Personnel Changes

Promotion

John Silverman, who was Kavli IPMU Assistant Professor, became Kavli IPMU Associate Professor on October 1, 2017.



John Silverman

Moving Out

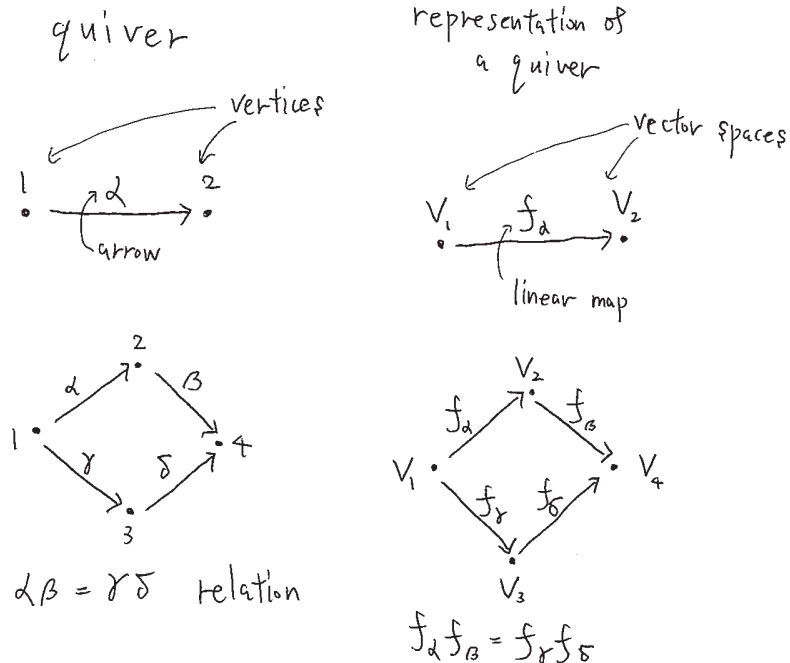
Kavli IPMU Postdoctoral Fellow James Wallbridge has moved to Hitachi, Ltd. as a Senior Researcher. He was with the Kavli IPMU from August 1, 2013 to December 31, 2017.

Quiver

Akishi Ikeda

Kavli IPMU Postdoctoral Fellow

A quiver consists of vertices and arrows connecting them. For the quiver, we can consider the relation, for example two different paths give the same results. Representation theory of quivers enriches the world of quivers. A representation of a quiver is an attachment of vector spaces to each vertices and linear maps to each arrow. In the theory of representations of quivers, there are deep theorems, like Gabriel's theorem and Kac's theorem, which is the correspondence between dimension vectors of indecomposable representations and roots of a Lie algebra, and Ringel's theorem which is the construction of quantum groups from Ringel-Hall algebras of representations. And by considering the moduli space of representations of quivers, we are led to the theory of Nakajima quiver varieties.



近況

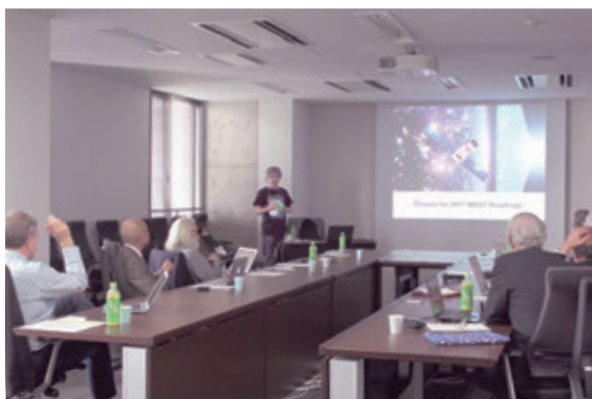
Kavli IPMU 機構長
村山 斉 むらやま・ひとし



10月10日：東京大学専門賞授賞式(p. 71参照)。前列中央は五神 真東京大学総長、その左隣が受賞した浜松ホトニクス株式会社の晝馬 明代表取締役社長、後列は村山 斉機構長はじめ、Kavli IPMU関係者(Credit: 東京大学)。



10月16日：Kavli IPMU10周年記念式典で演奏した、研究者と事務職員などで構成される Kavli IPMU室内管弦楽団と4名の東京大学音楽部管弦楽団員。村山斉機構長もコントラバスを演奏。(p. 56-59参照。)



10月18日：Kavli IPMU外部諮問委員会で報告。(p. 70参照。)



10月30日：カリフォルニア大学バークレー校の日本研究センターからバークレー日本賞を受賞した梶田隆章宇宙線研究所長兼 Kavli IPMU 主任研究員の受賞記念講演で司会 (Credit: JSPS San Francisco Office) (p. 70参照。)



11月7日：Physics Worldの取材を受ける。(<http://blog.physicsworld.com/2017/11/07/a-decade-of-success/>)。



12月15日：2017年度東京大学業務改革総長賞授賞式で受賞した Kavli IPMU事務部門と東京大学ハラスメント相談室相談員らからなるチームの一員として受賞者の記念撮影に参加。(p. 71参照。)

Director's
 Corner

Message

カブリ数物連携宇宙
研究機構10周年記念式典
におけるスピーチ和訳

五神 真 ごのかみ・まこと

東京大学総長



カブリIPMUのホスト機関、東京大学を代表してご挨拶申し上げます。

本日は、カブリIPMUの10周年記念式典にご出席いただきまして誠にありがとうございます。私も、この式典に参列できることを心よりうれしく思っております。

2006年に世界トップレベル研究拠点としてIPMUが提案された当時、私は小宮山総長のもとで総長特任補佐を務めており、村山教授からその計画について話を伺いました。主な目標は二つあり、一つは宇宙の謎を解くこと、もう一つは東京大学に真に国際的な環境を導入することでした。この提案は非常にエキサイティングなものでしたが、私は正直なところ、余りに野心的過ぎると思っておりました。

私は物理学者でもありますので、基礎研究において限られた期間の中で計画どおりに重要な成果を上げることがはきわめて難しいと理解しています。また、真に国際的な環境を創り出すことも簡単なことではないと考えていたのです。

そんな中、私は2007年にIPMUの外部諮問委員会のメンバーとなりました。そして、2015年4月に東京大学総長に就任するまでの間、私はIPMUが真に国際的な研究機関となるのを目の当たりにしてきました。カブリIPMUがこれまでに多くを成し遂げてきたことに、私は大いに感銘を受けております。IPMUは世界中からトップレベルの研究者を採用してきました。研究者の半数は外国人です。また、カブリ財団から暖かいご寄附をいただき、日本で最初のカブリの名前の付く研究所になりました。

私は総長として、世界の中で高い競争力をもつ、真に国際的な研究機関を創り上げたIPMUの努力を称えたいと思います。

カブリIPMUは、今やトップクラスの研究機関として国際的に認識されるようになりました。10年の歴史の中で、カブリIPMUの研究者により出版された論文の60%以上は国際共同研究によるものです。毎年、カブリIPMUの研究者公募には600人以上の応募が

あり、また世界中から約500人の研究者がカブリIPMUを訪れています。これまでに在籍した博士研究員の40%以上は、その後、世界中の多くの研究機関で助教以上の職に就いています。引用数の高い論文という観点でも、カブリIPMUはプリンストン高等研究所のような世界一流の研究機関と遜色なく競い合っています。これらのことから、カブリIPMUが国際的に高い競争力をもつようになったことがお分かりいただけると思います。

実は、カブリIPMUは東京大学に対して、学術的な活動だけでなく研究環境の強化という点についても大きな影響を与えてきました。東京大学はカブリIPMUを「特区」として位置づけ、より競争力を高めるための制度改革を奨励しました。カブリIPMUが導入した新しい制度の多くは、今や東京大学全体の制度に発展しています。

私は、こういったこと全てを成し遂げた村山教授の多大な努力に対し、心から称賛の言葉を贈りたいと思います。2006年に村山教授にお会いした

時、私はそのビジョンとエネルギーに感銘を受けました。村山教授は当時42歳で非常に若かったのですが、ほかの人たちにはないカリスマ性があり、強い説得力と素晴らしい人間性で、多くの若くて優秀な研究者を惹きつけていました。村山教授の尽力により、東京大学をより一層強化する新しいシステムを導入することができました。また、村山教授の一般向け講演は大変好評です。

カブリIPMUは真に重要な変革をもたらしました。そして、今後もそうあり続けることを私は確信しています。私は、東京大学総長としてカブリIPMUを全面的に支援していきます。

さて、昨年、文部科学省がカブリIPMUに対する補助金の5年間延長を認めたことは、大変嬉しいできごとでした。また、先月は、東京大学に新たな世界トップレベル研究拠点としてニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCN)を創設するという提案が文部科学省に採択され、私たちは大変感激しました。IRCNは人間の知性を

理解するという野心的な目標を掲げており、研究チームには医学、生物学、人工知能の各分野から東京大学の世界トップレベルの研究者が参加します。さらに、人文科学分野および社会科学分野とも連携していく方針で、これによりIRCNは他に類を見ない研究機関となるでしょう。IRCNは幅広い学問領域をカバーします。文部科学省による審査の過程では、私も自ら説明を行い、カブリIPMUが大きな成功を収めたことと、そのノウハウを用いてIRCNを早期に設立できることを強調しました。これは非常に説得力があったと思います。私はカブリIPMUとIRCNが学術面で活発に連携するとともに、両者が密接に協力して東京大学全体の国際化を推進することを期待しています。

東京大学の使命は、優れた研究・教育により新しい価値を創出し、これによって人類に貢献することです。基礎科学は私たちが創出する価値の源泉です。

カブリIPMUは世界トップレベルの

研究機関となりました。私たちはその成功から多くを学ぶことができます。私は、これらの経験を踏まえて、東京大学の研究・教育をさらに強化することができると思っています。

最後になりましたが、カブリIPMUが10周年を迎えたことをあらためてお祝い申し上げます。

瀧川 仁 たきがわ・まさし

東京大学物性研究所長、柏キャンパス共同学術経営委員会委員長



村山先生、カブリIPMUの研究者、並びにご出席の皆様、カブリIPMUの10周年記念式典にあたり、東京大学柏キャンパスを代表して、心よりお祝い申し上げます。

柏キャンパスは東京大学の主要3キャンパスの一つですが、最も新しいキャンパスであり2000年に開設されました。それ以来、研究所群と大学院新領域創成科学研究科が科学の諸分野における最先端研究を活発に推進しております。従いまして、日本政府によって選定された世界トップレベル研究拠点として柏にIPMUが誕生した10年前には、私たち全員大変興奮致しました。言うまでもなく、物理学と数学と天文学というユニークな組み合わせの融合により宇宙の基本的問題の解明を図るIPMUの優れた研究は、東京大学及び柏キャンパスの科学的な多様性と名声をいやが上にも高めて参りました。それに加えて、全世界から集まるIPMUの研究者がキャンパスにもたらした国際的雰囲気と文化的多様性を強調したいと思います。外部から

のビジターを含むIPMUの研究者の大部分は海外からやってきます。彼らの存在およびキャンパスの人々との交流が、豊かで活気に満ちた環境を生み出してきたことを私は感謝しております。

また、私の所属しております物性研究所はIPMU研究棟の隣にありますが、IPMUとの間で非常に稔り多い交流が行われてきていることを申し上げたいと思います。私たちの研究対象には様々な新物質が含まれており、それらはしばしばナノメートルスケールの構造を持っていますが、素粒子および天体物理学の研究対象である宇宙とは非常に異なっています。それにもかかわらず、双方の分野は共通の物理学の原理に基づいており、しばしば一方の分野で発展した考えが他方の分野に非常に役立つということが起こります。実際、IPMUと物性研究所はこれまで幾つかの研究会を共同で開催し、また両研究所間の学際的共同研究から幾つかの優れた論文が発表されてきました。この種の共同研究は真に稔り多いものであり、私は将来さら

に拡大・強化されることを希望しております。

最後に、IPMUの過去10年の素晴らしい科学的成果に対して、もう一度心からお祝い申し上げますと共に、IPMUの全メンバーの将来益々のご発展を祈念いたします。ご静聴いただき、ありがとうございました。

シン・トゥン・ヤウ Shing-Tung Yau

ハーバード大学教授



カブリ IPMU の10周年記念式典にご招待いただき、光栄に存じます。一言お祝いの言葉を述べさせていただきたいと思います。この拠点の設立により、日本はアジアにおいて、また世界において数学と物理学の強力なリーダーシップを担う地位を手にしました。歴史的に見ると、日本の数学と物理学は両方とも新しいアイデアの創出と重要な問題の解決に対して基本的な役割を果たしてきました。事実、100年程前の高木貞二と湯川秀樹の偉大な業績に始まり、多くの日本人研究者が現代まで影響力を残す重要な研究領域を開拓してきました。

そのような業績のうち、私が良く知っているものを幾つか挙げてみますと、東京大学出身の伊藤 清教授は応用数学と物理学の全分野で使われている確率微分方程式を考え出しました。小平邦彦教授と廣中平祐教授は、現代の幾何学およびその物理学との交流に極めて重要な現代的代数幾何学および複素幾何学の重要部分を創り上げました。佐藤幹夫教授とその弟

