

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

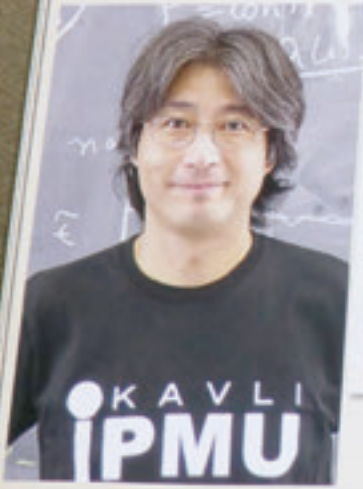


The University of Tokyo Institutes for Advanced Study
東京大学国際高等研究所

Message

Inaugural Address of New Director Hiroshi Ooguri

PASSING THE TORCH



Oct 15, 2018



Kavli IPMU NEWS CONTENTS

English

- 3 **Message** Hiroshi Ooguri
Hitoshi Murayama
Michael S. Turner
- 8 **Research Report**
Super-Kamiokande Prepares for Gadolinium
Loading – Tank Open Work Following 12
Years of Continuous Operation
Shigetaka Moriyama
Hiroyuki Sekiya
Mark R. Vagins
- 16 **Our Team** Rodrigo Alonso
Pietro Caradonna
Thomas Rafael Czank
Lalitwadee Kawinwanichakij
Keigo Nakamura
Ipsita Saha
John Welliaveetil
- 19 **Workshop Report**
The 4th Kavli IPMU-Durham IPPP-KEK-KIAS Workshop:
Beyond the BSM Michihisa Takeuchi
- 20 **Workshop Report**
Flavor Physics Workshop 2018
Takeo Higuchi
- 21 **Workshop Report**
School/Workshop “Noncommutative Deformations
and Moduli Spaces” Alexey Bondal
Kyoji Saito
- 22 **Workshop Report**
Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Stars
Tilman Hartwig
Miho Ishigaki
Naoki Yoshida
- 23 **News**
- 30 **Multi-Messenger Astronomy**
Nozomu Tominaga

Japanese

- 31 **Message** 大栗 博司
村山 斉
マイケル S. ターナー
- 36 **Research Report**
ガドリニウム添加に向け改修工事を進める
スーパーカミオカンデー
12年ぶりのタンクオープン
森山 茂栄
関谷 洋之
マーク・ヴェイギンズ
- 43 **Our Team** ロドリゴ・アロンソ
ピエトロ・カラドンナ
トーマス ラファエル・キザキ
ラリタワディ・カウィンワニシャキッド
仲村 佳悟
イプシタ・サハ
ジョン・ウェリアヴィーティル
- 46 **Workshop Report**
The 4th Kavli IPMU-Durham IPPP-KEK-KIAS Workshop:
Beyond the BSM 竹内 道久
- 47 **Workshop Report**
Flavor Physics Workshop 2018
樋口 岳雄
- 48 **Workshop Report**
スクール/ワークショップ「非可換変形およびモジュライ
空間」アレクセイ・ボンダル
斎藤 恭司
- 49 **Workshop Report**
Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Star
ティルマン・ハートウィック
石垣(新田) 美歩
吉田 直紀
- 50 **News**
- 52 **マルチメッセンジャー天文学**
富永 望



A slide from From Hitoshi Murayama's presentation at the all-hands meeting of Kavli IPMU members on October 15, 2018.
2018年10月15日に行われた Kavli IPMUの全体会議で村山 斉初代機構長が示したスライドより。



Photo by Kai Martens.
撮影：カイ・マルテンス。

Message

Hirosi Ooguri

Director of the Kavli IPMU



Inaugural Address to the Kavli IPMU Scientific and Administrative Staff Members

It is a great honor to succeed Hitoshi as the second director of this institute. I have known Hitoshi for more than 30 years. First when he was a graduate student in Tokyo in the '80s, then when we were both faculty members at UC Berkeley. For the last 11 years, I have been fortunate enough to have worked with him again at the Kavli IPMU and watched his leadership closely. Thanks to Hitoshi and the effort of many others, the institute has grown and flourished beyond my wildest imagination.

Over the last 11 years, the Kavli IPMU has produced high impact discoveries in mathematics, physics, and astronomy and has become one of the most attractive research destinations internationally. We

have succeeded in training and mentoring students and young scientists, and many of them have landed distinguished academic positions at leading universities and research institutes all over the world. We have introduced new and more effective administrative practices, and our initiatives are transforming universities in Japan.

Nevertheless, I was still pleasantly surprised when the Kavli IPMU was chosen for the five-year extension, which started last year. Though there were many reasons I can think of why we should have been selected, it should not escape anybody's attention that the research we do here is the most useless among those of the five WPI centers. It is significant that the Japanese government recognized the importance of the basic research we do here and care about, as something they should continue to promote.

Supporting basic science is a

good investment in a long run, and there have been many testimonies to support the fact that curiosity driven research has produced enormous dividends to humanity.

In 1939, Abraham Flexner, the founding director of the Institute for Advanced Study in Princeton wrote in his essay that "Most of the really great discoveries which had ultimately proven to be beneficial to the mankind had been made by men and women who were driven not by the desire to be useful but merely the desire to satisfy their curiosity."

More recently, Jean-Lou Chameau, the former president of Caltech said—this one I heard in person— "While we cannot pre-determine where scientific research will lead, we believe that true innovation comes when people can dream with freedom and focus. I believe that this philosophy of encouraging curiosity as well as the pursuit of what may appear

Message

useless knowledge remains an advantage of the country that needs to be protected and nurtured.” I found it impressive that Chameau, who is a civil engineer specialized in building roads and bridges, thought that pursuit of useless knowledge is of national interest.

The Kavli IPMU is supported by the three partners: the Japanese Government, the University of Tokyo, and the Kavli Foundation. We are grateful to Dr. Christopher Martin of the Kavli Foundation for being with us today. In this context, I believe the most important thing for us to do is to continue to demonstrate that we are worthy of their support, by producing ground breaking discoveries, by training and mentoring young scientists to become future leaders, and by inspiring systems reforms within the University of Tokyo and by spreading them to other universities in Japan. My job as the director will be to enable all of you to perform at the highest level, by supporting your research initiatives and by providing an ideal environment for your research.

Usefulness of useless research may be obvious to us here, but the idea does not come naturally to many outside of this building. We should not take their support for granted; we need to earn it. On my

part, I will take every opportunity to explain the importance of what we do here and to communicate your achievements effectively to our partners and to the general public.

Four years ago, Peter Goddard, the former director of the Institute for Advanced Study, visited here, and Hitoshi and I had a round-table discussion with him. You can read the transcript of our conversation on the *Kavli IPMU News*.^{*} There are two things Peter told us at the time, which have stayed with me.

One is that a truly academic institution should stay focused within its defined mission.

The Kavli IPMU has been successful, and it is well-supported, both in terms of funding and of human resources. We have become a permanent institution and our future is secure. We have many significant research achievements and have earned a high reputation. This means that many attractive opportunities are coming to us, and there are many good things we could do with them. But, there are only a limited number of things we can do. Rather than trying to do every seemingly-good thing that could be done, we should carefully choose the research directions that we are excited about and believe in, and do them

really well, identifying the most effective way to use our resources, taking calculated risks, and aiming to become the best in what we do. The choices we make should be guided by our mission.

The genius of the Kavli IPMU is in its mission, which is to solve the most fundamental questions about the Universe. The Universe is big, and it can accommodate all of us. There are many different ways we can study it from mathematics, from physics, from astronomy, and contribute to advancement of our knowledge, in astronomy, in physics, and in mathematics.

My own research has also been influenced by this mission. I am a string theorist, but my association to the Kavli IPMU has made me acutely aware that it is important to ask why and how my research is relevant to questions about the Universe. This has impacted the direction of my research, positively I hope.

When I was a high school student, I read the book entitled “Science and Method” written by Henri Poincaré, and it has had a big impact on me. Toward the end of this book, Poincaré asked himself, “Why do some research

^{*} “Round Table Talk: Peter Goddard with Hitoshi Murayama and Hiroshi Ooguri,” *Kavli IPMU News* No. 26, June 2014, pp. 16 – 21 and No. 27, September 2014, pp. 10 – 15.

directions give large returns and others don't?"

He wanted to devote himself to research directions that give large returns—the question is how to identify them. His conclusion was that the best research directions are the ones that inspire and influence progress in a broader area of science. Poincaré wrote, “as these sciences developed, we have recognized more clearly the link which unites them—the map of universal science.” He compares such science as “the nodal point of the Gotthard Pass in Switzerland, from which water flows and feeds four different basins.”

In the Google parlance, it is science with high PageRank that gives large returns.

At the Kavli IPMU, we are ideally positioned to practice what Poincaré preached. Our common goal to solve fundamental questions about the Universe helps us place our work in the big picture. The questions about the Universe naturally motivate mathematicians, physicists, and astronomers to work together and to recognize their links—the map of universal science. Our mission is what unites us here. I will foster and enhance the environment where such collaborations thrive.

Another point Peter Goddard made at our round-table

discussion* was that one should have an idea about timescale for an academic institution.

Hitoshi started the IPMU with his grand vision, and it has worked extremely well over the last 11 years. I do not see any reason we should change this basic model at this point. But, we should not stay content. Some of the projects we started 11 years ago have matured, and we should build upon their successes to capture new opportunities. This year, the Kavli IPMU became a permanent entity within the University of Tokyo. We have earned a high reputation, and many talented scientists want to come here to work with us. This means that there are things we can do that we had not been able to do before. It is a good time for us to reflect upon the progress we have made over the past 11 years and plan for our future, by making the most of our resources and opportunities available to us.

I believe the science at the Kavli IPMU should be driven by people. This is very different from 11 years ago, when IPMU started from nothing—no faculty members, no building. Now the most important assets we have are the people—and by that I mean you. Since the beginning of last month, I have met more than 25 scientific and administrative staff members at

the Kavli IPMU to listen to their dreams, learn new opportunities, and find out how we can support them. I will continue to do so in the coming months. I will also call upon some of you to work together to construct our long-term strategic plan for the next 10 years of the Kavli IPMU.

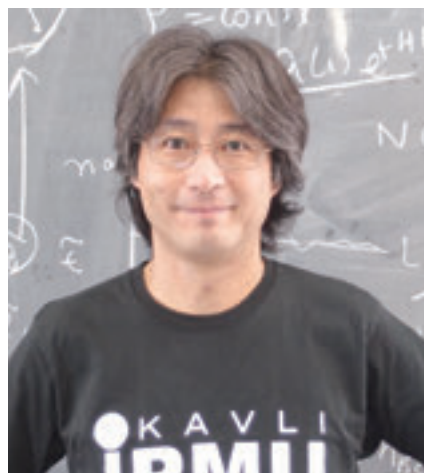
Finally, I would like to take this opportunity to affirm our commitment to provide an inclusive and supportive environment to the diverse group of people in our community. To realize our mission—solving the most fundamental questions about our Universe—it is essential that all of us treat each other with respect, maintain our professional working environment free of harassment, challenge our preconceptions, and educate ourselves on our own biases, so that everyone can bring out the best in themselves. In this intellectual environment, audacious ideas are encouraged and shaped by rigorous argument from diverse perspectives, and new avenues of research are explored and realized with freedom and focus.

Together, we will boldly go where no one has gone before.

Welcome to our 12th year at the Kavli IPMU. I look forward to working with you and serving this institute as your new director.

Hitoshi Murayama

Former Director of the Kavli IPMU



At long last the Kavli IPMU became a permanent institution in April this year thanks to the support of the University of Tokyo and the commitment by its President, Makoto Gonokami, funding from MEXT, and from the private sector including the Kavli Foundation.

Research institutes change leadership on a regular basis because the needs of the institute change from its early days to the stage when it is a well-established organization. Once the Kavli IPMU was in a stable state, I felt the time has come to find a new director. Given that the final evaluation by the WPI program is scheduled for the fall in 2021, it was important to change the director now, or it would not give the next director enough time to see the results of his/her initiatives. There were other factors of course, such as the busy schedule of traveling between the US and Japan all the time, and

staying away from my family for long periods of time. I'm grateful to President Gonokami for taking in my proposal, and together with Vice President Hiroaki Aihara setting up a search committee, which put forward Hiroshi Ooguri's name as the best candidate.

I can't imagine a better pick than Hiroshi. In order to make sure the continued success of Kavli IPMU, my successor needs to be a first-class scientist, internationally renowned and respected, and has experience with management and leadership. There is no question that Hiroshi qualifies on all counts. He's also been vital to Kavli IPMU since it was just a proposal, and has been instrumental in bringing physics and mathematics together, leading our string theory group, advising hiring decisions, and organizing conferences at the Kavli IPMU.

I have no doubt the future is bright for research in Japan, and

can move on knowing the Kavli IPMU has been placed in good hands.

Michael S. Turner

Director of the Kavli Institute for Cosmological Physics at the University of Chicago



Eleven years ago Hitoshi Murayama founded a new kind of institute in Japan with bold ambitions—to bring together mathematicians, astronomers and physicists from around the world to solve some of the deepest mysteries about the Universe we

live in. He succeeded in creating the IPMU as a world center, and six years ago brought IPMU into the Kavli family of world leading institutes. With the appointment of Hiroshi Ooguri, a Japanese trained world leading researcher in string theory, as the next Director he

has handed off IPMU to another visionary. We at the KICP have benefitted from collaborating with Murayama and the KIPMU and look forward to working with Ooguri in the future.



11th anniversary of the Kavli IPMU.

Message

Super-Kamiokande Prepares for Gadolinium Loading – Tank Open Work Following 12 Years of Continuous Operation

Shigetaka Moriyama

Kavli IPMU Principal Investigator

Hiroyuki Sekiya

Associate Professor, Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo, and Kavli IPMU Scientist

Mark R. Vagins

Kavli IPMU Principal Investigator

Introduction

Located in the mine at Kamioka-cho, Hida-city, Gifu prefecture, Super-Kamiokande (Super-K, SK) started taking data in 1996. Using the data collected during its first two years of operation, ICRR Professor and Kavli IPMU PI Takaaki Kajita was awarded the Nobel Prize in physics in 2015 for the discovery of atmospheric neutrino oscillations [1]. Super-K is still producing high level results such as neutrino observations from outer space and accelerators [2], as well as studies on proton decay [3].

Following the successful completion of the R&D phase of the EGADS project [4], Super-Kamiokande is now being prepared for one of Kavli IPMU's flagship experimental initiatives: the enrichment of Super-K's 50,000 tons of pure water with 100 tons of gadolinium (Gd) sulfate [5-7] to enhance its detection performance for thermal neutrons and the electron antineutrinos which produce them. This future phase of operation has been officially designated SK-Gd.

As shown in Figure 1, the in-tank work began on

May 31, 2018, after 12 years of continuous detector operation. There are four main tasks:

- 1) Fix a small water leak in the Super-K tank.
- 2) Replace the photomultiplier tubes that have failed (a few hundred out of 13,000) since the previous in-tank refurbishment in 2006.
- 3) Clean any rust and other dirt that has accumulated in the detector since its original completion in 1996.
- 4) Install additional water piping to increase the total water flow for increased water purification, and to enable better control of the flow direction in the tank.

In the middle of October 2018, we started to refill the detector with pure water. Now (in December 2018) we are finalizing the in-tank work—which has required a total of thousands of person-days of effort—to prepare the detector for the next phase of its long and productive life. In this article we will describe the eventful work that has taken place during the last half year and some of the new physics which awaits Super-K once Gd-loading is a reality.

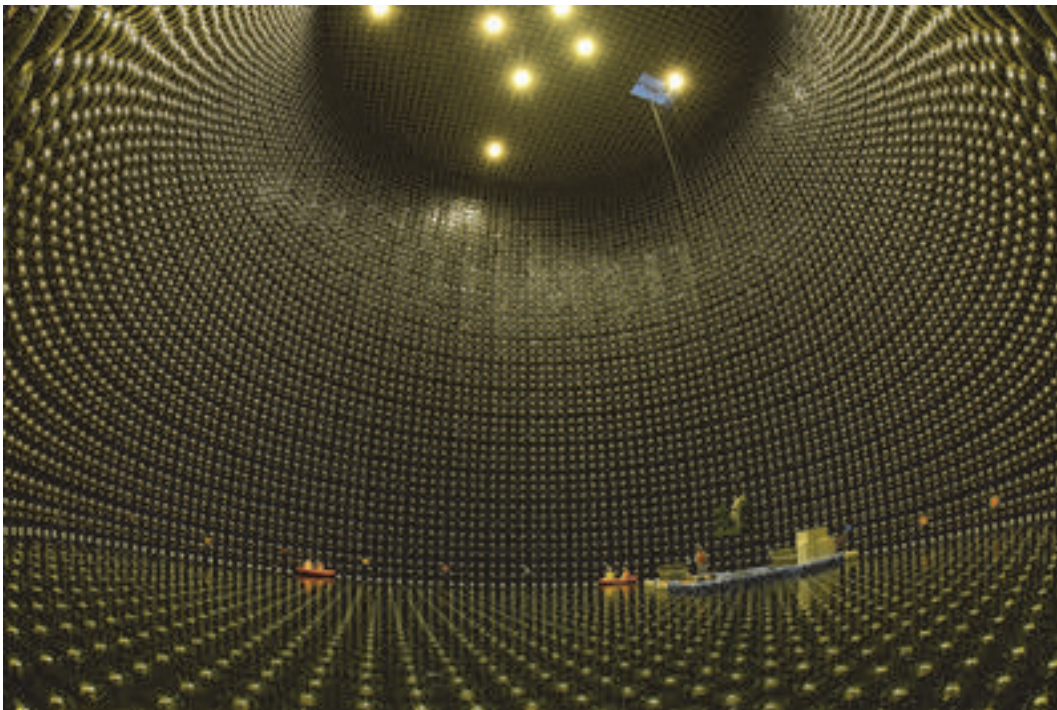


Figure 1: Working inside the Super-Kamiokande tank on August 18, 2018.

