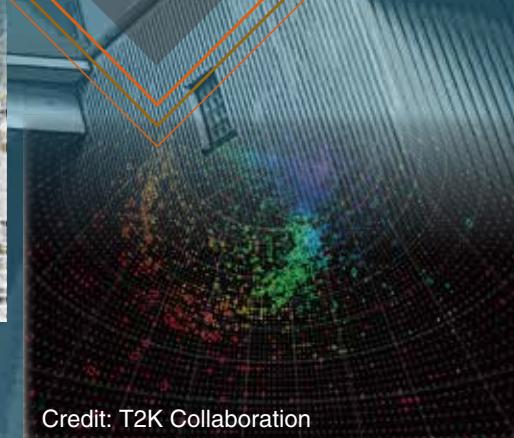


# ICRR EXTERNAL REVIEW REPORT 2025

東京大学宇宙線研究所  
国際外部評価報告書  
2025 年度実施



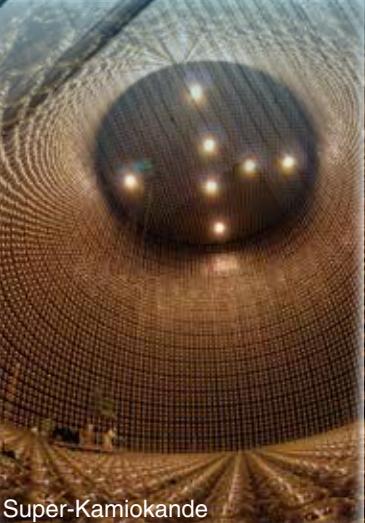
Credit: XENON Collaboration



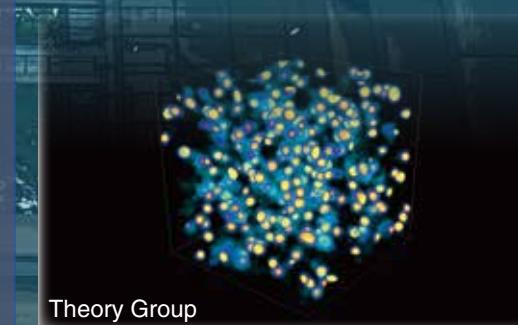
Credit: T2K Collaboration



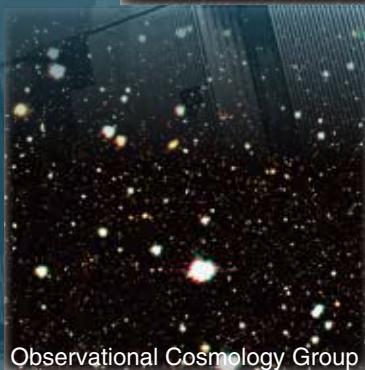
Hyper-Kamiokande  
(Under Construction)



Super-Kamiokande



Theory Group



Observational Cosmology Group

EXTERNAL REVIEW REPORT 2025

INSTITUTE FOR COSMIC RAY RESEARCH, THE UNIVERSITY OF TOKYO



KAGRA

INSTITUTE FOR COSMIC RAY RESEARCH  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Address 5-1-5, Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba, 277-8582 Japan  
TEL +81-4-7136-3102  
FAX +81-4-7136-3115  
URL [www.icrr.u-tokyo.ac.jp](http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp)

Institute for Cosmic Ray Research  
The University of Tokyo

External Review 2025 (ER2025) Report

東京大学宇宙線研究所  
国際外部評価報告書

2025 年度実施



## Table of Contents

### 目次

Publication of the ICRR External Review 2025 (ER2025) Report.....	1
ER2025 Committee Members .....	2
ICRR Organizational Chart.....	5
ER2025 Session Schedule.....	6
ICRR External Review 2025 (ER2025) Final Report.....	9
東京大学宇宙線研究所国際外部評価報告書（2025 年度実施）の刊行にあたって .....	49
2025 年度東京大学宇宙線研究所国際外部評価委員会委員 .....	50
東京大学宇宙線研究所組織図 .....	53
2025 年度東京大学宇宙線研究所国際外部評価 当日のスケジュール .....	54
東京大学宇宙線研究所国際外部評価 2025 (ER2025) 最終報告書（和訳）.....	57

## Publication of the ICRR External Review 2025 (ER2025) Report

The Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), the University of Tokyo, conducted the International External Review (ER2025) from May 14 to 16, 2025, at the ICRR on the Kashiwa Campus. The review was carried out by the External Review Committee (ERC), consisting of nine distinguished experts from outside the Institute, both from Japan and abroad. We are pleased to report that the results of ER2025 have now been compiled.

ER2025 focused on the period from April 2018 to March 2024, with the following four principal objectives:

- (1) To examine whether the Institute's scientific activities met international standards and had sufficient impact on the academic community.
- (2) To assess the scientific merits of individual research activities and to make recommendations for future support.
- (3) To evaluate the technical competence of the principal investigators and the feasibility of their R&D experiments or projects.
- (4) To assess the Institute's policy and its role in the scientific community.

The review was based on the self-assessment report prepared in advance by the Institute, as well as presentations and discussions held during the review period. The ERC's findings and recommendations on each of the above objectives are summarized in the report.

ICRR takes the valuable comments and recommendations from the ERC with the utmost seriousness. Building on the summary of our activities over the past six years, we will make use of this review to further advance our research, education, and management, while continuing our efforts to contribute to the progress of cosmic ray physics, the University, the broader academic community, and society at large.

October 2025  
Shoichi Ogio  
Director  
Institute for Cosmic Ray Research  
The University of Tokyo

# ICRR External Review 2025 Committee Members

## Saku Tsuneta (Chair)



Saku Tsuneta is the Director, Astronomy Research Center, Chiba Institute of Technology. In 1983, he received his Ph.D. in Astronomy from the Graduate School of Science at the University of Tokyo. Dr. Tsuneta was instrumental in the development of solar observing satellites Yohkoh and Hinode. He was awarded the Hayashi Chushiro Prize in 2010 and the Japan Academy Prize in 2019 for outstanding achievement in astronomy. He serves as the Honorary Fellow of the Royal Astronomical Society, UK and the Honorary Fellow of the University College London, UK. Before assuming his current position in April 2024, he served as the Director of the Advanced Technology Center of the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ), the Director General of the Institute of Space and Astronautical Science of the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) and the Director General of NAOJ. Dr. Tsuneta currently serves as the vice chair of the Committee on National Space Policy, Cabinet Office, Government of Japan. He also serves as the Director of the Gifu Kakamigahara Air & Space Museum.

## Kunio Inoue



Director of Research Center for Neutrino Science (RCNS), Tohoku University. Prof. Inoue's expertise lies in experimental neutrino research spanning neutrino oscillations, neutrinoless double beta decay, neutrino geophysics and low-energy neutrino astronomy. Having held positions at Institute for Cosmic Ray Research, the University of Tokyo, he became associate professor at RCNS, Tohoku University in 1998, and professor in 2004. He has been the representative of the KamLAND experiment and the director of the research center since 2006.

## Kumiko Kotera



Director of the Institut d'Astrophysique de Paris (IAP), Director of Research at CNRS and Sorbonne Université. Dr Kotera's expertise spans theoretical and experimental aspects of astroparticle physics and high-energy multi-messenger astrophysics. She has been a Spokesperson of the GRAND (Giant Radio Array for Neutrino Detection) experiment, which she co-founded a decade ago.

## Tony Noble



Dr. Anthony Noble obtained a Ph.D. (1990) in particle physics from the University of British Columbia. He then worked at CERN as a postdoctoral fellow at the University of Zürich before returning to Canada. Now a professor at Queen's University he has been working with the astroparticle physics group there to develop a world class research team focused on the activities at SNOLAB. With the completion of the Sudbury Neutrino Observatory (SNO) experiment, his interests have been focused on dark matter experiments at SNOLAB, where he is participating in the PICO experiment using superheated fluids. These experiments aim to detect the mysterious dark matter that appears to dominate the matter budget of the Universe, but which has never been directly observed on Earth. He has also performed accelerator-based experiments at TRIUMF, Brookhaven and CERN. Since 2016, Dr. Noble is the Scientific Director of the McDonald Institute with a mandate to coordinate and advance astroparticle physics in Canada. This is being done in partnership with Universities and Institutes across Canada.

## Olaf Reimer



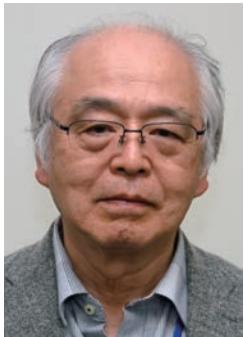
Professor for Experimental Physics, Universität Innsbruck. His expertise comprises cosmic ray physics and high-energy astrophysics, and their connections. Having held positions at the Max-Planck-Institute for Extraterrestrial Physics in Garching, NASA/Goddard Space Flight Center, Ruhr-University Bochum, and Stanford University, he became Professor at the Institute for Astro- and Particle Physics at Universität Innsbruck in 2009, and director of the institute between 2012 and 2021. Prof. Reimer participates actively in three major collaborations in the field of space- and ground based gamma-ray astronomy, including acting as chair of the collaboration board in the High Energy Stereoscopic System (H.E.S.S.) for eight years.

## David Reitze



Executive Director of the LIGO Laboratory and Research Professor at the California Institute of Technology (Caltech). Dr. Reitze oversees the LIGO Observatories at Hanford, WA, and Livingston, LA, and the LIGO Caltech and Massachusetts Institute of Technology campus-based research laboratories. His research is focused on the development of instrumentation for current and future large-scale gravitational-wave detectors. Previously, Dr. Reitze held previous positions as a Professor of Physics at the University of Florida (2003-2021). He is the Vice Chair of the US National Academy of Sciences Board on Physics and Astronomy and serves on the Board of Directors of the Associated Universities for Research in Astronomy.

## Hirohisa Sakurai



Professor Emeritus and Visiting Professor at Yamagata University. Prof. Sakurai's scientific expertise lies in cosmogenic nuclides produced by cosmic rays. Having held positions as Assistant Professor and Associate Professor, he became Professor at the Faculty of Science, Yamagata University, where he was involved in research and education. He also served as Dean of the Faculty of Science and Associate Dean of the Graduate School of Science and Engineering at Yamagata University. In addition, Prof. Sakurai was appointed concurrently as a guest Professor at ICRR, the University of Tokyo, to promote Inter-University collaborative researches in the Low-Level Radioisotope Measurement Facility. He was also awarded a guest investigator position to conduct research on X-ray Astronomy detectors at NRC-NASA/MSFC senior research associateship.

## Shoji Torii



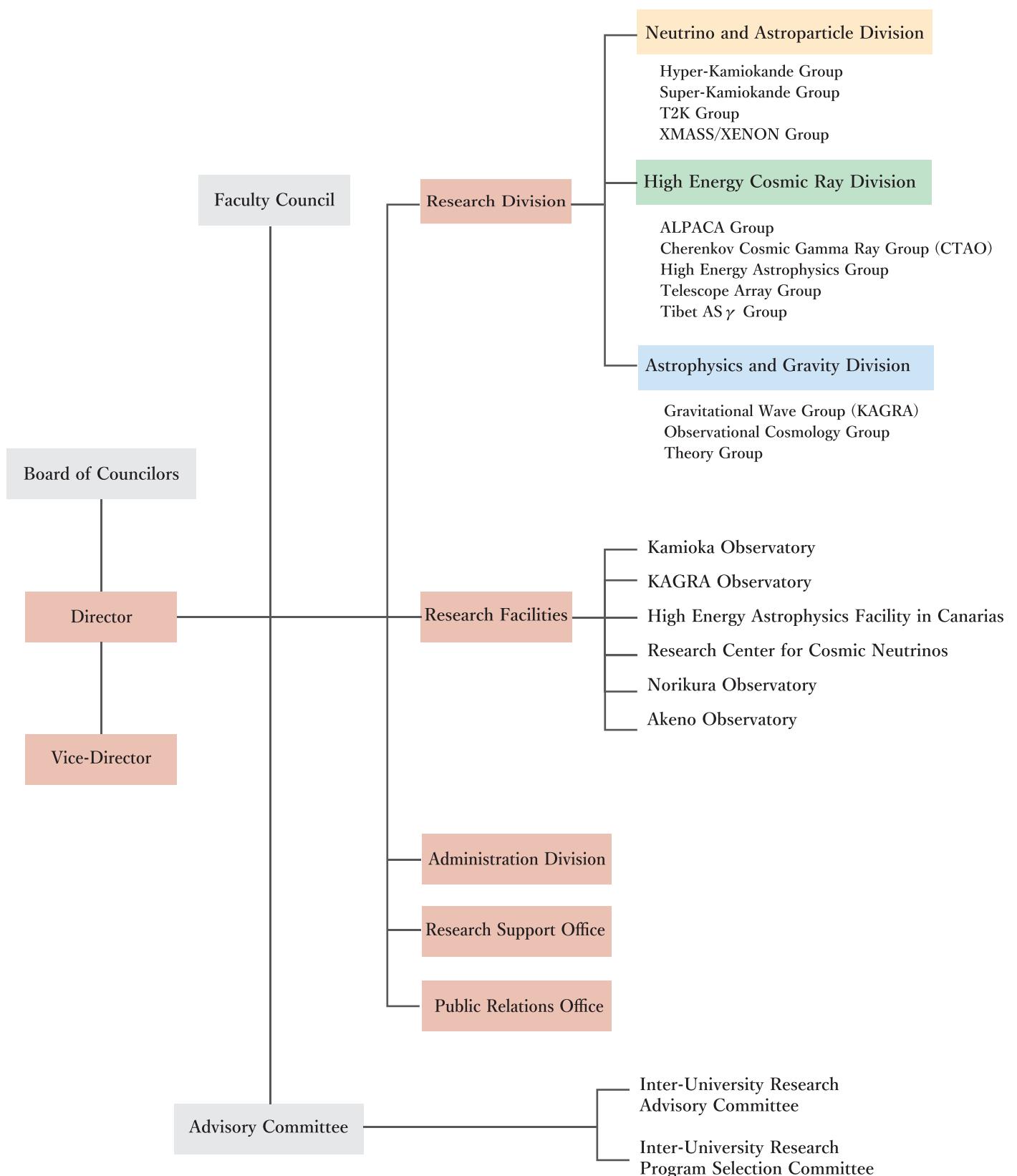
Emeritus Professor of Physics and Distinguished Guest Research Professor of Waseda Research Institute of Science and Engineering at Waseda University. Prof. Torii's field of expertise is cosmic ray physics, and he is the principal investigator of the CALorimetric Electron Telescope (CALET) project, which has been conducting observations of high energy cosmic rays and gamma-rays at the Japanese Experiment Module of the International Space Station since August 2015. Prof. Torii contributed to the establishment of the Tibet ASy project and the LHCf experiment at CERN, and has been involved in these projects.

## Masahide Yamaguchi



Director of the Center for Theoretical Physics of the Universe, Cosmology, Gravity, and Astroparticle Group at the Institute for Basic Science. Professor Yamaguchi's research focuses on the intersection of theoretical cosmology, gravity, and particle physics. After completing postdocs at the University of Tokyo and Brown University, he was appointed Associate Professor at Aoyama Gakuin University in 2004. He then joined the Tokyo Institute of Technology in 2010 and was promoted to Professor in 2015. He has held his current position since March 2023.

## ICRR Organizational Chart



## ICRR External Review 2025 Session Schedule

Day 1: Wednesday, May 14, 2025

Start	End	Session	Presenter
09:30	10:00	Review committee: Discussion on the review (Closed session)	
10:00	10:30	Introduction of ICRR	Shoichi Ogio (ICRR director)
10:30	10:50	Interim report from COSMIC RAY RESEARCHERS CONGRESS (CRC) for Japanese strategy on astroparticle physics	Kinya Hibino (CRC chair)
10:50	11:20	Super-Kamiokande	Hiroyuki Sekiya
11:20	11:50	T2K	Yoshinari Hayato
11:50	13:00	Lunch	
13:00	13:40	Hyper-Kamiokande	Masato Shiozawa
13:40	14:00	XMASS/XENON	Shigetaka Moriyama
14:00	14:40	KAGRA	Shinji Miyoki
14:40	15:10	Observational Cosmology	Masami Uchi
15:10	15:40	Coffee Break	
15:40	16:10	Theory	Masahiro Kawasaki
16:10	16:45	Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO)	Hidetoshi Kubo
16:45	17:15	Telescope Array	Takashi Sako
17:15	18:20	Review committee: Discussion (Closed session)	
18:30	20:30	Dinner for reviewers and ICRR faculty members	

## Day 2: Thursday, May 15, 2025

09:30	09:45	Tibet ASy	Kazumasa Kawata
09:45	10:00	ALPACA	Takashi Sako
10:00	10:30	High Energy Astrophysics (Theory)	Katsuaki Asano
10:30	10:45	Report from the future planning committee of ICRR	Masahiro Ibe
10:45	12:00	Review committee: Interview with the ICRR Director (Closed session)	
12:00	13:00	Lunch with young researchers	
13:00	14:00	Review committee: Interviews with young researchers (Closed session)	
14:00	17:00	Review Committee: Interviews with the Project/Group leaders (Closed session)	
17:00	18:00	Review committee: Discussion (Closed session)	
18:30	21:00	Dinner for reviewers and division leaders	

## Day 3: Friday, May 16, 2025

09:30	11:00	Review committee: Discussion (Closed session)
11:00	12:00	Review committee: Preliminary Report from the Review committee
12:00	13:00	Lunch
13:00	14:30	Review committee: Discussion (Closed session)



External review at the ICRR Large Seminar Room (top and middle),  
interviews with young researchers (bottom).