子たちは超局所解析における超関数という新しい分野のすべてを創り上げ、それは統計物理学と多くの数学の分野に目覚ましく応用されています。

彼らは皆、ガウス、リーマン、ポアンカレ、ホッジの伝統を受け継いで、数学史に名前を記憶される大数学者なのです。そして、時は巡り、彼ら日本の指導的研究者の後を継いで新しい世代の研究者が台頭してきていますが、その多くが現在 IPMU に所属し、あるいは連携しています。過去50年の間、私たちは数学と物理学の間に来た極めて重要な交流に立ち会ってきました。この交流は宇宙の法則についての私たちの理解に大きく貢献してきました。IPMU のリーダーの皆さんは、現代科学のこの部分について、多くの重要な分野の創出に寄与してきました。そのうちの何人かは、私の専門分野に重要な貢献をされており、中でも斎藤恭司教授と大栗博司教授の非常な独創性は、過去30年程の間私たちに強い印象を与え続けています。

今や21世紀において、科学の多く

の分野が他の分野からのアイデアを必要とし、奥深く根本的な交流が不可欠になります。これを試みるには、多くの異なる国の研究者が集まることを必要とします。カブリ IPMU はこれまでもそうであったし、またこれからも、研究者たちの出会い、異なる学問分野の出会いが起こり得る魅力的な場所であり続けるでしょう。

IPMU に対する日本政府からのこれまで強い支援と、IPMU の成果に対して政府と民間から更なる支援がもたらされることをお祝い申し上げます。現代思潮の偉大な拠点とも言える IPMU を起点とする知の展開を多として、中国やアメリカの関係筋からの強い支援もあるに違いありません。私が個人的にお役に立つことがあれば、そうする積りであることを申し上げておきたいと思います。ご清聴、ありがとうございました。

デイビッド J. グロス David J. Gross

カリフォルニア大学サンタバーバラ校教授



10年前のIPMU創設記念式典に出席したことが、まるで昨日のことのようです。こうして10周年記念式典に再び出席することができて大変うれしく思っています。このような短い間にいかに多くの成果が挙げられたかは、驚くほどです。初めIPMUという名前でしたが、その後カブリIPMUとなり、10年間で非常に多くの業績が成し遂げられました。

これまで私は世界中の基礎科学ほとんどは物理学ですがを研究するこのタイプの研究所に対してアドバイスしてきました。ブラジル、中国、ヨーロッパ、アメリカにある研究所です。私はしばしばそのアドバイスを総括しようと、次のように言っています。「優れた研究所を創るガイドラインは3つしかない。Excellence(卓越)、Excellence、そしてExcellenceである。」IPMUはこのアドバイスに従いました。IPMUには卓越した計画があり、卓越した研究者がいて、卓越したリーダーシップがあります。IPMUでは、研究者と研究所のユニークな幅広い組み合わせを作り上げました。研究者の中には、科学の言葉(数学)を使い、科学の女王(物理学)を中心に据え、すべての科学の中でも最も古い科学(天文学)

現在は天体物理学および宇宙論として知られていますがにより宇宙の謎を調べている日本及び世界の指導的研究者が数多く含まれています。

幾分似かよった基礎科学の研究所で、

15年前に最初の「カブリ」を冠する研究所となったKITP(カブリ理論物理学研究所)の前所長として、私はこの新しい研究所IPMUの創設に大変興味を持っていました。IPMUを支援するため、私ができることは何でもしていましたが、その一方で、私は「彼らは難関を切り抜けることができるだろうか?」とやや懐疑的でした。世界中の多くの研究所にアドバイスをしてきましたので、私は必ずしも全てが成功したわけではないことを認識していました。新しい研究所を創ることは容易ではありません。世界中から優れた研究者が新しい研究所にやって来るように引きつけることは容易ではありません。長期的な投資を行うために資金を獲得し、生き延びることは容易ではありません。また、私はIPMUが何をしようとしているのか、好奇心を持って見ていました。単に他の研究所がしたことをまねようとしているのだろうか、それとも何か新しいアイデアを持っているのだろうか? IPMUが挙げた成果に私は想像していた以上に大きな感銘を受けました。

私は、IPMUの初代機構長の村山さんとその同僚研究者の精力的かつ独創的なリーダーシップのもとで進められている、多くの新しい画期的な計画に特に感銘を受けました。その一つは、活気にあふれた200人にもなる研究スタッフを集めたことで、しかも少なくともその30%は国外からだと思います。これはど

んな国でも稀なことであり、日本では特にそうであると言えます。IPMUは公用語を英語として、日本では明らかにブレークスルーであると私には思えるやり方で、真に国際的な研究所を創りました。最も重要なことは、IPMUでは異分野の科学の非常に幅広くダイナミックな融合により、また研究者にモチベーションを与え、新たな交流と共同研究プログラムを開始し、可能な限り機会を捕らえることにより、科学的なブレークスルーを追求していることです。私はKITPの前所長として、これらの成果に大きな感銘を受けました。

私は誓って申し上げることができませんが、10年という非常に短い期間でIPMUは私の専門分野の基礎物理学において、世界のトップレベルの研究所の一つとなり、広く知られております。

従いまして、私のご挨拶を終えるにあたり、日本政府、世界トップレベル研究拠点プログラム(優れたアイデアだったと思います)、文部科学省、東京大学、カブリ財団、とりわけこのように短い間に情熱と献身的努力によりこれ程の成果を挙げたIPMUの首脳陣、職員、研究者の皆さんにお祝いの言葉を述べさせていただきます。IPMUがここに定着し、発展と活躍を続け、日本及び科学に対し貢献し続けることは間違いありません。20周年記念式典に参列することを楽しみにしております。

関 靖直 せき・やすなお

文部科学省研究振興局長



文部科学省を代表して、Kavli IPMUの研究者やスタッフの皆様へ、10周年記念式典が開催されますことを心よりお祝い申し上げます。式典の開催にあたり、一言ごあいさつを申し上げます。

WPIプログラムは、世界中から高いレベルの研究者が集まる「国際的な頭脳循環のハブ」となる世界トップレベルの基礎研究拠点を構築することにより、わが国の科学技術水準を向上し、将来の発展の原動力であるイノベーションを連続的に起こしていくことを目指しています。

WPIプログラムが開始された2007年に設立された東京大学 Kavli IPMU は、数学、物理学、天文学の融合分野において、素晴らしい研究成果を連続的に創出し、まさしく World Premier な研究拠点として世界の研究をリードするとともに、WPI 拠点のリーディングモデルとして、WPI プログラムの成功を支えてくれました。

これは、村山拠点長をはじめとする

拠点の皆様が、10年間という長期に渡り、活発な研究活動や拠点形成に尽力されてきたおかげであると思います。加えて、ホスト機関である東京大学からの強力なサポート、そしてカブリ財団をはじめとする関係者からのご支援といった、多くの皆様からの協力があって初めて実現できたことだと思います。ここに至るまでの皆様方の多大なご尽力に敬意を表します。

文部科学省としましても、これまでの10年に加え、これからも、Kavli IPMU が国際的な評価を更に高め、素晴らしい研究活動を継続し、益々発展していくことができるよう、しっかりと取り組んでまいりたいと思います。

ご臨席の皆様のみますご健勝を祈念いたしまして、私からのお祝いの言葉とさせていただきます。

秋山 浩保 あきやま・ひろやす

柏市長



このたび「カブリ数物連携宇宙研究機構」が設立10周年を迎えられましたこと、心からお祝い申し上げます。

このカブリIPMUの最大の特徴は、物理学者、数学者、天文学者が同じ場所で連携して研究を行っていることであり、非常にユニークな取組であることから、世界的に高い評価を得ています。その拠点が、ここ「柏の葉」にあることを市民として誇りに思うとともに、研究の成果が高く評価され、文部科学省の「世界トップレベル研究拠点形成プログラム」拠点としての活動が延長されたことは、数物連携宇宙研究機構の村山機構長をはじめとした研究者やスタッフの皆様方、そして東京大学の皆様方の並々ならぬ努力と挑戦の成果であり、深い敬意を表する次第であります。

さて本市は、東京都心から約30キロメートル圏内に位置する人口約42万人の都市です。2本の国道と高速道路、JR常磐線、東武アーバンパークライン、つくばエクスプレスの鉄道3路線が行き交う交通の要衝であり、豊かな自

然にも恵まれていることから、都心のベッドタウンとして発展してきました。中でも、柏駅を中心とする市街地は、百貨店などの商業店舗が立地し、若者が集う広域商業拠点として、また豊かな水をたたえる手賀沼周辺は、野菜や果物を中心とした都市農業が盛んな地域として発展してきました。

一方、このカブリ数物連携宇宙研究機構がある「柏の葉」地域は、平成17年の「つくばエクスプレス」の開業とともにまちづくりがスタートした地区ですが、わずか12年あまりで、商業施設や病院、大型マンションだけでなく、東京大学や千葉大学をはじめとした多数の学術研究機関が集積する新都市として、目を見張るような発展を遂げております。

特に、この柏の葉キャンパスエリアでは、国際学術都市づくりを目指し、重点的に学術研究資源の活用と国際化を推進するため、千葉県、柏市、東京大学、千葉大学、株式会社三井不動産及び独立行政法人都市再生機構の6者で「柏の葉国際キャンパス

ウン構想」に基づくまちづくりを進めています。中でも、この構想の理念である大学とまちの融和を基本とし、三本柱である環境共生、健康未来、新産業創造を実現するため、「公・民・学」の連携により、とりわけ先進的なまちづくりについては東京大学の「最先端の知」を活用しながら、推進していきたいと思っております。

最後に、カブリ数物連携宇宙研究機構におかれましては、この宇宙研究の領域を切り開くパイオニアとしてますます発展されること、また東京大学と柏市が連携し、この柏の葉キャンパスエリアが「世界を担う知の拠点」として更なる発展を遂げることを祈念しまして、私の祝辞とさせていただきます。

宇川 彰 うかわ・あきら

理化学研究所計算科学研究機構副機構長、WPIプログラム・ディレクター



ご出席の皆様、村山先生並びにカブリIPMUの皆様、

カブリIPMUの10周年記念シンポジウムにあたり、世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)のディレクターとして一言ご挨拶申し上げます。

WPIプログラムは10年前の2007年に開始されました。このプログラムは、国際的に開かれた「目に見える研究拠点」を日本に形成することを目的としております。当時、強く自覚されていたことですが、日本における科学は既に傑出した歴史を有しているにもかかわらず、未だにその進歩を妨げる数々のボーダーとバリアに悩まされておりました。

従って、WPIプログラムの研究拠点に対する4つのミッションが設定されました。勿論、第1は「世界最高レベルの研究」を行うべきことです。これは単に既存の分野の進歩を意味するものではなく、より重要なことは分野間、および研究者コミュニティの間のバリアとボーダーを打破することです。従って、「融合領域」が第2のミッションです。第3は国境を越える国際化、第4はボーダーとバリアだら

けの伝統的な日本の研究組織の「改革」です。

WPIプログラムの開始以来10年間で、9拠点が設立されました。これらは宇宙、地球、生命の起源から物質、エネルギー、生命科学にわたる科学の最前線をカバーしています。

カブリIPMUは最初の5拠点の一つとして2007年に発足しました。我々の宇宙の重要問題を物理学と数学、また理論と実験と観測により研究することを目的としています。

カブリIPMUの最初の10年間でWPIプログラムの4つのミッション全てにおいて優れた成果を上げたことは、私としましても大変うれしく思う次第です。世界最高レベルの研究水準および物理学と数学の融合の成功は、10周年記念シンポジウムのプログラムを眺め、スピーカーの講演を聴き、彼らの専門知識を認識することだけでも明らかです。物理学と数学は、随分昔から研究活動が国境や大陸間を超越してきた分野です。とは言え、欧米から遠く離れた日本で真に国際的研究拠点を確立したカブリIPMUの成功は驚くべき偉業と言えます。最後に、

国際標準の研究環境を築くための努力により、カブリIPMUは東京大学のシステム改革を先導しました。

言うまでもないことですが、村山育機構長の強力なリーダーシップ、カブリIPMUに結集した多数の一流研究者、そして東京大学の強い支援があったからこそ、この成功がもたらされました。関係者のご努力に対して深く感謝いたします。

今やカブリIPMUの活動は次の10年に入りました。カブリIPMUが我々の宇宙の起源を探求するさらなる挑戦により、益々発展し続けるように心から願っております。

最後に、カブリIPMU同様、WPIプログラムも発展しておりますことを申し上げます。今年、新たに2つのWPI拠点が選定され、活動を開始します。

それは東京大学のニューロインテリジェンス国際研究機構と金沢大学のナノ生命科学研究所です。カブリIPMUが今後もWPI拠点のモデルであり続けることを願い、私の話を終わらせていただきます。どうもありがとうございました。

スティーヴン・カーン Steven Kahn

スタンフォード大学教授、Kavli IPMU外部諮問委員会委員長



カブリIPMUの10周年、おめでとうございます。また、来賓の一員としてご招待いただき、ありがとうございました。私どもカブリIPMUの外部諮問委員会委員の大多数は、ほとんど設立当初から何年も委員を務めてきております。私たちは、この研究棟の建設、日本の学術研究機関が初めて獲得した主要民間資金であるカブリ財団からの助成金、東京大学国際高等研究所の設立、「世界トップレベル」となったことの認定、そして、勿論、カブリIPMUに対するWPI補助期間の5年延長に立ち会ってきました。