Physics targets of SK-Gd

The SK-Gd program is SK's upgrade plan that enables more efficient detection of electron antineutrinos through the delayed coincidence of signals of positrons and neutrons. Reines and Cowan first discovered the neutrino using this technique at a nuclear reactor [8]. They were using cadmium as a neutron capture nucleus, while we are using the much less reactive gadolinium just as recent nuclear reactor neutrino experiments employ it mixed into liquid scintillator [9]. At $\sim 49,000$ barns the thermal neutron absorption cross section of naturally occurring Gd is the largest of any stable element; after absorption a cascade of gamma rays are emitted with total energy of ~ 8 MeV, well above SK's energy threshold. Therefore, Gd-doping makes it possible to detect neutrons even in a water Cherenkov detector (Figure 2).

The ultimate goal of SK-Gd is the world's first detection of neutrinos from the all the

past supernova explosions. These are known interchangeably as the Supernova Relic Neutrino [SRN] or the Diffuse Supernova Neutrino Background [DSNB]. In the universe there are 10^{22-23} stars. Stars with masses of more than eight times our sun are believed to end their lives in supernova explosions: these as-yet unobserved neutrinos must suffuse the universe. Observing the DSNB would lead to a deeper understanding of the energetics of supernova explosions, since 99% of the energy produced by the supernova explosion is released by neutrinos. Also, since the DSNB is the accumulation of neutrinos emitted from all of the supernova explosions that have occurred since the beginning of the universe, we can use their properties to explore the history of massive stars as well as the source of heavy elements.

Figure 3 shows the range of expected energy distributions of the DSNB. Naturally the exact shape is model dependent, but the intensity is roughly several/cm²/sec. Therefore it is estimated that

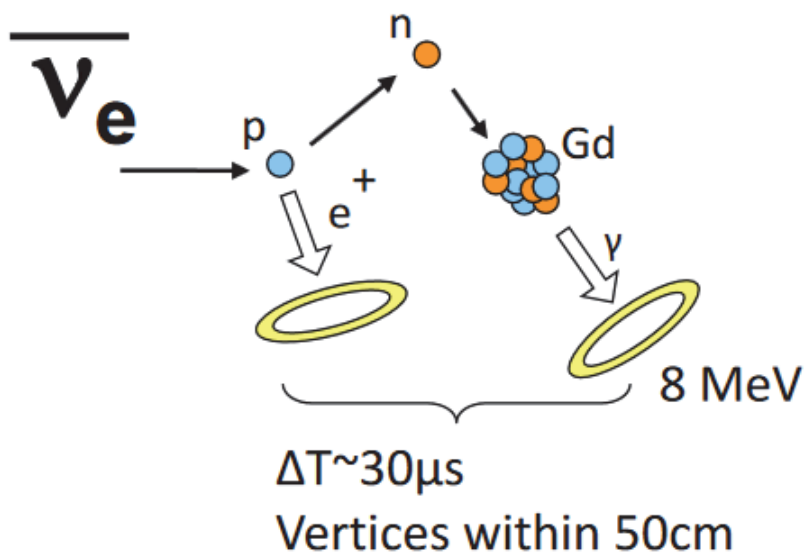


Figure 2: Principle of the delayed coincidence method with gadolinium for antineutrino detection.

verification of the DSNB flux will be possible with a significance level greater than three sigma within 10 years of observation.

For supernova explosions occurring in our galaxy, positive identification of electron antineutrinos via neutron tagging will improve the accuracy of directional determination to the supernova by allowing those neutrino events that do not preserve the directional information to be subtracted away. It has also been suggested that neutron detection could provide significant early warning—up to a week in advance—of very nearby explosions of very large stars [11]. In addition, the enrichment of SK's water with gadolinium is expected to enhance the sensitivity of virtually all of the measurements currently performed in SK, such as the Tokai-to-Kamioka long baseline neutrino oscillation experiment (T2K) and solar neutrino studies, as well as proton decay searches.

Open Tank work

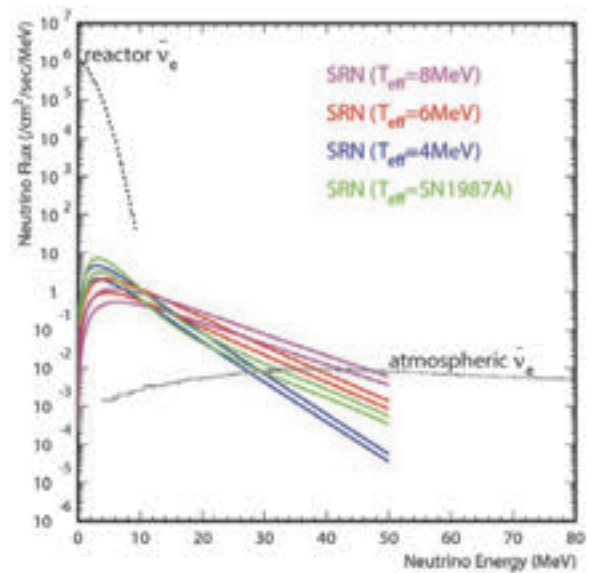
Figure 4 shows the structure of the Super-K tank. Inside a cylindrical water tank, there is a stainless steel structure indicated by two parallel dashed lines supporting photomultiplier tubes (PMTs). The structure is two meters distant from the outer

wall, bottom, and top of the tank. There are 11,129 inner detector (ID) PMTs and 1,885 outer detector (OD) PMTs mounted on the structure. On the inner surface of the support structure, spaces between PMTs are covered with black-colored PET sheets to suppress reflection of Cherenkov light. On the outer surface of the structure, white Tyvek sheets are used to enhance light-collection efficiency of OD PMTs. Since the sheets are loosely connected by staplers and pins, the water levels inside and outside are identical.

A so-called “floating floor” was used to work on the walls of the detector. During that phase of the refurbishment effort we drained two meters of water from the tank every three days, and worked to seal potential water leakage points on the outer wall as well as replace those failed PMTs which we could reach from the floor. This idea was originally provided by the University of Tokyo Professor Masatoshi Koshihara during the Kamiokande era; it is very beneficial in terms of cost savings when compared with assembling and working from standard scaffolding.

The Super-K tank is 40 m in diameter and 42 m in height and contains 50,000 tons of pure water. Its sides form an icosagon comprised of 400 pieces of four mm-thick stainless steel plates, each six

Figure 3: Expected energy spectra for the DSNB and other coincident events (reactor neutrinos and atmospheric neutrinos) [10].



meters wide and two meters tall. The bottom also consists of an assembly of stainless plates. The total submerged surface area is more than 6,000 m² and the total length of welding lines is more than 6.2 km. More than 3,200 bolts penetrate its sides. Given the complexity and size of the Super-K tank, therefore, it is not so surprising that there has always been a modest water leak; we observed about one ton of water leaking each day, corresponding to 700 cc per minute. This is not serious as long as we use only pure water. Although there is no official regulation regarding Gd-loaded water, it is necessary to stop the SK water leak to avoid release even in a case of a large earthquake. This is the first goal indicated in the introduction of this article.

To achieve a reliable leak fix, Super-K colleagues have developed a special sealant material. It needed to be soft, flexible, and able to stand an external stretching force. It had to meet requirements regarding small elution into water, low natural radioactivity, long-time stability during water exposure, and sufficient attachment strength to stainless steel plates. Another entire article could easily be filled describing the long and tireless efforts to realize this special sealant material and development of its primer.

Figure 5 shows the actual sealant work. Workers

put thick tape along both side of the welding line to hold the sealant material on the line. They used trowels and paintbrushes to spread the sealant material over the weld with the same thickness as the surrounding tape. A double layer of sealant was required to allow for unexpected gaps or pinholes in one of the two layers.

There weren't any serious issues during the actual SK tank sealant work by company people since a mockup test had been done in advance in a high humidity environment. However, because of the cold temperature (~13 C) of the tank wall, stainless plates, and the solid rock behind them, we experienced condensation on the inner walls due to the warmer environment arising from the workers and lighting used inside the water tank. In the worst case the condensed water made it difficult to apply the thick tape. By trying various methods of ventilation and airflow, we finally overcame this problem.

Since the sealant material is produced by a special procedure, its viscosity tends to get lower as time goes by. Adequate viscosity was required for high-quality sealing work on the wall, avoiding dripping of the material. Because of this, careful arrangement of the detailed schedule of production, transfer, and consumption of the sealant was necessary.

Every time we drained the water, a team of 16

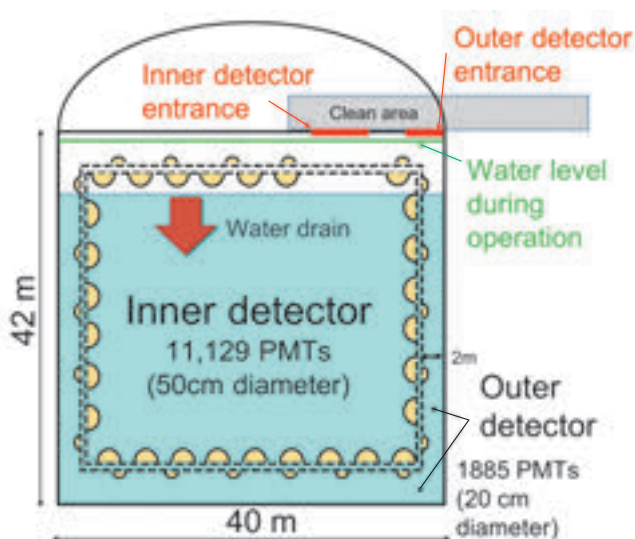


Figure 4: Structure of the Super-K tank. We drained two meters of water every three days in order to seal potential water leakage points as well as replace failed PMTs.

members cleaned up the wall, while 10 company employees sealed the welding line. We ultimately repeated this cycle 20 times.

The dirty wall and structures inside the Super-K tank required a large amount of human power to clean up. Since Super-K had been operated for the last 20 years, it was hard to know the situation in advance. In particular the top and outermost structures were covered by a heavy residue of exhaust gas and dust left over from the work in 1994 - 1995 during the detector construction. As for the cleaning tools, it was dangerous to choose arbitrary ones since most of them leave other types of dust which may then degrade the water target after restarting operation of Super-K. The water team tried, investigated, combined, and developed many kinds of cleaning tools; we found the cleaning itself was an important research topic.

Ultimately we maintained excellent quality of sealant attachment and removed a large amount of radioactivity; at least 100 Bq of radium was removed during the cleanup according to a measurement by a germanium detector. As the radon gas emitted from this radium is comparable to that arising from the PMTs themselves, the in-tank shiftworkers contributed to lowering the background for future solar neutrino observations.

As for the PMT replacement, we were required to work at full speed as soon as the tank was first opened since we could not delay the sealant work. In particular, US colleagues who were responsible to the OD PMT replacement performed admirably and completed all their jobs on time. ID PMTs are much heavier than the smaller OD tubes and their replacement requires a great deal of effort, especially as these inner tubes are encapsulated in anti-implosion covers made of FRP and acrylic to avoid a repeat of the chain reaction implosion that happened in 2001. Every time we replaced PMTs the tank needed to be closed and made dark inside so that we could test the newly-installed PMTs. The group in charge of DAQ and electronics then needed to come in early and complete the tests before the 8 a.m. start of that day's in-tank work.

We aimed to remove most potential sources of rust during the cleaning work. Though we are supposed to have only stainless steel parts inside Super-K, we sometimes found plain iron bolts and nuts covered by rust. We also found a clamp made of iron that had been immersed for 12 years inside the tank. Scratches on the stainless steel tank wall and support structure also had rusted during the long exposure to pure water. As much of this rust was removed as possible. Because rust was



Figure 5: Sealant work on the SK tank wall being conducted from the floating floor. An outer detector PMT can be seen at the right side.

a large concern before opening the tank, many young researchers investigated various tools and countermeasures from well before the work. We worked very carefully in order to achieve better water transparency and stable operations even after the loading of gadolinium sulfate.

Tyvek sheet installation on the side wall was another big job. The non-PMT area of the inner detector is covered by black sheets so that we can reconstruct events based on arrival time of photons, but the outer detector is covered by reflective white Tyvek sheets so that we can achieve higher detection efficiency for entering muons. One hundred twenty 40-meter long, one-meter wide sheets were pulled up using gondolas and adjacent Tyvek sheets were connected by staples. After the completion of sealing work on the bottom, we placed Tyvek sheets over the bottom stainless steel plates as well. A young Japanese researcher and US leaders worked together and completed the bottom Tyveking in a very short time. This cooperative work was necessary to avoid any damage of the recently-applied sealant.

The total shift count this summer was 2,683. Every day of the week except Sundays, 40 to 50 members worked on Super-K until the middle of September. These members include not only shift members, experts, managers, leaders, and company people. Shift members came from Super-K, T2K, and the Hyper-Kamiokande “proto-collaboration”,

involving researchers from all around the world. We appreciate the many volunteers who did not belong to any of these collaborations, but chose to help us anyway.

One of the challenges we faced involved the OD gondola due to its limited capacity. Though at least 30 members needed to enter the outer detector every morning, the single available gondola and its 300-kg capacity caused a long queue of workers. When we needed to work close to the bottom, it took 20 minutes for one round trip. It was like a puzzle to stagger the start time and end time of shift groups and car assignments to avoid interference with company people.

Since the first priority is always safety for workers, we made constant efforts to provide sufficient safety education, utilizing e-learning before their visits, and guidance just before starting their work. Efforts to improve the working environment also included listening to workers, and discussion at the daily morning meeting. We realized it was not sufficient to simply tell people not to cause any accidents; sharing information concerning potential dangers was also important.

Water systems and the future

In addition to the tank cleaning, leak sealing, and PMT replacement work, the SK water system

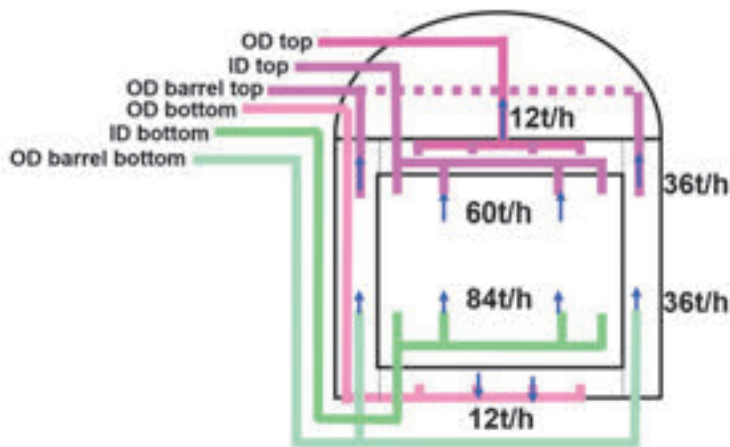


Figure 6: Improvement of plumbing for better water flow inside the tank.

including in-tank piping was totally redesigned this summer. The water purification system was originally designed with a supply and circulation capacity of $30 \text{ m}^3/\text{h}$, and the piping inside the tank was made without separate lines for the inner region and the outer region. During the previous SK reconstruction periods in 2001 and 2005 this interior piping was not substantially improved, even though the circulation rate was raised to $60 \text{ m}^3/\text{h}$ from the middle of SK Phase III (SK-III). This time, as shown in Figure 6, we decided to improve the water flow in the tank by separating not only the pipes of the inner volume and the outer volume, but also the pipes on the side, top, and bottom of the outer volume so that all the flow rates can be adjusted independently. Up until now the effective detector volume for solar neutrino analysis has been limited by the inflow of background radon, but this plumbing improvement makes it possible to control and optimize the flow of water in the tank. The findings obtained through this upgraded system are also being applied to the design of Hyper-Kamiokande.

Incidentally, when the water level in the tank was lowered down to the surface of the bottom PMTs, we got a surprise. The 12 water inlets at the bottom should all be made of low background acrylic pipes, but we found that three of them near the center of the tank actually were made of conventional

transparent polyvinyl chloride (PVC) tubes. In the analysis of SK-IV (which began in 2008), there are three event “hot spots” corresponding to the PVC pipe positions. Prior to this discovery various hypotheses have been discussed; perhaps the flow balance had been destroyed or some broken PMT glass which is a radon source became clogged in the plumbing. Now we know the answer: PVC containing lots of radioactive impurities was used. It seems that the three pipes broke during the accident in 2001 and were then quickly restored using material in hand at the time of the emergency repair work in 2002, but this was forgotten by the time of the full reconstruction work in 2005. We again realized the importance of recording, reporting, seeing, and checking.

Mixing gadolinium sulfate with ultrapure water easily produces a high purity gadolinium sulfate aqueous solution. However, since the SK water purification system is designed to remove all impurities from water, if gadolinium sulfate is dissolved and the system is operated as it is, the desirable ions will be quickly removed along with all the undesirable ones. Consequently, we had to develop a brand new purification system to keep only water, gadolinium ions and sulfate ions, and to remove all other impurities.

Details cannot be described here, but for the

last few years small prototype systems have been evaluated and demonstrated. Based on these tests, a new system for SK-Gd was constructed in 2016. Commissioning this system has been conducted in parallel with the in-tank work. The new flow rate will be 120m³/h, which is double the rate in SK-IV: another reason for the water pipes in the tank to have been upgraded.

Previous water fills have taken place at a rate of 30 m³/h using the original SK water purification system; this took 2.5 months to fill the tank. As the water which had been fed to the tank was never circulated and repurified until after the tank became full, it took another two months or so after the tank was full before the water quality improved to the point that useful data could be collected. This time, the new SK-Gd water system is to be temporarily operated as an ordinary water purification/ recirculating system by installing conventional ion exchange resins made for producing ultrapure water into the modules in the system. This special operation should make it possible to start observations as soon as the tank is filled. Then, the resins in the new system will be replaced with the ones safe for use with a gadolinium sulfate solution. The new system will be operated with pure water at first; the start of SK-Gd, i.e., the introduction of the gadolinium sulfate, is planned during the 2019 fiscal year taking into account the running schedule of the T2K experiment.

Toward the next step

During the tank open period, we had to stop shift work three times since the access road to Super-K was closed due to heavy rain or typhoon. A more serious but related issue is the danger of damaging the Super-K tank itself due to an extended power failure when the tank is not full. Since Super-K is located below the water level in the mine, we continuously drain the water surrounding the Super-K tank through the spiral tunnel providing access to the bottom of the tank. If the power

line for these pumps is cut due to bad weather and the tank is partially empty, it may result in the destruction of the Super-K tank from rising external water pressure. To cope with this situation, we prepared an independent power line, a power generator, and a method of gaining emergency entrance into the mine. Though we had already filled up most of the water by December 2018, we still hope that no power failure due to heavy snow happens. After some final in-tank work in December and January 2019, we will close the tank, and then can finally start a new phase of operation, Super-K-V.