Institute for Cosmic Ray Research  
The University of Tokyo

External Review 2025 (ER2025)  
Final Report

Submitted by the External Review Committee (ERC)

Kunio Inoue, Kumiko Kotera, Tony Noble, Olaf Reimer,  
David Reitze, Hirohisa Sakurai, Shoji Torii,  
Saku Tsuneta (chair), Masahide Yamaguchi

October 30, 2025

## TABLE OF CONTENTS

I. Executive Summary.....	11
II. Overview and Highlights.....	12
Introduction	
Summary of Overall Recommendations	
Scientific Activities and Achievements	
Role as a National and International Research Hub	
Institutional Management and Future Strategy	
Response to Previous Review and Remaining Issues	
Concluding Remarks	
Acknowledgements	
III. Projects/Groups	
Neutrino and Astroparticle Division .....	17
Super-Kamiokande	
T2K	
Hyper-Kamiokande	
XMASS/XENON	
High Energy Cosmic Ray Division.....	22
Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO)	
Telescope Array	
Tibet ASy	
ALPACA	
High Energy Astrophysics	
Astrophysics and Gravity Division .....	27
KAGRA	
Observational Cosmology	
Theory	
IV. Management of ICRR.....	32
Inter-University Research Programs	
International Collaborations	
Multi-messenger Astronomy	
Future Planning Committee and Relationship with Research Communities	
Systems Engineering for Large Projects	
Budget	
Human Resources	
Maintenance of Open-use Facilities	
Graduate Students and Early-Career Researchers	
Diversity	
Collaborations with Industry	
Education and Outreach	
Appendix.....	45
ICRR's response to results of the previous review	

---

## I. Executive Summary

---

This report presents the outcome of the international external review of the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), the University of Tokyo, covering the period from April 2018 to March 2024. The Committee assessed the Institute's scientific achievements, technical competence, individual research programs, and institutional role based on presentations, documentation, and an on-site visit conducted in May 2025.

The Committee finds that ICRR continues to demonstrate scientific excellence across its three divisions—Neutrino and Astroparticle Physics, High Energy Cosmic Ray Physics, and Astrophysics and Gravity—through major projects such as Super-Kamiokande, Hyper-Kamiokande, KAGRA, and its involvement in international collaborations like CTAO, Telescope Array, Tibet ASy, ALPACA, XMASS, and XENON. The strong performance of the Observational Cosmology, Theory, and High Energy Astrophysics groups further underscores ICRR's interdisciplinary strength and global relevance.

Despite limited personnel and budget, ICRR has maintained world-class research operations, constructed major infrastructure, and established itself as a vital international hub for multi-messenger astrophysics. The Committee highlights the need for long-term funding strategies for Hyper-Kamiokande and KAGRA, and encourages strategic discussions on the future of Super-Kamiokande and shared-use facilities at Kamioka.

ICRR's management model has proven effective, but adjustments may be needed as its responsibilities grow. The Institute recognizes and is committed to increased efforts to address the long-standing issue of gender diversity in STEM. The Committee commends ICRR's international leadership, research achievements, and institutional openness, and recommends continued support from the University and MEXT to ensure its sustained impact on global science.

## II. Overview and Highlights

### Introduction

This International External Review Report (hereinafter referred to as "the Report") summarizes the findings of the review conducted by the International External Review Committee (hereinafter referred to as "the Committee") at the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), the University of Tokyo, in May 2025.

This Report covers the activities of ICRR over the past six years, from April 2018 to March 2024. The evaluation was conducted based on the following four mandate items specified in the document titled '*Scientific Activities: Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo – Report to the Review Committee*':

1. to give oversight to the institute's scientific activities between April 2018 and March 2024, whether they meet the international scientific standard and have given sufficient impacts on the community
2. to assess the scientific merits of individual research activities and make recommendations about future support.
3. to assess the technical competence of the proponents and the feasibility of the R&D experiments or projects,
4. to assess the Institute's policy and its role in the scientific community.

For the purpose of this evaluation, detailed information about ICRR was provided not only through the documents submitted in advance, but also through presentations and discussions during the Committee's three-day on-site visit to the Institute.

### Summary of Overall Recommendations

The Committee's overall recommendations are as follows:

1. The Committee strongly recommends that ICRR promptly initiate discussions on the future of Super-Kamiokande and the positioning of the Kamioka Observatory following the commencement of stable operations at Hyper-Kamiokande. These deliberations should fully incorporate the perspectives of both the Super-Kamiokande collaboration and the broader research community. At the same time, due consideration should be given to the maintenance and operation of the shared-use research facilities at the Kamioka underground observatory.
2. The Committee finds that, compared to international facilities of similar scale and scope, ICRR has achieved significant scientific accomplishments despite operating with limited personnel and budget. Accordingly, the Committee respectfully urges the University of Tokyo and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) to ensure that sufficient operational funding is secured for Hyper-Kamiokande during its forthcoming stable operation phase.

Furthermore, the Committee underscores the need to secure adequate funding for the maintenance, upgrading, and sensitivity enhancement of KAGRA, so that it can attain performance levels comparable to telescopes in Europe and North America in future international collaborative observations.

More broadly, the Committee calls on government authorities to recognize that stable, long-term operation of observational infrastructure is indispensable for cosmic-ray research, and to adopt a long-term perspective in providing sustained support for the upkeep and aging mitigation of ICRR's invaluable shared-use facilities.

## Scientific Activities and Achievements

The following chapter presents the Committee’s evaluations of each project undertaken by ICRR, focusing on three key aspects: overall assessment, strengths and challenges, and specific recommendations. This corresponds to the first through third items of the evaluation criteria.

ICRR is organized into three primary divisions: the Neutrino and Astroparticle Division, the High Energy Cosmic Ray Division, and the Astrophysics and Gravity Division (see Appendix for the organizational chart). Domestically, the Institute operates four observatories—Kamioka, KAGRA, Norikura, and Akeno—alongside the Research Center for Cosmic Neutrinos. Internationally, ICRR operates the High Energy Astrophysics Facility in Canarias on La Palma, Spain, and also maintains experimental facilities in Utah (USA), Yangbajing (Tibet, China), and Chacaltaya (Bolivia).

- Neutrino and Astroparticle Division

**Super-Kamiokande (Super-K)** is a world-renowned international collaboration with a broad and impactful research portfolio. The successful introduction of gadolinium (Gd) into the detector (**SK-Gd** project) has significantly enhanced its sensitivity to anti-electron neutrino interactions, which is crucial for the search for the Diffuse Supernova Neutrino Background (DSNB).

**Hyper-Kamiokande (Hyper-K)**, currently under construction, is a top priority of the ICRR program, jointly hosted by the University of Tokyo and the High Energy Accelerator Research Organization (KEK). Hyper-K will surpass existing detectors in sensitivity—no other experiment worldwide offers comparable capabilities. A neutrino beam produced at **J-PARC** accelerator is used to refine our understanding of neutrino oscillation properties, benefiting both Super-K (through the **T2K collaboration**) and Hyper-K. Once operational, Hyper-K will play a vital role in addressing key questions in neutrino physics, including CP violation and mass ordering, and the detection of solar, atmospheric, and supernova neutrinos, as well as in the search for proton decay.

The **XMASS collaboration**, based on a liquid xenon scintillation detector, conducted direct searches for dark matter across a broad mass range. Although plans for scaling up the experiment were not realized—primarily due to budgetary constraints—, data acquisition continued until 2019. Notably, valuable analyses were conducted through 2023, culminating in the formal conclusion of the collaboration. XMASS was a scientific and organizational success, producing highly skilled personnel as well as advances in detector and analysis technologies. Following the completion of XMASS, part of the team joined the **XENON1T** experiment (a dual-phase liquid xenon TPC), where they made significant contributions to the successful **XENONnT** project.

- High Energy Cosmic Ray Division

The construction and commissioning of four Large-Sized Telescopes (LSTs) for the **Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO)**—the world’s most sensitive array of low-threshold Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes—is expected to be completed within the next three years. Until their official handover to CTAO, the LST collaboration holds a unique opportunity to access the rich gamma-ray sky in the low GeV to low TeV energy range, complementing observations from space-based instruments such as Fermi-LAT. In addition, ICRR plans to re-engage in the construction of two further LSTs (LST-7 and LST-8) for the CTAO Southern Site, reinforcing its commitment to high-energy gamma-ray astronomy.

The **Telescope Array (TA)** remains the largest ultra-high-energy cosmic ray (UHECR) observatory in the Northern Hemisphere, dedicated to unraveling the origin and nature of UHECRs. The TA experiment has marked significant scientific and technical achievements, particularly through sustained operations and the launch of its next-phase construction. Ongoing collaboration with the Pierre Auger Observatory and the landmark detection of the “Amaterasu particle”—a cosmic ray with an energy of  $2.44 \times 10^{20}$  eV—underscore the continued vitality and scientific impact of the TA project.

The **Tibet ASy experiment** is a high-altitude air shower array dedicated to both TeV–PeV gamma-ray astronomy and cosmic ray physics. The array has now reached its final configuration and is in continuous operation for scientific data collection. While more advanced ultra-high-energy (UHE)

gamma-ray observatories are now operational in the Northern Hemisphere, efforts are gradually shifting toward the construction of a full ALPACA array in the Southern Hemisphere.

**ALPACA** aims to establish a cosmic ray and sub-PeV gamma-ray observatory at a high-altitude site near La Paz, Bolivia, modeled after the Tibet ASy experiment. ALPACA holds promise to exhibit a forerunner role for VHE gamma-ray astronomy in the Southern Hemisphere, and possesses unique research prospects in Cosmic Ray and Solar physics. The small scale demonstrator ALPAQUITA is already in operation and shows the expected technical performance.

The **High Energy Astrophysics Group** has made broad and significant contributions to the study of non-thermal phenomena and the advancement of multi-messenger astronomy. Its members maintain active collaborations with major observatories outside of ICRR, playing a central role in promoting cross-disciplinary, multi-messenger approaches. This group is well positioned to serve as a core driver in both strengthening existing and uncovering new multi-messenger connections, thereby reinforcing ICRR's emerging role as a key international hub for multi-messenger astrophysics.

- Astrophysics and Gravity Division

**KAGRA** is an underground 3-km gravitational-wave interferometer using advanced technologies, including cryogenically cooled test mass mirrors. KAGRA works in close collaboration with the USA LIGO Observatories and the European Virgo Observatory as part of the global network of gravitational-wave observatories. KAGRA joined the O4c run in June 2025 and is operating with a binary neutron star (BNS) range of between 6 and 7.2 megaparsecs (Mpc) with the goal of achieving 10 Mpc before the end of the O4 run.

The **Observational Cosmology Group** has been exceptionally active, internationally recognized, and highly productive in advancing research on the origin and evolution of the universe. Its work focuses on key topics such as structure and galaxy formation, cosmic reionization, and Big Bang nucleosynthesis, leveraging extensive observational data from facilities including Subaru, ALMA, and JWST. Notably, the group has made a major contribution to the measurement of the primordial helium-4 abundance, in close collaboration with the Theory Group, thereby strengthening interdisciplinary links between astronomy and particle physics.

The **Theory Group** is highly active across a broad spectrum of fundamental topics, including Higgs physics, collider phenomenology, grand unified theories, dark matter, axion models and axion cosmology, inflationary models, baryogenesis, Big Bang nucleosynthesis, and primordial black hole (PBH) formation, among others. Internationally recognized as a world-leading research team, the group consistently produces highly original and impactful work that advances the frontiers of theoretical physics.

## Role as a National and International Research Hub

In 2018, ICRR was officially designated as an International Joint Usage/Research Center by MEXT. Since then, it has proactively fostered large-scale international collaborations through this framework, particularly at the Kamioka and KAGRA Observatories, as well as across its overseas experimental sites.

Kamioka Observatory plays a pivotal role by offering essential underground research infrastructure for shared use by external institutions, highlighting its importance to both large-scale and smaller experimental efforts. A number of small-scale projects led by outside research groups have been conducted at the Kamioka Observatory's underground facility, in conjunction with Super-Kamiokande. These activities have made notable contributions to the field of ultra-low radioactivity astroparticle physics.

Despite its limited budget, ICRR has successfully operated a diverse and ambitious portfolio of world-class research facilities and scientific programs across its three divisions. In parallel, it continues to lead the construction of major new domestic infrastructure, such as Hyper-

Kamiokande, and to serve as a core partner in international projects like the Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO).

The successful implementation and management of these facilities—both within Japan and abroad—have been made possible through strong collaborations with universities and research institutions around the world. Maintaining the extraordinary level of scientific excellence amid constrained human and financial resources is a truly commendable achievement.

ICRR is exceptionally well positioned to capitalize on the rapid advancements in multi-messenger astrophysics, supported by its active research groups—including the Astrophysics, Theory, and Observational Cosmology Groups. It is distinguished as one of the few institutions worldwide in astroparticle physics that seamlessly integrates experimental, phenomenological, and theoretical research under one organizational structure. ICRR is poised to take on an increasingly prominent role as a central institution within the global multi-messenger astronomy community. By cultivating both well-established and emerging connections across diverse observational modalities, it is well placed to become a key hub for driving progress in this rapidly evolving field.

## **Institutional Management and Future Strategy**

ICRR’s success to date is the result of effective autonomous management, closely intertwined with its productive engagement with the broader scientific community, as exemplified by the Cosmic Ray Researchers Congress (CRC). To sustain the delivery of world-class research outcomes, the importance of sound and effective institutional governance cannot be overstated.

Nonetheless, as the Institute’s portfolio continues to expand and increasingly large-scale instruments are developed, the business model that proved effective in the past may no longer represent the optimal approach for the future. Given the significant resource constraints expected in the coming years, there may be no one-size-fits-all solution or clear set of recommendations.

The Committee presents its assessment of ICRR’s overall management, structured around the following key topics: Inter-University Research Programs, International Collaborations, Multi-Messenger Astronomy, the Future Planning Committee and its Relationship with Research Communities, Systems Engineering for Large Projects, Budget, Human Resources, Maintenance of Open-use Facilities, Graduate Students and Early-Career Researchers, Diversity, Collaborations with Industry, and Education and Outreach.

These topics correspond to the fourth item of the evaluation criteria: “Assessment of the Institute’s policy and its role in the scientific community.” This chapter offers an overview of the current state of ICRR’s institutional management, as well as its future direction, accompanied by multiple recommendations, observations, and advisory notes. This chapter adopts a relatively informal and narrative tone, aiming to convey the Committee’s direct impressions and insights in a vivid and approachable manner, with the intention of stimulating discussion both within ICRR and the broader community.

## **Response to Previous Review and Remaining Issues**

The following section outlines ICRR’s responses to the recommendations made in the previous international external review. The Committee finds that ICRR has addressed the prior review’s concerns appropriately and considers the Director’s responses to be satisfactory. Matters that require long-term efforts—such as improving gender balance—are also discussed from various perspectives in this report. The final chapter presents the Committee’s observations based on its dialogue with early-career researchers at ICRR, while the appendix provides a summary of the Committee’s three-day visit to the Institute.

## Concluding Remarks

Finally, and importantly, the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR) has achieved remarkable scientific success across a number of high-profile projects, demonstrating exceptional efficiency despite its relatively small team. The Committee commends all members of ICRR for their dedication and high morale, as well as the broader research communities that have collaborated with the Institute over the years.

We respectfully submit this report in the hope that it will serve not only the entire ICRR community but also policymakers and government officials who have wisely supported the Institute, contributing to its continued scientific excellence.

## Acknowledgments

The Committee extends its deep appreciation to the Director, researchers, and early-career scientists at the Institute for Cosmic Ray Research (ICRR) for their generous and thoughtful support throughout the preparation of this report. We especially value the clarity and depth of the interviews, the comprehensive documentation and materials provided, the well-organized presentations, and the careful attention given to our follow-up inquiries. ICRR maintained exceptional openness and responsiveness throughout the review process, and we also acknowledge with gratitude the extensive logistical assistance offered by the Institute.

### III. Projects/Groups

#### 1. Neutrino and Astroparticle Division

##### 1-1) Super-Kamiokande

###### **Overall Evaluation**

Super-Kamiokande (Super-K) is a world-renowned international collaboration with a very broad research program that includes solar neutrinos, atmospheric neutrinos, grand unification and proton decay, and supernova physics. It has a long history of success, including the co-awarding of the Nobel prize in 2015 for “the discovery of neutrino oscillations, which shows that neutrinos have mass”. First operations began in 1996.

The detector is also used for a long-baseline neutrino oscillation program. This is enabled by the J-PARC proton accelerator which produces an off-axis beam of neutrinos observed at the Super-K far detector (295 km away). The beam is characterized by a set of near detectors (280 m away) and this program is operated under the aegis of the T2K collaboration.

The collaboration is currently comprised of 55 institutions across 11 nations and a total of 240 collaborators. ICRR is the lead institute with 36 collaboration members at the University of Tokyo (as of May 2025).

The Super-K experiment has recently added Gadolinium (Gd) to the light water to enhance the neutron detection efficiency and, hence, vastly improve the sensitivity to anti-electron neutrino interactions. It is particularly important in the search for the Diffuse Supernova Neutrino Background (DSNB), which is the main residual objective of the Super-K collaboration.

###### **Strengths**

During the reporting period, Super-K has advanced the scientific agenda on two main fronts.