また、私たちは村山 斉さんの、才気にあふれた若き素粒子理論物理学者から立派な学術機関の管理職、政治戦略家、大規模共同実験グループのリーダー、一般大衆に対する基礎科学の類いまれな解説者、そして最近では科学と地球外知的生命体を代表する国連「大使」*への成長と進化に立ち会ってきました。私たちは、カブリIPMUを通過して行く多くの優れた若手の物理学者、天文学者、数学者

を見てきました。そして彼らが世界中の多くの著名な研究機関に広がって行き、そこで優れた成果を挙げるさまを追跡してきました。

カブリIPMUのユニークな点は、その幅の広さにあります。前回の外部諮問委員会の報告書で、私たちは純粋数学と理論物理学、実験物理学、観測天文学を組み合わせるこのような研究所は世界に類を見ないと指摘しました。その組み合わせこそ、この委員会の委員を務めることを特に興味深いものとしてくれているものなのです。毎年の訪問で、私たちはカブリIPMUの科学者と数学者の両方から、また委員会メンバーからも、新しい結果の意義についての詳細な発表を聞くという利益を享受しています。私個人にとっては、委員を引き受ける上で最もやりがいのある要素の一つがそれなのです。

私たち全員が見たように、この分野にとってこの10年は全く驚くべき時代でした。ヒッグス粒子の発見があり、様々な観測結果を統一的に説明

し、ダークエネルギー、ダークマターそしてインフレーションという謎を含む宇宙論モデルの正しさがますます確かめられてきました。さらにKEKおよびSLACのBファクトリーにおける大量の相互作用データと、最近ではブラックホール同士の衝突と中性子星同士の衝突からの初めての重力波の検出を説明する素粒子物理学の標準モデルの驚くべき成功がありました。このような時代にこの分野に所属し、カブリIPMUの躍進に最初から立ち会ってきたことは、大きな喜びでした。外部諮問委員会を代表して、カブリIPMUの指導者の方々、および関係者全員に対して再度お祝いの言葉を送り、私のご挨拶と致します。

* Kavli IPMU News No. 28の表紙、38-40ページ、および66ページ参照。

ロバート W. コン Robert W. Conn

カプリ財団理事長、最高経営責任者



始めに、本日出席の五神総長、秋山市長、文部科学省関係者の方々、特に関局長と宇川先生、及び来賓の方々に感謝申し上げます。また、日本政府に対して、他に類を見ないアイデアであり、WPIとして知られている世界トップレベル研究拠点プログラムを着想されたことを感謝するとともに、お祝い申し上げます。アメリカには、合衆国政府機関であるNSF(全米科学財団)から資金を得ている多くの科学研究機関があります。しかし、研究者を世界中から集め、研究所内の研究者の間のコミュニケーションのための共通語として英語を用いる研究所を創設するという概念と、それを日本で実施することは、非常に特徴的であり、特別なものです。

日本政府及び国民は、革新的で、想像力豊かであり、非常に大きなスケールのを組み合わせました。グローバル化した科学的活動 日本からサイエンスを発信するとともに、日本に研究者を招へいし、サイエンスを導入するという両面 により成し遂げようと

していることを見ると、それは素晴らしいものであり、世界で日本以外に例を知りません。このような面からも、日本政府、東京大学とその研究者、カプリIPMUの村山機構長とその首脳陣及び全メンバーにお祝い申し上げます。

カプリ財団は、次の世代のカプリ研究所を考え始めたとき、IPMUを強く認識しました。ディビット・グロスさんが指摘されたように、カリフォルニア大学サンタバーバラ校のカプリ理論物理学研究所は2002年に最初のカプリ研究所となりKITPと名乗りました。グロスさんは何年もの間、その所長を務められました。カプリ財団は、続く7年間でさらに14のカプリ研究所を設立し、資金を提供しました。

2008年に始まり2010年までずっと続いた世界的金融不況の間、私たちは事業内容のうち大きなものを停止し、いったん状況が回復したら次に何をしようか考え始めました。そして、その機会が訪れたとき、私たちが支援を行う科学の分野では、世界のどこで

最も良い研究が行われているか、調べ始めました。カプリ財団では、天体物理学と宇宙論、ナノサイエンス、神経科学、理論物理学の4つの分野を支援しています。私たちは支援金の使途に制限を付けません。私たちが、世界中で行われていることを見渡したときに、1箇所際だっていたのが、ここ東京大学であり、IPMUが行おうとしていたことでした。

本日、私たちはIPMUの10周年とカプリIPMUの5周年を祝っております。それを念頭に、フレッド・カプリの肖像画がこの会場の後ろの壁に掛けられていることを指摘したいと思えます。彼の肖像画は5枚だけしかありませんが、それぞれ違っています。別の1枚はフレッド・カプリの生れた国、ノルウェーのオスロにあるノルウェー科学・文学アカデミーにあります。3番目の肖像画はアメリカのワシントンD.C.にある米国科学アカデミーのフレッド・カプリ講堂の外に掛けられています。4番目はイギリスのカプリ王立学会国際センターに、そしてカプリ財団



図1 2012年にカブリIPMUの発足を祝う村山斉機構長とフレッド・カブリ。



図2 左から右に、ロバート W. コン(カブリ財団理事長) 村山 斉機構長、フレッド・カブリ、野田佳彦総理大臣(2012年)。

が最後の5番目の肖像画を所有しています。ですから、ここで、特にこの非常に特別な式典の行われている間、この会場でフレッドの肖像画が見えるということは素晴らしいことです。

フレッド・カブリは、並々ならぬビジョンをもった稀代の人物でした。彼は、好んで自分が物理学者としての教育を受けたと言っていました。実際そうでしたが、彼はエンジニアでもあり、発明の才に優れていました。また、彼は非凡な実業家、起業家として巨万の富を築きました。

自分の財産の使い道を考えた際に、フレッド・カブリはその全てを基礎科学の支援に使おうと決断したのです。フレッドが考えをまとめるにあたり、今日ここにおられるディビット・グロスさんのような人たち、その他多くの人たちが大きな影響を与えました。彼は2000年に1～1.5億ドルで財団を発足させました。その金額は大きなものですが、アメリカの慈善事業の基準では控え目なものでした。今では総額6億ドル以上となっており、もはやどんな基準をとっても控え目ではありません。その全額をフレッド・カブリが拠出し

ましたが、基礎科学を支援するため、カブリ財団に寄付しました。

カブリIPMUの設立は、フレッド・カブリの生涯における最後の2つの大きな出来事の一つでした。この写真(図1)は、2012年5月に公式にカブリIPMUとなった式典で撮影されたもので、村山さんと一緒に写っているフレッドの表情に、科学的観点から見て真に変革をもたらすことを日本で行うという熱意が見て取れると思います。この写真で彼は贈られた記念の品を掲げていますが、IPMUが科学上の大きな謎を追求して成功を収めることを非常に大事に思っていることがお分かりいただけると思います。私たちカブリ財団の誰もがそう思っています。それと全く同じです。その訪問の時、私たちは重要な研究が行われていると行うことができましたが、フレッドの表情はその喜びを表しています。

先ほど、日本で行っているWPIプログラムの非常に革新的で、想像力豊かなアプローチについて、申し上げました。ほとんどの国では私たちが首相や大統領を訪問する機会は得られません。しかし、5年前、私たちがカブ

リIPMUとしての発足を祝う式典に出席するため訪問した際に、日本の総理大臣が私たちの表敬訪問を受ける意向であるとの知らせを受け、総理大臣官邸に伺って当時の野田総理大臣に実際にお会いできました。

この写真(図2)には、野田総理がやや特殊なワイングラスを持っていることが分かります。このグラスは、青いカップの部分に宇宙論とビッグバンから現在に至る宇宙の進化が描かれた美しい芸術作品です。総理大臣が「このグラスは何を表しているのですか?」と質問し、村山さんが説明した後、皆が笑っているところです。しかし、もっと重要なことは、総理大臣がこのような場にいるということは、日本の政府と国民のリーダーが科学を重視していることの表れであるということです。私たちはお会いできたことを大変感謝しました。

その時の式典は、ちょうど今日の式典と同じように世界中から研究者が集まり、ここでIPMUが築き上げたものの性格を反映するものでした。アメリカでは、ヨーロッパおよび日本を含むアジアから多くの研究者がやってきてアメリ



図3 カプリ財団コミュニティの事業内容。



図4 カプリ財団の創設者、フレッド・カプリ(1927-2013)

力の科学に貢献してきました。今、あなたたちがこれと同じことを実行しています。私は、それが私たちにとって大成功であったのと同様に、あなたたちも大成功を収めるであろうと思います。

ここで、カプリ財団とその事業について二、三述べたいと思います。ご存知のように、私たちのミッションは人類のために基礎科学を支援することです。基礎科学の成果が、いつ、どのようにと予言はできませんが、必ず人類に貢献することは、核心的な信念であると言って良いでしょう。私はこのステートメントを強く確信しています。なぜでしょうか？ 過去1世紀半の間に非常に多くの国で人間の平均寿命が45歳から85歳に伸びたのはなぜかと問えば、この事実は2つの原因にさかのぼることができます。一つはエンジニアリングの成果によるものです。その結果、きれいな空気ときれいな水が得られるようになり、また例えば衛生設備により病気の原因に対処するようになりました。パスツールはそれを全て理解していました。二つ目は基礎科学の貢献です。これら二つの進歩が、世界中で人類の歴史上かつて見られなかつ

たほどに寿命を変えました。その変わり様は著しいものです。日本は世界で最も平均寿命の長い国ですが、それは科学のおかげなのです。平均寿命は、なぜ科学を支援することが非常に重要かを示す最も簡単な尺度です。誰もがその恩恵を受けるのです。

図3は財団が支援している事業の内容を示しています。赤い丸は基礎科学に対する支援事業を表し、財団の支出の3分の2以上を占めています。ちなみに、カプリ研究所がその大部分を受け取ります。

しかし、私たちは科学に対する公衆の理解についても強い関心をもっています。なぜでしょうか。私たち科学の側にいる者はあれもこれもやりたがり、そうするには政府が気前よく研究に投資することが必要です。忘れてはなりません、政府は国民の税金を使うのです。従って、基礎科学がどんなに人類に役立つか、なぜ科学者がこのような研究をするのか、なぜ画期的な発見が社会に莫大な利益をもたらすまでに長い時間かかることがあるのかを国民に理解してもらう必要があります。なぜに対する答えはこうです。最近で

は誰でもMRI検査を受けますが、その基盤となる基礎科学上の発見に対して60年以上もの年月に渡って3つのノーベル賞が授与されました。一つでもなく、二つでもなく、三つの異なるノーベル賞が、今日の医学で診断に最も広く利用されているMRIの科学を支えているのです。図3の緑色の丸は、この重要な分野 科学に対する公衆の理解で私たちが支援している事業です。

2012年はフレッド・カプリが充実した人生を送った最後の年でした。先ほど申し上げましたが、その年、彼はカプリIPMUの発足を祝うために日本を訪れました。9月には2012年のカプリ賞の授賞式のためにオスロに行きましたが、その後重い病に伏し、2013年に86歳で長く実り多い人生を終えました。

最後に、フレッド・カプリおよびカプリ財団に代わり、創造的研究活動と発見に満ち溢れ、私たち全ての利益のために科学を発展させるカプリIPMUの未来を祈念いたします。

ミハイル・カプラーノフ

Kavli IPMU主任研究員

Mikhail Kapranov



カブリIPMUの10周年記念式典で一言述べさせていただくことは大変な光栄で、感謝します。私はIPMUに来てまだ3年ですので、どちらかと言えば新参者です。イエール大学から移って来ました。その理由は、交流と共同研究の精神に魅力を感じたためであり、それは他では類を見ないものでした。私が見慣れた光景は、違う学科は違う場所、それもしばしば違う建物に配置されており、交流は非常に稀であり、かつ貴重である、というものです。イエール大学の前に私はトロント大学にいましたが、そこでの大きな成果の一つは物理学と数学のジョイント・ポジションを設けたことでした。非常に運の良いことに、そのポストに就いたのは、今ここにいる堀 健太朗さんでした。

それから私はイエール大学に行き、そこで堀さんについて次に知ったのはIPMUにいたことでした。それで、IPMUでは何かしら適切な交流が行われているはずであると思いました。そしてIPMUを訪問した際、私は交流

のためのポジションがたった一つだけではなく、IPMU全体がそうなのだとすることに気がつきました。セミナーは全部ジョイントセミナーと定義されています。従って、IPMUの環境は私が知っていたものとは全く違うもので、研究者の交流も全く違ってきます。IPMUにいたことは信じがたいほど刺激的な経験です。なぜなら、この非常に専門化した時代に、ここでは科学のもっと広い分野が交流する中で研究が行われており、基礎科学の力を自分のものにできるのです。これは驚くべき経験でした。