- [1] The Super-Kamiokande Collaboration, *Phys. Rev. Lett.* **81**, 1562 (1998).
- [2] The Super-Kamiokande Collaboration, *Astrophys. J. Lett.* **857**, L4 (2018); The T2K Collaboration, *Phys. Rev. D* **96**, 092006 (2017).
- [3] The Super-Kamiokande Collaboration, *Phys. Rev. D* **96**, 012003 (2017).
- [4] M. R. Vagins, "Its R&D Mission Completed, EGADS Evolves," *Kavli IPMU News*, No. 43, September 2018, pages 10-13.
- [5] J. F. Beacom and M. R. Vagins, "GADZOOKS! Anti-neutrino spectroscopy with large water Cherenkov detectors," *Phys. Rev. Lett.* **93**, 171101 (2004) [hep-ph/0309300].
- [6] M. R. Vagins, "Kavli IPMU's Neutrino Forecast: Mostly Sunny, with a Good Chance of Supernovas," *Kavli IPMU News*, No. 19, September 2012, pages 4-9.
- [7] H. Sekiya, "Super-Kamiokande—Report of the Present Status of the Gadolinium Project," (in Japanese), *ICRR News*, **96** (2016).
- [8] C. L. Cowan, F. Reines et al., *Science* **124** (1956) 103-104.
- [9] F. P. An et al., *Phys. Rev. Lett.* **108** (2012) 171803.
- [10] S. Horiuchi et al., *Phys. Rev. D* **79** (2009) 083013.
- [11] A. Odrzywolek, M. Misiaszek and M. Kutschera, *Astropart. Phys.* **21** (2004) 303-313.

Our Team

Rodrigo Alonso

Research Field: **Theoretical Physics**

Postdoc

The core of my research is the search for a fundamental origin of mass. This has taken me through a number of fields i) electro-weak symmetry breaking with emphasis on Higgs properties, ii) the mass and mixing structure in the three generations of matter, iii) the quest for the discovery of dark matter, and iv) the contribution of gravity to the masses of Nambu-Goldstone bosons. The focus of my work is

on testability, generality and simplicity.



Pietro Caradonna

Research Field: **Experimental Physics**

Postdoc

I joined Professor Takahashi's group at Kavli-IPMU, specifically to participate in the design and development of a gamma-ray camera that can image cancer stem cells in-vivo.

My investigations are naturally leading me towards the fundamental aspects of particle physics, and my future plan is to develop novel methods of applying Compton cameras in this area. Indeed, the theoretical community at Kavli IPMU is an ideal place to explore

such ideas and I plan to take full advantage of my time at Kavli IPMU.



Thomas Rafael Czank

Research Field: **Experimental Physics**

Postdoc

During my PhD studies at Tohoku University I joined the Dark Sector group of the Belle collaboration. We pursued a search for a new U(1) gauge boson, Z' , which gauges lepton number differences. Besides its connection to sterile neutrinos, it was expected that it could also make a contribution to the magnetic moment of the muon anomaly due to its coupling to muons. With Belle 2's record sensitivity and data samples on the horizon I am still interested in other



dark sector candidates along with rare decay modes within the Standard Model, which demand more elaborate analysis strategies.

Lalitwadee Kawinwanichakij

Research Field: **Astronomy**

Postdoc

I am interested in studying the formation and evolution of galaxies using observational data. My recent work focuses on the effect of the local environment of galaxies on their star-formation and using satellite galaxies to probe feedback mechanisms in galaxy evolution.

At Kavli IPMU, I utilize the HSC survey to measure the build-up of galaxies across the full range of environments. My goal is to separate the effects



of processes associated with halo mass from those associated with the large-scale environment on the galaxy star formation.

Keigo Nakamura

Research Field: **Experimental Physics**

Postdoc

I worked on the T2K long baseline neutrino oscillation experiment to explore CP violation in the lepton sector. In particular, I contributed to the development of the J-PARC accelerator and neutrino beam line, and oscillation analysis.

At the Kavli IPMU, I will try to develop the Prime Focus Spectrograph (PFS) of the Subaru Telescope. I want to explore the properties of dark energy and



dark matter, and to measure the neutrino mass with PFS.

Our Team

Ipsita Saha

Research Field: **Theoretical Physics**

Postdoc

My main focus of research lies in studying the phenomenology of beyond the Standard Model physics in the post Higgs discovery era. Specifically, I am interested in finding the Higgs and electroweak symmetry breaking properties of models based on gauge and scalar sector extension of the SM. I have worked on the detection prospect of such models at the recent LHC and future high energy colliders. I would like to continue research in this direction. I have also worked on Dark Matter models in the light



of various direct and indirect dark matter detection experiments. My current interest involves the detection possibility of such Dark Matter scenarios at the current and future colliders.

John Welliaveetil

Research Field: **Mathematics**

Postdoc

My research interests lie in the field of non-Archimedean geometry which has seen a lot of activity in recent years. I work on the homotopy theory of certain Berkovich analytic spaces and on the étale cohomology of finite type, separated adic spaces. Recently, I have tried to study the extent to which the constructions of Hrushovski-Loeser in the book “Non-archimedean tame topology and stably dominated types” can be made functorially. Another



project I am very interested is inspired by ideas of Peter Scholze and aims to develop a theory of perverse sheaves in the context of adic spaces.

The 4th Kavli IPMU-Durham IPPP-KEK-KIAS Workshop: Beyond the BSM*

Michihisa Takeuchi

Kavli IPMU Postdoctoral Fellow

The international workshop “4th Kavli IPMU-Durham IPPP-KEK-KIAS Workshop: Beyond the BSM” was held in Ikaho, Gunma Prefecture for four days from October 1 to 4, 2018. This workshop is co-organized by Kavli IPMU, Institute for Particle Physics Phenomenology of Durham University in the UK, KEK, and KIAS. The organizing committee consists of Michihisa Takeuchi (Kavli IPMU), Shigeki Matsumoto (Kavli IPMU), Mihoko Nojiri (KEK, Kavli IPMU), Satoshi Shirai (Kavli IPMU), Tom Melia (Kavli IPMU), Pyungwon Ko (KIAS), Michael Spannowsky (Durham), Frank Krauss (Durham), and Valya Khoze (Durham).

After the LHC experiment Run 2 (center of gravity energy 13 TeV), we have not yet found evidence of new physics. This workshop was held with the aim of setting up a place to discuss the possibility of new particles/physics discoveries in the near future, and the direction in which elementary particle physics should proceed by inviting both theoretical and experimental international experts from various research fields such as collider physics, flavor physics, low energy experiments, and astrophysical observations. Since currently we are at an important time to decide the future direction of particle physics, it was a very timely research workshop.

The workshop consisted mainly of sessions which included five long talks by invited speakers in the morning, and afternoon and after-dinner sessions (each consisting of five short talks). We had 15 presentations from abroad and 7 from domestic invited speakers, and 21 short talks. There were 51

participants in total from 8 countries (including 26 from Japan).

On the first day, Wolfgang Altmannshofer (Cincinnati) and Moto Endo (KEK) gave talks on B flavor physics, and Kazuya Yonekura (Kyushu) gave a talk on QCD phase transition. On the second day, Bryan Webber (Cambridge) gave a talk on Electroweak PDF, Michael Spannowsky on Higgs EFT, Osamu Jinnouchi (Tokyo Tech) on uncertainty at HL-LHC, and Tao Han (Pittsburgh) on Higgs couplings. There were many talks on collider physics that day. On the third day, talks on cosmic ray observation, dark matter theory, etc. were presented, including a talk by Joshua Ruderman (New York) on 21 cm line, Yu-Feng Zhou (ITP, Chinese Academy of Sciences) on cosmic ray spectral structure, and Shunsaku Horiuchi (Virginia Tech) on galaxy-centered gamma rays. On the fourth day, David Shih (Rutgers) talked about the application of machine learning to new physics searches, Hyun Min Lee (Chung-Ang) and Andreas Weiler (TU München) on dark matter models, Valya Khoze on Higgspllosion, and Pyungwon Ko on self-interacting dark matter (SIMP). In order to reveal physics beyond the standard model, a wide range of topics such as collider physics, flavor physics, dark matter, and cosmic ray observation were discussed and it turned out to be a wonderful research workshop.

* “Beyond the BSM” means (i) BSM (beyond the Standard Model) physics different from what has been considered so far, and (ii) search for new physics with precision measurements of the processes which have been considered to be consistent with the Standard Model predictions.

Flavor Physics Workshop 2018

Takeo Higuchi

Kavli IPMU Associate Professor

We held the Flavor Physics Workshop 2018 at the Kavli IPMU from October 30 to November 2, 2018. This series of workshops started in 2008 with one major motivation: to provide young students and researchers a good opportunity to get an overview of flavor physics so that they can develop their future research plans in particle physics. This year the workshop had 36 graduate students and 28 postdocs and faculty.

The workshop program is regularly composed of lectures by invited lecturers and presentations by applied participants. Since the Belle II experiment with all sub-detectors installed will start data-taking early next year, as the first feature topic of the lectures, we chose the physics cases in which the anomaly from the SM prediction is becoming significant; flavor physics experiments should promptly work on these physics cases to reveal the theory behind the nearly-significant anomalies. As for theory, three very pragmatic lectures were

given covering the anomalies in $b \rightarrow s \ell^+ \ell^-$ and $b \rightarrow c \ell^- \bar{\nu}$ transitions, lepton flavor violation, and anomaly in the muon EDM (electric dipole moment). As for experiments, four lectures that are useful to the attendees for promptly reaching results with the analysis of data from a flavor physics experiment were given covering the precise measurement of the CKM matrix elements, measurement of the branching fraction of rare B -meson decays, and lepton flavor violation and CP violation measurement with the τ -lepton decays. In addition, as the second featured topic, we chose the prospect of future projects in particle physics. Two lectures regarding the second topic were given; one summarized the activities in neutrino experiments and underground experiments besides flavor physics experiments, and the other explained expectations for those experiments for revealing the nature of dark matter. Besides those lectures, three introductory lectures about

particle physics and experimental apparatus were given at the beginning of the workshop, and there were 12 lectures in total.

We had 23 oral and 12 poster presentations covering both theory and experiment from the applied applicants. Three recipients, Mr. Okui (Niigata Univ.), Mr. Kamiji (Kyoto Univ.), and Mr. Harada (Okayama Univ.), were elected by vote for best talk in theory, best talk in experiment, and best poster, respectively. They received an award certificate with an autographed copy of Prof. Murayama's book as well as a T-shirt with the Kavli IPMU logo.

We observed active and free discussion throughout the workshop, and we believe the workshop was an enjoyable event for most attendees. We are looking forward to the next workshop, which will be scheduled after the start of Belle II with all sub-detectors installed, and which will no doubt be as exciting as this year.



School / Workshop “Noncommutative Deformations and Moduli Spaces”

Alexey Bondal

Kavli IPMU Principal Investigator

Kyoji Saito

Kavli IPMU Visiting Senior Scientist

The school and workshop “Noncommutative deformations and moduli spaces” took place at Kavli IPMU the week of November 19 - 23, 2018. The thinking of the organizers was to gather scientists who work on the formal aspects of the theory of noncommutative deformations and algebraic geometers whose work encounters the necessity to go beyond the walls of the commutative world and consider the noncommutative moduli space of geometric objects and/or geometric moduli spaces of noncommutative objects.

Since the formal higher categorical theory is a quickly developing area of research, suggesting a very non-classical point of view on the deformation theory which is not very familiar to people from outside the Temple, it was decided to join the workshop with short lecture courses where experts can explain the main ideas of the formal theory in an accessible way without using technical language. This event format attracted many listeners from all over Japan and overseas who are interested in this trending theory of contemporary mathematics.

One course on derived deformation theory was given by Christopher Brav

(Russia) and Nick Rozenblyum (USA). It was a nice introductory course on the most advanced homotopy approach to deformation theory. Many complicated formal topics, which include a number of categorical technicalities, were explained in simple language and illustrated with examples. The other course was run by Valerio Melani (Italy) and Pavel Safronov (USA). It was about basic notions and more advanced geometric applications of shifted symplectic and Poisson geometry. The presenters carefully explained how to pass from ordinary symplectic and Poisson geometry to the more advanced counterparts on derived algebraic stacks, which problems the classical approach encounters and how to overcome them.

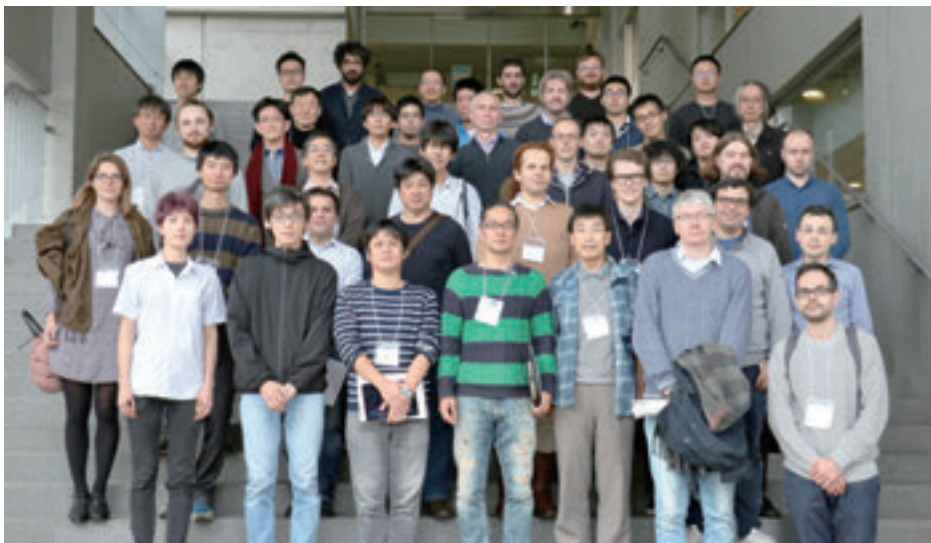
The individual reports on the current research of the speakers can be roughly divided into two categories: formal aspects of the deformation theory and geometric applications.

Among the reports in the first category were talks by Isamu Iwanari (Tohoku) on operadic interpretation of deformation of DG categories inspired by Quantum Field Theory, by Agnieszka Bodzenta (Poland) on categorification of deformation

theory via abelian envelopes of exact categories, by Andrew MacPherson (Kavli IPMU) on infinity-category interpretation of correspondences that also stems from 2-dimensional QFT, and by Michel Van den Bergh on triangulated categories that do not have DG enhancement.

The talks on various interrelated geometric applications included the one by Yukinobu Toda (Kavli IPMU) on applications of the derived geometry to Birational Geometry, by Mauro Porta (France) on applications to Analytic Geometry, by Yanki Lekili (UK) and Sheel Ganatra (USA) on applications to symplectic geometry, by Atsushi Takahashi (Osaka) and Hao Wen (China) on noncommutative Hodge theoretic aspects of the theory, by Marco Robalo (France) on motivic vanishing cycles, by Shinnosuke Okawa (Osaka) on noncommutative deformations of Del Pezzo surfaces, and by Ludmil Katzarkov (Russia, USA) on categorical curve complexes.

The workshop also included a student session, where advanced PhD students from Russia and the USA gave 30-minute reports on their research related to the subject of the workshop.



Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Stars

Tilman Hartwig

Assistant Professor, Department of Physics, School of Science, The University of Tokyo, and Kavli IPMU Associate Scientist

Miho Ishigaki

Kavli IPMU Postdoctoral Fellow

Naoki Yoshida

Kavli IPMU Principal Investigator

We have hosted an international conference “Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Stars” for 5 days from December 3rd to December 7th. More than 90 researchers from 5 continents participated in the conference. The speakers were young scientists as well as well-respected professors, who presented their recent studies on Galactic archeology and the formation of first stars and galaxies. Nineteen posters were also displayed at the venue, where the participants discussed the results, exchanged ideas for further studies, and initiated collaboration.

The main science sessions focused on cutting-edge research topics such as the formation of the first stars, observation of metal-poor stars, and Galactic chemical evolution. Recent highlights from the GAIA mission and Subaru observations were introduced. We enjoyed exhaustive overviews on the recent progress in Galactic archeology and related fields. Updates on a variety of metal-poor stars discovered by large sky surveys allow to further test our theoretical models and to optimise upcoming observations.

The conference highlights include new calculations of the evolution of massive stars and the nucleosynthetic signatures, three-dimensional simulations of early chemical enrichment of the interstellar medium, and also results from spectroscopic determination of r-process element abundances in metal-poor stars. For the latter, the participants discussed the importance of binary neutron star mergers, of which the gravitational wave emission was recently detected. Moreover, new hints from theory and observation suggest that the direct descendants of the first stars are not necessarily extremely metal-poor, as previously claimed, but can also be found at moderate metallicities.

On the evening of the second day, we organised a public outreach event for high school students. (See also page 25.) We started with a scientific introduction by two IPMU scientists. Then, 13 scientists who came to Japan for the conference presented their research in short presentations. The audience, 40 high school students and further guests, had to find the one fake presentation amongst the 13 presentations and a majority

succeeded to identify it correctly. In a subsequent quiz, we tested the astronomy knowledge of the audience and awarded the winning team. Afterwards, the high school students seized the opportunity to chat with scientists and ask them all their questions about the Universe. Also, on the afternoon of the third day, the conference participants were able to experience Japanese culture by participating in laido, a Tea Ceremony, or Japanese Drums.

Galactic archeology is one of the major scientific goals of Subaru Telescope’s next-generation multi-object spectrograph, PFS. The systematic spectroscopic observation of metal-poor stars by PFS is expected to bring many breakthroughs for the galactic archeology community together with kinematic data of Galactic stars, supplementing the recent GAIA release. There are great expectations from the participants of this conference, and research on theoretical models and follow-up observations is proposed based on upcoming results from PFS.