- **Gadolinium Loading:** They have started a new phase of operations with a Gd-loaded detector, which was only possible after the tank leak repairs were demonstrated to be successful. This heralds a new era of operations wherein inverse beta decays can be tagged by observing the total gamma energy of 8 MeV, released in the neutron capture on Gd. This has enhanced the physics reach in the search for the Diffuse Supernova Neutrino Background and improved the performance of the Supernova burst monitoring.
- **Continuous Improvements:** Continuous operations over 29 years have enabled the collaboration to refine the accuracy of a multitude of measurements incrementally. Some of the highlights include:
  - Measurements of the nucleon decay lifetime, now at a level of  $10^{34}$  years for some decay modes.
  - Reducing the error for the solar neutrino flux (from 2.2% to 1.4%), and, improving the determination of  $\theta_{12}$  and  $\Delta m^2_{21}$  (reducing the tension between the global solar neutrino results and KamLAND).
  - Disfavouring the inverted mass ordering at 92.3%.
  - Improved pointing accuracy for the location of Supernovae to  $3.7^\circ$ .
  - $\tau$ -neutrino appearance at  $4.8\sigma$  confidence level.
  - Favouring  $\delta_{CP}$  at  $-\pi/2$ .
  - A day-night asymmetry significant at  $3.2\sigma$ , and
  - The world-leading best upper limits on the DSNB above 17 MeV.

## Challenges

Super-K remains a very valuable detector with impressive performance at low energy, and now loaded with Gd. However, as the community naturally transitions towards Hyper-Kamiokande (Hyper-K) there will be a gradual transition of personnel and funding from Super-K to Hyper-K. It will be a great challenge for the Super-K collaboration to find the resources (personnel and funding) they need to continue operations until these programs have completed.

## Recommendations

The committee recognizes the opportunity that the Hyper-K project presents, but still there is some very important physics that can be derived from the existing Super-K program. In addition, the Super-K infrastructure may be a valuable resource going forward. To that end, the committee recommends:

- The Super-K cavern is a fabulous resource that will continue to be the envy of the world and a valuable commodity for Japanese researchers and the international community. Following the completion of the Super-K program, the cavern should be maintained as an important future resource to the astroparticle physics community. Already the community is exploring ideas for new physics programs that would benefit from the existing cavern.
- The Super-K experiment is one part of a vibrant research community at the Kamioka facility, and any decisions around the running of Super-K should be divorced from the need for ongoing support for the Kamioka facility. The lower cosmic ray flux is essential for a number of projects as are the low background counting facilities.
- Hyper-K has enormous advantages and clearly needs to be a top operational priority for the high-energy physics and astroparticle physics communities in Japan. However, the Super-K collaboration has a number of important contributions it is currently working on, and to extract the most physics possible, some extended operational cycles will be required even while Hyper-K ramps up its activities. A detailed discussion should occur (initially between Super-K and Hyper-K, and then with CRC and the FPC) to develop a plan to best optimize the physics output, including solar neutrinos, diffuse supernova neutrino background measurements, and active SN monitoring. This should inform the decision on the optimal running time for Super-K following the start of Hyper-K. These discussions need to happen in a timely way to ensure that if continued operation of Super-K is found to be a priority of the community, a suitable responsible body can be established and entrusted with finding the necessary resources.

## 1-2) T2K

### Overall evaluation

T2K is an international collaboration involving ~560 researchers from 75 institutions in 15 countries as of July 2025. In T2K, a beam of neutrinos passes from J-PARC to a set of near detectors critical to understanding the beam intensity, direction, and interaction rates on nuclei. The beam is also steered to the Super-K detector 295 km away, slightly off axis. ICRR is responsible for operating the Super-K detector, while J-PARC is responsible for the accelerator complex. T2K is a good example of a successful joint project of two quite different research institutes, i.e., ICRR and J-PARC/KEK.

Understanding the CP phase in the neutrino sector is a potential key to unravel the mystery of the matter dominant universe.

T2K is a world-leading experiment to verify neutrino CP violation, and improvements obtained through joint analyses with other neutrino oscillation research and refinement of neutrino interaction models are particularly important in advancing cutting-edge research. The ICRR team is leading these activities, and both their activity status and results are highly praised.

### Strengths

- It is commendable that a beam of  $4.62 \times 10^{21}$  POT was obtained by March 2025, with measurements at a high observation efficiency of 98.7%.

- In order to maintain high observation efficiency, repairs and work at Super-K are carried out during beam off period, which is well coordinated with the Super-K and the T2K collaborations.
- The beam intensity has steadily increased to over 800 kW, thanks to the tremendous efforts of the J-PARC accelerator and the neutrino beamline groups, which is an important step toward neutrino CP measurements at Hyper-K.
- It is highly praised for their core contribution to upgrading near detectors and improving neutrino interaction models to reduce systematic errors.
- It is highly commendable that the accuracy was greatly improved by incorporating not only charged current quasi-elastic scattering but also one pion production into the analysis, based on a wide range of research including neutrino production, neutrino interactions, and detector simulations.
- The team is highly commended for having made an important step in observing the oscillations of antimuon neutrinos to antielectron neutrinos at a 2.4 sigma confidence level by analyzing data up to 2021, and for succeeding in setting a confidence interval at the 3 sigma level for the CP phase.
- In addition, a hint supporting the existence of CP violation was obtained at 90% CL. An improvement of the statistical power with an analysis of the complete data set is awaited.
- Furthermore, joint analyses with atmospheric neutrinos and the NOvA experiment have been carried out, meeting the expectations of the neutrino community.
- In the joint analysis with atmospheric neutrinos, they succeeded in rejecting neutrino CP conservation at the 1.9 to 2 sigma confidence level, and in the joint analysis with NOvA, they found that the CP conservation is disfavored at  $3\sigma$  level assuming inverse ordering. Both are great achievements.
- Improvements in the analysis are also expected, and a high confidence level rejection of CP conservation can be expected by the time Hyper-K begins.

## Challenges

The optimization of the simulation after Gd loading is taking time, and the analysis has not progressed to the latest data. After adding Gd, the neutron detection efficiency has increased substantially, and more information to analyze the neutrino interaction should be available, so a timely analysis is awaited to provide good input for upcoming neutrino beam experiments such as Hyper-K and DUNE.

## Recommendations

The T2K team also plays an important role in Hyper-K, and the management of resources is important. Since the T2K analysis is an important input for Hyper-K, we would like to see an appropriate personnel allocation so that the analysis does not miss an opportunity.

### **1-3) Hyper-Kamiokande**

#### Overall Evaluation

Hyper-Kamiokande (Hyper-K) is currently under construction near the main Kamioka town in Hida City, Gifu Prefecture in Japan. The completed detector will have a total volume of 260,000 tonnes and a fiducial volume about 8 times that of Super-K.

The physics program of Hyper-K is ambitious. There is no other experiment in the world with comparable physics sensitivity for their main research program that will be operational on a time schedule comparable to Hyper-K. A beam of neutrinos, produced at the J-PARC accelerator facility located a distance of 295 km from Hyper-K, will be used to refine our understanding of the oscillation properties of neutrinos. Hyper-K aims to measure the CP violating phase  $\delta_{CP}$  to  $20^\circ$ , and if  $\delta_{CP}$  is at the currently favoured value of  $-\pi/2$ , then a  $7\sigma$  result is anticipated. Hyper-K may also be able to resolve the neutrino mass ordering, which is critical to our understanding of the fundamental properties of neutrinos. Understanding the mass ordering would also be invaluable in guiding the

technology choices for the future program of searches for neutrinoless double beta decay. Hyper-K will substantially improve measurements searching for proton decay and will continue to produce world leading measurements of solar and atmospheric neutrinos. Hyper-K will be an essential component of the global supernova monitoring community.

The collaboration currently consists of 632 researchers across 104 institutions and 22 countries as of May 2025. Notably, much of the expertise from the prior Super-K and T2K collaborations is retained in this merged collaboration. Hosted by the University of Tokyo and KEK, the High Energy Accelerator Research Organization, Hyper-K is one of the highest priorities of the ICRR program.

## **Strengths**

The substantial increase in sensitive volume, by almost an order of magnitude compared to Super-K, will enable Hyper-K to make increasingly precise measurements of critical elements of the PMNS neutrino mixing matrix. The most anticipated of these will be the magnitude of CP violation in the leptonic sector, probing the neutrino mass ordering, a precise measurement of  $\theta_{23}$ , and observations expected to verify the spectrum upturn for solar neutrinos.

With the current schedule for completion, Hyper-K has a clear opportunity to be first in these measurements, with first data from DUNE not expected for several years afterwards. The major achievement during this reporting period has been to secure the majority of the funding required, and to begin the physical construction of the cavity. With the cavity construction expected to be completed by July 2025, a major schedule risk will be retired. The next phase will be the construction of the water tank, before actual detector components can be installed.

Good progress is being made on all of the subcomponents, with most design work now complete and components in the fabrication/verification stages. Many of the schedule and budget risks are being gradually retired.

## **Challenges**

At the moment, the Hyper-K program appears to have a significant schedule advantage over the DUNE project. However, the schedule has currently slipped by one year to address safety concerns in the construction of the cavity (solved by retroactive intensification of ground control elements), and as a redesign of the tank structure was undertaken for budgetary reasons.

Keeping on track with the schedule while concurrently addressing any safety concerns during construction will be paramount for success. This will require significant management oversight and intervention in matters concerning the acquisition of financial support and the allocation of personnel resources. It will also be essential to have professional support in the development of safety protocols for the many challenging integration projects still required to complete the detector, especially as some of the integration tasks become the responsibility of personnel without a strong industrial construction background.

## **Recommendations**

The committee commends the collaboration on advancing the design, fabrication and construction to this point, but notes that there are many subcomponents very close to the critical path and it will be incumbent on ICRR and KEK to ensure there is sufficient project management oversight on key elements of budget, schedule, and safety, and the ability to react accordingly when risks are identified.

Since water quality management is important in the analysis of a wide range of energies, Hyper-K team may need to develop human resources, who are deeply involved in the control of water purification system, with members from analysis groups covering a wide range of energies.

## **1-4) XMASS/XENON**

### **Overall evaluation**

The XMASS, utilizing a liquid xenon scintillation detector, collaboration has established the large-scale low-BG liquid xenon technology and also pioneered unique subjects in dark matter searches, and rare decays. Direct searches for dark matter are highly prioritized in astroparticle physics. It is key to understanding one quarter of the total energy and matter budget of the universe. XMASS incorporated various analysis techniques highlighted by the large mass range coverage of the search by a single experiment. XMASS type detectors can avoid very high voltage necessary for large double-phase detectors and thus had a scalability owing to their successful development of low background PMTs. Nevertheless, its scaling-up was not realized mainly due to its budgetary challenges. Data taking has been terminated in 2019, but interesting analyses were carried out until 2023 when the collaboration completed.

XMASS is highly praised for producing many talented people in the field of the direct search for dark matter. In addition, the team is highly praised for having developed many detector and analysis technologies that make it possible to handle liquid xenon on a large scale and in a low background environment. We evaluate that XMASS has been successfully completed and the technology has been passed on to the next generation of projects.

A part of the team subsequently joined XENON1T, utilizing a dual-phase liquid xenon TPC, and provided important contributions to the successful XENONnT experiment.

It was a natural progression for them to participate in the XENON experiment, which has world-leading sensitivity, and their significant contribution through the XMASS experiences and the technologies developed at Kamioka Underground is to be praised.

It is important to unite domestic researchers who want to participate in a world-leading project to search for dark matter, which is a top priority issue in astroparticle physics. While the ICRR team has been a core of Japanese activities, resource management will become critical as most of them have important roles in Hyper-K if the team intends to keep the central role of Japanese contributions.

### **Strengths**

- XMASS has made great contributions in the field of direct dark matter searches by nurturing human resources, developing experimental technologies, developing analysis techniques, and pioneering physical phenomena to be studied.
- The research environment that remains as Lab. C at Kamioka Observatory is extremely valuable as a development environment for the XENON experiment and as a research environment that supports the ultra-low radioactivity community.
- Some of its human resources and technology have been transferred to the more competitive XENON experiment, which is now playing a leading role in the field.
- The purification of xenon in the liquid phase is key to the long electron drift time observed and an effective enlargement of the detector's fiducial size. This is a critical contribution to liquid xenon dark matter experiments in general.
- The monitoring system of radioactivity adds an important feature of measuring pp-solar neutrinos in the dark matter detector.
- They also introduced a neutron veto technique using the Super-K(SK)-Gd technology. Such diverse cooperation is a strong point of ICRR and the ultra-low background community formed around Kamioka underground facilities. The team serves as a bridge between the Kamioka ultra-low background community and the world's leading dark matter project.
- Continued participation by this group in the proposed XLZD experiment, integrating the worldwide effort around dark matter projects using xenon is very natural. The committee encourages participation in such a world-leading experiment and the global community that is forming around Xe dark matter detectors, as it will maintain domestic activities in the field.

### **Challenges**

- However, considering the circumstances that Hyper-K construction is entering the busiest

phase and most of the XENONnT members from ICRR have important roles in the construction of Hyper-K, an effective effort around resource management to ensure that the construction schedule is not impeded is required.

- There is a need for domestic researchers to have a hub to participate in world-leading projects, and while it seems logical that ICRR, as a joint usage/joint research center, should take on this function, it cannot be said to be obvious given the aforementioned effort management. ICRR is expected to enhance personnel allocation, given the progress of Hyper-K and the development and advancement of XENONnT and other dark matter search projects in Japan, to be the responsible institute for the Japanese portion of a global xenon dark matter program.

## Recommendations

As dark matter experiments are being integrated worldwide, the role that joint usage/joint research centers are expected to play is significant. Currently, the leader of the Japanese team belongs to Kavli IPMU, the University of Tokyo, Nagoya University, and Kobe University are participating. Defining a system within the broader framework of the University of Tokyo that serves as a hub for participation in world-leading XENON and future projects might be beneficial.

If ICRR chooses to take on a responsibility which serves as a hub in the sense of contributing to the community as a joint usage/joint research center, ICRR needs to provide human resources for its service.

## 2. High Energy Cosmic Ray Division

### 2-1) Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO)

#### Overall evaluation

Completing the construction and commissioning of 4 Large-Sized Telescopes (LSTs) in La Palma, Spain (Northern Site) as the Japanese Project in CTAO will occur within the next 3 years. From now onward and until acceptance as an in-kind contribution to the CTA Observatory the LST collaboration is in a privileged position to use these telescopes in celestial gamma-ray observations. A configuration of 4 LSTs will constitute the most sensitive ensemble of low-threshold Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes worldwide, ideally suited to connect to the rich gamma-ray sky at lower energy by space-based gamma-ray instruments (Fermi-LAT). It will most profoundly allow exploring the rich source phenomenology with large photon statistics in the low GeV to low TeV energy regime of the gamma-ray sky, alongside executing commissioning tasks preparing the LSTs for the ultimate handover into CTA Observatory operations.

Telescope construction in Paranal, Chile (Southern Site) will start with 2 LSTs whose funds are mainly provided by Italy, with contributions from other countries, including Japan. The Japanese Project foresees to re-engage in construction of 2 further LSTs once the Observatory decision will be made to enlarge CTAO-South into a 4 LSTs configuration as well.

#### Strengths

CTAO has successfully established the final legal entity for construction and long-term operation of the Observatory, with Japan involved as a strategic partner in a European Research Infrastructure Consortium (ERIC). The first Large-Sized Telescope (LST-1) is already conducting scientific observations. Data analyses allowed the LST collaboration to publish results in respected scientific journals already. The construction of three further LSTs at CTAO-North is well underway. The major Japanese groups share in the powerful 4 LSTs configuration at CTAO-North, which will allow in just a few years from now unprecedented gamma-ray observations in the low GeV to low TeV energy regime. A heritage of decade-long operation of the MAGIC telescopes at La Palma, the expertise of designing and constructing LSTs for CTAO-North, and the scientific experience of the Japanese CTAO consortium members allows to engage into internationally competitive scientific investigations even before regular operations by the Observatory will commence.

## Challenges

By handing over commissioned LSTs to CTAO the LST consortium will need to adapt to a more complex way to conduct scientific observations, with data shared through and administered by the Observatory. The process of transferring ownership and operation of telescopes from the LST consortium to the CTA Observatory needs to be arranged as efficiently as possible, guided by optimal LST array performance for maximal scientific return.

## Recommendations

The Committee strongly supports the request to provide funding for operation of LSTs in CTAO-North during their commissioning phase, as well as for regular science observations through contributions to the running cost of the CTA Observatory afterwards. The Committee endorses construction of two LSTs (LST-7 and LST-8) as part of the Japanese project in CTAO-South as soon as the Observatory decision allows starting their construction.

## 2-2) Telescope Array

### Overall Evaluation

The Telescope Array (TA) stands as the largest ultra-high energy cosmic ray (UHECR) observatory in the Northern Hemisphere, dedicated to probing the origin and nature of UHECRs by measuring their energy spectrum, direction of arrival, and mass composition. The TA experiment has achieved excellent scientific and technical milestones, particularly with the continued operations and the initiation of the next phase of construction. The collaboration with the Auger experiment has been fruitful, leading to joint analyses and new methodologies such as machine learning and the study of very inclined showers. Despite these efforts, the higher TA flux at energies above  $10^{19.5}$  remains an unsolved problem. The discovery of the Amaterasu particle, a cosmic ray with an energy of  $2.44 \times 10^{20}$  eV, marks a significant achievement, highlighting the experiment's capability to detect extremely high-energy events.