未来を覗いて見ると、ある期間IPMUにいた人達、またIPMUに来たばかりの人達とのさらに強い交流と共同研究が予想できます。私は自分がIPMUチームの一員であることに大きな誇りと喜びを感じています。最後に、この環境を作り上げてくれた全ての方々と全ての組織に再度感謝申し上げます。まことにありがとうございました。

トム・メリア Tom Melia

Kavli IPMU助教



私は、新たにカブリIPMUの理論物理学の助教として任命されたことをとても名誉なことと思っています。今日は、なぜ私がカブリIPMUに来たかったのか、なぜ自分の将来についてワクワクしているのか、皆さんにお話ししたいと思います。私はその理由として4つを挙げようと思いますが、その一つ一つをIPMUの4文字それぞれに関連させてみました。

まず「I」は「international」を表します。私は素粒子物理学を研究していて、その研究は本来非常に国際的です。ですから、IPMUが国際共同研究の促進を重点事項としていることは、私にとって非常に重要です。次に「P」は「part of something」を表します。私は、非常に野心的で、ちょっと驚く程成功するプロジェクトとそれを進めているグループの一員になりたいという強い希望を持っていました。今、私はチームIPMUに自分自身が貢献することを考えてワクワクしています。「M」は「multidisciplinary」を表します。以前、私は物理の実験を

している人たち、数学者たち、さらには化学者たちと一緒に仕事をしたことがあります。それで、学際的研究が良い結果を生み出せることを知っています。この美しいデザインの研究棟は四方を壁で囲まれています。その壁には(分野の間の)境界がありません。ですから当然のこととして、私はその中で将来私を待っていることにとってもワクワクしています。最後に、「U」は「unusually happy」を表します。私がIPMUに来てから一ヶ月の間に見出したことの一つに、皆が「この上なく幸せ」ということがあります。最初私はそれを毎日出されるお茶とお菓子のせいだと思ったのですが、実は今は目に映る以上の何かがあると考えていて、それが一体何かを見つけ出すのを楽しみにしています。

村山 斉 むらやま・ひとし

Kavli IPMU機構長



来賓の皆様、ご祝辞をいただき御礼申し上げます。また、本日は多くの皆様にご列席いただき、心より感謝申し上げます。

まず、今話に出ましたIPMUという名前の新しい解釈には大変感心しました。とても良いと思います。私はいつもIPMUは「Informal Physicists and Mathematicians 'Utopia」、つまり、「物理学者と数学者の気楽なユートピア」という意味だとジョークを言ってきました。しかし、「unusually happy」、つまり、「この上なく幸せ」なのはユートピアよりも上なので本当に好きになりました。

さて、10年という年月の間には、ビデオでご覧いただきましたが、何といろいろのことが変わるものでしょうか。初め黒かった私の髪の色もスリムだった胴回りも、もはや過去のものとなりました。現在、物理学者、数学者、天文学者が集い合うこの素晴らしい研究棟は、当初影も形もありませんでした。そして、10年前には常駐の研究者は誰一人いませんでした。現在は

200人も研究者が今日ここに出席しています。10年とは何と大きな違いをもたらすことができるのでしょうか。

IPMUが始まった時、本当にゼロから世界トップレベルの研究センターを育て上げることができるとは信じていませんでした。しかし、今日皆様からのお話を伺いましたところでは、何とか達成できたようで、本当に夢のようです。

五神総長が強調されましたが、10年前、IPMUを創設するには新しいアイデアと新しいシステムが必要とされました。私は、そういった新しいアイデアを東京大学の中でやり通しているのか、やや懐疑的でした。東京大学の伝統的なシステムに比べてとても異質でかけ離れたものだったからです。しかし、東京大学はカブリIPMUを除け者にせず受け入れてくれました。それは私には驚くべきことで、小宮山元総長、濱田前総長、五神現総長、そして瀧川先生はじめ歴代の柏キャンパスを率いる先生方のご尽力の賜物と心より感謝しております。これは東京

大学の運営上の一大変革であり、WPIプログラム・ディレクターの宇川先生は、私たちが東京大学で成し遂げた改革が日本のアカデミア全体をも変えたように見えると話されました。これは10年前には思いもなかった素晴らしいことです。

また、10年前にはIPMUが存続し続けるとは考えもしませんでした。WPIからの補助金が保証されていたのは10年間だけでした。ここには10年後、私のほかは誰もいないのではないかと本気で心配していました。しかし、今日にしているように、これほど多くの人たちが10周年を祝ってくれています。これは文部科学省、東京大学総長、大学本部、また、わくわくするような研究を次々に展開するための重要な資金を供給してくれたカブリ財団からの力強い支援を如実に示しています。もし私の理解が正しければ、このように3方面から資金援助を受けることは日本のシステムでは全く新しいことであり、そのおかげでIPMUは当初の10年間を超えて存続し、さら

に成長し続けることができるのです。10年の月日は何と大きな違いをもたらすことができるものでしょうか。

しかし、いまや私たちは今後の方向を見据えることを必要としています。そのため、私は特にミハイル・カプラーノフとトム・メリアに今日ここで短いスピーチをするように頼みました。それがIPMUの将来だからです。創設当初、多くの優れた研究者が、やや危険な道であったにもかかわらず、将来を信じて私たちと努力を共にしてくれました。彼らは自分たちの将来を見通せてはいなかったのですが、物理学と数学と天文学を結びつける新しいタイプの研究所を創るというアイデアを気に入ってくれました。それ以来、彼らの多くはこの研究所を巣立って行き、現在他の研究機関で大きな成果を挙げています。しかし、ミハイル・カプラーノフとトム・メリアを見ると、彼らはIPMUがどういう研究所か良く知った上でここに来ました。ここで起きていることを良く理解し、高く評価したのです。彼らはそれを気に入ったの

です。それが彼らがIPMUに来た理由です。従ってこれはIPMUにとって新しい段階なのです。

10年は長い年月です。実際、私にとっては長い年月でした。しかし、人類の歴史を考えると、また宇宙の誕生から今までの138億年を考えると、ほんの一瞬に過ぎません。この会場の中央の柱にはガリレオの言葉、「宇宙は数学の言葉で書かれている」が掲げられていますが、ガリレオら以来の400年の科学の歴史に焦点を絞ってさえ、10年間はとても短いと言えます。

私たちはベンチャー企業なのです。ベンチャー企業だった設立当初のアップルやウーバーのようなものなのです。今後、長い道のりを進まなければなりません。ですから、実は10年というのは非常に短い期間であり、次の10年、さらにその先の10年があります。私は、日本政府、東京大学、そしてカプリ財団からの長期にわたるご支援をいただき、今から何10年も先にどういう展開があり得るのか、少なくともそういう未来を思い描くことができることを

大変感謝しておりますが、そうなったことはひとえに本日ご列席の皆様のおかげなのです。

私たちへの全ての支援は、学内外、日本から、地球全体から、ひょっとすると地球外生命からも、またIPMUで素晴らしい研究を行った研究者全員と彼らの研究活動を支援すると共に先ほどのビデオ上映でご覧になったように東京大学のシステム改革をリードした事務スタッフ全員からも与えられています。

この組み合わせは非常にユニークなものです。もしどれか一つでも欠けていたならば、私たちが今日ここにいたことはなかったでしょう。それこそが、この10年の歳月がIPMUに与えてくれた特別なものなのです。本日は、誠にありがとうございました。皆様方のご支援と本日ご列席いただきましたことを再度、心より御礼申し上げます。

カブリ数物連携宇宙研究機構10周年記念シンポジウム

大栗 博司

Kavli IPMU 主任研究員

2017年10月16日から18日の3日間、Kavli IPMUの設立10周年を記念する式典とシンポジウムが開催されました。

Kavli IPMUは2007年10月1日に文部科学省の世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)の一環として設立されました。文部科学省は、2007年の春に、「高いレベルの研究者を中核とした世界トップレベルの研究拠点の形成を目指す構想に対して政府が集中的な支援を行うことにより、システム改革の導入等の自主的な取り組みを促し、世界から第一線の研究者が集まる、優れた研究環境と高い研究水準を誇る『目に見える拠点』」の提案を公募しました。その年の5月に提出されたIPMUの提案は、書類審査の後、十数件の提案とともに8月のヒアリングに進みました。そして、9月の半ばにIPMUを含む5拠点の提案が採択され、2週間後の10月1日に発足となりました。同時に設立された他の4つのWPI拠点と異なり、IPMUはゼロから構築されました。カリフォルニア大学バークレイ校から村山 斉を機構長として招聘し、主任研究者や教員も全世界から集めました。4年半後の2012年2月には、米国カブリ財団からの寄付によりIPMUのための基金が設立され、4月1日にIPMUはKavli IPMUと改称され、全世界20か所にあるカブリ研究所のグループの一員となりました。

Kavli IPMUの10周年記念日が間近になった2017年1月、機構長の村山 斉から私に「あなたが10年前に組織委員長を務めた設立記念シンポジウムは大成功で

*1 「No good deed goes unpunished.」という英語のことわざの直訳。



KAVLI IPMU 10th
Anniversary Symposium
 with Ceremonial Session

Oct 16 (Mon) - 18 (Wed), 2017
 Kashiwanoha Conference Center
 Kavli IPMU

Distinguished Speakers:
 John Ellis King's College London
 Richard Ellis UCL
 David Gross KITP
 Takaaki Kajita ICRR / Kavli IPMU
 Masayuki Nakahata ICRR / Kavli IPMU
 Andrei Okounkov Columbia University
 Kyoto University
 David Spergel Princeton University
 Shing-Tung Yau Harvard University

IPMU Alumni Speakers:
 Robert Quimby San Diego State University
 Susanne Reifert University of Bonn
 Mauricio Romo Institute for Advanced Study
 Christian Schnell Stony Brook University
 Fuminobu Takahashi Tohoku University

IPMU Researcher Speakers:
 Shigeki Matsumoto
 Kenzo Nakamura
 Yoichiro Suzuki
 Yuji Tachikawa
 Masahiro Takada
 Yukinobu Toda
 Mark Vagins
 Tsutomu Yanagida

FOR MORE INFORMATION <http://indico.ipmu.jp/indico/event/134/>
 Kavli IPMU, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-8583, Japan

THE UNIVERSITY OF TOKYO wpi THE KAVLI FOUNDATION

した。申し訳ありませんが、善行必罰の理^{*1}がありますので」という連絡を受け、今回も私が組織委員長を務めることになりました。Kavli IPMUの幅広い研究分野をカバーするために、数学のミハイル・カブラノフ、素粒子論の野尻美保子、宇宙論と宇宙物理の高田昌広、実験物理学のマーク・ベイギンスの4名の主任研究者が組織委員となりました。

10周年記念シンポジウムの目的は、過去10年の間のKavli IPMUの業績を振り返り、将来の研究の方向を展望することにあります。そのため、かつて大学院生やポストドクトラルフェローとしてKavli IPMUに所属し、現在世界各地で活躍している研究者を呼び



戻し、彼らの研究の現状報告を聞くとともに、彼らとの間のネットワークを強化する機会にしようと考えました。また、主導的研究者を集めて、各分野の最先端を俯瞰し、新しい研究の可能性を探る機会ともしました。さらに、Kavli IPMUで現在行われている研究を周知するために、現在所属している研究者に、プレナリー講演、ゴングショー（3分間講演）、またポスターセッションで自らの研究を披露する機会を設けました。

柏の葉キャンパス駅前のホテルを会場としたシンポジウムでは、村山機構長による開会のあいさつの後、2004年度ノーベル物理学賞受賞者のディビット・グロス氏と1982年度フィールズ賞受賞数学者の丘成桐（シン・トゥン・ヤウ）氏に講演していただきました。両氏は、2008年に開かれたIPMU設立記念シンポジウムにも来てくださったので、10周年記念シンポジウムの機会に再来日していただき、私たちの進歩の様子を見ていただけたことは幸いです。彼らには、各分野の概観ではなく、各々が現在興味を持って研究していることについて語ってくださいますようお願いしました。グロス氏はそれに応えて、サチデフ イェ キタエフ

模型のラージN極限を、自らの力技で解き、その相関関数を計算した結果を紹介してくださいました。これは、量子ブラックホールの問題と深くかかわる結果です。また、丘氏は、一般相対性理論における質量や角運動量の問題、特に、閉じた面に囲まれた空間的領域におけるそれらの定義について講演されました。これは、1979年にロジャー・ペンローズが一般相対性理論の最も重要な問題として指摘したものです。丘氏は、この問題の解決に向けての、彼らの最新の結果について紹介されました。

これらの講演に続いて、Kavli IPMUの主任研究員であり、サイモンズ財団のフラットアイロン研究所の計算宇宙物理学センター所長でもあるディビット・シュパーゲル氏による、宇宙マイクロ波背景放射の観測の将来についての講演がありました。素粒子論現象論の主導的研究者であり、Kavli IPMUの外部諮問委員でもあるジョン・エリス氏は、CERNにおけるヒッグス粒子の発見の意義とLHCの13 TeVでの実験のもたらす可能性について、観測的宇宙論の主導的研究者のリチャード・エリス氏は、原始銀河と宇宙の再電離の関係