News

Kavli IPMU Director Hitoshi Murayama Steps Down. Hiroshi Ooguri Takes Over Directorship

IPMU's founding director Hitoshi Murayama stepped down on October 15, 2018 after 11 years of service (during which IPMU was renamed Kavli IPMU), and Caltech Professor Hiroshi Ooguri has been appointed as the new Kavli IPMU Director. He is one of the founding members of the IPMU, and has been serving as an IPMU and then Kavli IPMU Principal Investigator. Director Ooguri will also serve as a Professor at Caltech. Hitoshi Murayama will remain at the Kavli IPMU as a Principal Investigator while serving as a Professor at UC Berkeley.

American Physical Society's 2019 Hans A. Bethe Prize Goes to Ken'ichi Nomoto

Ken'ichi Nomoto, a Kavli IPMU Senior Scientist, has been awarded the 2019 Hans A. Bethe Prize, which was announced by the American Physical Society on October 23, 2018. This award recognizes outstanding work in theory, experiment, or observation in the areas of astrophysics, nuclear physics, nuclear astrophysics, or closely related fields. The prize,



Ken'ichi Nomoto

consisting of \$10,000 and a certificate, is presented annually.

The 2019 Selection Committee awarded Professor Nomoto with this year's award for his "lasting contributions to our understanding of the nuclear astrophysics of the universe, including stellar evolution, the synthesis of new elements, the theory of core-collapse and thermonuclear supernovae, and gamma-ray bursts." An award ceremony will be held during the American Physical Society April 2019 Meeting in Denver, Colorado.

Kavli IPMU Staff Commended at 2018 Business Transformation Awards for Their Smart Tech

For their efforts in helping new international researchers and visitors navigate their way to the Kavli IPMU on their own, a team of Kavli IPMU administrative staff led by Project Specialist Rieko Tamura has been recognized by this year's University of Tokyo Business Transformation Awards. These awards are given out every year to recognize administrative staff and individual departments that have made a significant contribution to reforming the university.

Tamura's team received this year's Special Prize for their work in developing and running a smartphone app, which provides step

by step information in English about how to take public transport from the international airport, how to find and take the free shuttle bus to Kashiwa campus from the train station, and maps that show where individual researchers' offices are. It also serves all existing researchers at Kavli IPMU by becoming an information hub on seminars of the day, who was visiting that day, and where to find certain administrative staff members.



Kavli IPMU team receives a certificate from University of Tokyo Executive Vice President Tomoka Satomi.

An awards ceremony was held at the Yasuda Auditorium on the University of Tokyo's Hongo campus on December 19, 2018. Nine groups including the Kavli IPMU team were commended by the University of Tokyo President Makoto Gonokami or by Executive Vice President Tomoka Satomi.

Open Campus Kashiwa 2018

As usual, the University of Tokyo's Kashiwa campus held an open

campus for two days on the last Friday and Saturday of October (October 26 and 27 this year). In addition to the activities specific to Kavli IPMU, its Principal Investigator Yasunori Nomura gave a campus-wide special public lecture, entitled “Are there many universes?” at the FS Hall in the Graduate School of Frontier Sciences’ Environmental Studies Building on the second day. This was because Kavli IPMU, together with the Institute for Cosmic Ray Research and the Information Technology Center, took charge of the Special Lectures this year. This campus-wide activity, consisting of three special public lectures given by lecturers nominated from each of the three institutes which take turns being in charge, is held on Saturday. This year, the special public lectures were also seen at the Kavli IPMU lecture hall through live streaming video.



PI Nomura's special public lecture as seen at the Kavli IPMU's lecture hall.

The activities specific to Kavli IPMU, presented at the Kavli IPMU lecture hall, were the following: PI Toshitake Kohno's public lecture entitled “Using Mathematics to Analyze the Shape of the Universe” and a video presentation of the

latter part of an NHK BS Premium satellite TV service program COSMIC FRONT☆NEXT “Hitoshi Murayama's Great Adventures in the Universe: Is there an End?” on the first day, and a dialogue between Kavli IPMU postdoctoral fellows Akishi Ikeda and Michihisa Takeuchi, entitled “Science Onsen: Mathematics×Physics,” on the second day. (What is Science Onsen? Please see *Kavli IPMU News* No. 28, December 2014, p. 33.)



PI Toshitake Kohno, giving a lecture

Kavli IPMU also presented two-day activities as usual. In addition, the following new activities were presented: “Peek inside Laboratory B!” (the doors to Laboratory B were open to the public; both days), “Make your own bookmark!” (using Kavli IPMU images of the universe to create bookmarks; on Oct. 26), “Bubbles and Mathematics Workshop” (speaker: Tsinghua University Assistant Professor (former Kavli IPMU Postdoctoral Fellow) Will Donovan; on Oct. 27), and “Listen to the Cosmic Microwave Background” (musician Akihiko Matsumoto has composed a piece based on Cosmic Microwave Background data provided by Kavli IPMU researchers; both days).

Over the two days, a total of 11,000 people visited the campus. The Kavli IPMU attracted more than 2,900 people.

Kavli IPMU and ICRR Host 19th Joint Public Lecture

On November 11, 2018, the Nineteenth Kavli LPMU-ICRR (Institute for Cosmic Ray Research) Joint Public Lecture was held at the Yasuda Auditorium on the University of Tokyo's Hongo campus with an audience of about 280 people including high school and junior high school students.

The first lecture entitled “Accelerator Experiments and the High-Energy Universe Are Related Through Hadron Reactions” was given by Takashi Sako, an ICRR Associate Professor, and the second lecture entitled “Superstring Theory as Mathematical Physics” was given by Yutaka Yoshida, a Kavli IPMU Assistant Professor. The two lecturers then had a discussion on the topic of “Particles, Celestial Events, or the World of Mathematics” on the stage. They answered questions from each other, as well as some selected written questions from the audience.



Yutaka Yoshida (left) and Takashi Sako (right), talking on the stage.

3rd “Actually I Really Love Physics! —Career Paths of Female Physics Graduates” Event

On November 17, 2018, the University of Tokyo’s Kavli IPMU, Institute for Solid State Physics, and Institute for Cosmic Ray Research jointly hosted the 3rd “Actually I Really Love Physics! —Career Paths of Female Physics Graduates” event at the Kavli IPMU, and there were 13 participants. Four speakers from companies and research institutes including Kavli IPMU Postdoctoral Fellow Tomoko Morii spoke on their careers. Between the talks, there was a tour of host institutes and a gathering at the Kavli IPMU’s Fujiwara Hall. A friendly atmosphere with tea and cookies served encouraged the participants to actively ask the speakers questions and facilitated interaction among the participants.



Gathering at the Kavli IPMU’s Fujiwara Hall.

“Meet the Scientists!” Event for High School and University Students

On December 4, 2018, Kavli IPMU hosted an event “Meet the Scientists!” at the Media Hall in the University of Tokyo’s Kashiwa Library. This event aimed at the interaction of high school and university students with

young researchers. In addition to Kavli IPMU researchers, many young researchers attending an international conference “Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Stars” (held at Kavli IPMU from December 3 to December 7; see page 22) joined in this event.

The event was opened with a lecture entitled “Time Travel from the Beginning of Our Universe to the Milky Way Galaxy: Introduction to Stellar Archaeology” given by IPMU Postdoctoral Fellows Miho Ishigaki (in Japanese) and Shing-Chi Leung (in English). Thirteen young researchers from various countries then presented their research on the frontiers of cosmology and astronomy in short presentations. However, one of them was not telling the truth and the audience was asked to find it. Subsequently a mix of researchers and audience was divided into teams and a quiz to test the astronomical knowledge of the audience (asking researchers for hints to answer questions) in team matches was held. Afterward, high school students took the opportunity to chat with scientists, and some students received advice for their future path.



Quiz contest in team matches.

7th WPI Science Symposium

On December 27, 2018, the 7th WPI Science Symposium “Transformative Science” was held at Nagoya University’s Toyoda Auditorium in Nagoya, and attracted about 900 people. This Symposium has been held every year to convey leading-edge scientific research activities and their features, in particular, to high school students who will lead the next generation. This year, Nagoya University’s Institute of Transformative Bio-Molecules (ITbM) hosted the Symposium. The Kavli IPMU jointly ran a booth with other 12 WPI centers and participated in a one-minute presentation to the audience. At the Kavli IPMU booth, Nagoya University Professor and Kavli IPMU Principal Investigator Naoshi Sugiyama explained Kavli IPMU’s research activities to high school students.



PI Naoshi Sugiyama explaining Kavli IPMU’s research activities.

Kavli IPMU Seminars

1. “New life in quadratic theories of gravity”
Speaker: Raquel Santos García (UAM)

- Date: Jul 18, 2018
2. "Correlated Gravitational-wave and Neutrino Signal from Accretion-Induced Collapse of White Dwarfs"
Speaker: Shuai Zha (U Hong Kong)
Date: Jul 19, 2018
 3. "Affine Beilinson-Bernstein at the critical level for GL₂"
Speaker: Sam Raskin (U Texas at Austin)
Date: Jul 19, 2018
 4. "Decoupling New Physics: The Standard Model EFT framework and Cosmological Relaxation models"
Speaker: Tevong You (U Cambridge)
Date: Jul 19, 2018
 5. "Stellar rejuvenation and seed black hole mergers in AGN disks"
Speaker: Doug Lin (UCSC)
Date: Jul 30, 2018
 6. "Self-Interacting Dark Matter"
Speaker: Hai-Bo Yu (UC Riverside)
Date: Aug 01, 2018
 7. "Coulomb branches, shifted quantum algebras and modified q-Toda systems"
Speaker: Oleksandr Tsybaliuk (Yale U)
Date: Aug 07, 2018
 8. "Homological characterization of quasi-hereditary algebras"
Speaker: Agnieszka Bodzenta (U Warsaw)
Date: Aug 07, 2018
 9. "Stellar hints for axion hunters"
Speaker: Ken'ichi Saikawa (Max-Planck Inst)
Date: Aug 08, 2018
 10. "Quantizing Deformation Theory"
Speaker: Alexander Voronov (U Minnesota)
Date: Aug 09, 2018
 11. "Speed Limits for Gravity"
Speaker: Scott Melville (Imperial College London)
Date: Aug 22, 2018
 12. "A quantum refinement of equivariant cohomology"
Speaker: Pedram Hekmati (U Auckland)
Date: Aug 28, 2018
 13. "Galactic Dynamics with Gaia DR2"
Speaker: Daisuke Kawata (Univ College London)
Date: Aug 29, 2018
 14. "OPE inversion and large spin perturbation theory"
Speaker: Carlos Cardona (Niels Bohr Inst)
Date: Sep 10, 2018
 15. "RG interfaces"
Speaker: Cornelius Schmidt-Colinet (LMU)
Date: Sep 11, 2018
 16. "Super-instanton counting"
Speaker: Taro Kimura (Keio U)
Date: Sep 11, 2018
 17. "The one-loop matter bispectrum as a probe of gravity and dark energy"
Speaker: Ben Bose (ICG, U Portsmouth)
Date: Sep 12, 2018
 18. "Secrets of PRL"
Speaker: Robert Garisto (American Physical Society)
Date: Sep 12, 2018
 19. "Hot gas outflows in the Milky Way Galaxy"
Speaker: Shinya Nakashima (RIKEN)
Date: Sep 13, 2018
 20. "Gravitational waves as a probe of fundamental physics"
Speaker: Cyril Lager (U Sydney)
Date: Sep 13, 2018
 21. "Liouville conformal field theory and the DOZZ formula"
Speaker: Vincent Vargas (ENS)
Date: Sep 14, 2018
 22. "The first quasars in the early universe"
Speaker: Chris Done (U Durham)
Date: Sep 14, 2018
 23. "A formula for the motive of the moduli stack of vector bundles on a curve"
Speaker: Victoria Hoskins (Freie Universität Berlin)
Date: Sep 18, 2018
 24. "Geometry of isomonodromy deformations"
Speaker: Yasuhiko Yamada (Kobe U)
Date: Sep 20, 2018
 25. "Zero Dimensional Donaldson-Thomas Invariants of Calabi-Yau 4-folds"
Speaker: Yalong Cao (U Oxford)
Date: Sep 20, 2018
 26. "Open intersection numbers, matrix model, and W-constraints"
Speaker: Alexander Alexandrov (IBS Korea)
Date: Sep 25, 2018
 27. "Clues in the small-scale mass distribution of the dark matter probed by gravitational lensing"
Speaker: Jordi Miralda Escude (Universitat de Barcelona)

- Date: Sep 25, 2018
28. "The Noether-Lefschetz problem for normal threefolds"
Speaker: Ugo Bruzzo (SISSA)
Date: Sep 25, 2018
29. "Connecting the Dark and Light Side of Galaxy Formation"
Speaker: Piero Madau (UC Santa Cruz)
Date: Sep 26, 2018
30. "How Long do Quasars Shine?"
Speaker: Joe Hennawi (UCSB)
Date: Sep 27, 2018
31. "Discrete 't Hooft anomaly of QCD and constraints on chiral symmetry breaking"
Speaker: Yuya Tanizaki (RIKEN BNL)
Date: Oct 02, 2018
32. "The constraint of void bias on primordial non-Gaussianity"
Speaker: Kwan Chuen Chan (Sun Yat-Sen U)
Date: Oct 03, 2018
33. "Hunting for high-redshift ($z > 6$) quasars with Subaru Hyper Suprime-Cam"
Speaker: Yoshiki Matsuoka (Ehime U)
Date: Oct 04, 2018
34. "Stringy nonlocality and black hole horizons"
Speaker: Matthew Dodelson (Kavli IPMU)
Date: Oct 09, 2018
35. "dark photon: collider, EDM and masslessness"
Speaker: Gang Li (National Taiwan U)
Date: Oct 10, 2018
36. "Cosmology from cosmic shear power spectra with Subaru Hyper Suprime-Cam first-year data"
Speaker: Chiaki Hikage (Kavli IPMU)
Date: Oct 11, 2018
37. "Continuum limit of fishnet graphs and AdS sigma model"
Speaker: Benjamin Basso (LPTENS)
Date: Oct 16, 2018
38. "Higgs mass, strong CP problem and Unification"
Speaker: Keisuke Harigaya (IAS)
Date: Oct 17, 2018
39. "Weyl group action on weight zero MV basis and equivariant multiplicities"
Speaker: Dinakar Muthiah (Kavli IPMU)
Date: Oct 18, 2018
40. "Cohomological Hall algebras associated to Riemann surfaces"
Speaker: Olivier Schiffmann (Universite de Paris-Sud Paris-Saclay)
Date: Oct 18, 2018
41. "On dimensional reduction of 4d $N=1$ Lagrangians for Argyres-Douglas theories"
Speaker: Prarit Agarwal (Seoul National U)
Date: Oct 23, 2018
42. "Towards Scale invariant theory of gravity"
Speaker: Anupam Mazumdar (U Groningen)
Date: Oct 25, 2018
43. "Probing the sterile neutrino portal to Dark Matter with γ rays"
Speaker: Miguel Garcia Folgado (Valencia U)
Date: Oct 26, 2018
44. "What's new in G2?!"
Speaker: Andreas Braun (U Oxford)
Date: Oct 30, 2018
45. "Classification of topological twists of super-Poincare algebras"
Speaker: Richard Eager
Date: Oct 30, 2018
46. "Looking for Dark Matter with atomic clocks and magnetometers"
Speaker: Rodrigo Alonso (Kavli IPMU)
Date: Oct 31, 2018
47. "The properties of extremely red quasars observed during the epoch of peak galaxy formation"
Speaker: Andy Goulding (Princeton U)
Date: Nov 01, 2018
48. "Increasing the complexity of free particle motion by breaking its mechanical nature"
Speaker: Boris Hasselblatt (Tufts U)
Date: Nov 01, 2018
49. "Weak Gravity Conjecture from Unitarity and Causality"
Speaker: Toshifumi Noumi (Kobe U)
Date: Nov 06, 2018
50. "New Venues in Formation and Detection of Primordial Black Hole Dark Matter"
Speaker: Volodymyr Takhistov (UCLA)
Date: Nov 07, 2018
51. "2d extremal correlator in $N=(2, 2)$ SCFT"
Speaker: Jin Chen (CAS)
Date: Nov 08, 2018
52. "Exploring the Dusty and Dynamic Infrared Sky with Spitzer, JWST, and Beyond"

- Speaker: Ryan Lau (JAXA/Caltech)
Date: Nov 08, 2018
53. "Demazure-Lusztig operators, Whittaker functions and crystals"
Speaker: Anna Puskás (Kavli IPMU)
Date: Nov 08, 2018
54. "Searching for the first non-Gravitational Signal of Dark Matter in the Galactic Center"
Speaker: Oscar Macias (Kavli IPMU & GRAPPA)
Date: Nov 09, 2018
55. "Galaxy Clusters: A Standard Cannon for Cosmology"
Speaker: Chris Miller (U Michigan)
Date: Nov 12, 2018
56. "Novel signature of Type II Seesaw model at the LHC"
Speaker: Dilip Ghosh (Indian Association for the Cultivation of Science)
Date: Nov 12, 2018
57. "On the generalised Dubrovin's conjecture for Grassmannians"
Speaker: Anton Fonarev (HSE Moscow)
Date: Nov 13, 2018
58. "Singularity theorems and the stability of compact extra dimensions"
Speaker: Jose M. M. Senovilla (U of the Basque Country, Bilbao)
Date: Nov 14, 2018
59. "Searching for Dark Matter with X-ray lines"
Speaker: Kenny Ng (Weizmann Inst of Science)
Date: Nov 14, 2018
60. "Modular Symmetry in flavors"
Speaker: Morimitsu Tanimoto (Niigata U)
- Date: Nov 15, 2018
61. "Cosmology with DES lensing beyond the power spectrum"
Speaker: Daniel Gruen (Stanford U)
Date: Nov 15, 2018
62. "Virtual classes in analytic geometry"
Speaker: Mauro Porta (U Strasbourg)
Date: Nov 15, 2018
63. "Understanding AGN evolution with large (X-ray) surveys: current constraints and prospects for eROSITA"
Speaker: Andrea Merloni (MPE, Garching)
Date: Nov 19, 2018
64. "Categorified non-commutative deformations and abelian hulls"
Speaker: Agnieszka Bodzenta (U Warsaw)
Date: Nov 21, 2018
65. "Birational geometry of symplectic quotient singularities"
Speaker: Alastair Craw (U Bath)
Date: Nov 21, 2018
66. "Fundamental physics studies with high energy missions"
Speaker: Andrea Santangelo (U Tuebingen)
Date: Nov 22, 2018
67. "Type Ia supernova progenitor issue: recent progress and future prospect"
Speaker: Hiroya Yamaguchi (ISAS/JAXA)
Date: Nov 27, 2018
68. "Moduli of Heterotic String Compactifications and Effective Actions"
Speaker: Eirik Eik Svanes (ICTP Trieste)
Date: Nov 27, 2018
69. "Magnificent Four with colors"
Speaker: Nicolò Piazzalunga (Stonybrook U)
Date: Nov 27, 2018
70. "How the Planck satellite helped decode the role of Planck's quantum in the emergence of our Universe from the Planck-mass era"
Speaker: Richard Bond (CITA, U Toronto)
Date: Nov 28, 2018
71. "Astrophysical systematics to weak lensing: challenges and opportunities"
Speaker: Elisa Chisari (U Oxford)
Date: Nov 29, 2018
72. "The Kinematics of Inflation, Preheating and Heating: a Playground for Kolmogorov-Sinai and Shannon Entropies"
Speaker: Richard Bond (CITA, U Toronto)
Date: Nov 29, 2018
73. "Where are the SUSY Higgs Bosons?"
Speaker: Sven Heinemeyer (IFT/IFCA (CSIC), Madrid/Santander)
Date: Dec 03, 2018
74. "Physics Beyond Colliders - Exploring Physics Beyond the Standard Model"
Speaker: Joerg Jaeckel (Heidelberg U)
Date: Dec 03, 2018
75. "Space Probes of the Highest Energy Particles: POEMMA & EUSO-SPB"
Speaker: Angela Olinto (U Chicago)