The TA team at ICRR has shown remarkable resilience and adaptability, continuing to operate the surface detectors even during the challenging time of the COVID-19 pandemic. The experiment's ability to detect and analyze high-energy cosmic rays, as evidenced by the discovery of the Amaterasu particle, underscores its importance in the field of astrophysics. The ongoing collaborations and R&D efforts for future projects, including potential next-generation observatories, highlight the forward-looking approach of the TA team.

### Strengths

The Telescope Array (TA) experiment is an important actor in the UHE multi-messenger efforts, which represents the next frontier of the field. The TA experiment has demonstrated a diverse and excellent scientific approach, effectively interfacing with other major experiments like ALPACA/Tibet. The team exhibits a strong international spirit, with collaborations such as ILANCE and TA-GRAND, and hosts a diverse group including one female PhD student among a total of eight students from 2018 to 2025. The project has been successful in securing funding, which is crucial for its ongoing and future endeavors. The team is timely involved in niche experiments, techniques, and energy range explorations. There is clear Japanese leadership and visibility, providing significant returns and fostering strong international collaborations. The team is a provider of human resources, including students, and maintains a good spirit with diversity and international participation.

## Challenges

The funding for the next step, specifically 3M€ to reach TA×4 from the current TA×2.5, is not yet secured. There is uncertainty regarding the community evolution, for example concerning the Global Cosmic Ray Observatory (GCOS), which may affect future planning and decisions.

## Recommendations

To ensure the continued success and advancement of the TA experiment, the following recommendations are proposed:

- **Secure Funding for TA×4:** It is crucial to secure the necessary funding of 3M€ to fully realize the TA×4 project, which is expected to operate over the next five years and deliver unique high-quality results for the community.
- **Continue Joint Efforts with Auger Collaboration:** Maintain and strengthen the ongoing joint efforts with the Auger Collaboration. This collaboration has proven fruitful in the past and is essential for advancing the understanding of UHECRs through shared data, joint analyses, and combined technical expertise.
- **Explore Hybrid Radio Detection Options:** Investigate the feasibility of additional radio detection options with TA×4 to enrich the scientific outcomes beyond increasing the UHECR statistics. This would also ensure the positioning of the team favorably for an active role in the next-generation UHE detector developments.
- **Build On and Strengthen International Collaborations:** Continue to foster and expand international collaborations, which are mutually beneficial for scientific advancements and provide a platform for shared resources and knowledge. This includes the international GCOS initiative, and ongoing and potential collaborations within the GRAND-TA project, which aims to install self-triggering radio detectors at the TA site, to explore gamma-ray discrimination, muon-poor showers, and the study of muon vs. electromagnetic content in showers, as well as UHE neutrinos.

The Telescope Array experiment collaboration has demonstrated exceptional scientific and technical achievements, with a clear path for future advancements. The recommendations are focused on the need to secure the necessary resources and expand techniques and collaborations to ensure the continued success and leadership of the TA team at ICRR in the field of UHE astroparticle research.

## 2-3) Tibet ASy

### Overall evaluation

The Tibet ASy experiment is a high altitude air shower array focusing on both TeV–PeV gamma-ray astronomy and cosmic ray physics. ASy has reached its final array configuration and is continuously operated to take scientific data. Pioneering research work in the domain of ultra-high-energy (UHE,  $E>100$  TeV) gamma-ray astronomy has been made, underlining the role of Tibet ASy as a forerunner experiment in an increasingly interesting part of the electromagnetic spectrum. Whereas more performant UHE gamma-ray observatories in the northern hemisphere are in operation now, solar cosmic ray physics-related research, R&D for developments transferred into the build-up of ALPACA, as well as the expressed interest by the Chinese project partners underline the desire to continue operation on the basis of very moderate running cost. It is expected that activities are gradually transferred towards construction of a full ALPACA array in the southern hemisphere.

### Strengths

Tibet ASy played and fulfilled a forerunner role in UHE gamma-ray astronomy, accessing a new observational window from 100 TeV to 1 PeV in the electromagnetic spectrum. Important discoveries in the new observational window 100 TeV to 1 PeV gamma-rays were made and published. Synergy with both cosmic ray physics (PeVatrons) and multi-messenger aspects (IceCube diffuse neutrino spectrum) exist and are being explored. There is only modest support for the running costs for a now fully commissioned and operational experiment requested. There are benefits from hardware similarities and knowledge transfer from Tibet ASy towards ALPACA expected.

## Challenges

Tibet ASy was already in competition with HAWC, but is now outperformed by the rapid build-up and operation of the vastly more sensitive Chinese VHE gamma-ray astronomy facility LHAASO in the Northern Hemisphere. There is stress on the manpower required for construction of the full ALPACA array in the Southern Hemisphere that will likely stretch personnel to or beyond their limits.

## Recommendations

The Committee endorses the request for support of running costs until the manpower will be needed for construction of the full ALPACA array in the southern hemisphere. In consequence, Japanese activities in the Tibet ASy experiment will cease to continue at this point.

## 2-4) ALPACA

### Overall evaluation

ALPACA aims to construct a cosmic ray/sub-PeV scale gamma-ray experiment at a high-altitude site near La Paz, Bolivia. The experimental layout would comprise a moderate-sized air shower array and a muon detector of the underground water-Cherenkov type, with great similarity to the presently operated Tibet ASy. The main scientific goals of ALPACA are gamma-ray astronomy in the 10-1000 TeV range and studies of cosmic-ray composition and anisotropy.

Owing to the impact of LHAASO results in the Northern hemisphere the science case to identify the sources of Galactic cosmic rays has been substantially strengthened and remains presently unaddressed for the Southern Hemisphere. The small scale demonstrator ALPAQUITA is already in operation and shows the expected performance.

Developments towards a major southern-sky wide-field gamma-ray experiment deploying air shower technique at high altitude is highly competitive. The Southern Wide-Field Gamma-Ray Observatory (SWGO) - if built on time - will require rethinking the concept of operating ALPACA in the anticipated configuration. It is presently open if the unique time windows for ALPACA can be kept or a joint major effort will hold promise to revolutionize our understanding of the sub-PeV gamma-ray sky. There is also a need to encourage participation of foreign researchers interested in the construction and operation of ALPACA to not risk a potentially limited time window for its anticipated major scientific impact.

## Strengths

ALPACA holds promise to exhibit a forerunner role for VHE gamma-ray astronomy in the Southern Hemisphere, and possesses unique research prospects in Cosmic Ray and Solar physics. Benefits from hardware similarities and knowledge transfer from Tibet ASy towards ALPACA exist and can be readily used.

## Challenges

There is currently an unclear situation regarding the timescales and realism of a potentially more performant competitor experiment SWGO. Assuming this will clarify soon, international competitiveness will require either fast development into MEGA ALPACA or join the efforts towards SWGO. The potential time window for ALPACA to exist before SWGO may be endangered by delays in construction of ALPACA or rapid progress towards SWGO. Stress on the manpower required for construction of the full ALPACA array in the Southern Hemisphere will mount.

## Recommendations

The Committee recognizes and supports the refocus of observational sub-PeV scale gamma-ray

astrophysics from a Northern to a Southern Hemisphere experiment. We strongly recommend a fast build-up of ALPACA and the requested support for running costs. We also recommend to stay aware of actual developments regarding SWGO and remain open to adjust potential future array designs or to consider merging efforts, to ensure maximal scientific return in this important energy window. The committee encourages inviting and enlarging participation of foreign researchers interested in the construction and operation of ALPACA to not risk a potentially limited time window for its most profound scientific impact.

## **2-5) High Energy Astrophysics**

### **Overall evaluation**

The group has been playing an important role as a theoretical group within ICRR, although it has a relatively small number of staff consisting of one professor and one assistant professor with two postdocs and four graduate students at present. They are widely contributing to the physics of non-thermal phenomena and multi-messenger astronomy through the groundbreaking observations of which results are currently required new understanding against conventional theories. In addition, they are achieving the organization of seminars for special and educational topics for students.

### **Strengths**

The group is challenging very actively to theoretically interpret the recent observational results brought with state-of-art instruments, which are totally new or not well understood by conventional theories. The observations cover Non-Thermal Phenomena and Multi-Messenger Astronomy such as SN Explosion, Relativistic Jets and transient phenomena as Kilonovae, Magnetar Bursts etc. as well as GW Astronomy. These achievements are carried out effectively by a limited number of staff in collaboration with nation-wide collaborators, post-doc researchers and doctor course students.

According to recommendation in the last review, the group has been pursuing both the projects not directly related to the ICRR research portfolio (EHT, CALET, IceCube, Fermi/LAT etc.) and the projects related to the major subjects of cosmic ray research of experimental groups in ICRR (CTAO, TA/Tibet ASy, KAGRA).

It is highly regarded that the group regularly organizes seminars of special topics and educational seminars for students of several projects in ICRR since these are excellent opportunities for young researchers to acquire advanced knowledge. In addition, the group encourages strongly the individual activities of post-doc and graduate student, and provides a career path for young scientists in high-energy astrophysics.

### **Challenges**

Since two active staff and several post-docs have left the group to get new positions, it seems the activity will be restricted in some topics of research, the group should try to get a staff position and more graduate students or post-doc researchers to keep the current activity.

### **Recommendations**

We recommend to try to set up regularly some meeting points with experimental groups not only in ICRR but also in Kavli IPMU etc. for collaboration. Also, it is encouraged to promote effectively the research to make up for the shortcomings of a small number of people.

### 3. Astrophysics and Gravity Division

#### 3-1) KAGRA

##### Overall evaluation

The KAGRA detector is an underground km-class gravitational-wave interferometer using advanced technologies, including cryogenically cooled test mass mirrors, and is designed to detect gravitational waves from pairs of colliding black holes and neutron stars as well as isolated neutron stars, supernovae, and possibly other cosmic sources. KAGRA works in close collaboration with the USA LIGO Observatories and the European Virgo Observatory as part of the global network of gravitational-wave observatories. As KAGRA begins to reach its sensitivity goals, it will play a critical role in the LIGO-Virgo-KAGRA observatory network by providing greatly enhanced localization of electromagnetically bright gravitational-wave sources and by resolving gravitational-wave polarizations.

Since the time of the last ICRR Visiting Committee, the KAGRA team has made impressive progress in the past five years in commissioning their detector despite having faced two major external challenges - the COVID-19 pandemic (2020-2022) and the Noto earthquake (2024). In particular, the Noto earthquake did substantial damage to the detector, requiring a major campaign involving repairing almost every suspended mirror in the KAGRA interferometer.

With the detector repairs complete, commissioning progress has substantially accelerated in 2025 with a tripling of the BNS range since January 2025. KAGRA joined the O4c run in June 2025 and is operating with a binary neutron star (BNS) range of between 6 and 7.2 megaparsecs (Mpc) with the goal of achieving 10 Mpc before the end of the O4 run.

KAGRA participated in the O3 LVK observing run in 2020 along with the GEO detector (O3GK) operating at ~0.6 Mpc. Significant damage to the KAGRA detector from the Noto earthquake in January 2024 has been repaired and the team has made good progress toward achieving their goal of 10 Mpc for entering the final phase of O4. However, technical challenges remain in achieving that goal, particularly with maintaining the stability of the cryogenic system and frosting on the mirrors.

For the O5 observing run which is scheduled to begin in 2028, KAGRA aims to achieve a BNS range between 25 and 128 Mpc. A lower BNS range is under consideration owing to practical constraints. KAGRA's longer term plans for O6 (an observing run planned for the early 2030s) aim toward improving the high frequency performance of the detector in the 2~3 kHz region where binary neutron star merger and ringdown phases occur.

Between 2019 and 2025, KAGRA personnel have increased modestly from 42 to 43 full time equivalent staff members. The current operating budget for KAGRA is approximately ¥440M (\$3M US equivalent).

An MoA between INFN and KAGRA/ICRR has been signed to promote cooperation for the European Einstein Telescope Project utilizing KAGRA's unique expertise in developing cryogenic detectors.

The International Gravitational-Wave Observatory Network (IGWN) is in the formation stage. IGWN will initially consist of the LIGO, Virgo, and KAGRA detectors and integrate the existing collaborations into a single global collaboration.

##### Strengths

- The KAGRA gravitational-wave (GW) interferometer remains a critical detector in the LVK global network, for both detecting GW events and specifically for identifying the location of GW events on the sky (enabling GW-electromagnetic multi-messenger astronomy). The current budget uncertainty facing LIGO (and the possibility that one LIGO observatory may be shut down) further elevates the essential importance of KAGRA to the international gravitational-wave observatory network.

- The KAGRA team has accomplished an *impressive* amount of work in bringing the KAGRA detector online, given both the natural events (COVID-19 and Noto earthquake) and the very limited budget available for operations. They are to be commended for their progress.

## Challenges

- The committee strongly believes that the current level of KAGRA funding/staffing is very inadequate given the complexity of the KAGRA detectors. A ‘back of the envelope’ estimate of the operating costs of large complex scientific infrastructure is 10% of the cost of the facility construction. KAGRA’s construction cost was ¥15B yen (approximately \$100M US equivalent). KAGRA’s current operating budget is less than 4% of its construction cost. Another comparison serves to illustrate the inadequacy of the KAGRA operations budget. For comparison, the USA LIGO Laboratory budget for operating two LIGO observatories is approximately \$50M US equivalent, or \$25M for one observatory. The current KAGRA operating budget is less than one eighth of the LIGO budget for operating one observatory. Similarly, the European Virgo detector has an annual budget more than four times that of KAGRA.
- Related, providing adequate funding for the planned detector upgrades for the O5 observing run is equally essential to ensure that KAGRA is able to deliver on its sensitivity goals.
- The O6 plan to implement a high frequency detector is scientifically well motivated, but will be challenging in that it requires operating a high-finesse signal recycling cavity, because the difficulty still exists in the control of the high-finesse signal recycling cavity.
- The MoA with INFN and KAGRA/ICRR will leverage KAGRA’s expertise in cryogenics to the benefit of Einstein Telescope. It is important that the KAGRA team does not lose focus on its core mission of commissioning KAGRA to an impactful sensitivity.

## Recommendations

- **Obtain increased funding/staff for KAGRA.** Without a substantial budget increase, it is almost certain that KAGRA will continue to struggle to achieve its sensitivity goals. Given its importance to the LVK network and to gravitational-wave astronomy, if KAGRA is incapable of achieving its performance aims, it will have long term negative impacts on the scientific output of gravitational-wave science, particularly in delivering on the promise of multi-messenger astronomy.
- **IGWN.** The formation of IGWN offers an important opportunity for KAGRA to both contribute to and benefit from tighter collaboration with the international gravitational-wave detector network. The KAGRA leadership is strongly encouraged to continue engaging with IGWN to develop and refine IGWN goals and governance.

## Conclusions

The KAGRA Project team has made impressive progress in bringing the KAGRA interferometer to an operational state, despite very significant obstacles encountered in the past six years. We commend the team for their accomplishments. The ultimate success of KAGRA is critically contingent upon continued progress enabled by more financial resources and personnel.

## **3-2) Observational Cosmology**

### **Overall evaluation**

The ICRR Observational Cosmology Group conducts leading research on galaxy formation, cosmic reionization, and early universe chemistry using data from Subaru, ALMA, and JWST. Their 160

publications include major findings on star formation, AGNs, and primordial element abundances, earning significant citations and recognition. With strong funding, collaborations, and award-winning members, the group is internationally renowned and highly productive.

## Strengths

The ICRR Observational Cosmology Group conducts cutting-edge research on the origin and evolution of the universe, focusing on topics such as structure and galaxy formation, cosmic reionization, and Big Bang nucleosynthesis. These studies leverage extensive observational data, including Subaru programs such as the Hyper Suprime-Cam (HSC) survey and the EMPRESS survey (a Subaru Intensive Program), latter of which exploits targets selected by the HSC survey, as well as complementary multi-wavelength observations from facilities like ALMA and JWST.

Since the last ICRR Visiting Committee, the group has published 160 refereed papers with a total of 8,736 citations, including collaborative works. Of these, 43 papers led by the group have garnered 3,100 citations. Notable scientific achievements include:

### Subaru Hyper Suprime-Cam (HSC) Survey:

- Bright Galaxy Abundance: The group identified a significant excess of bright galaxies at redshifts  $z \sim 4\text{--}7$  compared to predictions from the Schechter function, indicating inefficient AGN feedback in early galaxy formation.
- Star Formation Efficiency: Observations reveal a nearly constant star formation efficiency from  $z \sim 2\text{--}6$ , with cosmic star formation rate (SFR) density evolution primarily driven by changes in dark matter halo abundance and accretion rates.
- Extended Ly $\alpha$  Emission: Intensity mapping of Ly $\alpha$  emitters (LAEs) shows diffuse Ly $\alpha$  emission extending beyond the virial radius of  $\sim 10^{11} M_{\odot}$  dark matter halos, attributed to resonant scattering in the circumgalactic and intergalactic media.

### EMPRESS Program:

- The group identified local extremely metal-poor galaxies (EMPGs) using Subaru/HSC and confirmed them via follow-up spectroscopy.
- Deep near-infrared spectroscopy provided new measurements of primordial helium abundance, offering valuable constraints on cosmological parameters such as the effective number of neutrino species ( $N_{\text{eff}}$ ) and the baryon-to-photon ratio ( $\eta$ ), with implications for lepton asymmetry and the Hubble tension.

### JWST Contributions:

- The group spectroscopically confirmed UV luminosity functions and star formation rates in 25 galaxies at  $z = 8.61\text{--}13.20$ , revealing high star formation efficiency at early epochs.
- Chemical abundance analysis of 70 galaxies at  $z = 4\text{--}10$  uncovered unique C/N and N/O ratios, indicative of CNO-cycle enrichment and suggestive links to globular cluster formation.
- They also identified the first statistical sample of faint type-1 AGNs at  $z > 4$ , highlighting a substantial AGN population potentially contributing to cosmic reionization.