について講演されました。2007年フィール賞受賞数学者であるアンドレイ・オクンコフ氏は、Kavli IPMUの多くの数学者や理論物理学者との研究交流があります。今回は、理論物理学でしばしば登場する不変量を数学的に数えようとする際に現れる問題について、教育的配慮に満ちた解説をされ、こうした問題を乗り越えるために開発された数学的方法について講演されました。また、2015年ノーベル物理学賞受賞者で宇宙線研究所所長の梶田隆章氏、同研究所神岡宇宙素粒子研究施設長の中畑雅行氏は、各々、大気ニュートリノ実験と超新星ニュートリノについて講演されました。

Kavli IPMUは、過去10年の間に、世界各地から若く優秀な研究者を集め、彼らに研究指導をするとともに、彼らの研究を伸ばすために最適な環境を提供してきました。こうしてKavli IPMUで育った大学院生やポストドクトラルフェローが、世界各地の一流大学や研究施設で重要な職に就き、リーダーとして活躍していることは、私たちの誇りです。彼らの業績を周知するために、彼らの数名にも、今回のシンポジウムで講演してもらいました。彼らの講演の前には、各々、Kavli IPMUにおける研究指導者による紹介がありました。

スザンナ・レファート氏は、IPMUの最初のポストドクトラルフェローとして2008年秋に着任した一人でした。現在は、スイスのベルン大学の教授です。彼女がIPMUを離任するときに、IPMUでの3年間について語ってくれたインタビューが、*IPMU News*の16号に掲載されていますので、ご覧ください。^{*2}レファート氏は、Kavli IPMU教授のシメオン・ヘラーマンによって紹介されました。

ストーニーブルック大学数学准教授のクリスチャン・シュネル氏は齋藤恭司によって、サンディエゴ州立大学准教授でラグア山天文台台長のロバート・クインビー氏は野本憲一氏によって紹介されました。このシンポジウムの初日には、中性子星連星の合体からの重力波とそれに続く電磁波の初観測が、LIGOグループ、Virgoグループとその連携研究施設によって発表

されるという大きなニュースがありました。シンポジウムの多くの参加者にとっても興味のある話題だったので、連星からの重力波や電磁波のデータを分析した論文の共著者でもあったクインビー氏に、急遽、今回の発表についての短い講演を追加でお願いしました。直前の依頼でしたが、今回の発表とその意義について、とても分かりやすい講演をしてくださいました。

東北大学教授で素粒子論の研究者の高橋史宜氏は柳田 勉によって、プリンストン高等研究所の超弦理論研究者のマウリツィオ・ロモ氏は堀健太郎によって紹介されました。

Kavli IPMUの現役研究者としては、マーク・ベイグンが超新星ニュートリノについて、立川裕二が場の量子論について、松本重貴が素粒子物理学と宇宙物理学の連携について、高田昌広がすばる望遠鏡とハイパー・シュプリーム・カムによる観測について、戸田幸伸がゴバクマー・バッファ不変量について講演をしました。そのほか、ゴングショー（3分間講演）やポスターセッションによる研究紹介の機会もありました。

シンポジウムは、Kavli IPMUの「創世記」についての3つの講演で幕を閉じました。私は、東京大学でサバティカル学期を過ごすために、2007年3月から5月末まで東京に滞在し、その時にIPMUの構想に加わりました。そのため、3月以前に、IPMUの構想がどのようにして生まれてきたのかを語った鈴木洋一郎の講演は、私にはとりわけ興味深いものでした。

IPMUの提案が5月に提出された後、9月に採択される以前から、私たちはIPMUの研究棟のデザインを考え始めていました。研究者間の連携を促進する新しいアイデアを取り入れたデザインに対しては、数々の建築賞が授賞されました。この研究棟の建設計画を主導した柳田 勉は、このような斬新なデザインがどのように生まれたのかを振り返りました。

WPI拠点には、「優れた研究環境ときわめて高い研究水準」を達成するために、「システム改革の導入等の自主的な取り組み」が求められています。Kavli IPMUの初代の事務部門長であった中村健蔵は、こう

^{*2} http://www.ipmu.jp/sites/default/files/webfm/pdfs/news16/J_TalkingIPMU.pdf



(最上段左から右へ、敬称略) 大栗博司、村山 斉、ディビット・グロス、シントゥン・ヤウ、ディビット・シュバークル、ジョン・エリス、(上から2段目同) 梶田隆章、リチャード・エリス、アンドレイ・オクンコス、中畑雅行、スザンナ・レファート、クリスチャン・シュネル、(上から3段目同) ロバート・クインビー、高橋史宜、マウリツィオ・ロモ、マーク・ベイギンス、立川裕二、松本重貴、(最下段同) 高田昌広、戸田幸伸、鈴木洋一郎、柳田 勉、中村健蔵、ポスターセッションの様子。

したシステム改革を導入する際に直面した問題や、それがどのようにして乗り越えられてきたかについて語りました。

シンポジウムの初日には、会場をKavli IPMU 研究棟の藤原交流広場に移して10周年を祝う式典も開かれました。五神 真東京大学総長、関 靖直文部科学省研究振興局長、宇川 彰WPIプログラム・ディレクターをはじめとする来賓の方々によるスピーチがありました。また、カプリ財団のロバート・コン氏は、藤原交流広場の壁に掛けられたフレッド・カプリ氏の肖像画を指し示し、カプリ財団とKavli IPMUの協力の歴史について語りました。IPMU設立が発表された2007年9月には、ちょうどフレッド・カプリ氏の80歳の誕生日記念シンポジウムがカリフォルニアで開かれており、その席で、IPMUとカプリ財団の最初の接触がありました。その4年半後にIPMUはKavli IPMUとなり、両者の協力から様々な成果が生み出されてき

ました。

10周年記念式典の最後には、いわゆる「フラッシュ・モブ」のパフォーマンスがありました。榎本裕子機構長秘書による琴の独奏に始まり、村山機構長がコントラバスで加わり、Kavli IPMU交響楽団と東京大学交響楽団カルテットに続いて、参加者全員がベートーベン第9交響曲の「歓喜の歌」を合唱して終わりました。

過去10年の間に、Kavli IPMUは、ゼロから出発し、世界中から最も優秀な科学者を集め、画期的な研究業績を生み出してきました。また、システム改革や科学アウトリーチでも、様々な成果を上げてきました。私たちの夢を信じて、協力してくださった皆さんに感謝します。また、組織委員長として、今回のシンポジウム成功のため献身的には働いてくださったKavli IPMUのスタッフの方々にも感謝します。Kavli IPMUはまだ若く、希望に満ち溢れています。次の10年の間に、どのような発展があるか、楽しみです。



Interview

アンドレイ・オクンコフ教授 に聞く

聞き手：中島 啓

モスクワ大学では夕方からの特別
課程で本当の数学を学ぶ

中島 今日は時間を都合していただき、ありがとうございます。あなたが数理解析研究所に滞在している間にお聞きしたいと思っていたことが幾つかあるので、ちょうど良い機会です。**オクンコフ** どういたしまして。私も後であなたに質問したいことがあるので、よろしくお願いします。

中島 それでは、まずあなたの学問的な背景からお聞きしたいのですが、モスクワ大学では何を学ばれたのでしょうか。特に数学と物理学について伺いたと思います。キリロフ (Alexandre A. Kirillov) とオルシャンスキー (Grigori Olshanski) が指導教員だったことから、最初は表現論を勉強されたのではないかと思います。現在の研究は代数幾何学、確率論、それから物理学、ゲージ理論、弦理論、可積分系といった多くの分野と関連しています。なぜそれほど広範囲にわたる知識をお持ちなのでしょう。

私はずいぶん前に東京大学を卒業しましたが、物理学は学部で1年半勉強しただけでした。講義で基本的なことを聞いただけです。実験もしましたが、全く好きになれませんでした。後に、ウィッテン (Edward Witten) のチャーン・サイモ

アンドレイ・オクンコフさんは1995年にモスクワ大学から数学の博士号を取得しました。2010年よりコロンビア大学で数学科教授を務めています。確率論、表現論、代数幾何学を結びつけた業績により2006年に数学で世界最高の栄誉とされるフィールズ賞を受賞しました。

ンズ (Chern-Simons) 理論についての論文が出た時に物理学者からではなく、共形場理論を研究していた数学者の土屋 (昭博) さんとジョーンズ・ウィッテン (Jones-Witten) 理論に関するオックスフォードセミナーの講義録から勉強しました。それから1994年以降、ザイバーク・ウィッテン (Seiberg-Witten) 理論についての物理学者の講義を聞きました。系統的に勉強したわけではありませんので、この記事を読む若い人たちに私のやり方をお勧めはできません。

オクンコフ 私は1989年から1993年までモスクワ大学で数学を学びました。ですから、モスクワ大学の数学の黄金時代には立ち会えず、当時のヒーローたちの多くとは西側諸国でやっと会えました。私が学生の頃受けた教育には、非常に異なる2層構造がありました。通常のカリキュラムは、宇宙産業あるいは防衛産業への就職を非常に重視していたと思うのですが、数値解法、力学、基礎物理学に多くの時間が充てられました。私はそれをいろいろな角度から楽しんでいました。後には、自分でも数値解法を教えることが本当に好きになりました。しかし私にとって本当の数学は夕方から行われていた特別の講義とセミナーでした。正規の講義でリー群論を教えたのは、唯一ゼリキン (Mikhail I. Zelikin) の最適制御の講義だけでした。しかし、キリロフのセミナー (キリロフが不在の時は、しばしばオ

ルシャンスキーがリードしました) ゲルファント (Israil M. Gelfand) のセミナー (ゲルファントが異動した後はルダコフ (Alexei N. Rudakov) が主催しました) それからベーリンソン (Alexander A. Beilinson) とフェイギン (Boris L. Feigin) の講義は、表現論を中心に展開されました。

オルシャンスキーの仕事に触発され、私は博士論文の研究テーマとして無限対称群の表現論を取り上げました。私が大学院生の間にオルシャンスキーと一緒にに行った研究は、無限次元の観点と漸近挙動の観点に触発された、古典的な組合せ論的表現論と多分言えると思います。その起源をたどると、それぞれゲルファント学派、ヴェルシク (Anatoly M. Vershik) とケロフ (Sergei V. Kerov) のアイデアに行き着くのではないかと思います。そういう教育を受けたので、これが私の数学のベースとなっています。

私は非常に早くからオルシャンスキーに次のように教育され、今それを私の学生に繰り返しています。それは、物事を抽象的に書物の中で学ぶことと、実際に手を動かして学ぶことには非常に大きな違いがあるということです。モスクワ大学では物理学のコースはランダウ・リフシッツに基づき、また確率論と確率過程のコースもあり、それらは非常に基礎のしっかりした厳密なコースでしたが... 非常に幸運な偶然により、ドブルーシン (Roland L. Dobrushin) の研究室に入って皆が実際に数

理物理学を研究しているところを見ることができました。それは全く違った、洗練されていない、非常に直感的なやり方でした。私は研究と論文執筆に携わりながら共同研究者から直接多くの教えを受ける一方、色々なことを実際に学ぶことができ、大変幸運だったと思います。

中島 モスクワの2層構造の教育システムについては聞いたことがあります。それは、日本や他の国にはないものだと思います。読者のために説明していただけますか? 今でもそれは続いているのですか?

オクンコフ その質問には驚きました。ロシアでは伝統的に力を入れていることですが、学校の正規の授業が終わってから、夕方私たちが「サークル」と呼んでいる色々な「学校のようなもの」で大学生や大学教員が高校生を教え、その後大学の正規のカリキュラム外の特別講義とセミナーがあります。その歴史は知りませんが、この教育への熱意は、恐らく19世紀に知識層が大衆を教育しようと努力したことにルーツがあるのではないのでしょうか。こういった伝統が、今、例えばアメリカの幾つかの地域のように、外国の地に根付いて花を咲かせている様子は、とても素晴らしいことです。

私は正規の講義よりもこのようなチャンネルを通してより多くを学んだと思います。そういう場で私は親友達とも出会いま

中島 啓さんの現職は京都大学数理解析研究所教授ですが、2018年4月からカプリPMUに着任予定です。



した。妻のインナ (Inna) もその一人で、私たちは Economics + Mathematics + School を意味する EMSch という名前のそういう学校で一緒にいた。実は、最初に私たちが会った時、私は教わる側の生徒で彼女は既に教える側の先生でした。EMSch は今でもとても良い学校で、丁度 50 周年を迎えたところです。

家族と有り余るほど自由時間があり
幸せだった大学院生時代

中島 先日、大学院時代は十分時間があつたし、その上 2 人の娘さんがいらっちゃったこと、また、モスクワの地下鉄で教科書を読んだことを伺いました。どうしてそういうことが可能だったのですか？ 私とは全く違う、多分他の人たちとも全く違うと思います。たいていの人は数学の最先端にたどり着くため、大学院では猛勉強するものです。私は幸運にも修士課程を終了後に恒久的な職に就くことができました。当時、日本ではそれが一般的でしたが、現在の若手は何年もの間任期付きの博士研究員として勤める他ありません。おそらく彼らは私の場合よりもっと一生懸命勉強しなければならぬと思います。