- Date: Dec 03, 2018
76. "On Lorentz-invariant massive spin-2 theories"
Speaker: Atsushi Naruko (Tohoku U)
Date: Dec 03, 2018
77. "Warped Black Holes in Lower-Spin Gravity"
Speaker: Max Riegler (Université libre de Bruxelles)
Date: Dec 04, 2018
78. "21-cm cosmology after 2021"
Speaker: Anze Slosar (BNL)
Date: Dec 05, 2018
79. "The origin of the electroweak symmetry breaking"
Speaker: Jing Shu (Inst Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences)
Date: Dec 06, 2018
80. "Hamiltonian truncation and the S3 partition function"
Speaker: Matthijs Hogervorst (Perimeter Inst)
Date: Dec 11, 2018
81. "Dual exponentials and their quantization"
Speaker: Andrea Appel (U Edinburgh)
Date: Dec 11, 2018
82. "Sbottoms as probes to MSSM with nonholomorphic soft interactions"
Speaker: Samadrita Mukherjee (Indian Association for the Cultivation of Science)
Date: Dec 12, 2018
83. "Dispatches from the sub-GeV Dark Matter Frontier"
Speaker: Tien-tien Yu (U Oregon)
Date: Dec 14, 2018
8. "Unification of integrability in

- supersymmetric gauge theories"
Speaker: Junya Yagi (Perimeter Inst)
Date: Dec 18, 2018
85. "Path integrals, finite temperature, and lattices"
Speaker: David McGady (NBIA)
Date: Dec 18, 2018
86. "Predicting proton decays from low energy SUSY spectrum"
Speaker: Kazuki Sakurai (Warsaw U)
Date: Dec 26, 2018
87. "Symmetric gauge theories and Lieb-Schultz-Mattis-type constraints"
Speaker: Xu Yang (Boston College)
Date: Dec 27, 2018

Professor

Kavli IPMU postdoctoral fellow Jin Mann Wong [October 1, 2017 – October 11, 2018] moved to Fetch.AI as a Research Scientist.

JSPS postdoctoral fellow Tilman Hartwig [October 21, 2017 – November 30, 2018] moved to School of Science, The University of Tokyo as an Assistant Professor.

Personnel Changes

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

Kavli IPMU Assistant Professor Takahiro Nishimichi [April 1, 2010 – March 31, 2013 as a JSPS postdoctoral fellow, April 1, 2015 – December 31, 2018 as a Kavli IPMU Assistant Professor] moved to Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University as an Associate Professor.

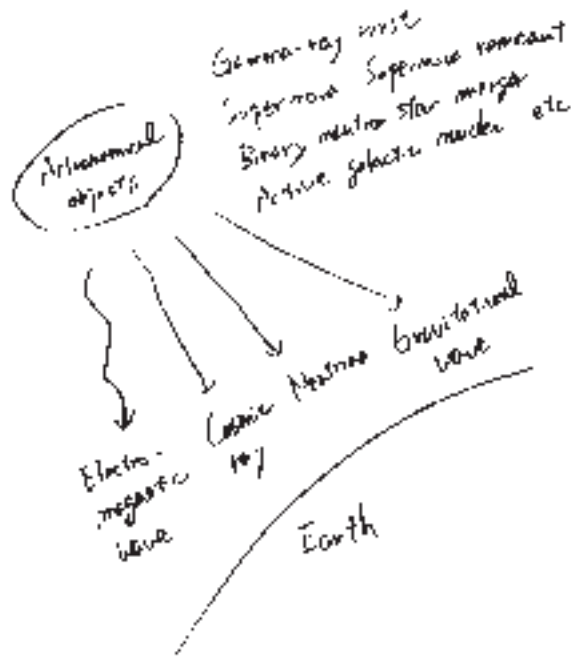
Kavli IPMU postdoctoral fellow Atsushi Shimono [September 1, 2011 – July 31, 2015 as a Project Academic Support Specialist, then – October 31, 2018 as a Kavli IPMU postdoctoral fellow] moved to Graduate School of Media and Governance, Keio University as a Project Assistant

Multi-Messenger Astronomy

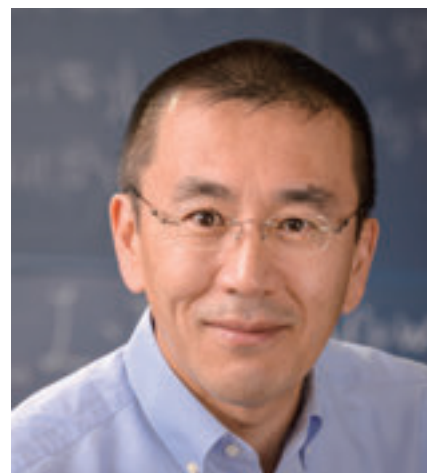
Nozomu Tominaga

Professor, Graduate School of Natural Science, Konan University
and Kavli IPMU Visiting Senior Scientist

Astronomy has developed since ancient times with optical observations in which visible light is used as a messenger from astronomical objects. From the 20th century, the development of new instruments enabled observations with other electro-magnetic waves like radio, infrared, ultraviolet, X-rays, and gamma-rays. This clarified new aspects of astronomical objects and expanded human knowledge. Recently, astronomy with other messengers like cosmic rays, neutrinos, or gravitational waves other than electro-magnetic waves is also being developed. Multi-messenger astronomy is the astronomy that derives the information from a combination of these multiple messengers from astronomical objects.



大栗 博司 おおぐり・ひろし Kavli IPMU 機構長



Kavli IPMUにおける就任挨拶

Kavli IPMU の二代目の機構長になることを光栄に思うとともに、身の引き締まる思いです。

村山前機構長とは30年以上のお付き合いです。1980年代に東京大学の大学院生になられた時が初めて、その後1990年代にはカリフォルニア大学バークレイ校とともに教員を務めました。私は、この研究所には設立当初から主任研究員として参加しており、村山さんのリーダーシップの下で世界トップレベルの研究所に向けて成長し発展していく様子を間近で見えてまいりました。

この11年の間に、Kavli IPMU は数学、物理学、天文学において数々の重要な発見をし、国際的にもっとも魅力的な研究所となりました。学生や若い科学者を育成し、彼らの多くは世界各地の一流の大学や研究所で指導的な職を得ています。また、研究所の斬新で効果的な運営方法を導入し、日本の大学に新しい風を吹

き込んでいます。

それでも、Kavli IPMUがWPIプログラム支援の5年間延長に選ばれた時には、喜ぶとともに驚きました。Kavli IPMUが選ばれるべき理由は多く思いつきますが、最初の5つのWPIセンターのなかで、もっとも「役に立たない研究」をしていることも紛れもない事実です。私たちがここでやっている基礎研究を、日本政府が重要なものであり支援し続けなければいけないと認めたことは、素晴らしいと思います。

基礎研究の支援は長期的にはよい投資であり、好奇心に駆られた研究が多くの配当をもたらすことについては、さまざまな証拠があります。

プリンストン高等研究所のアブラハム・フレクスナー初代所長は、1939年に発表した論考で、「人類に利益をもたらした重要な発見のほとんどは、役に立つためではなく、自分自身の好奇心を満たすために研究にかきたてられた人々によって成し遂げられた」と述べています。

もっと最近では、カリフォルニア工科大学のジャン＝ルー・シャモー前学長が—これは、私が直接お聞きした言葉ですが—「科学の研究が何をもたらすかを予め予測することはできないが、真のイノベーションは人々が自由な心と集中力を持って夢を見ることのできる環境から生まれることは確かである。一見役に立たないような知識の追求や好奇心を応援することは、わが国の利益になることであり、守り育てていかなければいけない」と述べています。道路や橋の建築を専門とする土木工学者であるシャモーが、役に立たない研究は国益にかなうものであり支援し続けなければいけないと語っているのです。

Kavli IPMUには、日本政府、東京大学、Kavli財団の支援の三本柱があります。今日は、Kavli財団からクリストファー・マーチン研究担当副理事長（暫定）にお越しいただいています。こうした支援を受け続けることがふさわしい研究所である

ためには、研究において大きな成果をあげ、また若手研究者が世界のリーダーとなるよう育成し、さらには研究所の組織改革を大学の中に広げて、日本の大学がグローバルな競争力を持つことにも貢献していかなければなりません。そのために、研究者や事務職員を含むすべての構成員が最高の力を出し切れる環境を作ることが私の仕事です。

役に立たない研究の効用は、私たちに当然のことに思えるかもしれませんが、この研究所の外の人たちにはそうではありません。あらゆる機会をとらえて、支援の三本柱や社会全体に基礎研究の重要性を伝え、私たちの成果を広報していくことも、私の務めと考えています。

4年前、高等研究所のピーター・ゴダード前所長が Kavli IPMU を訪問された時に、村山さんと鼎談をしました。そのときの口述記録は、*Kavli IPMU News* に掲載されています。^{*} 彼が語ったことで、私の心に

^{*} 「村山齊と大栗博司、ピーター・ゴダードと語る」、*Kavli IPMU News* No. 26, June 2014, p. 52 – 57 および No. 27, September 2014, p. 36 – 41。

刻み込まれていることが二つあります。

ひとつは、真の学術的研究施設はその使命を忘れてはいけないということです。

Kavli IPMU は大きな成功をおさめ、資金においても人的資源においても多くの支援を受けています。恒久化も実現し、将来は安定しています。数多くの研究成果を挙げ、高い評価を得ています。そのため、さまざまな魅力的な提案が舞い込み、またできそうなこともたくさんあります。しかし、私たちにできることは限られています。よさそうなことを何でもするのではなく、私たちがその可能性を信じて本当にやりたいと思う研究目標を注意深く選び、私たちの資源を最も効率的に活用し、計算されたリスクを取って、やるからには最高の成果を目指すべきです。そして、こうした選択は、研究所の使命によって導かれなければなりません。

Kavli IPMU の成功の一因は、「宇宙の最も深淵な謎を解く」という使命にあります。宇宙はとてつもなく

大きく、私たちのすべてがすっぱり収まります。数学、物理学、天文学などの様々な側面から研究することができ、その各々で大きな成果を得ることができます。

私自身の研究もこの使命に影響されてきました。私は弦理論の研究者ですが、Kavli IPMU に関わってきたことで自分の研究が宇宙の問題にとってどのように重要かを自問することになり、私の研究の方向もこれによって変化してきました。

私は、高校生の時にアンリ・ポアンカレの書いた『科学と方法』と題した本を読み大きな影響を受けました。この本の終わりの方で、彼は「大きな成果を生む研究と、そうでない研究があるのは、なぜか」と自問します。より大きな成果を生む研究がしたい。では、それをどのようにして見つけるかという問いかけです。

ポアンカレの結論は、よい研究の方向というのは、より幅広い分野に影響を与え、その発展を触発するものであるというものでした。彼は、「こうした方向に科学が発展していくと、それらを結びつけるものがよ

り鮮明に表れてくる—普遍科学の地図である」と述べています。彼は、そうした科学を「湧水が流れ出し、4つの盆地を満たすスイスのサンクト・ゴットアルド峠」に例えています。最近のグーグル流の表現では、ページランクの高い科学というところでしょうか。

Kavli IPMUは、ポアンカレの教えを実現する理想的な環境にあります。宇宙についての基本的な疑問を解くという使命は、私たちの研究を大きな視座でとらえることを可能にします。宇宙の問題は、数学者、物理学者、天文学者の連携を導き、その間の関係—普遍科学の地図を明らかにします。私たちの使命が、私たちを結びつけている。私は、こうした共同研究が育む環境を支えています。

私たちとの鼎談で、ゴダードさんからもう一つ学んだことは、学術研究所のタイムスケールについてです。*

IPMUは村山さんのビジョンから始まり、これは過去11年の間素晴らしく機能してきました。今のとこ

ろ、このモデルを変える必要は思い当たりません。しかし、それに満足しているわけにはいきません。11年前に始めた研究プロジェクトのいくつかは成熟し、その成功に立った新たな可能性を開拓する時期にきています。今年、Kavli IPMUは東京大学内で正式な恒久的資金を有する恒久機関となりました。国際的な評価も高く、多くの優秀な科学者がKavli IPMUで研究することを望んでいます。そのため、これまでできなかったことも、できるようになりつつあります。過去11年の間に達成したことを振り返り、私たちの資源と機会を生かして将来の計画をするよいタイミングだと思います。

私たちの研究の方向は、私たちの科学スタッフが作り上げていくものです。11年前にKavli IPMUがゼロから一人も建物もなく—始まったときとは大きく異なります。今や、私たちの最も大きな財産は人です。私は、先月のはじめからすでに25名以上の科学スタッフや事務スタッフと面談をし、彼らの夢を聞き、新しい可能性について学び、それをいか

にして支援していけるかを相談してきました。これは今後も続けていくつもりです。こうした対話から、今後10年間の長期戦略計画を作成する予定です。

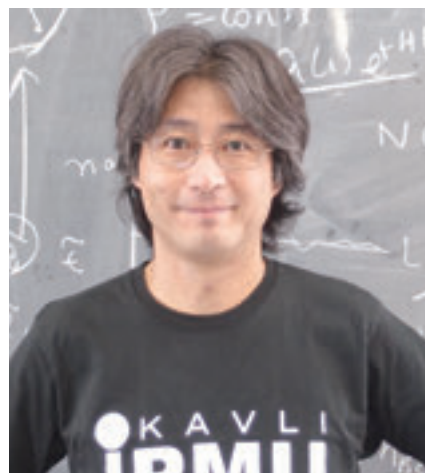
最後に、多様な背景を持つ人々を受け入れる環境を約束したいと思います。宇宙の最も基本的な疑問を解くという私たちの使命を達成するためには、私たちが各々を尊重しあい、ハラスメントのない職場環境を守り、自らの先入観や思い込みに注意を払う必要があります。こうしたのびのびとした知的環境の下でこそ、大胆なアイデアが奨励され、多様な視点を取り入れた緻密な議論によって形になっていくのです。また、科学者が自由に集中して考える空間を与えることで、研究の新しい方向が開拓され実現していきます。

これまで誰も行ったことのない場所に、果敢に進もうではありませんか。

Kavli IPMUの12年目によろこそ。皆さんと共に働くことを楽しみにしています。

村山 斉 むらやま・ひとし

Kavli IPMU 前機構長



Kavli IPMUは五神総長のコミットメントによる東大のサポート、文科省からの資金、カブリ財団など民間からの『支援の三本柱』で、今年4月からやっと恒久的な資金を持っているという意味での恒久的な組織になりました。恒久的な研究所は当たり前ですが定期的にリーダーシップの交代がおきます。また、創設期と安定期では、必要なリーダーの資質は違います。そして研究所がうまくいっているときこそ、初代リーダーの引き際だと考えました。WPIの最終審査が2021年の秋にあることを考えると、今交代しないと次の機構長の実績づくりもむずかしくなります。私から次へとバトンタッチするのは、この時期が最善です。もちろん個人的にも日米往復の大変さと、アメリカの家族との距離もずっと気になっていました。総長へそう進言したところ真剣に受け止めていただき、相原副学長のもとに選考委員会を立ち上げ、最終的に大栗さんが候

補として決まりました。私から見て、彼以上の素晴らしい候補は思いつきません！研究面での業績、マネジメントの経験、一般社会への情報発信、国際的な評価、すべての面で完璧な候補です。しかもカリフォルニア工科大学がオープンハイマーにすら認めなかった50:50の任用を史上初めて認めてくれたのです。これは日本の科学研究にとって、またとない好機になったと思います。安心してすべてをまかせられます。

マイケル S. ターナー Michael S. Turner

シカゴ大学 カブリ宇宙物理学研究所長



11年前、村山 斉さんは日本では前例のない大胆な理想を掲げた研究所を創設しました。私たちの住む宇宙の深遠な謎の解明に向けて、世界中から数学者と天文学者と物理学者を結集するためです。村山さんはIPMUを世界的な研究センターとす

ることに成功し、そして6年前にはIPMUを世界一流のカブリ研究所ファミリーの一員としました。この度、日本出身で世界有数の超弦理論研究者、大栗博司さんが次期機構長として任命されたことにより、村山さんは将来を見通した展望を持つもう一人

の研究者にIPMUを引き継がれました。私たちKICP (Kavli Institute for Cosmological Physics、カブリ宇宙物理学研究所)の研究者は村山さん、およびカブリIPMUとの協力により恩恵を受けてきましたが、今後は大栗さんとの協力を楽しみにしています。