One of the group's JWST-related papers has received 470 citations, the highest among approximately 3,000 JWST observational papers published to date. The group also made a major contribution to measurements of primordial helium-4 abundance in collaboration with Theory group, strengthening interdisciplinary ties between astronomy and particle physics.

The group comprises three faculty members, several postdoctoral researchers, and numerous graduate students from the University of Tokyo, six of whom have received JSPS DC fellowships. Members have been recognized with numerous awards, scholarships, and substantial research grants - including seven projects with budgets exceeding 30 million yen as PIs or co-PIs.

## Recommendations

The Observational Cosmology Group is exceptionally active, internationally visible, and highly productive. The Committee strongly recommends continued support for this outstanding research team.

### **3-3) Theory**

#### **Overall evaluation**

The ICRR Theory Group leads research in particle physics and cosmology, covering dark matter, inflation, PBHs, and more. They have published 139 refereed papers, many with global impact, and collaborate with Kavli IPMU, KAGRA, and internal groups. The group actively mentors graduate students, awarding 28 degrees between 2018 and 2024. The Committee strongly recommends continued support and maintaining faculty positions to uphold research excellence.

#### **Strengths**

The ICRR Theory Group engages in cutting-edge theoretical research focused on phenomenology-oriented particle physics and cosmology. Their work covers a broad range of topics, including Higgs physics, collider phenomenology, grand unified theories, dark matter, axion models and axion cosmology, inflationary models, baryogenesis, Big Bang nucleosynthesis, and primordial black hole (PBH) formation, among others.

Since 2018, the group has published 139 refereed papers in peer-reviewed journals—an impressive record that reflects the high quality of their research. Many of these works have made significant contributions to the global scientific community. Notably, the group maintains strong collaborations with the Kavli IPMU and has produced impactful collaborative research with the ICRR Observational Cosmology Group on primordial helium-4 abundance, as well as with the KAGRA Group on the search for ultralight vector dark matter using gravitational wave detectors.

The group consists of two faculty members, several postdoctoral researchers, and a number of graduate students. On average, they accept 2–3 graduate students per year. Between 2018 and 2024, 11 students earned doctoral degrees and 17 received master's degrees under the group's mentorship. These numbers underscore the group's commitment to fostering the next generation of researchers.

The Theory Group is recognized internationally as a world-leading team, producing highly original and impactful work. Key scientific highlights include:

- Precise estimation of the Wino/Higgsino decay rate.
- Proposal for new types of grand unified theories with seemingly complete SU(5) multiplets.
- Constraints on dark matter self-interaction cross sections using data from ultra-faint dwarf galaxies.
- Constraints on dark photon mass based on its impact on the effective number of neutrinos,  $N_{\text{eff}}$ .
- Investigation into the implications of the revised primordial helium abundance  $Y_p$ .
- Studies of various extended objects, including an analytic derivation of the decay rate for I-balls/oscillons.
- In-depth investigation of primordial black hole (PBH) formation mechanisms.
- Exploration of potential sources contributing to the stochastic gravitational wave background, as detected by Pulsar Timing Array experiments.

In summary, Theory Group's scientific output is both excellent and internationally influential.

## **Recommendations**

The Committee strongly recommends continued support for this group. However, one concern is that one of the two current faculty members is expected to retire soon. To sustain the group's high level of activity and productivity, the Committee recommends maintaining at least the current number of faculty positions.

## IV. Management of ICRR

---

The Institute for Cosmic Ray Research (ICRR) comprises three research divisions—the Neutrino and Astroparticle Division, the High Energy Cosmic Ray Division, and the Astrophysics and Gravity Division (see Chart in Appendix). It operates four observatories within Japan (Kamioka Observatory, KAGRA Observatory, Norikura Observatory, and Akeno Observatory), as well as one research center, the Research Center for Cosmic Neutrinos. Internationally, ICRR maintains experimental facilities in Utah (USA), Yangbajing (Tibet, China), La Palma Island (Spain), and Chacaltaya (Bolivia).

The construction and operation of these facilities have been successfully carried out in collaboration with domestic and international universities and research institutes. Given the limited budget and personnel of ICRR, it is by no means a simple task to build and operate such large-scale observatories both in Japan and abroad while consistently producing world-class scientific achievements.

To ensure that ICRR continues to deliver top-tier research outcomes, the importance of effective institutional management cannot be overstated. This chapter corresponds to the fourth item in the evaluation guidelines—“Assessment of the Institute’s policy and its role in the scientific community”—and provides an overview of the current status and future direction of ICRR’s management.

The content of this chapter is presented in a somewhat informal and anecdotal style, with the aim of conveying direct observations and insights in a vivid and accessible manner, in order to encourage discussion both within and beyond ICRR. While the following subsections are discussed individually, it should be emphasized that they are closely interconnected:

1. Inter-University Research Programs
2. International Collaborations
3. Multi-messenger Astronomy
4. Future Planning Committee and Relationship with Research Communities
5. Systems Engineering for Large Projects
6. Budget
7. Human Resources
8. Maintenance of Open-use Facilities
9. Graduate Students and Early-Career Researchers
10. Diversity
11. Collaborations with Industry
12. Education and Outreach

### 1. Inter-University Research Programs

ICRR operates as an *Inter-University Research Institute*, engaging in pioneering research on cosmic rays. The Committee commends ICRR for carrying out more than 130 domestic projects annually, selected by the ICRR’s Advisory Committee and the Inter-University Research Program Selection Committee. The fact that the principal investigators of approximately 90 of these projects are affiliated with universities other than ICRR demonstrates the effectiveness of the collaborative research ecosystem between ICRR and external academic institutions.

Furthermore, ICRR was accredited as an International Joint Usage/Research Center in 2018 and has conducted nearly 30 international joint projects annually since 2019. The Committee also commends ICRR for actively promoting large-scale international collaborations at the Kamioka and KAGRA Observatories, as well as at its four overseas facilities, by effectively utilizing international joint research programs.

In addition to its major projects, ICRR is conducting a wide range of other research activities at its domestic facilities. These include studies of secondary cosmic rays related to atmospheric phenomena, the development of new detectors that will contribute to future major projects, and

ongoing observations of cosmic rays.

Several projects in environmental science are also being conducted by taking advantage of ICRR's facilities, such as research on alpine plants and the presence of radionuclides in the ocean. The Committee endorses ICRR's support for a diverse array of cosmic ray and related scientific research through its Inter-University cooperative research programs.

ICRR's primary research approach centers on international joint research through large-scale projects led by its members. At the same time, small-scale research projects led by external institutions are also conducted at the underground facility of the Kamioka Observatory in connection with Super-Kamiokande. These activities have made significant contributions to the ultra-low radioactivity astroparticle physics community.

This joint-use initiative is highly regarded, and the establishment of a stable, long-term support system is strongly encouraged by the Committee. However, as these activities have been closely tied to the operation of Super-Kamiokande, discussions on the future of Super-Kamiokande must also address how to sustain the research environment and infrastructure that have supported this broader scientific community over the years.

XENONnT has been authorized by the Future Planning Committee (FPC, see section 4), and is being conducted under the auspices of ICRR with very limited human resources. Although no direct financial support is provided, ICRR contributes significantly by lending one ton of xenon gas to the XENON project, offering infrastructure originally developed for XMASS to support R&D efforts for both XENON and XLZD, and funding a postdoctoral researcher involved in the project.

These contributions are highly regarded as a strategic and effective utilization of ICRR's support framework. Continued support for such important yet secondary projects—compared to large-scale efforts like Hyper-Kamiokande—poses a significant question for the future direction of ICRR. The Committee recommends that this matter be thoroughly examined by the relevant committees, both within and outside of ICRR.

## 2. International Collaborations

Managing large international projects at ICRR requires fostering a diverse and inclusive workforce, which is essential for their success. While ICRR's partnerships with domestic and international institutions are generally effective, the nature and extent of international involvement vary across teams and projects.

For instance, the KAGRA project has established strong collaborations with the LIGO and Virgo teams in gravitational-wave data analysis, and could benefit further from closer integration into detector development efforts. In contrast, the TA-ALPACA team is inherently built on strong international collaboration and plays an active role in the ILANCE laboratory—a joint initiative between the University of Tokyo and France's CNRS—including the hosting of Master's-level interns. Feedback from early-career researchers (see section 9) highlights the need for better integration of international members into ICRR's broader research environment.

The Committee recommends that ICRR make better use of existing frameworks and connections with international communities—such as ILANCE, which shares overlapping scientific interests and projects, including multi-messenger and cosmic-ray detection instruments, as well as collaborations like Hyper-Kamiokande and T2K. Similarly, the Einstein Telescope–ICRR Memorandum of Agreement and the establishment of the International Gravitational-Wave Network (IGWN) present valuable opportunities for KAGRA to strengthen its engagement in detector instrumentation development through closer international collaboration.

Additionally, leveraging ICRR's proximity to Kavli IPMU could further enhance these efforts. Strengthening ties between the two institutes would help attract international visitors, postdocs, and students, thereby increasing ICRR's international visibility. It would also promote the adoption of international best practices, facilitating smoother collaborations and better integration of

international members into the institute. Moreover, it would support greater mobility for ICRR's students and postdocs to engage in research abroad.

The Committee acknowledges that, while collaborations at ICRR appear generally appropriate, there may be room for improvement in the integration of international researchers and in responding more effectively to feedback from early-career researchers (see Section 9). Collecting and presenting data on international visitors and joint funding could offer valuable insights for further enhancement.

### **3. Multi-messenger Astronomy**

ICRR is in a predestined position to benefit from a multitude of active developments in multi-messenger astrophysics driven by groups in the institute on the Kashiwa campus and through leading roles in forefront international experiments. The institute is one of the few major centers in astroparticle physics worldwide that host experimental, phenomenological, and/or theoretical groups connecting directly to all four major messengers: Cosmic Rays via TA, Gamma-Rays via CTAO, Tibet ASy and ALPACA, Neutrinos via T2K, Super-/Hyper-Kamiokande, XENONnT, as well as Gravitational Waves via KAGRA.

These are all *experimental* involvements under leadership or significant involvement of ICRR. Yet there is also the High Energy Astrophysics Group with direct engagements into contemporary multi-messenger astrophysics. Members of the group keep direct connections to CALET (CR electrons), EHT (BH physics), MAGIC (VHE transient physics) and promote multi-messenger interpretations in current topics in the field. Further Groups at the institute possess connections into multi-messenger aspects as well, e.g. SMBH formation from PBH seeds and PTA science prospects.

The Observational Cosmology Group conducts advanced research on the origin and evolution of the universe, focusing on key topics such as structure and galaxy formation, cosmic reionization, and Big Bang nucleosynthesis. These studies utilize extensive observational data from Subaru, ALMA and JWST. Particularly notable is the use of deep near-infrared spectroscopy, which has enabled new measurements of the primordial helium abundance. These results offer valuable constraints on cosmological parameters, with potential implications for lepton asymmetry and the Hubble tension. The ICRR Theory Group has been involved in this research, suggesting that the Observational Cosmology Group is becoming an increasingly integrated and important component of ICRR's overall research activities.

There are additional connections given the proximity of Kavli IPMU on the Kashiwa campus. All these efforts yield viable and visible results on their own, yet there is potential to elevate this beyond the present setting. Fully exploring synergies between the many directions being developed/maintained at ICRR and beyond, e.g. with Kavli IPMU, though a joint open forum, even a virtual institute that integrate scientists from multidisciplinary groups with those deeply involved in the specific experiments would comprise both a challenge and chance for ICRR for the next years.

The Committee commends ICRR for its emerging role as a central institution in the global multi-messenger astronomy community. By fostering both established and yet-to-be-explored connections across different observational channels, ICRR is well positioned to evolve into a key hub for advancing the field.

### **4. Future Planning Committee and Relationship with Research Communities**

The researchers are organized through the Cosmic Ray Researchers Congress (CRC), a long-established body founded in 1953 that currently represents the majority of cosmic-ray researchers. All research projects at ICRR must be approved by the Future Planning Committee (FPC) through a complex and coordinated interaction between the CRC and the FPC. The Committee observes that, despite this structure, the decision-making process at ICRR is clearly defined and functions effectively, with the FPC serving as the formal decision-making body.

At ICRR, evaluations of large projects are conducted by FPC, whose members are selected primarily from institutions outside of ICRR. The FPC has been established on a temporary basis under the ICRR Advisory Committee, a permanent body responsible for overseeing the institute's management. The Advisory Committee includes two subcommittees: the Inter-University Research Advisory Committee and the Inter-University Research Program Selection Committee. Across all three committees, there is a rule stipulating that the majority of members must be selected from outside the University of Tokyo.

Although the FPC does not explicitly assign priorities to projects, it does offer recommendations with varying degrees of emphasis—for example, identifying the next major project, suggesting which initiatives should be launched immediately, and advising on which international collaborations should be expanded to enable deeper consideration.

Based on the evaluation report by the Future Planning Committee (FPC), large-scale (strategic) projects—such as Super-Kamiokande, KAGRA and Hyper-Kamiokande—have successfully undergone the clearly defined governmental process required to obtain Frontier funding (section 6). Projects approved through this process are authorized to continue for a period of 10 years, in accordance with the submitted plan. This approval serves as a prerequisite for submitting annual budget requests to MEXT.

This structured process has proven effective in securing stable research funding, with all of the aforementioned projects having been successfully funded. In contrast, relatively smaller-scale, project-level initiatives—such as the Telescope Array (TA) and ALPACA—are encouraged to seek support through competitive funding programs, such as KAKENHI. The Committee appreciates that the project selection and prioritization process is considered transparent and based on well-informed input derived from open discussions and formal reports.

## 5. Systems Engineering for Large Projects

ICRR manages many scientific facilities in the operations phase (including Super-Kamiokande and KAGRA) and in the construction phase (Hyper-Kamiokande, CTAO). Large complex projects such as these are conceived and typically designed by physicists. Given their substantial costs and complexity, they can benefit from the application of systems engineering practices at all stages of their lifecycles – from design into construction through operations.

The most successful large scientific infrastructures have professional systems engineering groups deeply embedded within their management organizations. The adoption of systems engineering and project management practices (such as resource-loaded scheduling, systems level engineering plan/organization, interface control, change control, and risk analysis and mitigation plans) can ultimately result in better overall performance and cost savings for scientific facilities.

Given the rapidly increasing scale and complexity of the projects being undertaken, the Committee believes that ICRR would benefit from having a systems engineering group to provide support for the facilities/projects that it manages. Understanding that the establishment of a systems engineering group (at any size scale) would require either new funds or a reallocation of existing funds, ICRR should work with their funding agencies as they explore the feasibility of this.

## 6. Budget

The ICRR budget line consists of two parts: the Management Expenses Grant and the Frontier Budget. The Management Expenses Grant covers the operational costs of the organization, excluding those associated with Large-scale Academic Frontier Promotion Projects and other items specified in the preliminary budget request. In 2012, MEXT established the Large-scale Academic Frontier Project framework to provide stable and sustained support for major research infrastructure projects aimed at creating international research hubs. This funding mechanism is designed to respond swiftly and effectively to global competition and collaboration, based on the long-term "Roadmap" developed by a committee of MEXT's Council for Science and Technology (CST).

ICRR's annual operating budget is funded through the Management Expenses Grant, Frontier budget, and competitive Grant-in-Aid programs. The Frontier budget supports the construction and operation of major facilities, including Hyper-Kamiokande, Super-Kamiokande, and KAGRA. It should be noted that the salaries of most ICRR faculty members are provided separately by the University of Tokyo and are not included in ICRR's institutional budget.

Despite a modest budget, ICRR successfully operates a diverse and ambitious portfolio of world-class research facilities and scientific programs across its three divisions, while also engaging in the construction of new domestic infrastructure (e.g., Hyper-Kamiokande) and participating as a key partner in major international initiatives (e.g., the Cherenkov Telescope Array Observatory, CTAO).

While the Visiting Committee did not conduct a detailed review of ICRR's budget, it is evident that the level of operational funding for ICRR's major facilities varies significantly across projects. Super-Kamiokande has been acquiring data while undergoing detector upgrades for over three decades, and T2K has been successfully operated for more than 15 years—both sustained by relatively stable budgets.

In contrast, KAGRA represents a notable exception. As discussed in the KAGRA section of this report, its operational budget remains a small fraction of that allocated to comparable gravitational-wave observatories, posing challenges for its continued development and international competitiveness. Therefore, the ICRR management should make every effort to increase the operations budget of KAGRA.

It is also worth noting that the level of funding from Grants-in-Aid for Scientific Research has remained flat in recent years while this category represents only a small portion of ICRR's total budget.

Upon completion of its construction, Hyper-Kamiokande is expected to enter the stage of steady operation. It should be emphasized that a project of this scale will inevitably require substantial and sustained operational funding. The Committee recommends that the Institute, in close consultation with the University authorities and the relevant funding agencies, make every effort to ensure the securement of the necessary financial resources. In addition, given the international nature of this collaboration, it is essential that appropriate frameworks for cost-sharing be established, whereby participating researchers and institutions assume responsibility for the maintenance and operation of the components they have developed.

## 7. Human Resources

ICRR has demonstrated exceptional efficiency and success in managing several high-profile projects, despite operating with a relatively small team. One project that particularly deserves recognition is the advancement of Hyper-Kamiokande.