オクンコフ おそらく私の事情は典型的とは言えないものと思います。1993年に大学院に入った時、私には既に妻子がいました。当時ロシアの経済は完全に崩壊しており、ほとんどのロシア人科学者にとっては西側諸国に行くことが基本的に唯一の収入の途でした。私の場合、妻のインナが商売を始めて家族を養い、一方私は食料を買い求めて料理したり、手製のおむつを洗濯してアイロンをかけたりにしていたのですが、その間数学について考える時間が十分になりました。私たちは使い捨てのおむつも洗濯機も持っていませんでした。アイロンは友人たち全員がお金を出し合ってくれた結婚祝いでした。実のところ、博

士論文の審査を受ける日、私は熱湯消毒していたおむつの取り扱いをしくじり、片方の腕に包帯を巻いて審査に臨みました。私の記憶では、審査委員は誰も心配してくれませんでした。当時は何が起きても異常とは思われなかったのです。しかし、色々考え併せてみると、家族というものは人生の幸福の最大の源ですし、その次に大きな幸福の源は何か新しいことを理解することで、それもまた十分にありましたから、その頃は非常に幸せな日々だったと思います。

短期契約の若手教員であることのストレスに比べれば、数学の若手研究者にとって、大学院の学生時代は自由な時間の極大値を与えてくれるものであります。もちろん、これは一生懸命勉強するべきことを意味しますが、それだけではなく、じっくりと考えることや実例を考えること、数学および科学一般に興味を持つことに時間をかけるべきことも意味します。大学へ通う地下鉄に乗りながら私の数学を形成してくれた多くの本を読んだことは事実です。そして、今日まで地下鉄に乗るときはいつも、ニューヨークでも本を持つように心がけています。

ラフル・パンダハリパンデとの量子
コホモロジーに関する共同研究

中島 次に、ラフル・パンダハリパンデ (Rahul Pandharipande) との量子コホモロジーに関する共同研究についてお聞きしたいと思います。その共同研究はどのように始まったのでしょうか。その頃、フルヴィッツ (Adolf Hurwitz) 理論はそれ以前からご存知でしたが、あなたにとってグロモフ-ウィッテン (Gromov-Witten) 不変量は新しいことでした。共同研究を始める前に何か聞いていたのでしょうか？ 私は何度か共同研究をしました (吉岡康太、Lothar Goettsche、Alexander

Braverman、Michael Finkelberg、その他) が、実際に開始する前にそれぞれの研究について相互に理解するため、数年が必要でした。あなたとラフルの場合は、共同研究の開始より十分前からお互いの研究について知っていたのですか？ それから、始まった後はどのように進んだのですか？

オクンコフ これも幸運な偶然だったのですが、シカゴ大学で私とラフルのオフィスが隣り合わせていたのです。そして私はシカゴ大学でフルトン (William Edgar Fulton) とラフルらが主催していた非常に活発な量子コホモロジーのセミナーに参加していました。面白いことに、ある日ラフルが話したとき、スペンサー・ブロッグ (Spencer J. Bloch) が Faber-Pandharipande のホッジ積分の計算に、スペンサーと私の n -wedge representation (無限外積表現) の指標についての論文 [The Character of the n -Wedge Representation, S. Bloch and A. Okounkov, *Advances in Mathematics*, 149 (2000) 1] に現れるのと完全に一致する形でベルヌーイ数が現れることを指摘しました。(後で振り返ってみると、この無限外積表現の指標はラフル、エスキン (Alex Eskin) から私の完備化されたサイクルの理論の次数 0 の項に他なりません。) ですから、私はこのテーマについていくらか知識はもっていましたが、もちろん本当に専門的な知識ではありませんでした。

1次射影空間 P^1 のグロモフ-ウィッテン理論に対する江口 (徹) 堀 (健太郎) 梁 (成吉) の戸田方程式は当時まだ予想だったのですが、ラフルはカリフォルニアに移った後、予想の様々な帰結についての論文を書きました。その中にフルヴィッツ数についての予想も含まれていました。もちろん私はフルヴィッツ数を知っていました。なぜなら、第一にそれは対称群の

指標の単なる別名で、オルシャンスキーと私が長時間かけて再検討した世界に属するものだったからです。第二に、当時私はフルヴィッツ数を用いた幾何学的議論によりランダムな並び替えにおける増加部分列に関する Baik-Deif-Johansson (BDJ) 予想をちょうど証明したところでしたから、フルヴィッツ数が常に頭の中にあつたのです。そのため、私はこの予想の証明はさほど難しくはないと思いました。(実際その通りでした。) これがラフルとの最初の数学的な接点でした。

BDJ 予想の研究で、曲線のモジュライ空間に関するウィッテンの交差数に対するコンセピッチの組み合わせ論的計算公式との関係を見出しました。これはその頃非常に流行したテーマでした。フルヴィッツ理論と (当時出たばかりだった) ELSV (Ekedahl, Lando, Shapiro, and Vainshtein) 公式を用いると組み合わせ論的計算公式の独立な証明が得られることと、全てを考慮するとこれが見通しの良い証明であることが分かりました。私はもっと (ラフルから彼の専門の) 代数幾何学を学ぶことに非常に興味があり、ラフルも他の関連する内容について私の説明を同様に喜んで聞いてくれたことと思います。これが共同研究の始まりでした。始めからこの研究がうまくいくことは明らかでした。共同研究がこのような運の良い始まり方をすることもあります。(後に、例えば、例の戸田方程式を証明した時、あるいはいくつかの $GW=DT$ [グロモフ-ウィッテン不変量とドナルドソン-トーマス (Donaldson-Thomas) 不変量の対応] の論文では、正しいアイデアの組み合わせを見出すまでに違うことを本当に色々試みなければなりません。) 私たちの共同研究の最初の論文の中でラフルが担当した部分には、とりわけ仮想基本類と仮想局所化についての優れ

たイントロダクションがありますが、今やこの論文を読む人は誰もいないと思います。しかし、それで良いのです。その当時以来、このテーマは遥かに高いレベルに到達しているのですから。

中島 次はニキータ (Nikita A. Nekrasov) との共同研究についてお聞きます。ニキータは数学を非常によく理解していますが、それでも物理学者です。物理学者と共同で論文を書いた数学者は、あなた以外に余りその例を知りません。最近では物理学に興味を持つ数学者は多いのですが (それでIPMUが設立されました) 未だにコミュニケーションを妨げる壁を越えるのはそんなに簡単なことではありません。特に、私は物理学者と数学者の共同研究の例を余り知りません。あなたとニキータはどうやって理解しあっているのですか? もっと具体的には、どうやってインスタントンの数え上げについての結果を得たのですか?

私は吉岡さんと一緒に同じ結果の異なる証明を得たので、個人的に興味があります。私の場合は、初め証明しようという積りはありませんでした。それ以前のブローアップの上のインスタントンについての共同研究がうまくいかず、インスタントンの数え上げを使ってそれを修正したかったのです。証明を見つけたのは全く予想外のことでした。それでも、私たちはザイバーク-ウィッテン曲線の意味を理解するのに時間がかかりました。あなたたちは最初からちゃんと理解していたように見えます。

オクンコフ 数学と理論物理学は非常に異なる発展をします。数学では、私たちは十分な時間をかけて基礎を考え直し、ある事象について、細部にわたる本質的要素が全てハイライトされ、特徴的ではあるが非本質的な面が除去された、最も一般的な形で提示された場合は



進歩であるとみなします。その結果、私たち数学者の研究対象は、単に厳密という意味だけではなく、私たちの知識がはっきりした境界を有し、その先が未知であるようなある体積を満たしているという意味で、しっかりとした基礎の上に築き上げられています。物理学では物理の同僚たちがこういう比較を許してくれることを願っていますが、非常に大事なことは現在最も興味をもって研究されている尖端に、小さくても新しく重要なことを最初に付け加えることであり、ちょっと拡散律速凝集 (Diffusion-limited aggregation; DLA)* の成長、あるいはソーシャルネットワークでの議論に似ていると私には思えます。この成長は、速いけれども非常にフラクタルな樹木状の構造になることが知られています。数学者にとってこういう構造は、境界をたどったり、あるいは流行のトピクスについての文献の迷路を通り抜けたりするのが極めて困難です。非常に運の良いことに、ニキータのような人たちもいて、彼らの頭の中では全てが整然と整い、隙間は埋められています。私は彼を理解するのにこれまで何の問題もありませんでした。

2002年の春、私がパリにいた時のことですが、ニキータから現在ネクラソフ分関数 Z と

して知られるものを含む彼の論文「インスタントンの数え上げから得られるザイバーク-ウィッテン (SW) ポテンシャル」の原稿を受け取りました。強調しておきたいのですが、 Z は分割に関する和であり、私は分割が好きで、その基本的な幾何学をとっても心地よく感じる人間です。それをニキータは知っていました。SWポテンシャルを得るためには Z のある極限をとらなければならないのですが、とにかく当時知られていた最も奥深い構造についての話だったので、私は最初それは非常に微妙な操作に違いないと確信していました。それで、次の冬ニキータがプリンストンを訪れるまで、最初のうち私は余り深く考えませんでした。人間は社会的な生き物であり私たちの頭脳は他者との交流のために配線されているわけですから、科学において社会的側面に依存するものが如何に多いかは驚くほどです。とにかく、いったん正しい神経細胞が発火すれば、SW極限は分割に対する大数の法則でありSW曲線はまさにそれに伴う極限図形であることが直ちに明らかになり (これは私が本当に良く知っていたヴェルシク-ケロフ流の数学です) 詳細を詰める作業は物理学者なら「純粋な数学の問題」と表現するであろうものとなったのです。

冪級数は自然数 N の上の積分、あるいは実数 R の自然数を台とする測度 μ による積分にほかなりません。時には級数の漸近挙動はラプラスの方法、すなわち最も大きな項に注目することにより計算できます。これは適切にスケールを取りなおした μ に対する大数の法則を意味します。これは、例えば R の代わりに R 上で定義されたりブシツツ (Lipschitz) 関数の全体のなす空間として、 N の代わりに分割図形をとるなど、もっと一般的な空間に対して成り立ちます。(ヴェルシクとケロフの慣習に従い、ロシアでは45度の軸で分割図形を描きます。それは紙の使用量を $\sqrt{2}$ 分の1に節約し、さらに図形の境界をブシツツ定数1の関数に置き換えます。) 最大項、つまり極限図形は、ある変分問題によって決定され、この例ではSW曲線によって非常にエレガントに解が得られます。代数幾何学を使って変分問題を具体的に解くことができるのですが、その部分を除けばこれは実に基本的な確率論なのです。私たちは後にリック・ケニオン (Richard W. Kenyon) と共にこれに関する一般論を展開しました。こういった極限図形のうちで最も簡単

* ブラウン運動する粒子が核となるクラスタに取り込まれ、クラスタを成長させる過程

なものの一つである一様ランダムな3次元分割に対する極限図形は、ある予期せぬ偶然により堀-ヴァッフア (Cumrun Vafa) の D^3 ミラー模型と同一であると認識されました。それがGW=DTの物語全体の始まりでした。

籠多様体と量子可積分系の関係

中島 あなたは、学生向けの講義で籠多様体と量子可積分系の関係を説明されました。その講義はたいへん面白く、またあなたが神保(道夫)・三輪(哲二)やほかの人の仕事をよく理解していることに感銘しました。あなたはどのようにして量子可積分系を勉強されたのですか?

オクンコフ 私はまだとても神保さんや三輪さんのような人達の域には達していないことは確かですが、そう言っていたいてとてもうれしく思います。私たちの頭脳が数学のある部分は受け入れないのに、一方では他の部分を非常に容易に受け入れることに私は気がつきました。恐らくこれはなんらかの先天的な資質によるものと思われますが、しかしまた既に知っていること、理解していることにもよるのです。私はいつも学生に、自然にやってくることとつき合いなさいと言っています... 多分これはキリロフの言う「数学は断熱膨張的にしか習得できない」が意味することだと思います。とにかく、私は神保・三輪-ファデーフ(Faddeev)-レシェーツキン(Reshetikhin)... スタイルの数学を容易に受け入れられました。なぜなら、第一に、その数学は基本的に表現論に統計力学が混じったものであって、その2つは私にとって容易に関わる分野であるからです。しかし、多分もっと重要なことは、その数学がある基本的な数え上げ幾何学の問題に解答を与えるとともに、こういう幾何学的考察により、新しい、私が単純化と考える光で照らし出されて見

えるのです。

私は長い間色々な数え上げ計算を行い、解析しました。それは実に難しい分野です。それは流行のトピックかもしれませんが、実際に現代的数え上げ問題を解くのは別の話です。定義から解が得られる自明な場合があるかもしれませんが。加えてちょっとした機転や細工で解ける2、3の場合、コンピューターの助けを借りて解ける多分もっと多くの場合、運よく予想が当たる場合もあるかもしれません。しかしその後は、ある点で何か奇跡が起きることが必要です。従って、何らかの意味での解の全体を説明する枠組みがある場合はいつでもそのようなのですが、頭の中では既に具体的なデータと特徴で肉付けする準備ができています。ニキータとサムソン(Samson L. Shatashvili)が、Nakajima多様体(籠多様体)上の曲線の数え上げおよび関連する幾何学がどのように量子可積分系と結びついているべきかに関する展望を得た直後、私は確かにそのことを感じました。私が一方向から理解していたようなことが、突然逆方向からの新たな光を受けて輝いたので、最高の気分でした。

オクンコフ教授からの質問

オクンコフ では、私からも質問させてください。何年も中島籠多様体を研究している一人として、当然ですがその始まりと初期の歴史に非常に興味があります。どういう風に始まったのですか?