Kavli IPMU 11周年記念の集合写真。

Message

ガドリニウム添加に向け改修工事を進める スーパーカミオカンデー12年ぶりのタンクオープン

森山 茂栄 もりやま・しげたか
Kavli IPMU主任研究員

関谷 洋之 せきや・ひろゆき
東京大学宇宙線研究所 准教授、Kavli IPMU 科学研究員

マーク R. ヴェイギンズ Mark R. Vagins
Kavli IPMU主任研究員

はじめに

岐阜県飛騨市神岡町の鉱山中に設置されたスーパーカミオカンデー（以下、Super-K、あるいはSKと略記）は1996年にデータ取得を開始しました。最初の2年間に収集されたデータを用いて、宇宙線研究所長でKavli IPMUの主任研究員を兼ねる梶田隆章氏が大気ニュートリノ振動の発見により2015年のノーベル物理学賞を受賞しました [1]。Super-Kは宇宙や加速器からのニュートリノの観測 [2]、装置内での陽子崩壊事象の探索 [3]等、現在でも世界最高レベルの研究成果を出し続けています。

EGADSプロジェクトの研究開発段階が成功裏に終了したこと [4]に伴い、スーパーカミオカンデーはKavli IPMUの旗艦実験計画の一つを進めるため、5万トンの純水にガドリニウム (Gd) の化合物である硫酸ガドリニウム100トンを添加 [5-7]して熱中性子とそれを発生させた反電子ニュートリノの検出性能を向上させる準備を進めています。これから開始されるSKのこのフェーズは、正式にはSK-Gdと呼ばれています。

図1に示されるような改修工事のためのタンク内作業が開始されたのは2018年5月31日のことで、それまでの12年間SKは連続して観測のために運転されてきました。この改修工事には、次の4つの主要作業項目があります。

(1) Super-Kタンク内の小さな水漏れの修理。

(2) 前回2006年に行われたタンク内復旧工事以降に故障した光電子増倍管(総数13,000本中の数百本)の交換。

(3) 1996年にSuper-K測定器が完成して以来、内部に蓄積された錆とその他の汚れ全ての除去。

(4) 水の全流量を増やして循環精製能力を向上させるため、およびタンク内の流れの向きをより良く制御できるようにするための配管の追加。

2018年10月中旬に測定器タンクに純水の導入を開始しました。現在(2018年12月)、数千人・日を要したタンク内作業は生まれ変わった測定器の長期にわたる実り多い運転開始を目指し、完了を目前にしています。本稿では、これまで半年に渡って進められてきた波瀾万丈の作業風景と、ガドリニウム添加の実現により今後SKに期待される新たな物理について述べたいと思います。

SK-Gd の狙う物理

SK-Gd計画は、反電子ニュートリノと陽子が反応した際に生成される陽電子と中性子とをいわゆる遅延同時計測法によってより効率よく検出できるようにするSKのアップグレード計画です。ニュートリノを発見したライネスとコワンが使用した手法 [8]でもあり、彼らは中性子捕獲原子核としてカドミウム (Cd) を用いましたが、私たちは最近の液体シンチレータによる原子炉ニュートリノ実験 [9]と同様

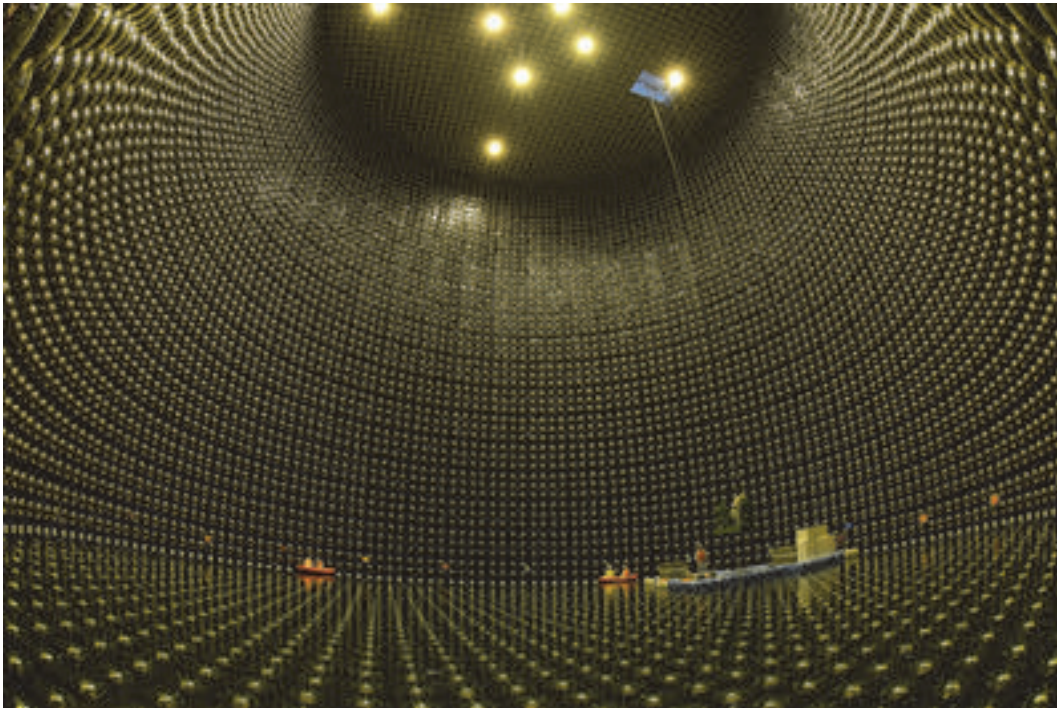


図1 スーパーカミオカンデのタンク内作業（2018年8月18日撮影）。

に、Cdの代わりにGdを用います。天然に存在するGdは熱中性子の吸収断面積が49,000バーンと安定な元素の中で最も大きな物質であり、かつ吸収後にカスケード的にガンマ線を放出し、そのエネルギーは合計で8 MeVになります。そのためGd添加により、水チェレンコフ測定器においても中性子を検出できるようになります（図2参照）。

SK-Gdの最大の目的は、過去の超新星爆発からのニュートリノ（超新星背景ニュートリノ supernova relic neutrino [SRN] あるいはDiffuse Supernova Neutrino Background [DSNB] と呼ばれている）の世界初検出です。宇宙には 10^{22-23} 個もの恒星があります。これらの恒星のうち太陽質量の8倍以上の星は超新星爆発を起こすと考えられています。放出されたニュートリノは宇宙に拡散して行きますが、まだ観測されていません。超新星爆発によって生まれるエネルギーの99%はニュートリノによって星から放出されるため、DSNBを観測することは、超新星爆発のエネルギーの深い理解に繋がります。また、DSNBは宇宙の始めから今までに起きた超新星爆発から放出されたニュートリノの蓄積なので、宇宙における重い元素の起源とその源である大質量星の歴史とについても探ることが

できます。

図3は理論から予想されるDSNBのエネルギー分布を示しています。フラックス（強度）はモデルによって違いはありますが、数個/cm²/sec程度であり、10年間の観測で3 σ レベル以上の有意度でDSNBの検証が可能であると見積もられています。

反電子ニュートリノの同定は、ニュートリノの到来方向情報を保たない事象を排除することで方向決定精度を向上させ、私たちの銀河でおこる超新星爆発の検出にも役立つし、中性子検出により「超新星爆発の予知」ができる可能性も示唆されています[11]。この他にも、SK-Gdの実現によって、東海-神岡長基線ニュートリノ振動実験（T2K）の反電子ニュートリノビーム事象選別や、陽子崩壊探索時のバックグラウンド低減、（後に述べるようにタンクの清掃のおかげで放射性不純物が除去できたことによる）太陽ニュートリノ観測でのバックグラウンド低減等、SKで遂行してきた実験の感度向上が期待されています。

タンクオープン作業

ここから、タンクオープン作業について詳しく説明し

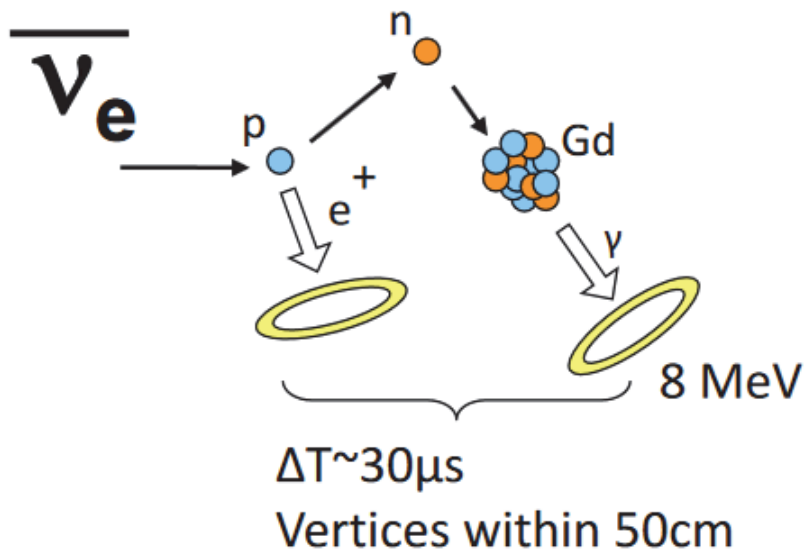


図2 水チェレンコフ測定器におけるGdによる反ニュートリノ遅延同時計数法の原理

ます。図4に示すように、ほぼ円筒形のSKタンク内には、上下面や壁面から2 mの位置に光電子増倍管（以下、PMT）を取り付ける構造体（2重の点線）が存在します。そこに、内向きに内水槽用のPMTが11,129本、外向きに外水槽用のPMTが1,885本取り付けられています。構造体の内側にはブラックシートと呼ばれる反射を抑えるPET膜、外側にはタイベック反射膜が張られています。ただし、内水槽と外水槽の水は行き来できるため、水面は一致しています。

後出のように水面に浮床と呼ばれる足場を用意し、3日に一度タンクの水を2 mほど排水します。排水した部分は浮床の上に立つ作業者の手が届くため、その部分の止水工事や、PMTの交換などを行います。この方法は、カミオカンデ時代に小柴昌俊氏が始めた手法で、通常の足場などに比べれば遥かに安価に作業ができる方法として重宝しています。

SKタンクはおよそ直径40 m、高さ42 mもある容量5万トンの水タンクです。側面は高さ2 m、幅6 m、厚み4 mmのステンレス板をぐるりと20枚、高さ方向に20枚つなげて作られている20角柱をなしています。底面もステンレス板を張り合わせており、表面積は6,000 m²以上、溶接線の総延長は6.2 km程にも達します。さらに側面にはボルトの貫通部が3,200箇所以上、底面にはアンカーのための貫通部が150箇所以上、PMT 1個あたり60 kgの浮力に打ち勝つための埋設物の貫通部が230箇所以上あります。およそサッカー場の広さがある、継いで作ったステンレス板に、一滴の水漏れもないとは想像がつかない

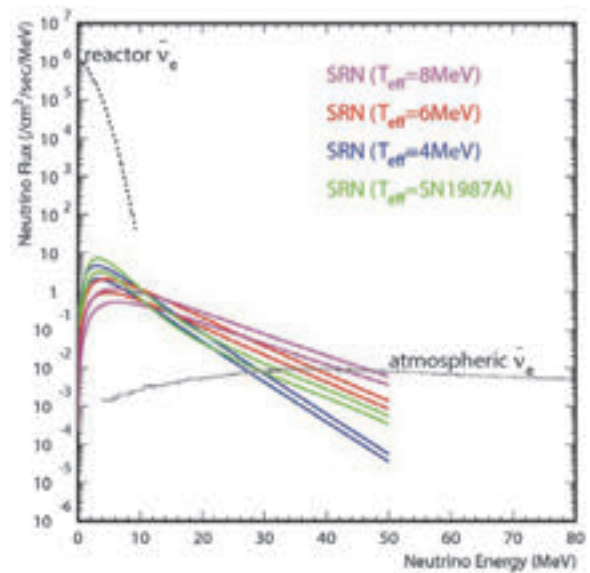
でしょう。実際にSKタンクには少々の水漏れがありました。これまで1日あたり約1トンの漏れが見られましたが、純水であれば毎分700 ccなので大したことはありません。Gdを添加した水にも環境基準は無いのですが、環境に放出することがないように止水の必要があります。また、大きな地震に備えた溶接部の止水補強が必要です。これが冒頭で述べた目的(1)に相当します。

この止水工事のため、SKでは特別なシーラント材を開発してきました。求められた特性は、柔らかく弾力性があり、伸びにも耐えること、純水を汚すことがないこと、長期に渡って純水にさらされても劣化しないこと、ステンレス板に十分な強度で付着できること、ラドンなど放射性不純物を発生しないこと等でした。これらの条件を満たすシーラント材とプライマーの開発そのものには、本稿の限られたスペースではとても説明しきれない長年の努力の積み重ねがありました。

図5は、実際の施工時の写真です。溶接線など、止水すべき場所のまわりにはバッカー材とよばれる「土手」を貼り付け、シーラント材は刷毛や左官さんが使うコテなどを使ってバッカー材の厚さまで塗り込みます。塗りは2層としてあるので、塗作業時にピンホールが開いてもそのまま水が漏れることはありません。

事前に高湿度の環境下でモックアップ試験を行ったため、業者の作業に問題はありませんでした。ただしステンレス面が周辺岩盤の温度である摂氏13度程度と冷たい一方、作業スペースは人の熱気やLED照明の熱、湿度の放出のため苦勞することになりました。極端な場合、壁面に

図3 DSNBの予想されるエネルギースペクトルと他のニュートリノ（原子炉/大気ニュートリノ）との比較。論文[10]に基づく。



水が凝結し、バッカー材が張れない事態が生じたこともありましたが、換気や通風を改善することでなんとか乗り切ることができました。

特殊な手法で作られているシーラント材は、製造した後時間が経つと粘性が落ちる特性があり、壁面に塗ろうとすると垂れてしまって作業性が悪くなります。そのため生産の最小ロット量と搬送、消費のペースをうまく作り上げるといふ地味な問題も解決してきました。排水を行う毎に16名程のメンバーで清掃作業を行い、そのあとに10名程の業者の作業員が止水工事を行うサイクルを20回繰り返すことになりました。

この間なんといっても苦労したのは、壁面の汚れでした。SKは超純水で20年近く運転してきましたが、タンクオープン前に内部の状況を知るのには難しいことでした。推測はいろいろありましたが、実際に開けてみると汚れが壁面や構造体を覆っていることが判明し、急遽清掃作業の増強を行って対応しました。汚れがあると、止水材がステンレスに十分付着できず、作業全体が無駄に終わってしまう可能性があるからです。特にタンク最上部においては、SKの建設工事のうち1994~1995年の作業において避けられなかった排ガスや粉塵の付着が残っていたせいか、布で拭き取ると真っ黒でした。下手な清掃具を用いるとかえってチリを増やし、止水とSKの運転再開後の水質に悪影響を与えるので、研究者が様々な清掃道具を試し、組み合わせ、開発し、清掃を進めました。掃除も大事な研究テーマであると実感したものです。

これらの清掃のおかげで、止水材はしっかり付着する

ことができた上、大量の放射性不純物も除去できました。ゲルマニウム検出器での評価によると、少なくともラジウムは100ベクレル程度除去できました。これから発するラドン量はPMTから発するラドン量に匹敵するため、今回の掃除は今後の太陽ニュートリノ観測のバックグラウンド低減に大きく寄与できたと考えられます。

(2)のPMT交換については、これまで実績はあるものの、PMT交換により止水作業が遅延しないように進める必要があり、最初からトップスピードでの作業が求められました。特にアメリカグループ担当の外水槽のPMT交換はタンク開放直後の作業立ち上げが難しく、作業遅延の心配もしましたが見事予定通りに完了しました。一方内水槽のPMTの交換は、重量がある上慎重に扱う必要があります。内水槽用のPMTは、2001年に生じたような連鎖的な破損事故を起こさないために、防爆ケースと呼ばれるFRPとアクリルの容器に収めて使用します。PMTの交換作業のたびに、早朝タンクを遮光してPMTの動作と電気的接続を確認しましたが、担当グループは常に時間に追われて苦労しました。

(3)の腐食金属源の撤去の殆どは、上記清掃作業の間に実行できました。タンク内にはステンレス材しかないはずなのに、稀に見つかるサビで覆われていた鉄製のボルト、ナットを除去しました。12年前に使われた鉄製のクランプがタンク内で発見されたこともありました。ステンレスへの「もらい錆」も多数ありました。どんなに錆を除去してもまた出てくると業者から聞かされましたが、できる限りの錆を取るようにしました。そもそも錆の存在は今後

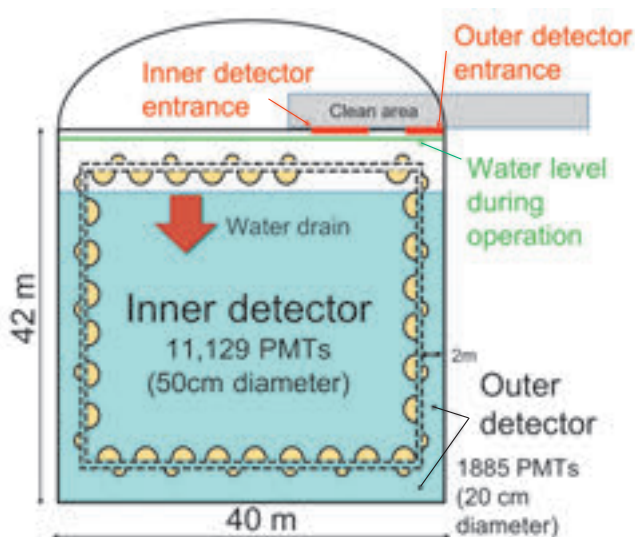


図4 タンク断面の説明図。水を段階的に抜きながら手の届く範囲の作業を進めてゆく。

の運転に悪影響があることが懸念されたため、作業に先立って若い研究者らが様々なツールの調査、検討を重ねてきました。SKの水の透過率はこれまでも高かったのですが、さらに高い透過率が得られるよう、そしてGdを添加しても無事に運転できるよう、丁寧に作業を行いました。