As a large-scale initiative of immense importance to the scientific community, Hyper-Kamiokande presents both significant opportunities and formidable challenges. Its successful realization is critical—failure is not an option. The Committee acknowledges that due to the project's scale and the substantial resources it requires, ICRR faces limitations in securing the necessary qualified manpower. Therefore, effective collaboration among ICRR, the broader research community, and the government is essential.

Kamioka Observatory lies at the heart of this endeavor. Its role extends to providing essential underground facilities for shared use by other institutions, underscoring its central importance to other smaller projects. The Committee recognizes that the growing demands on its resources have become a significant concern: The personnel available for these efforts are limited, and existing staff are stretched thin across multiple high-priority tasks.

A notable example is that while Super-Kamiokande continues to make important contributions to astroparticle physics—including the study of relic supernova neutrinos—its personnel almost

entirely overlap with those working on Hyper-Kamiokande. There is an urgent need to develop a clear plan for how both projects can coexist and operate effectively without compromising the scientific output of either.

The XENONnT experiment is currently recognized as a project under ICRR, and the Committee acknowledges the need to maintain and strengthen Japan's domestic research framework for dark matter detection experiments. However, the Committee also recognizes that lack of personnel for this purpose presents a considerable challenge. Given the ongoing progress of Hyper-Kamiokande, it would be appropriate to enhance personnel allocation in step with the development and advancement of XENONnT and other dark matter search projects in Japan.

The challenge of limited human resources is not unique to the Kamioka Observatory but also affects other experiments, such as KAGRA. Compared to LIGO, KAGRA operates with a budget and staffing levels approximately one order of magnitude smaller, relying heavily on the extraordinary dedication of its researchers.

The situation regarding the transition from Tibet ASy to ALPACA resembles that of the transition from Kamiokande/Super-Kamiokande to Hyper-Kamiokande, though on a smaller scale. Nevertheless, the Committee notes that transitioning from one experiment to a next-generation experiment—regardless of the size of the project—in order to keep pace with a dynamically developing science case, and under conditions of very limited human resources, requires careful attention from the ICRR leadership to matters such as staffing, the perspectives of both domestic and international research communities, and other relevant considerations.

Moreover, while there are active discussions and initiatives within the Theory Group, concerns have been raised about the long-term stability due to the impending retirement of a senior faculty member. The challenge of recruiting and retaining talented faculty to sustain momentum in these groups is becoming increasingly pressing. In addition, there is strong demand from younger researchers for the establishment of Assistant Professor positions to bridge the gap between senior faculty and students or postdoctoral researchers. Such positions would strengthen mentoring and collaboration within ICRR and further enhance its research environment.

Though ICRR operates as an international joint-use and joint-research center, it is indeed imperative to prioritize projects and responsibilities related to joint use. In these deliberations, transparency and effective communication with the research community are essential to ensuring that the institution continues to serve as a productive research hub, supported by both domestic and international communities, as it has been. The Committee encourages ICRR leadership to take the lead in facilitating these discussions to ensure that decisions are made in a timely and well-informed manner.

The Committee recognizes that, while ICRR has made remarkable progress in advancing its projects despite limited human resources, the institute now faces critical challenges that must be addressed in a timely and coordinated manner. The Hyper-Kamiokande project, along with other ongoing initiatives, requires careful planning, optimal resource allocation, and continued international support to ensure long-term sustainability. Strengthening faculty recruitment and retention, along with securing increased funding, will be essential for maintaining the institution's leadership in cosmic ray and astroparticle physics. It is imperative that ICRR continue to foster dialogue and make well-informed decisions to ensure its continued success in the years ahead.

## **8. Maintenance of Open-use Facilities**

Facilities such as the Kamioka Observatory operated by ICRR are not only used for large-scale projects promoted by the institute but also serve as platforms for research and development by various international external researchers as described in detail in section 1. The maintenance, repair, and management of these facilities are part of the institute's core responsibilities.

However, the Committee finds that the renewal of aging equipment presents a significant challenge. When a facility is developed and operated with competitive funding, such as the Grant-in-Aid for

Scientific Research (KAKENHI), continued support—particularly for routine maintenance and replacement of aging infrastructure (deferred maintenance)—is not provided under the framework of such grants.

The Committee strongly urges MEXT to develop a mechanism for the long-term support of scientifically distinguished facilities established through competitive funding. After all, this constitutes an optimized and responsible use of taxpayer money.

## 9. Graduate Students and Early-Career Researchers

The Visiting Committee had the opportunity to interact with early career researchers (ECRs), including graduate students, to gain their perspectives on the research environment at ICRR, beginning with an informal lunch involving 18 young researchers. These researchers belong to several discipline-based splinter groups, each of which included Committee members. This was followed by a group interview with a subset of nine young researchers conducted by the full Committee.

Overall, the Committee heard that most early career researchers (ECRs) are satisfied with their work and roles within ICRR. Many expressed enthusiasm about conducting research at a state-of-the-art institute. However, the feedback also highlighted several areas where improvements could be made to better support human resource development and the training of the next generation of researchers. The following points summarize key considerations based on that input:

- **Work–Life Balance:**

Some ECS at ICRR expressed concerns regarding their work–life balance. As a first step toward addressing these concerns, it may be helpful to create opportunities for open dialogue, active listening, and personalized feedback—such as informal gatherings over coffee (see also point on social interaction below).

- **Integration and Inclusion:**

Further efforts could be made to support the integration of international researchers by addressing language barriers and promoting an inclusive environment. Possible measures include providing language support programs and co-locating international visitors and collaborators to facilitate day-to-day interactions.

- **Social Interaction and Team Building:**

Organizing regular social events—such as coffee breaks or monthly gatherings—may help strengthen team cohesion and encourage communication across research groups. These activities could contribute to a greater sense of community and foster collaboration.

- **Career Development:**

Supporting career development remains a key area. This may include offering career consultation services (e.g., at the Kashiwa Campus), providing guidance for job applications, and exploring options to increase the number of tenured positions to reduce uncertainty for young researchers.

- **Salary and Benefits:**

Ensuring that postdoctoral researchers receive competitive salaries and benefits may improve ICRR's attractiveness relative to other institutions. This could help retain talent and enable researchers to focus on their work without undue financial concerns.

- **Gender Representation:**

Addressing the underrepresentation of women in the field was noted as an important issue. Encouraging more young women to enter the field and providing sustained support for their success—through outreach and inclusive institutional practices—could be beneficial.

- **Communication and Collaboration:**

Strengthening communication within and across research groups, as well as between theory and experimental efforts (including data analysis), may contribute to a more intellectually vibrant

research environment. Regular seminars and opportunities for ECRs to stay informed of current scientific developments were also suggested.

As a miscellaneous point, a few graduate students noted that commuting between ICRR and the Hongo campus—for example, to attend lectures—can be time-consuming. Similarly, ECRs involved in the Super-Kamiokande, Hyper-Kamiokande, T2K, and KAGRA projects reported that frequent travel between Kashiwa and Kamioka is disruptive and suggested that such travel could be better managed and organized by ICRR.

While the Committee acknowledges that the observations presented here do not represent an exhaustive set of views, addressing these areas for improvement—identified through these brief conversations—may help stimulate policy discussions on ICRR’s investment in human capital and more effectively support the development of the next generation of researchers in the field.

## 10. Diversity

ICRR has been placing growing emphasis on promoting diversity within its research environment. This section provides an overview of current practices related to recruitment, the representation of international and female researchers, and ongoing efforts to support a more inclusive and diverse research community.

### Recruitment of Researchers and International Staff

The recruitment process at the institute follows two primary pathways: one supported by ICRR’s operational budget, and the other by project-based grants (e.g., Scientific Research Grants).

- **Research Staff Funded by the Institute’s Operational Budget:**

Recruitment typically begins with a public announcement in October, with applications closing in December. Successful candidates are generally expected to begin their positions between April 1 and October 1. The start date remains flexible within this period, allowing a broad range of applicants to consider these opportunities.

- **Research Staff Funded by Project Budgets:**

The recruitment process for project-funded positions is more flexible, depending on the timing of grant awards, budget availability, and project needs. Calls for applications may be made at any point during the year. As with institute-funded positions, start dates can be adjusted to accommodate the schedules of successful applicants, within the constraints of the project timeline.

The recruitment structure is designed to be accessible to both international and domestic candidates. The flexibility in start dates is particularly helpful for international researchers, who may have specific timing considerations or require additional time for relocation.

In addition, all job postings are made available in both Japanese and English, helping to ensure that international applicants can readily access and respond to open positions. This bilingual approach is intended to support a more inclusive and diverse research environment.

### Representation of Female and International Researchers

As of April 1 of the previous year, the institute had made some progress in promoting diversity within its research staff. The most recent statistics (as of April 1) are as follows:

- **Full-time Faculty (Assistant Professors and Above):**

- Total Faculty: 60
- Female Faculty: 2
- International Faculty: 6

- **Researchers (Research Fellows):**
  - Total Researchers: 17
  - Female Researchers: 2
  - International Researchers: 5

These figures suggest that, while efforts to improve diversity are underway, further progress may be needed—particularly in enhancing gender and international representation among senior academic staff.

One area that may merit continued attention is the recruitment of female researchers. In Japan, fostering greater participation by women in research is widely understood to require long-term efforts and cultural change, beginning as early as the middle and high school levels. Increasing the number of female undergraduate and graduate students in science and technology fields is viewed as an important first step toward addressing this issue, though it is also recognized that such progress will take time and sustained effort.

In parallel, ongoing efforts to expand recruitment outreach to a broader and more diverse pool of candidates will remain important for cultivating a genuinely inclusive research environment.

## Recommendations

ICRR has made steady progress in enhancing diversity within its research staff. Nonetheless, continued efforts will be important to ensure that recruitment practices effectively attract and support a more balanced and diverse group of researchers. Sustained attention to improving diversity—particularly in terms of gender and international representation—will contribute to fostering a more inclusive and dynamic research environment over the long term. To support greater gender balance and overall diversity within the institution, the following considerations are offered:

- **Continue efforts to recruit female faculty members.**  
Where possible, adopt inclusive hiring practices—such as non-gender-specific position titles—as research suggests these approaches can support greater gender balance. Ensure that hiring committees are diverse and follow clearly articulated guidelines that promote equitable practices. Consider seeking input from experts in gender equity when developing job advertisements.
- **Consult with professionals specialized in gender diversity.**  
Identify effective, evidence-based strategies to enhance gender balance, and consider partnerships with institutions such as Kavli IPMU to leverage additional expertise and resources.
- **Proactively encourage applications from underrepresented groups.**  
Reach out directly to qualified individuals from underrepresented genders to encourage them to apply for open positions.
- **Promote gender diversity in leadership roles.**  
Increase the representation of underrepresented genders in boards, committees, and other leadership positions to provide visible role models and strengthen institutional inclusivity.
- **Engage in public outreach.**  
Participate in initiatives such as the annual Open Campus program at Hongo to connect with broader communities and inspire future generations of researchers.
- **Strengthen collaboration with like-minded institutions.**  
Work with organizations such as Kavli IPMU to advance both international and gender diversity within the research environment.

Given the wide range of suggestions drawn from the observations, the Committee suggests that the institute consider conducting a *climate survey* to help identify any potential barriers to participation

within the organization. Here, *climate* refers to the organizational atmosphere—how people experience and feel about their workplace. A *climate survey* is a questionnaire designed to assess the overall climate—that is, the work environment, organizational culture, and general employee perceptions.

## 11. Collaborations with Industry

ICRR has developed advanced experimental facilities over many years—a feat that would not have been possible without the vital contributions of its industrial partners, who undertook both development and industrial fabrication with a high level of technical precision and reliability. Behind the scenes of ICRR’s scientific achievements stand skilled engineers, dedicated managers, and committed companies whose close collaboration made these successes possible.

Presented below are examples of partnerships between ICRR (and associated universities) and private-sector companies. In fact, numerous firms—both large and small—have played indispensable roles in ICRR-led experiments. The Committee would have welcomed the opportunity to interview some of these companies, with questions such as: *Did your collaboration with ICRR lead to industrial applications with profits? or Was your motivation driven by pure engineering interest, with the expectation that applications might emerge in the future?*

The Committee observed several unique features in ICRR’s collaborations with industry, including: the potential for applications both to other physics experiments and industrial fields, the long-term and stable nature of many partnerships, and the seriousness and dedication with which both sides approached their shared objectives.

ICRR appears to be somewhat understated in communicating its achievements in industrial collaboration. The Committee commends the efforts made by both ICRR and its industrial partners in fostering these successful partnerships, and encourages ICRR to consider producing a brochure that highlights such collaborations—both to showcase the impact of past efforts and to attract new industrial partners in the future.

### **Super-Kamiokande:**

**Ultrapure Gadolinium Sulfate:** The gadolinium compound required for SK-Gd project needed to be extremely low in radioactive impurities. Achieving this level of purity demanded close collaboration with an industrial partner (Formerly Nippon Yttrium Co., Ltd., now Rare Metal Division, Mitsui Kinzoku Co., Ltd.) specializing in rare earth materials. Subsequently, with the support of the Super-Kamiokande group, ICRR, and the Mainz group, approximately four tons of ultrapure gadolinium sulfate was successfully procured from the same company for the XENONnT experiment.

**Development of Water Purification System for SK-Gd:** A new water purification system was developed for SK-Gd project to retain gadolinium sulfate in solution while removing unwanted ions. The core technology is a specially designed ion exchange resin, created in collaboration with a long-time industrial partner (Organo Corporation). Building on their prior work for Super-Kamiokande, the new resin meets strict radiopurity standards through careful screening of materials and evaluation of radon emissions.

### **Hyper-Kamiokande:**

**High-Efficiency 50-cm PMTs:** The R12860 photomultiplier tube (PMT), developed by Hamamatsu Photonics in collaboration with ICRR and Japanese universities, is designed for Hyper-Kamiokande with significantly improved performance. It achieves a quantum efficiency of 33%, collection efficiency of 87%, and single-photon detection efficiency of 25%—double that of the Super-Kamiokande PMT. Despite its improved sensitivity, the PMT keeps the dark noise rate low at 4 kHz—comparable to or better than previous models. The PMT also offers twice the charge and timing resolution, along with enhanced mechanical strength for deep-water deployment. PMTs based on this technology have been widely adopted in medical

imaging (such as PET scanners), radiation monitoring near nuclear facilities, and various analytical instruments. Notably, during the COVID-19 pandemic, they were also integrated into PCR testing devices. A modified version is now used in the JUNO neutrino experiment.

**Underwater Communication Cable, and Connectors, and PMT cable feedthrough:** To enable communication and precise synchronization between the underwater electronics and surface equipment, as well as to supply power, ICRR developed a custom underwater hybrid cable. This cable contains 12 optical fibers and copper wires for power transmission, designed in collaboration with an industrial partner. ICRR also developed a compact underwater connector that integrates both optical and power connection. A specialized feedthrough was also developed to connect PMTs to underwater electronics.

**Cavern Excavation:** In the excavation of the unprecedentedly large cavern for Hyper-Kamiokande, ICRR researchers collaborated closely with the cavern design company (TOKYO ELECTRIC POWER SERVICES CO., LTD.) to develop advanced technologies for optimizing rock behavior prediction and support design. By applying high-speed data processing techniques commonly used in high-energy physics, they enhanced the efficiency and accuracy of simulations. A key innovation was the introduction of a new modeling concept—“interface elements”—to more accurately represent weak rock layers, significantly improving prediction reliability.

For rock mass characterization, essential to both support design and information-driven excavation, a method was developed in partnership with the excavation company (KAJIMA CORPORATION) to use data obtained during drilling operations (Measurement While Drilling, MWD). This allowed evaluation of geological conditions behind the cavern walls and assessment of rock integrity in PS anchor zones. Additionally, fiber-optic displacement sensors were introduced for the first time in large-scale cavern excavation, enabling precise monitoring of rock displacement behavior and enhancing safety and design feedback.

**Water Tank:** The Hyper-Kamiokande tank lining, made of stainless steel and reinforced concrete, is supported by the surrounding rock. Based on long-term wall displacement (creep) predictions using a refined geological model and excavation monitoring data, ICRR and the design company (NIKKEN SEKKEI LTD) collaboratively developed and carried out detailed structural analyses to determine necessary reinforcements.

To prevent corrosion at welds between stainless steel and carbon steel—crucial for maintaining water transparency—ICRR and the construction company (KUMAGAI GUMI CO., LTD.) jointly optimized welding materials and procedures. This collaboration is especially important given the larger tank size compared to Super-Kamiokande, which makes preserving water quality more challenging.

## XMASS/XENON:

**Low-Background Photomultiplier Tubes (PMTs):** Since XMASS's inception, ICRR has collaborated with Hamamatsu Photonics to develop PMTs suitable for low-background liquid xenon detectors. Because Hamamatsu lacked in-house facilities like low-background Ge detectors or ICPMS/GDMS, ICRR selected and provided low-radioactivity materials. The resulting R13111 PMT remains the world's lowest-background model. The relevant technologies have been adopted to PMTs used by XENON, LZ, and PANDA-X, demonstrating the broader impact of this collaboration.

**Xenon Gas Distillation:** Commercial xenon contains high levels of krypton, a radioactive isotope. A distillation technique developed at Kamioka Observatory with Taiyo Nippon Sanso Corporation in 2004 made low-krypton xenon viable for rare-event experiments. The prototype was transferred and used in KamLAND, and the company later provided advanced distillation towers for XENON1T/nT.