中島 私は、1988年に向井(茂)のK3曲面上の正則ベクトル束のモジュライ空間の研究に感銘を受けて、K3曲面の非コンパクト版であるALE空間の上で同様の問題を考察し始めました。そしてクロンハイマー(Peter Kronheimer)と共同で、ALE空間上の正則ベクトル束、もしくはインスタントン

のADHM (Atiyah-Drinfeld-Hitchin-Manin) 記述、籠による記述を与えました。それは、1989年の夏のパークレーでのことです。そのあと、クロンハイマーはゲージ理論のトポロジーへの応用へ興味を移しましたが、私はこの特別なモジュライ空間の研究を続けました。1990年の京都でのICM (国際数学会議)でルスティック(George Lusztig)の全体講演を聞いて、籠が彼の研究の中に現れていることを知りました。それから彼の研究を検討し始めたのですが、そのときの私のバックグラウンドとはずいぶん違っていましたので、苦労しました。やがて、スロドウィー(Peter Slodowy)の横断片がモジュライ空間として現れることを発見し、そして堀田(良之)-シュプリンガー(Tony Springer)と堀田-下村(直久)が、そのベッチ数をシュプリンガー表現の文脈で計算していることを知りました。1991年に、彼らの計算で最高次の部分を取りだすと、A型の既約表現のウェイト空間の次元を計算していること、それがルスティックの研究との結びつきを与えることに気がつきました。これは、柏原(正樹)-中島(俊樹)の論文を読んでいたときに気がついたことで、そのときに大変興奮したことを今でも思い出します。こうして、モジュライ空間、その後籠多様体と名づけられました。それがどのように表現論に関連するのかを理解することができ、そのあとの研究は順調に進みました。

オクンコフ あなたは微分幾何学と代数幾何学の両方を研究してきましたが、好きなのはどちらでしたか? 2つの異なる幾何学を比較してどう思いますか?

中島 私は学生のときに微分幾何学、特に多様体上の非線形偏微分方程式の勉強をしていました。その当時、小林(昭七)-ヒッチン(Nigel Hitchin)対応がホットな話題でしたので、代数

幾何学者と一緒に勉強のセミナーをしました。また、ファノ多様体上のケーラー・アインシュタイン計量にも興味を持ちました。こういった問題との関係から、幾何学的不変式論を次第に理解していきました。一方、日本の多数の代数幾何学者にとっては極小モデル理論が中心の話題でした。それは私には難しいように見えたので、当時私は自分自身は微分幾何学者だと思っていました。

籠多様体の分析を何年かするようになってから、だんだん代数幾何が必要になってくるようになりました。たとえば、1994年に書いた籠多様体の論文では微分幾何的な観点を書いていますが、1998年の論文にはもうありません。これは私の興味の変化を示しています。結局、滑らかな籠多様体は、正則ベクトル束やインスタントンのモジュライ空間としてよりも、層のモジュライ空間や点のヒルベルト型として、よりよく理解できることを発見しました。そのときから、私は微分幾何への関心を失いました。

しかし、私が微分幾何をバックグラウンドに持っていることは物理の論文を読むときに役に立っていると思います。私は、吉岡さんとのブローアップ上のインスタントンの数え上げに関する共同研究を気に入っていますが、彼はモジュライ理論に強い本当の代数幾何学者です。ですので、私は必要な物理の文献を探すのに集中することになり、そして繰り返し群方程式の論文を発見しました。

オクンコフ 今、あなたは頻繁にモスクワを訪問されますが、最初一番驚いたのは何でしたか? モスクワと日本の数学には似通ったところ、違ったところが色々あると思いますが、どんなところでしょうか?

中島 私が学生のころは、海外の数学者の講演を聞く機会はそれほど多くありませんでした。日本の先生方がカバーすること

のできる数学の分野には限りがありますので、我々学生は多くのことを書かれた文献や論文から勉強しました。たくさん論文を詳しく読むことが推奨されていましたし、海外から（普通の郵便で）送られてくる新しいプレプリントの紹介をする講演がたくさんありました。数論や代数幾何のようにたくさん日本人数学者がいた分野では、状況は違っていたかもしれませんが、しかし、私は若いときは、基本的な知識を先生方との直接のコンタクトからではなく、論文から身につけていました。アメリカや他の国でたくさんの方が講演から多くの知識を身につけているのを知って驚いたものです。

フェイギンは1990年ごろから毎夏京都に来ていました。その頃はICM 90の影響もあって、外国人の講演を聞く機会は飛躍的に増えていましたが、フェイギンの講演は他の誰とも違っていました。フェイギンは簡単な例から話始め、計算を少ししますが、講演の終わりに近づくとき突然に非常に不思議で興味深いことを言い始めます。十分に準備されていない講演を聞くのには慣れていなかったため、フェイギンの言っていることを理解するのは非常に難しかったです。それにフェイギンがどのようにしてアイデアを見つけているのか、私にはまったく理解できませんでした。フェイギンの考え方は、非常にミステリアスでした。

私は長いこと、ロシアの数学者はみなフェイギンのように講演し、ロシアの学生はそんな講演を聞くのに慣れているのだらうと思っていました。他のロシア数学者と会うようになってから、だんだんとフェイギンはロシア人の中でもユニークな存在で、ほとんどの人は我々とそんなに違わないと分かって来ました。ですので、私が2013年に初めてモスクワに行ったときは、驚くことは何もなかった

のです。最初にフェイギンに会ったときの方がずっと大きな衝撃でした。

オクンコフ 日本では多くのものが注意深く保存されている一方、非常にダイナミックに変わるものも数多くあります。日本の数学の世代間の伝統と革新について、どういうバランス感覚をお持ちですか？

中島 去年、竹内（潔）さんが日本語でD加群の教科書を出版されたんですが、その中で「D加群が発祥の国で理論がほとんど普及しなかったのは、まったく無念という他はない」と書いています。それにあなたが気がついたように、三輪さんが退官されてから、量子可積分系は京都ではまったく知られていません。（一つの理由は研究者が京都の外に広がって行ったからです。）それに、可積分系を教える講義もありません。同じようなことは、代数的位相幾何学でもおこりました。一時期、京都で盛んでしたが、今では数人の人しか残っていません。一方、代数幾何、数論、確率論や他の分野は通常の講義で教えられていて、研究グループのサイズは昔と同じか、あるいは大きくなっています。私が学生のときには、シンプレクティック幾何はありませんでしたが、いまでは東京と京都に強力なグループができています。

私が理解する限り、こういった変化と維持は計画のもとに行なわれているわけではありません。研究者の数は同じであるか、減りつつある一方で、シンプレクティック幾何のような新しく生まれた分野の優れた研究者を採用しなければ、研究のレベルを維持することができません。その帰結として、ある分野は縮小されることになります。また、教科書がたやすく手に入るかどうか、こういった傾向を決める要素の一つです。教養レベルから最先端まで、代数には良い日本語の教科書がたくさんあります。一方、可積分系には二、

三の良い教科書がありますが、絶対的に数が足りません。可積分系は、学生にとって勉強しづらいのです。

私は自分の経歴の中で分野の変更に成功したので、異なるバックグラウンドをもった人たちと議論することが大好きです。ですので、まわりの環境のダイナミックな変化が好きです。一方で、次の世代のために教科書を書く義務があることは理解していますが、それはいろいろな理由により、簡単なことではありません。3冊の教科書を書くことになっているのですが、何年間も先送りになってしまっています...

さて、大変楽しい話でしたが、そろそろ時間のようです。どうもありがとうございました。

オクンコフ ありがとうございます。

Our Team

ニール デイヴィッド・バリー Neil David Barrie 専門分野: 理論物理学

博士研究員

私は主として素粒子理論のダイナミクスと初期宇宙論の物理との相互関係に焦点を当てた研究を行っています。このような研究で観測と地球上での実験に基づく素粒子現象論を組み合わせることで、標準模型を超える物理の可能性をテストできます。これまでは、バリオジェネシス（バリオンの非対称の生成）、インフレーション、重力波といった問題における量子異常の影響に特に興味がありました。私は、こう

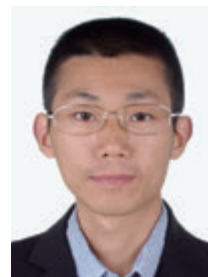


いった可能性についての研究を続けるとともに、他の天体素粒子物理学の模型の研究も行おうと計画しています。

葛 韶鋒 ガ・シャオフェン 専門分野: 理論物理学

博士研究員

私は主としてニュートリノ、ダークマター、コライダー実験の現象論、電弱対称性を破る模型など、素粒子の標準模型を超える新しい物理について研究してきました。最近では日本でのニュートリノ振動実験でCP非保存をもっと精度よく測定するTNT2K (Tokai and Toyama to Kamioka) 実験を提案しました。これは同じスーパーカミオカンデ (SK) またはハイパーカミオカンデ (HP) 測定器を用い、T2KまたはT2HK実験と静止状態での μ 粒子崩壊 (μ SKまたは μ HK) を組み合わせるものです。この組み合わせにより、今のところ好ましいとされているCPの最大の破れに対してCP位相角の不定性を著しく改善することができ、縮退を



取り除き、統計を増やすことができます。加えて、非標準相互作用や非ユニタリ混合のような非正統的モデルに対してCP非保存に感度を持つことを保証できます。この提案が実現し、レプトンのディラックCP位相角の測定で日本が勝利する助けになることを期待しています。

ティルマン・ハートウィック Tilman Hartwig 専門分野: 天文学

博士研究員

私は高解像度のコンピューターシミュレーションにより宇宙の初代星（ファーストスター）の性質を研究しています。初代星は超新星爆発で最期を迎える際に、その質量に応じて星間物質中に重元素を放出します。私たちの天の川銀河の中で最も古い星にこの特徴的な化学的痕跡を観測することができ、超新星爆発を起こした親星の質量に制限をつけられます。私のシミュレーションは観測結果を正しく解釈し、今後のサーベイ



を最適化し、そして最終的には初代星の特徴的質量に対して制限を与える上で役立ちます。

桑垣 樹 くわがき・たつき 専門分野: 数学

博士研究員

私は数理論理、特にミラー対称性に関する数学に興味を持っています。最近、超局所的手法のシンプレクティック幾何学への応用を研究しています。例えば、トーリック多様体に対するホモロジー的ミラー対称性をこの手法を使って証明しました。現在は、コンパクトシンプレクティック多様体の深谷圏をこの手法で理解・計算することに挑戦しています。



ジンマン・ウォン Jin-Mann Wong 専門分野: 理論物理学

博士研究員

私はF理論とM理論の範疇で研究を行っています。前者としては、F理論のコンパクト化における追加的なU(1)対称性の存在に関連した、楕円曲線によるファイブレーションをもったカラビ・ヤウ多様体の幾何学的側面を理解することに重点的に取り組みました。M理論に関しては、M5ブレーン理論の様々な次元へのコンパクト化と、3次元および4次元多様体の特徴と4次元/2次元対応予想を理解するために低次元理論をどのよ



うに用いることができるかに興味があります。

Our Team



私の研究は、理論物理学と宇宙論と天体物理学にまたがっています。特に、私は初期宇宙におけるヒッグス場の凝縮のダイナミクスについて研究してきました。インフレーションの間にスカラー場が大きな真空期待値を獲得する可能性があり、その後宇宙の再加熱段階で緩和します。ヒッグス場または他のスカラー場の緩和は宇宙の歴史で重要な役割を果たす可能性があります。その他、私はダークマターとヒッグス場の真空安

定性問題の間に考えられる関係にも興味を持っています。

Tea Break:

“IPMU Mechanism Length”って何だろう?

ある日、IPMUと何かもう一つの英単語をキーワードとしてグーグルで検索中に、意味不明の言葉に出会いました。その言葉を含むウェブページは、元になった日本語ページから俗にグーグル翻訳と呼ばれてきた無料サービスを使って翻訳したもののようです。そこから一部をコピーした図を下に示しておきます。感の良い方ならすぐお分かりでしょう。“IPMU mechanism length”とは村山さんのことを言っているようです。分からなければ、英和辞典を引いてください。

turnip re-Mr. IPMU mechanism length

AIは進歩しましたが、インターネット上の無料翻訳サービスを試してみると、未だに似たようなことが起きるようです。

さて、今度は先ほどの図全体を見てください。turnipが分からなければ、もう一度辞書を見てください。自動翻訳サービスは、どうやら「カブリIPMU 機構長」を訳そうとしたらしいのですが、re-Mr. が分かりません。相変わらず意味不明ですが、「turnip re: Mr. IPMU mechanism length (Hitoshi Murayama)」とでも読ませたいのでしょうか?