外水槽のタイベックシートの取り付けも大きな作業でした。内水槽は光の到着時間をもとに反応点を再構成するため、反射の少ないブラックシートで覆っている一方、外水槽は時間情報よりも入射ミュオン検出効率を確保するため、反射材であるタイベックシートで覆っています。高さ40 mの壁に1 m幅のシート120枚をゴンドラで順次引き上げ、隣り合う部分をホチキスで留め、底面には止水工事後にタイベックシートを敷き込みました。底面作業は、若手の日本人研究者とアメリカグループのリーダーが協力して進めました。止水作業後のシーラントにダメージを与えずに作業するためには、慎重な準備と作業が必要だったためです。

これらのシフト数は延べ2,683人となりました。9月半ばまで、日曜日を除き毎日総数40~50名ほどのシフトとエキスパート、監督、そして業者が作業を行いました。シフトにはSKメンバーを中心に、T2Kや、次世代大型水チェレンコフ実験計画ハイパーカミオカンデ（HK）に属する世界中の研究者が含まれています。これらに属さないボランティアにも多数協力を頂き、心から感謝しています。この間安心して作業できるシフトアレンジ等様々な努力を行いました。例えば神岡施設の宿舎の室数には限りがあるため、車で30分程離れた富山市のアパートを数室借り上げ

た上、毎朝毎夕の車での送迎や、そのドライバーの確保などをシフト担当者が腐心して成し遂げました。

大量のシフト作業者が効率よく作業するために最も苦労したのはゴンドラの運行です。掃除や止水作業のため、外水槽に30名以上の作業者が入る必要がありますが、容量300 kgのゴンドラが1台だけなので、何もしないと長蛇の列ができます。作業場所が底面に近くなると1往復20分かかるため、作業者の種類ごとに入坑、出坑時間をずらし、業者とかち合わないようアレンジするのはパズルのようでした。

作業においては作業者の安全確保が第一優先であり、安全教育や注意喚起についても、現地到着前に行うe-learningを準備し、シフト開始時にガイダンスを行いました。また、作業者への聞き取りや、毎朝の作業チームリーダーの打ち合わせで行う安全に関する報告を基に、作業環境の改善を続けました。作業者に対しては事故を起こさないよう教育をするだけでは駄目で、気になったこと、起きたことは遠慮せず即座に共有するよう徹底することが重要であると改めて感じさせられました。

純水装置と今後

今回、タンク内の清掃と止水工事、PMT交換に加え、もう一つの大きな改造工事としてタンク内配管を含む水システムを一新しました。SKの純水装置は、当初30 m³/hの処理能力で給水・循環させることを前提として作られ、タンク内の配管も内水槽と外水槽を区別することなく、か



図5 外水槽におけるタンク壁面の止水工事の様子。青い浮床の上で作業。右側には口径20 cmのPMTが見えている。

なり「適当」に作られていました。その後2001年の事故前後や、2005~2006年の完全再建の際にもタンク内配管は本質的には改善されず、その後開始されたSKフェーズIII (SK-III) の途中から純水装置の循環レートは $60 \text{ m}^3/\text{h}$ に引き上げられていました。そこで今回の作業に際し、図6に示すように内水槽、外水槽の配管を切り分けるだけでなく、外水槽の側部、天部、底部をすべて独立に流量を調整できるように改良することにしました。これまで太陽ニュートリノ解析用の有効体積はバックグラウンドとなるラドンの流入によって制限されてきましたが、この改良でタンク内の水の流れの制御と最適化が可能になりました。ここから得られる知見はHKのデザインにも生かされています。

ところで、タンク内の水位が下がり底面のPMTの隙間から突き出た内水槽給水用の配管が顔を出したところで、衝撃的な事実が判明しました。アクリルでできているはずの12本の配管のうち、中心付近の3本が実は通常の透明塩化ビニル管でできていたのです。2008年から開始されたSK-IVの解析で、底部の配管に対応する位置にイベントのhot spotが3ヶ所あることが分かり、これまで流量バランスが崩れている説や、ラドン源である割れたPMTガラスが配管に詰まっている説などが唱えられてきましたが、実はラドン放出や放射性不純物が多い「塩ビ」が使用されていたのです。どうも2001年の事故で3本の配管が壊れ、その後修理の際、手元にある材料で復旧されたが、2005年の完全再建の時にはこのことが忘れ去られていたようです。改めて、記録して伝承することと、測定器をち

ゃんと目で見て確認することの大切さを実感しました。

さて、高純度硫酸ガドリニウム水溶液を製造するだけなら、ある意味今流行の「機能水」の一種ですので、「〇〇水」同様、超純水に硫酸ガドリニウムを混ぜればよいだけです。ところがSKの純水装置は循環純化方式で、水以外の不純物をすべて取り除くように設計されているため、硫酸ガドリニウムを溶かしてそのまま運用すると必要なイオンまで全部除去されてしまいます。従って、水とガドリニウムイオンと硫酸イオンだけを保ち、それ以外の不純物を取り除く純化装置を開発しなければなりません。

やはり本稿の限られたスペースではその詳細に触れることはできませんが、超純水製造技術を応用して、2014年から小型試験装置を建設して実証実験を行い、2016年度からSK-Gd用の新しい装置を建設し、タンクオープン作業と並行して立ち上げ作業を行ってきました。処理流量は $120 \text{ m}^3/\text{h}$ とSK-IVまでの純水装置の2倍で、これに合わせてタンク内配管も増強されています。

さらに今回、これから挑戦することがあります。タンクへの給水はこれまでの超純水製造装置を用いて $30 \text{ m}^3/\text{h}$ の流量で行いますが、満水までは2.5ヶ月かかってしまいます。これまではタンクに給水された水は純化されることがなかったため、給水後、水の透過率が改善し観測開始できるまでさらに2ヶ月程度かかっていました。そこで新たに建設した純化装置の中身に通常の純水装置用の機能材を投入し、タンク内水循環用の純水装置として運用することで、給水しながら循環させ、満水と同時に観測開

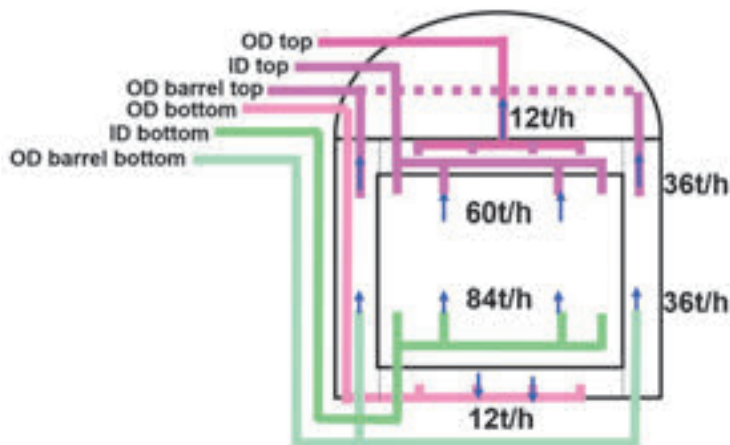


図6 タンク内の水の流れを改善するため、配管を一新。

始でける透過率を実現させる予定でいます。その後、純化装置の中身を硫酸ガドリニウム対応の機能材へ入れ替え、純水のまま運用して透過率を保持できることを確認します。そして、T2K実験側とも相談しながら2019年度中に硫酸ガドリニウムの導入を行う予定でいます。

おわりに

タンクオープン作業の間、台風や大雨のため作業を中止することが3度ありました。その理由は、SKにアクセスする国道が積算雨量120 mmを超えると通行止めになって帰宅不能になるためです。そしてまた深刻なのは停電に伴うSKタンクの破壊の恐れです。SKは坑内の水位レベルより深いところに位置しているため、SKの水を抜くときにはSKの周りの水もポンプで排水しています。もし悪天候等による停電でこのポンプが止まると、タンクに外水圧がかかり、タンクを破壊する可能性があります。そのため、電源は別システムを用意し、発電機も用意し、緊急入坑のための段取りも行ってきました。2018年12月までにはほぼ満水に近づいていますが、今後大雪で停電が起きないことを祈っています。12月と2019年1月に残りのタンク内作業を行い、その後タンクをクローズし、本作業の完了、そして新たな物理成果を導くデータ収集が、いよいよ始まります。

- [1] The Super-Kamiokande Collaboration, *Phys. Rev. Lett.* **81**, 1562 (1998).
- [2] The Super-Kamiokande Collaboration, *Astrophys.*

J. Lett. **857**, L4 (2018); The T2K Collaboration, *Phys. Rev. D* **96**, 092006 (2017).

- [3] The Super-Kamiokande Collaboration, *Phys. Rev. D* **96**, 012003 (2017).
- [4] M. R. Vagins, “ミッション R&D 完了、EGADS 新たな未来へ,” *Kavli IPMU News*, No. 43, September 2018, pages 32-35.
- [5] J. F. Beacom and M. R. Vagins, “GADZOOKS! Anti-neutrino spectroscopy with large water Cherenkov detectors,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 171101 (2004) [hep-ph/0309300].
- [6] M. R. Vagins, “Kavli IPMUのニュートリノ予報:概ね晴れ、超新星の可能性大,” *Neutrino Forecast: Mostly Sunny, with a Good Chance of Supernovas*,” *Kavli IPMU News*, No. 19, September 2012, pages 32-37.
- [7] 関谷洋之, “スーパーカミオカンデーガドリニウムプロジェクトの現状報告,” *ICRR News*, **96** (2016), pages 1-9.
- [8] C. L. Cowan, F. Reines et al., *Science* **124** (1956) 103-104.
- [9] F. P. An et al., *Phys. Rev. Lett.* **108** (2012) 171803.
- [10] S. Horiuchi et al., *Phys. Rev. D* **79** (2009) 083013.
- [11] A. Odrzywolek, M. Misiaszek and M. Kutschera, *Astropart. Phys.* **21** (2004) 303-313.

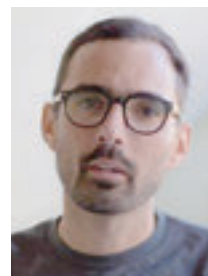
Our Team

ロ德里ゴ・アロンソ

Rodrigo Alonso 専門分野: 理論物理学

博士研究員

質量の本質的な起源の探求が私の中心的研究課題です。このため私は、i) ヒッグス粒子の性質に重点を置き電弱対称性の破れを研究し、ii) 3世代の物質粒子の質量及び混合の構造を研究し、iii) ダークマターの発見を追求し、そしてiv) 南部-ゴールドストーン・ボゾンの質量に対する重力の寄与を研究してきました。私の研究は、検証可能性、普遍性、そして単純性に焦点を合わせています。



ピエトロ・カラドンナ

Pietro Caradonna 専門分野: 実験物理学

博士研究員

私は Kavli IPMU で高橋教授のグループに加わりました。具体的には生体内のがん幹細胞を撮像するガンマ線カメラの設計および開発に参加します。

当然のことですが、私の研究は素粒子物理の基礎的な側面に関わりがあり、将来の計画としてこの分野にコンプトンカメラを応用する新しい方法の開発を考えています。実際、このようなアイデアを追求するには Kavli IPMU の理論研究者コミュニティは理想的な場であり、Kavli IPMU に在籍中はこの利点を十分に生かすつもりです。



Our Team

トーマス ラファエル・キザキ Thomas Rafael Czank

専門分野: 実験物理学

博士研究員

東北大学での博士課程在学中、私はBelle 実験の一員としてダークセクターグループに加わり、レプトン数の差をゲージ化する新しいU(1)ゲージボゾン Z' を探しました。ステライルニュートリノとの関係に加えて、この粒子は μ 粒子と結合するため、 μ 粒子の異常磁気モーメントに寄与する可能性も期待されていました。Belle 2 実験から記録的な感度とデータ量が得られる日が間近となっていることから、私は標準模型の範



疇での稀崩壊モードに加えて、ダークセクターの粒子の候補にもまだ興味を持っています。これらの研究にはより精緻な解析手法が必要とされます。

ラリタワディ・カウィンワニシャキッド

Lalitwadee Kawinwanichakij 専門分野: 天文学

博士研究員

観測データを用いた銀河の形成と進化の研究に興味があります。最近私は、銀河の星形成に対する局所環境の影響、および伴銀河を用いて、銀河の進化におけるフィードバック機構の探究に焦点を絞って研究を行っています。

Kavli IPMUでは、すばるHSCデータを最大限活用して、宇宙の大規模構造の様々な環境にわたる銀河の形成史を観測的に明らかにしたいです。特に、銀河の星



形成に関係する環境効果のなかで、銀河が住むダークマターハローの質量に関する物理過程を区別することが目標です。

仲村 佳悟 なかむら けいご

専門分野: 実験物理学

博士研究員

私はこれまで、T2Kニュートリノ振動実験に参加してニュートリノでのCP対称性の破れについて研究してきました。特に、より強力なニュートリノビームを作るためにJ-PARC加速器やニュートリノビームラインの改良を行ったり、ニュートリノ振動解析を行ってきました。Kavli IPMUでは少し分野を変えてすばる望遠鏡主焦点超広視野多天体分光器PFSの開発を進めます。素粒子実験で培ってきた経験を生かして、宇宙観測を



通したニュートリノ質量測定や、暗黒物質、暗黒エネルギーの解明を目指したいと思います。

イプシタ・サハ Ipsita Saha 専門分野: 理論物理学

博士研究員

主として、ヒッグス粒子発見後の時代における標準模型を超えた物理の現象論を研究しています。具体的には、標準模型のゲージセクターとスカラーセクターを拡張したモデルのヒッグス粒子及び電弱対称性の破れの性質を見出すことに興味があります。これまで、最近のLHCおよび将来の高エネルギー衝突加速器でこういったモデルの予言する粒子を検出する可能性について研究してきました。この方向の研究を続けたいと思います。また、各種の直接あるいは間接ダークマター



検出実験の結果に基づいて、ダークマターのモデルを研究してきました。このようなダークマターを現在および将来の衝突加速器で検出する可能性にも興味があります。

ジョン・ウェリアヴィーティル John Welliaveetil 専門分野: 数学

博士研究員

最近盛んに研究されている非アルキメデスの幾何学の分野に興味があり、ある Berkovich 解析空間のホモトピー理論と有限型で分離的な adic 空間のエタールコホモロジーを研究しています。最近、“Non-archimedean tame topology and stably dominated types” という本の中のフルジョフスキー とレゼによる構成がどこまで関手的にできるかについて研究を試みました。私が非常に興味を持っているもう一つのテーマはピーター・ショルツのアイデアに触発されたもので、adic 空間



の上の偏屈層の理論を発展させることを目的とします。

The 4th Kavli IPMU-Durham IPPP-KEK-KIAS Workshop: Beyond the BSM*

竹内 道久 たけうち・みちひさ
Kavli IPMU 博士研究員

標記の国際ワークショップ “The 4th Kavli IPMU-Durham IPPP-KEK-KIAS Workshop: Beyond the BSM” が2018年10月1日から4日までの4日間、群馬県伊香保において開催されました。本研究会は、Kavli IPMU、高エネルギー加速器研究機構、イギリスのDurham大学 IPPP (Institute for Particle Physics Phenomenology)、韓国のKIASの共催であり、竹内道久 (Kavli IPMU)、松本重貴 (Kavli IPMU)、野尻美保子 (KEK、Kavli IPMU)、白井 智 (Kavli IPMU)、Tom Melia (Kavli IPMU)、Pyungwon Ko (KIAS)、Michael Spannowsky (Durham)、Frank Krauss (Durham)、Valya Khoze (Durham) が組織委員を務めました。

LHC実験 Run 2 (重心エネルギー 13 TeV) の結果、未だ新物理の証拠の発見に至らない現在、コライダー物理、フレーバー物理、低エネルギー実験、宇宙観測等様々な分野からの理論、実験双方の専門家を集め、近い将来における新粒子、新物理発見の可能性、素粒子物理の進むべき方向について議論する場を設けることを目的に本研究会は行われました。現在は今後の素粒子研究分野の方向性を決める重要な時期にさしかかっており、とてもタイミングの良い研究会になりました。

研究会は、午前5つ程度の招待講演からなるロングトーク、午後と夕食後に各々5つ程度のショートトークを含むセッションから主に構成され、海外から15名及び国内から7名による招待講演、21のショートトークが行われました。8カ国から、計51名が参加し、

うち日本からは26名の参加者がありました。

初日は Wolfgang Altmannshofer (Cincinnati)、遠藤 基 (KEK) の B フレーバーの物理の招待講演で始まり、米倉和也 (九州) が QCD 相転移に関する講演を行いました。2日目は、Bryan Webber (Cambridge) による Electroweak PDF、Michael Spannowsky による Higgs EFT、陣内 修 (東京工大) による HL-LHC における不定性、Tao Han (Pittsburgh) による Higgs coupling に関する講演をはじめ、主にコライダー実験に関する講演が多数行なわれました。3日目は、Joshua Ruderman (New York) による 21cm 線、Yu-Feng Zhou (中国科学院理論物理研究所) による宇宙線のスペクトル構造、堀内俊作 (Virginia Tech) による銀河中心のガンマ線超過に関する講演を始め、主に宇宙線観測、暗黒物質理論等に関連する講演が行なわれました。4日目は David Shih (Rutgers) による新物理探索への機械学習の応用、Hyun Min Lee (韓国中央大学校) と Andreas Weiler (TU München) による暗黒物質模型、Valya Khoze による Higgspllosion、Pyungwon Ko による自己相互作用する暗黒物質 (SIMP) に関する講演が行われました。標準理論を超える物理に迫るため、コライダー物理を始め、フレーバー物理、暗黒物質、宇宙線観測等、幅広い話題が議論され、素晴らしい研究会となりました。

* “Beyond the BSM” は、今まで BSM (Beyond the Standard Model, 標準模型を超える(物理)) として考えられていたものとは違う BSM という意味と、今まで SM で説明されたと考えられていたような反応などをさらに精密に測定して、SM で説明しきれない新しい物理を探索するという意味をもちます。

Flavor Physics Workshop 2018

樋口 岳雄 ひぐち・たけお

Kavli IPMU 准教授

2018年10月30日より11月2日までの日程で、Kavli IPMUにおいて Flavor Physics Workshop 2018が開催された。2008年にB Workshopとして始まったこのワークショップシリーズは、大学院生や若手研究者がフレーバー物理全体を見渡す場を提供することで、将来の研究の青写真を描く一助となることを目指している。本年は36人の大学院生と28人のポスドク・教員が参加した。