**High-Sensitivity UV Spectrometer:** To apply SK-Gd technology to XENON, ICRR worked with Shimadzu Corporation to enhance UV spectrophotometers for precise water transparency

measurements. ICRR achieved  $\pm 0.03\%$  uncertainty in 300 mm cells, allowing extrapolated absorption lengths over hundreds of meters—relevant for Super-Kamiokande and Hyper-Kamiokande. The R&D process also informed future equipment design through feedback on mechanical sensitivity.

## CTAO:

**Light Guides:** Tokai Optical developed light guides with a three-layer reflective coating (Al, SiO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) optimized for high UV reflectivity (320 nm) across a wide range of incident angles. Low-temperature deposition was used. They are also developing light guides for SiPMs that absorb red light while reflecting blue light. Kyoei Engineering manufactures ABS resin light guides via high-precision injection molding. Ultra-precision machining of metal molds ensures specular surfaces with uniformity and roughness below 5 nm.

**Mirrors:** Sanko Seikohjyo applied five-layer sputtered coatings (Cr, Al, SiO<sub>2</sub>, HfO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>) to mirrors designed for long-term outdoor use. These coatings achieve  $\sim 92\%$  reflectance at 400 nm and less than 1% annual degradation. The mirror's resolution is 0.5 mrad (80% light containment).

**Photodetectors (PMTs and SiPMs):** Hamamatsu Photonics developed R11920-100 PMTs for LST-1 and improved R12992-100 for LST-2–4. These feature a super-bialkali photocathode and higher quantum efficiency (40.8% to 42.0%), with a longer lifetime due to reduced dynode stages. For CTAO's SiPMs, Hamamatsu and ICRR jointly optimized devices for UV sensitivity and fast timing, achieving 3 ns pulse widths—beneficial for Cherenkov detection and PET imaging.

## KAGRA:

**Large-Size Monocrystal Sapphire Substrates:** KAGRA collaborated with GT Crystal Systems (USA), Shinkosha (Japan), and later AZTEC (Korea) to develop large sapphire substrates (220 × 150 mm) with low birefringence and optical absorption (<50 ppm/cm). Feedback from KAGRA's measurements helped refine these products, which have since contributed to advancements in the semiconductor industry.

**Low-Vibration Pulse-Tube Cryocooler:** A novel two-stage pulse-tube cryocooler, developed from KAGRA researchers' concepts and manufactured by TORISHA, led to a patented low-vibration design. It has been applied at AIST to improve cryogenic specific heat measurements.

**Squeezed Light & Low-Loss Mirrors:** Low-loss mirrors for frequency-dependent squeezing, developed at NAOJ and ICRR for KAGRA, also show potential for use in quantum communication. These mirrors, combined with stable Fabry–Perot cavity control, may enable ultra-high-power laser cavities relevant to laser fusion.

**Underground Excavation Technology:** During KAGRA's tunnel construction, Kajima Corporation set a national record of 359 m/month, advancing excavation techniques and contributing to Japan's tunneling capabilities.

## 12. Education and Outreach

The Committee was informed about the pathways through which university students may advance into graduate programs at the University of Tokyo and eventually pursue academic opportunities at ICRR on the Kashiwa campus. ICRR is engaged in a variety of outreach and educational activities aimed at sparking interest among undergraduate students and encouraging them to consider graduate study.

One particularly attractive initiative is the Spring School held on the Kashiwa campus, which introduces third-year undergraduate students from universities across Japan to the research

activities at ICRR. These students participate in hands-on research projects, lectures, and tutorials designed to foster interest in the field.

The Committee took note of the current number of graduate students enrolled in ICRR's Master's and PhD programs, especially in light of the challenges posed by the COVID-19 pandemic. It also recognizes the importance of supporting students in their career development after graduation.

Special events jointly organized by ICRR and the Kavli IPMU have been designed to encourage female students to pursue graduate studies in physics—an important effort given the low number of women in the field in Japan. These initiatives provide valuable platforms for outreach and engagement.

The Committee finds that efforts to recruit students into graduate programs are well considered, although the overall environment for student recruitment has become more challenging. Maintaining pre-COVID-19 levels of enrollment in the Master's and PhD programs remains an important goal, and ICRR appears well positioned to sustain both its graduate student intake and the completion rate of its advanced degree programs.

ICRR, in collaboration with the Kavli IPMU, hosts public lectures that are widely appreciated by the general public. In the wake of COVID-19, these events have been adapted to reach both on-site and online audiences.

One of the most significant outreach events is the Kashiwa Open Campus, which typically attracts several thousand visitors. After a hiatus due to the pandemic, the event was relaunched in 2023 and 2024 and received an enthusiastic response from attendees.

Outreach activities are also actively supported at ICRR's observation facilities, particularly at the Kamioka and KAGRA observatories. These efforts include coordination of press releases through the Public Relations Committee, guided tours, exhibitions, production of multimedia content, and the availability of outreach-related items for sale.

The Committee finds that ICRR's public outreach activities are well-conceived, engaging, and responsive to public interest in the work of a globally connected and prominent research institute.

## Appendix

### A1. ICRR's response to results of the previous review

- 1) “The Committee expects appropriate laboratory operation, such as utilizing the system to feed back the user's opinion in the future.”**

Director's Response:

The members of the “Board of Councilors”, which is positioned at the top of the organizational structure, are adjusted so that approximately half are from outside the University of Tokyo (UT). Furthermore, for key committees involved in the management of ICRR—namely, the Advisory Committee, the Inter-University Research Advisory Committee, and the Inter-University Research Program Selection Committee—there is a rule that the majority of committee members must not be selected from within UT. In this way, a system is maintained in which operations reflect the intentions of the research community.

- 2) “since these three major projects require large construction and operating costs, ICRR needs a large budget request directly to the government.”**

Director's Response:

There is a system called “preliminary budget request (概算要求)”, through which large-scale projects such as Super-Kamiokande, KAGRA, CTAO, and Hyper-Kamiokande have been able to secure research funding by negotiating directly with the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), with support from the research community and the Science Council of Japan. In these negotiations, ICRR also receive support from UT.

- 3) “some sites seem to continuously need to hold seminars that researchers from ICRR and other universities join. In addition, once or two times a year, ICRR needs an opportunity for a general discussion, and such a meeting should be recommended to include graduate students and young researchers.”**

Director's Response:

ICRR holds research seminars almost every month.

In addition, every February, we organize a research presentation meeting for master's and doctoral students. The ICRR Young Researchers' Workshop has been held annually in response to the request made by young researchers during the previous external review.

Furthermore, as part of our Inter-University Research Program, we provide financial and venue support for the research meetings of YMAP (Youth Meeting for AstroParticle), a community of young researchers in cosmic-ray physics, and for the Future Planning Town Meeting of CRC (Cosmic Ray Researchers Congress).

- 4) “For the participation of young researchers from overseas, postdoctoral recruitment from October should be taken into consideration.”**

Director's Response:

We do not specifically announce job openings for positions starting in October. However, even under the current open calls, the start date can be adjusted according to the selected candidate's preference, and the appointment can last for two or three years from that date. For example, more than half of the research fellows hired this fiscal year will start their appointments on October 1st.

- 5) “Some young researchers had the impression that formal procedures have not been correctly announced regarding the acceptance of students from other universities. The Committee thinks that it is good to have an announcement of appropriate graduate student acceptance.”**

Director's Response:

When it comes to accepting graduate students, there are two possible cases.

- 1) One is when a student passes the entrance examination and enrolls in the graduate school of UT.
- 2) The other is when a student remains affiliated with another university but is entrusted to the ICRR for education and research.

Regarding 1), we hold "Spring School" in March, and an institute information session in June (Entrance Exam is in September).

Regarding 2), we do not widely publicize it. I believe this is partly due to concerns previously raised within the research community that ICRR was attracting an excessive number of students and young researchers by making use of its excellent facilities, abundant human and material resources, and substantial funding.

**6) "The number of female researchers in ICRR is still small. The Committee thinks that the ICRR should elevate its research institute in this regard and announce its stance on tackling the gender issue."**

Director's Response:

Currently, three female assistant professors are working at ICRR.

In the academic hiring process, I request the selection committee to observe the following:

- As a target goal, efforts should be made to include at least one female candidate among those selected for interviews. If this is not possible, the reason must be explained and approved at the faculty council.
- If the final candidates are of equal ability, preference should be given to hiring a female candidate.

In JFY2024, we newly appointed two female assistant professors. In addition, for the first time as ICRR, we conducted a special open call for a project assistant professor position limited to female applicants (unfortunately, there were no applicants).

This fiscal year, we plan to conduct at least two open calls limited to female candidates.

**7) "In particular, in order to smoothly promote international cooperation such as Hyper-K and KAGRA, the Committee thinks that it is indispensable to acquire staff who can communicate in English and can also develop and operate creative technologies. In order to do this, the Committee thinks that it is important to set up a post that allows a high level of salary for technical staff."**

Director's Response:

We employ individuals with excellent foreign language communication skills, as well as advanced technical expertise and extensive experience necessary for research and development, as two Project Senior Specialists (特任専門員), seven Project Specialists (特任専門職員) and 14 Project Academic Specialists (学術専門職員).

**8) "The Committee recommends the ICRR leadership together with MEXT and the Japanese CTAO consortium to find a framework or an administrative structure to facilitate participation of university-based scientists and graduate students in long-life international collaborations like CTAO. Such structures exist in Europe (MPI, CNRS, INFN, etc.) located on or near university campuses. US universities have created research professorships and mechanism to minimize teaching duty of faculty members for a limited period. (It was in the CTAO part)"**

**Director's Response:**

As an International Joint Usage/Research Center, ICRR has supported researchers and graduate students from various universities in participating in and conducting research within large-scale international projects such as CTAO. MEXT is currently formulating new policies to enhance the functions of Joint Usage/Research Centers as part of the upcoming 7th Basic Plan for Science, Technology and Innovation starting in FY2026, with the aim of strengthening the research capabilities of scientists across Japan. Since the beginning of this year, ICRR has been actively engaged in this process, including submitting proposals to contribute to policy planning.



## 東京大学宇宙線研究所国際外部評価報告書（2025 年度実施）の刊行にあたって

東京大学宇宙線研究所は、2025 年 5 月 14 日から 16 日にかけての 3 日間、国内外の研究所外有識者 9 名からなる「外部評価委員会（External Review Committee, ERC）」による国際外部評価（ER2025）を、東京大学柏キャンパス宇宙線研究所にて実施しました。このたび、その評価結果が取りまとめられましたのでご報告いたします。

ER2025 では、2018 年 4 月から 2024 年 3 月までの活動を対象として、以下の 4 点を主な審査目的に掲げました。

- (1) 研究所の科学活動が国際的な科学基準を満たし、学術コミュニティに十分な影響を与えるかどうかを審査すること。
- (2) 個々の研究活動の科学的価値を評価し、今後の支援に関する提言を行うこと。
- (3) 研究代表者の技術的専門性および研究開発実験・プロジェクトの実現可能性を評価すること。
- (4) 研究所の方針と、その科学コミュニティにおける役割を評価すること。

審査は、研究所が事前に作成した自己評価書および評価期間中の発表・質疑に基づいて行われ、本報告書には各観点に対する ERC の見解と提言がまとめられています。

宇宙線研究所は、ERC からいただいた貴重なご指摘を真摯に受け止め、過去 6 年間の活動を総括するとともに、今後の研究・教育・運営に生かし、引き続き宇宙線物理学の発展と大学・学術コミュニティ・社会への貢献に努めてまいります。

2025 年 10 月  
東京大学宇宙線研究所長  
荻尾 彰一

## 2025 年度東京大学宇宙線研究所国際外部評価委員会委員

### 常田 佐久（委員長）



千葉工業大学天文学研究センター所長。1983 年に東京大学大学院理学系研究科で天文学の博士号を取得。太陽観測衛星「ようこう」および「ひので」の開発に中心的な役割を果たした。2010 年に林忠四郎賞、2019 年に日本学士院賞を受賞。英国王立天文学会およびユニバーシティ・カレッジ・ロンドンの名誉フェロー。2024 年 4 月より現職。国立天文台先端技術センター所長、JAXA 宇宙科学研究所所長、国立天文台台長を歴任。現在、内閣府宇宙政策委員会委員長代理、岐阜かかみがはら航空宇宙博物館館長も務める。

### 井上 邦雄



東北大学ニュートリノ科学研究センター (RCNS) 長。ニュートリノ振動、ニュートリノレス二重ベータ崩壊、ニュートリノ地球物理学、低エネルギーニュートリノ天文学など、実験的ニュートリノ研究の専門家。東京大学宇宙線研究所を経て、1998 年に東北大学 RCNS 助教授、2004 年に教授に就任。KamLAND 実験の代表者であり、2006 年からセンター長を務める。

### Kumiko Kotera



パリ天体物理学研究所 (IAP) 所長、フランス国立科学研究中心 (CNRS) およびソルボンヌ大学の研究ディレクター。理論・実験的宇宙素粒子および高エネルギーマルチメッセンジャー天文学の専門家。10 年前に共同設立したニュートリノ検出のための巨大電波アレイ実験 (GRAND) の代表を務める。

## Tony Noble



1990 年にブリティッシュコロンビア大学で素粒子物理学の博士号を取得。その後、チューリッヒ大学のポスドクとして CERN で研究。現在はクイーンズ大学教授として、SNOLAB での活動を中心に世界的な天体素粒子物理学研究チームを構築。サドベリー・ニュートリノ観測所 (SNO) の実験終了後は、超加熱液体を用いた PICO 実験など、暗黒物質検出に注力。これらの実験は、宇宙の物質構成を支配しているように見えるが、地球上では直接観測されたことのない謎の暗黒物質を検出することを目的としている。TRIUMF、ブルックヘブン、CERN でも加速器実験に従事。2016 年以降、マクドナルド研究所の科学ディレクターとして、カナダ全土の大学や研究機関と連携しながら、宇宙素粒子物理学分野の推進と発展に取り組んでいる。

## Olaf Reimer



オーストリアのインスブルック大学実験物理学教授。宇宙線物理学と高エネルギー天体物理学、およびそれらの融合分野に関する専門家。マックス・プランク地球外物理学研究所、NASA ゴダード宇宙飛行センター、ルール大学ボーフム、スタンフォード大学などを経て、2009 年にインスブルック大学宇宙・素粒子物理学研究所教授に就任。2012 年から 2021 年まで同研究所の所長。高エネルギーガンマ線望遠鏡 H.E.S.S. のチームでは、8 年間コラボレーションボードの代表を務めるなど、宇宙・地上ガンマ線天文学の 3 つの主要な国際共同研究に参加。

## David Reitze



LIGO 研究所のエグゼクティブディレクター、カリフォルニア工科大学 (Caltech) 教授。ワシントン州ハンフォードとルイジアナ州リビング斯顿の LIGO 望遠鏡、Caltech および MIT のキャンパス内の LIGO 研究施設を統括。重力波検出器の装置開発が研究の中心。以前はフロリダ大学物理学教授 (2003 ~ 2021)。米国科学アカデミー物理学・天文学委員会副委員長、全米天文学大学連合 (AURA) の理事も務める。

## 櫻井 敬久



山形大学名誉教授・客員教授。宇宙線によって生成される宇宙線生成核種の専門家。山形大学理学部で助手、助教授を経て教授に就任。理学部長、大学院理工学研究科副研究科長を歴任。東京大学宇宙線研究所の微弱放射能測定施設における共同利用・共同研究を推進する客員教授も務めた。NRC-NASA/MSFC のシニア研究員として X 線天文学観測装置の研究にも従事。