(中村健蔵)

原始ブラックホールに関するフォーカスウィーク研究会

アレクサンダー・クセンコ Alexander Kusenko

カリフォルニア大学ロサンゼルス校物理・天文学科教授、
Kavli IPMU客員上級科学的研究員

原始ブラックホールに関するフォーカスウィーク研究会は2017年11月13 - 17日に開催されましたが、偶々ゼルドヴィッチとノヴィコフが初期宇宙でブラックホールが形成される可能性を示唆した最初の論文の50周年にあたりました。この魅力的な可能性は、伝統的な天文学と重力波天文学における最近の理論的理解と観測の進歩により、焦点が絞られてきました。

ブラックホールの存在の証拠は益々増えていますが、その起源は良く分かっていません。最近、重力波により太陽質量の約10倍のブラックホールが発見されました。活動銀河の中の超巨大ブラックホールの存在と天の川銀河の中心に巨大ブラックホールが存在することが観測により確認されています。大質量星の超新星爆発がブラックホールを形成することは可能ですが、天体物理学的なブラックホールの質量関数についての私たちの理解は限られています。天体物理学的に形成されたブラックホールが、どのようにしてビッグバンからの短い時間で超巨大ブラックホールに成長し得るのか、納得できる説明はありません。宇宙が誕生した直後に形成された原始ブラックホールは、現在の宇宙の重要な構成要

素かもしれない、また天体物理学的な謎を解く鍵となるかもしれません。

研究会は、この分野を開拓したバーナード・カー (Bernard Carr) の歴史を概観するレビュー講演から始まりました。参加者は、ブラックホールの形成機構から観測による制約条件や原始ブラックホールと中性子星の相互作用までの広範な話題を議論しました。最近発見されたブラックホールの合体からの重力波は、少なくともある程度は原始ブラックホールの合体によるものであるという魅力的な可能性があります。別の質量領域では、宇宙のダークマター全てが原始ブラックホールで説明される3桁のウィンドウが存在します。最後に原始ブラックホールによる中性子星の破壊が金やプラチナ、その他の重い元素の形成に貢献する可能性があります。

新しい、かなり一般的な一群の機構によって原始ブラックホールが形成されるかもしれないことは、議論の中心となった最近の発展の一つでした。そのようなブラックホールは、その起源によって異なる質量とスピンを持つ可能性があります。

原始ブラックホールはカブリIPMUで行われている研究プログラムと強く

重なり合うテーマであり、学際的な研究所のシナジー (相乗効果) を踏まえて素粒子物理学者と天体物理学者と宇宙論研究者がどのように協力して研究するかを示す好例です。素粒子理論物理学者の川崎雅裕、アレクサンダー・クセンコ、柳田 勉は共同研究者と共に幾つかの重要な理論的アイディアによって寄与しました。すなわち、初期宇宙でブラックホールが形成される可能性のある幾つかの新しい機構を突き止めたこと、原始ブラックホールがどのように銀河中心で見いだされる超巨大ブラックホールの種になるのかを示したこと、原始ブラックホールによる中性子星の破壊が重元素合成の原因になり得ることを指摘したことです。天体物理学者の新倉広子、高田昌広、スルド・モレと共同研究者は、以前は観測でアクセスできなかった質量領域でブラックホールを探る観測キャンペーンを実施してきました。8.2 mのすばる望遠鏡に搭載したハイパーシュプリーム・カムのユニークな能力のおかげで、ブラックホール探索の新たな機会が開かれました。

研究会の参加者は一致して将来の劇的な発展と、願わくは大発見を期待していました。



Kavli IPMU 10周年記念式典とシンポジウム開催

2007年10月1日にWPI拠点として発足したIPMUは、4年半後にKavli IPMUとなり、2017年10月に10周年を迎えました。これを記念して10月16日 - 18日に柏の葉キャンパス駅前の三井ガーデンホテルを会場としてシンポジウムを開催し(p. 56 - 59参照)。初日の16日午後には会場をKavli IPMU研究棟に移して記念式典を挙行了しました(表紙およびp. 40 - 55参照)。

第10回 Kavli IPMU外部諮問委員会

Kavli IPMUの10周年記念式典及びシンポジウムに併せて、2017年10月18日の午後にKavli IPMUの第10回外部諮問委員会が開催されました。Steve Kahn (Stanford/SLAC)委員長をはじめ、John Ellis (King's College London)、小島定吉 (東京工大)、David Morrison (UC Santa Barbara)、岡村定矩 (法政大学)、Nigel Smith (SNOLAB)の6名の委員が出席しました。(p. 39の写真参照)。

今回は、WPI支援の5年延長期間に入った今、2021年度の支援終了を見据えて教員構成をいかにするべきか、また現在の研究プロジェクトの検討と今後の方向性について、議論していただき有益な意見をいただきました。

「次世代ニュートリノ科学連携研究機構」発足

2017年10月1日に、Kavli IPMU、東京大学宇宙線研究所、東京大学大学院

理学系研究科の3部局の連携により、梶田隆章宇宙線研究所長兼Kavli IPMU主任研究員を機構長とする「次世代ニュートリノ科学連携研究機構」が発足しました。ニュートリノ研究や実験技術開発を通じて、特にハイパーカミオカンデ計画を推進し、ハイパーカミオカンデが実現した際にはスムーズに研究が進められるよう「理論と実験・観測が強く連携した研究体制の構築」と「世界の中心となるニュートリノ研究拠点の創設」を目指しています。

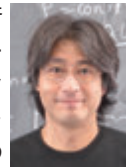
2017年11月8日には、宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設(岐阜県飛騨市)で発足式が開催されました。



Kavli IPMU 神岡分室前で撮影した式典参加者、関係者による集合写真 (Credit: 次世代ニュートリノ科学連携研究機構)

村山 斉機構長、フンボルト財団の研究賞を受賞

Kavli IPMUの村山 斉機構長がドイツのアレキサンダー・フォン・フンボルト財団(フンボルト財団)の研究賞受賞者の一人に選ばれました。この賞は毎年最大100人を上限としてドイツ国外の研究者へ贈られるものです。重要な発見や新理論、優れた洞察力等により学問分野へ大きな影響をもたらすとともに将来的に最先端の研究成果を生み出すことが期待できる、国際的に著名な研究者を対象としています。



村山 斉さん

村山機構長は、2018年6月開催のフンボルト財団年次大会での授賞式に出席する予定です。

David Spergel、小松英一郎両主任研究員が2018年ブレークスルー賞受賞

2017年12月3日、米国のブレークスルー財団が2018年の基礎物理学ブレークスルー賞をWMAP科学チームを主導してきた5名の研究者と残り22名のWMAP科学チームのメンバーに

授与すると発表しました。

今回の受賞者にはKavli IPMU主任研究員を兼ねるプリンストン大学教授のデイビッド・スパーゲルさんがWMAPを主導してきた研究者の一人として、またKavli IPMU主任研究員を兼ねるマックスプランク天体物理学研究所ディレクターの小松英一郎さんが受賞対象となったWMAP科学チームのメンバーの一人として名前を連ねています。



デイビッド・スパーゲルさん



小松英一郎さん

梶田隆章主任研究員、パークレー日本賞受賞

東京大学宇宙線研究所長兼Kavli IPMU主任研究員の梶田隆章さんが4回目となる2017-2018パークレー日本賞を受賞しました。この賞はカリフォルニア大学パークレー校の日本研究センターが海外における日本の理解増進に寄与した者に贈る賞で、過去の受賞者は村上春樹(第1回、2008-2009)、宮崎駿(第2回、2009-2010)、坂本龍一(第3回、2013-2014)の3人です。(p. 39の写真参照)。



梶田隆章さん

野村泰紀主任研究員が米国物理学会(APS)フェローに

Kavli IPMU主任研究員を兼ねるカリフォルニア大学パークレー校教授の野村泰紀さんが、素粒子・場の理論部門で米国物理学会(APS)フェローに選ばれました。余剰次元でのゲージ統一理論、電弱対称性の破れ、超対称性理論、ダークマター、マルチバース、量子力学及びブラックホールの基礎など、野村さんの素粒子理論分野への多岐にわたるこれまでの貢献が評価されました。



野村泰紀さん

金子大輔博士研究員、第12回(2018年)物理学会若手奨励賞受賞

Kavli IPMU 博士研究員の金子大輔さんが第12回(2018年)日本物理学会若手奨励賞を受賞しました。



受賞対象となった研究論文は金子さんの博士論文で、MEG実験のデータ解析の最終結果に関するものです。MEG実験は、素粒子標準理論では起こり得ないとされる正電荷のミュオン粒子から陽電子とガンマ線への崩壊を探し出し、超対称性大統一理論の証拠を捉えようとする実験で、スイスのポールシェラー研究所で行われ、現在はMEG II実験にアップグレード中です。

浜松ホトニクス株式会社、平成29年度「東京大学稷門賞」を受賞

Kavli IPMUへの寄附により、宇宙のダークマター・ダークエネルギーの探索や宇宙の成り立ちとその発展の研究を推進する「宇宙のダークサイド(浜松ホトニクス)」寄附研究部門の設置に貢献した浜松ホトニクス株式会社が、平成29年度東京大学稷門賞を受賞しました。(p. 39の写真参照。)

Kavli IPMUに関連する稷門賞としては、2012年の米国カブリ財団会長フレッド・カブリ氏の受賞があり、Kavli IPMU News No. 20の53ページに掲載されています。稷門賞のいわれについても、そちらをご覧ください。

Kavli IPMU事務職員らのチーム、2017年度東京大学業務改革総長賞を受賞

Kavli IPMU事務部門総務係の田村利恵子特任専門職員を代表とする事務職員と研究者、東京大学ハラスメント相談室相談員らからなるチームが「ハラスメント防止教育の普及によるリスクマネジメント」の成果により、2017年度東京大学業務改革総長賞を受賞しました。(p. 39の写真参照。)

これはKavli IPMUで教職員とその家族が参加するなどして英語によるハラ

スメント防止教育ビデオを制作したもので、東京大学のポータルページ経由で他部局の研究者も広く受講できるよう設定したことで、全学的な幅広い利用が可能となりました。この取組みが全学にE-Learningでハラスメント教育の機会をもたらし、業務改革につながったと評価されました。

2017年度柏キャンパス一般公開

2017年10月27日、28日の2日間、東京大学柏キャンパス一般公開「柏で探検、知の世界」が開催されました。Kavli IPMUは例年通り盛り沢山の企画で参加しましたが、特に研究棟の大講義室では初日に日影千秋助教の講演「ダークマターとダークエネルギー：すばる望遠鏡で探る見えない宇宙」、2日目に樋口岳雄准教授の講演「もうすぐはじまる Belle II 実験 電子-陽電子衝突実験が拓く新しい素粒子物理学」があり、盛況でした。2日間でキャンパス全体では8,800名が来場し、Kavli IPMUには3,100名以上が訪れました。



講演する日影千秋助教



樋口岳雄准教授の講演とそれを手伝う博士研究員の森井友子さん。

Kavli IPMUとICRRの第17回合同一般講演会開催

2017年11月3日に東京大学本郷キャンパスの伊藤謝恩ホールで「なみとつづのサーカス-宇宙の超精密実験の現在」を主題に、今回で17回目となるKavli IPMUと東京大学宇宙線研究所共

催の一般講演会が開催され、中高生を含む約370名が参加しました。

はじめに宇宙線研究所教授で岐阜県飛騨市神岡町の地下に位置する大型低温重力波望遠鏡KAGRAに携わる川村静児さんが「『重力波』アインシュタインの奏でる宇宙からのメロディー」と題し講演しました。続いて、Kavli IPMU助教のマーク・ハーツさんが「『ニュートリノ』T2K実験で探るその性質と将来展望」と題して講演しました。講演終了後には講師を囲む懇談会が催され、熱心に講師に質問する参加者の姿が見られました。



講演後、講師の対談も行われ、会場からの質問に答えるマーク・ハーツ助教(左)と川村静児教授(右)

「やっぱり物理が好き! 物理に進んだ女子学生・院生のキャリア」開催

2017年11月18日、Kavli IPMUと東京大学物性研究所、東京大学宇宙線研究所の主催により、物理を学ぶ女子学部生及び女子大学院生のキャリア支援を目的とした「やっぱり物理が好き! 物理に進んだ女子学生・院生のキャリア」がKavli IPMUで開催され、19名が参加しました。

人事異動

昇任

Kavli IPMU助教のJohn Silvermanさんが2017年10月1日付けでKavli IPMU准教授に昇任されました。



John Silvermanさん

転出

James WallbridgeさんがKavli IPMU博士研究員から日立製作所主任研究員に転出しました。在任期間は2013年8月1日から2017年12月31日でした。



籠 (えびら)

池田 暁志

Kavli IPMU 博士研究員

籠 (えびら) とは、頂点とそれを結ぶ矢印からなるものです。籠上では、例えばある2つの道を進んだ結果が等しいというような、関係式と呼ばれるものを考えることもできます。籠の理論を豊富にしているのは、籠の表現論です。表現とは、各頂点にベクトル空間を対応させ、各矢印に結んでいる頂点にあるベクトル空間の線型写像を対応させるものです。籠の表現論には、Gabriel の定理や Kac の定理という直既約表現の次元ベクトルと Lie 環のルートを対応させる定理や、表現の Ringel-Hall 代数を考えることで量子群が出てくるなど、様々な深い定理が知られています。また、籠の表現全体を集めたモジュライ空間を考えることで、中島籠多様体などの話題とつながっていきます。