例年、本ワークショップのプログラムは招待講師による講義と参加者による申込講演で構成されている。今回の講義の設計では、全検出器を有効にした Belle II 実験のデータ収集がいよいよ始まるという今年の時期的特徴から、アノマリーが見えかかっていて Belle II 実験で速やかな説明が期待される物理をトピックのひとつとした。理論では3つの講義が行われ、 $b \rightarrow s \ell^+ \ell^-$ や $b \rightarrow c \ell^+ \bar{\nu}$ 過

程のアノマリー、ミューオン異常磁気能率、レプトンフレーバーの破れなど、実践的な項目が解説された。また実験の講義では、Belle II 実験のデータ解析を中心に、B中間子によるCKM行列の精密測定や稀崩壊の分岐比の測定技術、タウレプトンによるレプトンフレーバーの破れやCP対称性の破れの測定技術など、フレーバー実験のデータから新しい物理にタイムリーに迫る技術が紹介された。さらに今年は、若手向けに素粒子研究の将来展望を特集し設定し、フレーバー実験に加えてニュートリノ実験や地下観測実験などの将来計画の紹介と、暗黒物質の性質解明を例にこれらの実験への期待も解説された。ほかに素粒子標準理論と高エネルギー加速器実験の基礎に関する講義がワークショップの初めに行われ、講義数は全部で12であった。

申込講演では、口頭講演が23件、

ポスター講演が12件あり、理論と実験の双方で講演が行われた。投票によって大学院生からベストトーク賞（理論・実験）・ベストポスター賞が選出され、それぞれ奥井 恒氏（新潟大）、上路 市訓氏（京都大）、原田 将之氏（岡山大）に賞状と村山 斉 Kavli IPMU 前機構長のサイン入り著書およびIPMUのTシャツが贈られた。

今回のワークショップでは、講義でも講演でも自由かつ盛んな議論が飛び交っており、多くの参加者にとって十分に議論が楽しめたイベントになったと思っている。次回の Flavor Physics Workshop は、Belle II の全検出器が稼働したあとの初のワークショップであり、そこでの議論もまた楽しみなものとなるに違いない。



スクール/ワークショップ 「非可換変形およびモジュライ空間」

アレクセイ・ボンダル Alexey Bondal

Kavli IPMU 主任研究員

齋藤 恭司 さいとう・きょうじ

Kavli IPMU 博士研究員

このスクール/ワークショップは2018年11月19–23日の週に Kavli IPMU で行われた。組織委員のこの研究会に対する考え方は、非可換変形理論の形式的側面で仕事をする研究者と、幾何的な対象の非可換モジュライ空間と非可換対象物の幾何的なモジュライ空間のいずれかあるいは両方を考え、その仕事が可換世界の壁を超えていく必要に迫られているような代数幾何学研究者とが共に集まることにあった。

形式的高次圏論は近年急速に発展している研究分野であり、その殿堂外の者にとっては必ずしも馴染み深いとは言えない非古典的な変形理論への視点を示唆しているので、通常のワークショップに加えて、専門家が聴衆に対し多くの技術的事項を避けて形式論の主要アイデアを親切に説明する幾つかのコース(連続講義)が設けられた。

導来変形理論のコースは Christopher Brav (ロシア) と Nick Rozenblyum (アメリカ) により与えられた。それは最も進んだホモトピカルな手法による変形理論へのア

プローチの良い入門であった。圏論的に技術的な側面を数多く含む多数の複雑な形式的事項が平易な言葉と実例により解説された。他にも Valerio Melani (イタリア) と Pavel Safronov (アメリカ) により、シフトされたシンプレクティック幾何学とポアソン幾何学の概念とその幾何学への応用についてのコースが行われた。そこでは、通常のシンプレクティックまたはポアソン幾何学から出発して、どのようにして導来代数スタック上のより高度な対応物に到達するのか、古典的にどのような問題にぶつかり、それをどう克服するのか、注意深く説明された。

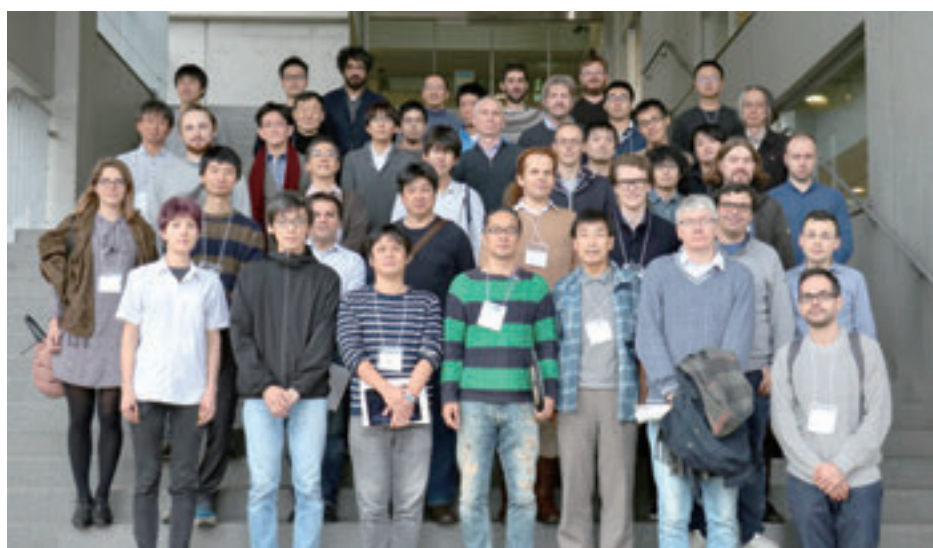
個別の研究報告は変形理論の形式的側面およびその幾何学的応用の2種類に大別される。

最初のグループでの講演は岩成 勇 (東北大学) による量子場の理論により触発された DG 圏の変形のオペラッド的解釈、Agnieszka Bodzenta (Poland) による完全圏のアーベル苞を通しての変形理論の圏論化、Andrew Macpherson (Kavli IPMU) による二次元量子場の理論から生

じる対応の無限圏的解釈、および Michel Van den Bergh (ベルギー) による DG 拡張を持たない三角圏について、などである。

種々の相互に関係する幾何学的応用に関する講演は、戸田幸伸 (Kavli IPMU) による導来幾何学の双有理幾何学への応用、Mauro Porta (フランス) による解析幾何への応用、Yanki Lekili (イギリス) と Sheel Ganatra (アメリカ) によるシンプレクティック幾何への応用、高橋篤史 (大阪大学) および Hao Wen (中国) 等による理論の非可換ホッジ理論的側面、Marco Robalo (フランス) によるモチヴィックな消滅サイクル、大川 新之介 (大阪大学) によるデルベッツオ曲面の非可換変形、そして Ludmil Katzarkov (ロシア、アメリカ) による、圏論的曲線複体についてなどであった。

ワークショップは学生によるセッションもあり、そこではロシア及びアメリカの博士課程後期の学生たちが研究会のテーマに関連した研究の30分報告を行った。



Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Star

ティルマン・ハートウィック Tilman Hartwig

東京大学理学系研究科物理学専攻助教、Kavli IPMU准科学研究員

石垣(新田) 美歩 いしがき・みほ

Kavli IPMU博士研究員

吉田 直紀 よしだ・なおき

Kavli IPMU主任研究員

12月3日から7日の5日間、国際研究集会 Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Stars を開催しました。アジア、ヨーロッパ、オーストラリア、米国、チリを含む世界14カ国から90名を超える参加者を迎え、海外著名研究者や若手研究者らが宇宙初期での天体形成や銀河考古学についての最新の研究を発表しました。ポスター会場でも19枚のポスターが掲示され、参加者による活発な議論や意見交換により会議は大いに盛り上がりました。

サイエンスセッションは初代星の形成や金属欠乏星の観測、銀河系の化学進化などホットなトピックで構成しました。最近のGAIA衛星による観測データやすばる望遠鏡による分光観測の結果も紹介され、近年の銀河考古学の進展を総括することができました。近年世界各国の望遠鏡で行われている銀河系の大規模サー

ベイで新たに見つかった金属欠乏星に関する発表も多数あり、それらの多種多様な性質を巡って議論が交わされました。

理論研究者からは大質量星の進化と元素合成の最新の計算結果が示され、また宇宙初期での重元素汚染過程の3次元数値シミュレーションの結果が発表され、初期宇宙での小質量銀河中での化学進化に大きな示唆が与えられました。また、高分散分光観測から得られた r-process 元素の含有量に関して複数のモデルが議論され、2017年に重力波を通して観測された連星中性子星の合体による元素合成過程についても理解が深まりました。

2日目の夕方には高校生向けのアウトリーチイベントを開催しました。会議のために来日した13名の研究者がおよそ40名の高校生やその保護者らを相手に宇宙に関する研

究発表を行い、そのなかにまぎれこんだ偽の研究発表を見抜くことができるか、というクイズ仕立てのイベントで、高校生らも真剣に研究発表を聞いていました。(本誌51ページのニュース欄の記事も参照して下さい。) また、3日目の午後には来日した外国人研究者がお茶や居合道など様々な体験をし日本文化に触れる機会を提供できました。

銀河考古学は、すばる望遠鏡の次世代多天体分光装置 PFS を用いた広域サーベイの主要な科学目標の一つです。PFS による低金属量星の系統的な分光観測は、最近の GAIA 衛星による銀河系の星々の軌道運動の観測結果とあわせて銀河考古学に多くのブレイクスルーをもたらすと期待されています。本研究会の参加者からの期待も大きく、2020年以降の本格稼働へ向けて多様なテーマの研究が提案されています。



Kavli IPMU機構長の交代

IPMU創設以来、Kavli IPMUへの名称変更を経て11年間に渡り在任した村山 斉機構長が2018年10月15日をもって退任し、創設以来主任研究員を務めた大栗博司 Caltech（カリフォルニア工科大学）教授が第2代機構長に就任しました。なお、大栗機構長は Caltech 教授を兼務し、村山さんは機構長退任後も主任研究員として Kavli IPMU に在籍し、カリフォルニア大学バークレー校教授と兼務します。

野本憲一上級科学研究员、ハンス・ベータ賞を受賞

アメリカ物理学会は2018年10月24日（現地時間では10月23日）、野本憲一 Kavli IPMU 上級科学研究员の2019年ハンス・ベータ賞受賞を発表しました。この賞は、天



野本憲一さん

体物理と核物理の両分野で数々の優れた業績を挙げ1967年にノーベル物理学賞を受賞したハンス・ベータ博士を称え、アメリカ物理学会が設立したもので、毎年、天体物理学、核物理学、天体核物理学、もしくは関連分野での理論、実験、観測において優れた業績を挙げた研究者1名に賞と賞金1万ドルが授与されます。

野本さんは、恒星進化や元素合成、重力崩壊型超新星や熱核反応型超新星、ガンマ線バーストのメカニズムに関する理論に代表されるこれまでの研

究で、天体核物理学において後世に残る数々の貢献を果たしてきたことを評価されました。授賞式は、4月13日から16日にデンバーで開催予定のアメリカ物理学会の年会で行われる予定です。

Kavli IPMU 事務職員らのチーム、2018年度東京大学業務改革特別賞受賞

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らからなるチームが、柏キャンパスまでの交通案内、研究棟内のナビゲーション、日々のセミナーやビジターに関するリアルタイム情報、事務スタッフの情報等を一元的に提供する「スマホアプリ開発・リリースによる情報提供と研究環境のスマート化」の成果により、2018年度東京大学業務改革特別賞を受賞しました。



表彰されるKavli IPMU事務職員のスモアプリ開発チーム。

表彰式は2018年12月19日に東京大学本郷キャンパスの安田講堂で行われ、Kavli IPMUのチームを含む9グループが東京大学総長、理事から表彰されました。

2018年度柏キャンパス一般公開

例年通り、10月最後の金曜日と土曜日の2日間（今年は26日と27日）柏キャンパス一般公開が実施されました。Kavli IPMUでは単独の企画に加え、毎年キャンパス内各機関の持ち回りで行なわれている2日目の土曜日の一般公開特別講演会を今年は宇宙線研究所、情報基盤センターと共に担当し、Kavli IPMUからの講師としては野村泰紀主任研究員が「宇宙は沢山あるのか?!」と題して講演しました。新領域環境棟のFSホールで行われたこの特別講演

会の様子は、Kavli IPMU 研究棟の大講義室でも同時中継されました。



Kavli IPMU大講義室で同時中継された野村泰紀主任研究員の特別講演。

Kavli IPMU独自の企画としては、大講義室で、初日に河野俊丈主任研究員の講演「数学で読み解く宇宙のかたち」、村山 斉主任研究員が出演したNHK BSプレミアム「コズミックフロント☆NEXT」の後編「村山 斉の宇宙をめぐる大冒険～宇宙に終わりはあるのか～」の上映会、2日目に「サイエンス温泉 数学×物理」と題した博士研究員の池田暁志さんと竹内道久さんの対談が行われました。



河野俊丈主任研究員の講演風景。

その他、例年通りの2日間の企画に加え、新しい企画として、「Kavli IPMU 実験室Bをのぞいてみよう!」、宇宙やKavli IPMUの画像で手作り葉を作るワークショップ「しおりを作ろう!」（26日のみ）、元Kavli IPMU博士研究員で現在は清華大学助教授のWilliam Donovanさんが講師を務めるシャボン玉を用いた数学ワークショップ（27日のみ）、Kavli IPMUの研究者が提供した宇宙初期から現在までのシミュレーションデータを元に、音楽家の松本昭彦さんが仕上げた音作品「宇宙のはじまりから現在までを音で聞こう」が実施されました。

キャンパス全体の来場者数は2日間で11,000名を数え、Kavli IPMUには2,900名以上が訪れました。

Kavli IPMUとICRRの第19回合同一般講演会開催

2018年11月11日に、今回で19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東京大学本郷キャンパスの安田講堂で開催され、中高生を含む約280名が参加しました。

はじめに宇宙線研究所准教授の埜(さこ)隆志さんが『「ハドロン反応」でつながる加速器実験と高エネルギー宇宙』と題し、続いてKavli IPMU助教の吉田豊さんが「数理物理としての超弦理論」と題して講演しました。その後、「粒子、宇宙現象または数学世界」と題する対談が行われ、講師が互いに質問したり、参加者が付箋に書いた質問を取り上げて答えるなどしました。



壇上で吉田さん(左)と埜さん(右)が対談。

第3回「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

2018年11月17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・大学院生のキャリア支援を目的とした第3回「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で開催されました。参加者は13名で、Kavli IPMU博士研究員の森井友子さんを含む企業や研究所勤務の講師4名がそれぞれのキャリアについて講演しました。講演の合間には、Kavli IPMUと物性研究所、宇宙線研究所の施設見学と交流会が行われ、お茶やお菓子を片手に和やかな雰囲気の中で、講師へ積極的に質問する姿や参加者同士での交流がみられました。



Kavli IPMU研究棟藤原ホールでの交流会。

高校生・大学生と若手研究者交流イベント「Meet the Scientists!」開催

2018年12月4日の夜、東京大学柏キャンパスの柏図書館メディアホールを会場として、高校生、大学生を対象とした若手研究者との交流イベント「Meet the Scientists!」が開催されました。このイベントには、Kavli IPMUの研究者に加え、12月3日から7日まで並行して行われていた研究会「Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Stars」(49ページ参照)に出席していた若手研究者も多数参加しました。

Kavli IPMU博士研究員の石垣美歩さんとShing-Chi Leungさんによる日本語と英語を交えながらの「宇宙の始まりから天の川銀河へのタイムトラベル: 星の考古学入門」と題する講演で始まり、その後、世界各国13名の若手研究者が「研究プレゼンテーション13連発」と題し、宇宙論・天文学研究の最前線を英語で紹介する中に1つだけ偽の発表が紛れており、それを当てるという形式のトークが行われました。続いて、研究者と参加者混合のチーム対抗クイズ大会や、若手研究者と高校生・大学生を主とする交流会が行われ、将来の進路について研究者からアドバイスをもらう高校生の姿などが見られました。



チーム対抗クイズ大会風景。

第7回 WPI サイエンスシンポジウム開催

次世代を担う高校生を主な対象に最先端の科学とその魅力を伝えるため世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)拠点が合同で毎年行っているWPIサイエンスシンポジウムの第7

回が、2018年12月27日に名古屋大学豊田講堂において「トランスフォームするサイエンス」と題して開催され、東海地域の高校生を中心に約900名が来場しました。今年の運営は名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所(ITbM)が担当しました。Kavli IPMUはWPIの他の12拠点和合同でブース展示を行い、1分での機構紹介プレゼンテーションにも参加しました。Kavli IPMUのブースには、Kavli IPMU主任研究員を兼務する杉山直名名古屋大学教授も一役買って出て、高校生に対して説明を行いました。



Kavli IPMUのブースで説明する杉山直名さん。

人事異動

次の方々が転出しました。[括弧内はKavli iIPMU在任期間です。]

西道啓博さん[東京大学特別研究員(日本学術振興会特別研究員)として2010年4月1日-2013年3月31日、Kavli IPMU助教として2015年4月1日-2018年12月31日]、Kavli IPMU助教から京都大学基礎物理学研究所特定准教授へ。

下農淳司さん[学術支援専門職員として2011年9月1日-2015年7月31日、その後2018年10月31日まで現職]、Kavli IPMU博士研究員から慶応大学大学院政策・メディア研究科特任講師へ。

Jin Mann Wongさん[2017年10月1日-2018年10月11日]、Kavli IPMU博士研究員からFetch.AIのResearch Scientistへ。

Tilman Hartwigさん[2017年10月21日-2018年11月30日]、東京大学特別研究員(日本学術振興会外国人特別研究員)から東京大学大学院理学系研究科助教へ。



マルチメッセンジャー天文学

富永 望

甲南大学自然科学研究科教授、Kavli IPMU 客員上級科学的研究員

天文学は古くから可視光を天体からのメッセンジャーとして使う可視光観測によって発展してきました。20世紀に入り、新しい観測装置が開発され可視光以外の電磁波による観測が可能となりました。その度に天体の全く新しい側面を見ることができるようになり、人類の知見が広がってきました。近年は宇宙線、ニュートリノ、重力波といった電磁波以外のメッセンジャーを用いた天文学も発展してきています。これらの連携によって天体の情報を引き出す天文学をマルチメッセンジャー天文学と呼びます。