## 鳥居 祥二



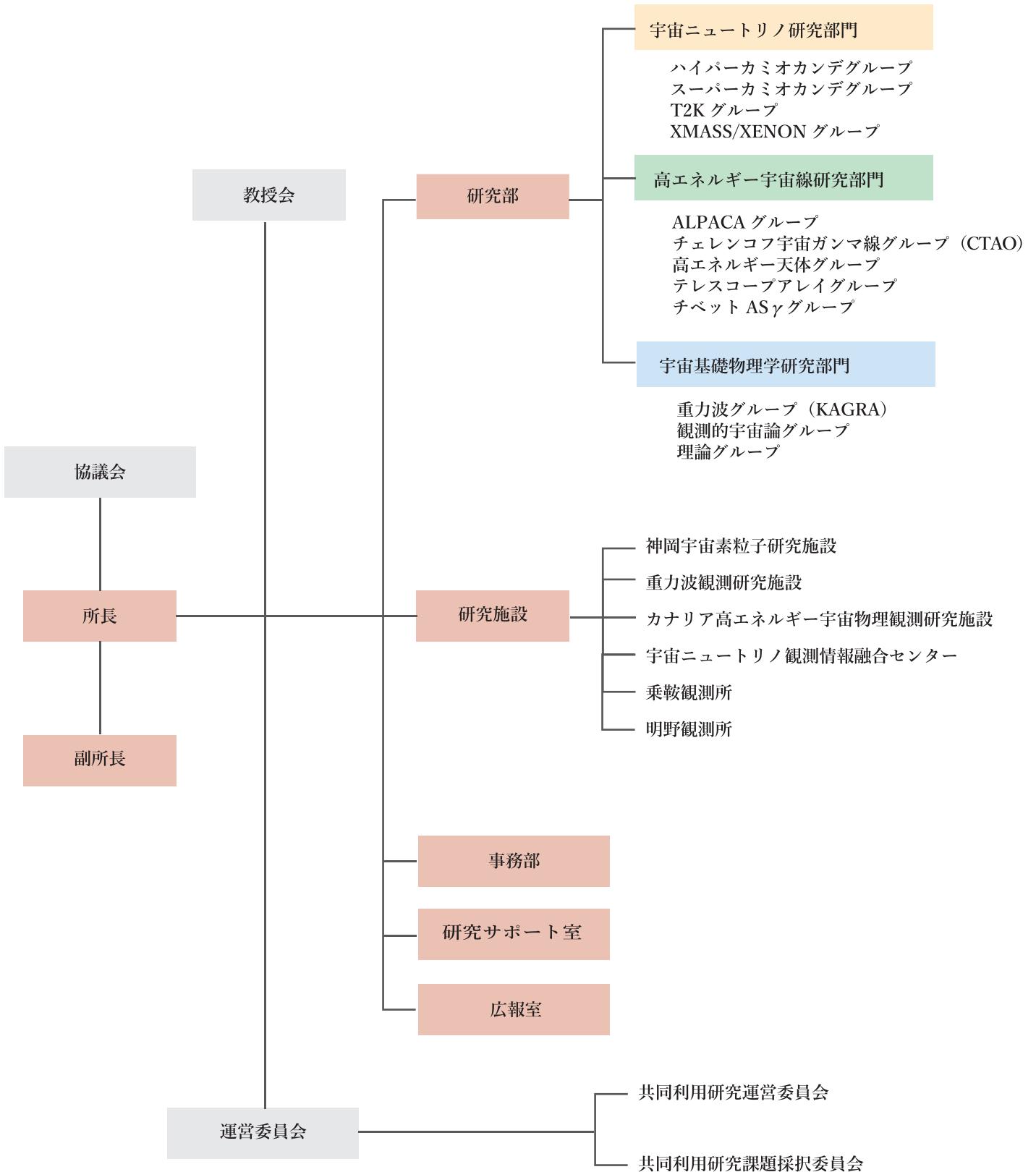
早稲田大学理工学術院名誉教授、招聘研究教授。宇宙線物理学の専門家であり、国際宇宙ステーションの日本実験棟にて 2015 年 8 月から高エネルギー宇宙線・ガンマ線の観測を行っているカロリメータ型宇宙電子望遠鏡 (CALET) プロジェクトの主任研究者。チベット AS  $\gamma$  プロジェクトや CERN の LHCf 実験の立ち上げにも貢献し、現在も関与。

## 山口 昌英



韓国基礎科学研究院の宇宙論・重力・宇宙素粒子グループを含む理論物理学センター長。専門は宇宙論、重力、素粒子物理学の融合的な理論研究。東京大学およびブラウン大学でのポスドクを経て、2004 年に青山学院大学准教授、2010 年に東京工業大学に移り、2015 年に教授に昇任。2023 年 3 月より現職。

ICRR 組織図



## 2025 年度東京大学宇宙線研究所国際外部評価 当日のスケジュール

1 日目：2025 年 5 月 14 日 (水)

開始	終了		発表者
09:30	10:00	国際外部評価委員会の非公開セッション	
10:00	10:30	ICRR 紹介	荻尾 彰一
10:30	10:50	宇宙線研究者会議 (CRC) による宇宙素粒子物理学に関する日本の戦略	日比野 欣也 (CRC 実行委員長)
10:50	11:20	スーパーカミオカンデ	関谷 洋之
11:20	11:50	T2K	早戸 良成
11:50	13:00	昼食	
13:00	13:40	ハイパーカミオカンデ	塩澤 真人
13:40	14:00	XMASS/XENON	森山 茂栄
14:00	14:40	KAGRA	三代木 伸二
14:40	15:10	観測的宇宙論	大内 正己
15:10	15:40	休憩	
15:40	16:10	理論	川崎 雅裕
16:10	16:45	チェレンコフ・テレスコープ・アレイ天文台 (CTAO)	窪 秀利
16:45	17:15	テレスコープアレイ	塔 隆志
17:15	18:20	国際外部評価委員会の非公開セッション	
18:30	20:30	会食 (国際外部評価委員と ICRR 教授会構成員)	

2 日目：2025 年 5 月 15 日（木）

09:30	09:45	チベット AS $\gamma$	川田 和正
09:45	10:00	ALPACA	塔 隆志
10:00	10:30	高エネルギー天体	浅野 勝晃
10:30	10:45	ICRR 将来計画検討委員会	伊部 昌宏
10:45	12:00	質疑応答（ICRR 所長）	
12:00	13:00	昼食（国際外部評価委員と若手研究者）	
13:00	14:00	国際外部評価委員による若手研究者へのインタビュー	
14:00	17:00	質疑応答（プロジェクト / グループのリーダー）	
17:00	18:00	国際外部評価委員会の非公開セッション	
18:30	21:00	会食（国際外部評価委員と ICRR 拡大主任会構成員）	

3 日目：2025 年 5 月 16 日（金）

09:30	11:00	国際外部評価委員会の非公開セッション
11:00	12:00	国際外部評価委員会による中間報告
12:00	13:00	昼食
13:00	14:30	国際外部評価委員会の非公開セッション



宇宙線研究所大セミナー室での国際外部評価の様子（上段・中段）、  
若手研究者へのインタビュー（下段）

東京大学宇宙線研究所

国際外部評価 2025 (ER2025)  
最終報告書

国際外部評価委員会 (ERC) 提出

井上邦雄、クミコ・コテラ、トニー・ノーブル、  
オラフ・ライマー、デイビッド・ライツ、櫻井敬久、  
鳥居祥二、常田佐久（委員長）、山口昌英

2025 年 10 月 30 日

本文書は、2025 年度実施の東京大学宇宙線研究所国際外部評価の最終報告書  
「ICRR External Review 2025 (ER2025) Final Report」（英語版）本文の和訳  
である。英語版原文の参考資料として、宇宙線研究所の責任において作成さ  
れ、外部評価委員会委員長の了解を得て公表するものである。訳文において  
不明確な点は原本を参照されたい。

## 目次

I. 報告概要 .....	61
II. 概要とハイライト .....	62
はじめに	
総合提言の概要	
科学活動と成果	
国内外の研究拠点としての役割	
組織運営と将来戦略	
前回の外部評価と残された課題への対応	
結び	
謝辞	
III. プロジェクト / グループ	
宇宙ニュートリノ研究部門.....	67
スーパーカミオカンデ	
T2K	
ハイパーカミオカンデ	
XMASS/XENON	
高エネルギー宇宙線研究部門 .....	72
チェレンコフ・テレスコープ・アレイ天文台 (CTAO)	
テレスコープアレイ	
チベット AS $\gamma$	
ALPACA	
高エネルギー天体	
宇宙基礎物理学研究部門 .....	77
KAGRA	
観測的宇宙論	
理論	
IV. ICRR の運営 .....	83
共同利用・共同研究プログラム	
国際共同研究	
マルチメッセンジャー天文学	
将来計画検討委員会と研究コミュニティとの関係	
大規模プロジェクトにおけるシステムズエンジニアリング	
予算	
人材	
共同利用施設の維持管理	
大学院生および若手研究者	
ダイバーシティ（多様性）	
産業界との連携	
教育およびアウトリーチ	

付録 ..... 97

前回の外部評価結果に対する ICRR の対応

## I. 報告概要

---

本報告書は、東京大学宇宙線研究所（ICRR）に対して実施された国際外部評価の結果をまとめたものであり、評価対象期間は 2018 年 4 月から 2024 年 3 月までである。委員会は、2025 年 5 月に行われた現地訪問、提出資料、ならびにプレゼンテーションに基づき、ICRR の科学的成果、技術的競争力、個別研究プログラム、ならびに研究機関としての役割について評価を行った。

委員会は、ICRR が宇宙ニュートリノ研究部門、高エネルギー宇宙線研究部門、宇宙基礎物理学研究部門の 3 部門において、スーパーカミオカンデ、ハイパーカミオカンデ、KAGRA などの主要プロジェクト、さらに CTAO、テレスコープアレイ、チベット AS  $\gamma$ 、ALPACA、XMASS、XENON といった国際共同研究への参画を通じ、引き続き卓越した科学的成果を挙げていることを確認した。また、観測的宇宙論、理論、高エネルギー天体物理学の各研究グループの優れた成果は、ICRR の学際的な強みと国際的な存在感をさらに際立たせている。

人員や予算が限られているにもかかわらず、ICRR は世界水準の研究活動を維持し、主要な研究インフラを整備し、マルチメッセンジャー天文学の国際的な拠点としての地位を確立している。委員会は、ハイパーカミオカンデおよび KAGRA に関する長期的な資金戦略の必要性を強調するとともに、スーパーカミオカンデおよび神岡の共同利用施設の将来について戦略的な議論を進めるよう提言する。

ICRR の運営モデルは効果的に機能しているが、今後の責任拡大に伴い、調整が必要となる可能性がある。また、ICRR は STEM 分野における長年の課題であるジェンダー多様性の改善に向けて、取り組みを強化する姿勢を示している。委員会は、ICRR の国際的リーダーシップ、研究成果、組織の開かれた姿勢を高く評価し、ICRR が今後も世界の科学に貢献し続けるために、東京大学および文部科学省による継続的な支援を推奨する。

## II. 概要とハイライト

### はじめに

本国際外部評価報告書（以下「本報告書」）は、2025年5月に東京大学宇宙線研究所（ICRR）にて国際外部評価委員会（以下「委員会」）によって実施された評価の結果をまとめたものである。

本報告書は、2018年4月から2024年3月までの6年間にわたるICRRの活動を対象としている。評価は、“Scientific Activities: Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo – Report to the Review Committee”に記載された以下の4つの評価項目に基づいて行われた：

1. 研究所の科学活動が国際的な科学基準を満たし、学術コミュニティに十分な影響を与えていたかどうかを審査すること。
2. 個々の研究活動の科学的価値を評価し、今後の支援に関する提言を行うこと。
3. 研究代表者の技術的専門性および研究開発実験・プロジェクトの実現可能性を評価すること。
4. 研究所の方針と、その科学コミュニティにおける役割を評価すること。

この評価のために、事前に提出された資料に加え、委員会による3日間の現地訪問中に行われたプレゼンテーションおよび議論を通じて、ICRRに関する詳細な情報が提供された。

### 総合提言の概要

委員会による総合提言は以下の通りである：

1. ハイパーカミオカンデの安定運用開始後のスーパーカミオカンデの将来および神岡宇宙素粒子研究施設の位置づけについて、ICRRが速やかに議論を開始することを強く推奨する。これらの議論には、スーパーカミオカンデ共同研究グループおよび広範な研究コミュニティの視点を十分に取り入れるべきである。同時に、神岡地下観測施設における共同利用研究施設の維持・運用にも十分な配慮が必要である。
2. 委員会は、同規模・同分野の国際的な施設と比較して、ICRRが限られた人員と予算の中で顕著な科学的成果を挙げていると評価する。したがって、東京大学および文部科学省に対し、ハイパーカミオカンデの今後の安定運用フェーズに向けて、十分な運営資金が確保されるよう強く要請する。

さらに、KAGRAの維持、アップグレード、感度向上のための資金確保も重要であり、将来的な国際共同観測において欧米の望遠鏡と同等の性能を達成するための支援が求められる。

より広い視点では、観測インフラの安定的かつ長期的な運用が宇宙線研究に不可欠であることを政府関係機関が認識し、ICRRの貴重な共同利用施設の維持と老朽化対策に対して、長期的な視野に立った継続的支援を行うよう求める。

## 科学活動と成果

本章では、ICRR が実施している各プロジェクトについて、全体的な評価、強みと課題、具体的な勧告の 3 つの観点から委員会の評価を示す。これは、評価基準の第 1 ~ 第 3 項目に対応している。

ICRR は、宇宙ニュートリノ研究部門、高エネルギー宇宙線研究部門、宇宙基礎物理学研究部門の 3 つの主要部門で構成されている（組織図については付録を参照）。国内では、神岡宇宙素粒子研究施設、重力波観測研究施設、乗鞍観測所、明野観測所の 4 つの観測所と、宇宙ニュートリノ観測情報融合センターを運営している。海外では、スペインのラパルマ島でカナリア高エネルギー宇宙物理観測研究施設を運営している他、米国ユタ州、中国チベットの羊八井（ヤンバーチン）、ボリビアのチャカルタヤ山にも実験施設を有している。

宇宙ニュートリノ研究部門において、スーパーカミオカンデ（Super-K）は、国際的に高く評価されている共同研究実験であり、幅広く重要な成果をあげてきた。近年、検出器へのガドリニウム（Gd）導入（SK-Gd プロジェクト）に成功し、反電子ニュートリノ相互作用に対する感度を大きく向上させた。これにより、宇宙全体にわたる超新星ニュートリノ背景放射（DSNB）の探索において決定的に重要な進展が得られている。

東京大学と高エネルギー加速器研究機構（KEK）が共同で主宰するハイパーカミオカンデ（Hyper-K）は現在建設中であり、ICRR プログラムの最重要プロジェクトである。ハイパーカミオカンデは、感度の面で既存の検出器を凌駕し、世界中のどの実験とも比較にならない性能を持つ。J-PARC 加速器で生成されたニュートリノビームは、ニュートリノ振動の性質をより深く理解するために使用され、これはスーパーカミオカンデ（T2K コラボレーションを通じて）およびハイパーカミオカンデの両方に貢献する。稼働が始まると、ハイパーカミオカンデは、CP 対称性の破れや質量順序といったニュートリノ物理学の重要な課題に取り組む上で重要な役割を果たす。また、太陽ニュートリノ、大気ニュートリノ、超新星ニュートリノの検出や、陽子崩壊の探索にも貢献する。

XMASS コラボレーションは、液体キセノンシンチレーション検出器を基礎技術として、広い質量範囲に対する暗黒物質の直接探索を行った。実験をスケールアップする計画は、主に予算上の制約により実現されなかつたが、データ収集は 2019 年まで継続された。特に、2023 年まで価値ある解析が実施され、コラボレーションの正式な終了に至った。XMASS は科学的・組織的な成功を収め、高度な技術を持つ研究者を育成するとともに、検出器と解析技術の進展をもたらした。XMASS の終了後、チームの一部は XENON1T 実験（二相型液体キセノン TPC）に参加し、XENONnT プロジェクトの成功に重要な貢献をしている。

高エネルギー宇宙線研究部門において、低エネルギー閾値を持つ世界最高感度の解像型大気チレンコフ望遠鏡アレイである、チレンコフ・テレスコープ・アレイ天文台（CTAO）の 4 基の大口径望遠鏡（LST）の建設と試運転が、今後 3 年以内に完了する予定である。これらが正式に CTAO に引き渡されるまでの間、LST チームは GeV 領域から TeV 領域の低エネルギー側にかけて高感度での望遠鏡観測を実施できるという特別な機会を有しており、Fermi-LAT のような人工衛星搭載望遠鏡による観測を補完するものである。さらに、ICRR は、CTAO 南半球サイトにおける 2 基の追加 LST（LST-7 と LST-8）の建設に参画する計画を持ち、高エネルギーガンマ線天文学への取り組みを強化する。

テレスコープアレイ (TA) は、北半球における最大の極高エネルギー宇宙線 (UHECR) 観測施設として、UHECR の起源と性質の解明に取り組み続けている。TA 実験は、継続的な観測運用と次段階建設の立ち上げを通じて、顕著な科学的・技術的成果を挙げてきた。ピエール・オージェ観測所との進行中の協力や、 $2.44 \times 10^{20}$  eV というエネルギーを持つ宇宙線「アマテラス粒子」の画期的な検出は、TA プロジェクトの継続的な推進力と科学的インパクトを示すものである。

チベット AS $\gamma$ 実験は、TeV ~ PeV 領域のガンマ線天文学と宇宙線物理学を主目的とする、高地に設置された空気シャワーアレイである。現在、最終形の検出器配置により、科学データの収集のために稼働を継続している。北半球においては、中国によって、さらに高感度の超高エネルギー (UHE) ガンマ線観測所が稼働を開始している。一方で、南半球において日本グループは、ALPACA 実験空気シャワーアレイの建設へ徐々に移行しつつある。

ALPACA 実験はチベット AS $\gamma$ 実験を基にデザインされた実験で、ボリビア・ラパス近郊の高地で宇宙線とサブ PeV ガンマ線観測の確立を目指している。ALPACA は南半球における超高エネルギーガンマ線天文学の先陣を切るとともに、宇宙線・太陽物理でも独自の成果が期待される。小型実証機である ALPAQUITA がすでに運転を始めており、期待通りの性能を示している。

高エネルギー天体グループは、非熱的現象の研究とマルチメッセンジャー天文学の進歩に幅広く多大な貢献をしてきた。メンバーは、ICRR 以外を含む主要な観測プロジェクトとの活発な共同研究を維持し、分野横断的、マルチメッセンジャー的アプローチを推進する上で中心的な役割を果たしている。このグループは、既存のマルチメッセンジャー天文学のつながりを強化し、また新たなマルチメッセンジャー天文学のつながりを開拓する上で、中心的な推進力としての役割を果たすことができ、それによってマルチメッセンジャー天体物理学の重要な国際的ハブとしての ICRR の新たな役割を強化している。

宇宙基礎物理学研究部門において、KAGRA は地下に建設された基線長 3 キロメートルのレーザー干渉計型重力波望遠鏡であり、低温に冷却された鏡を利用するという先端技術が投入されている。KAGRA は、米国の LIGO 重力波望遠鏡やヨーロッパの Virgo 重力波望遠鏡と緊密に協力し、重力波望遠鏡の国際ネットワークの一員として活動している。KAGRA は、2025 年 6 月に O4c 観測運転に参加し、現在は 6 ~ 7.2 メガパーセク (Mpc) の範囲で発生した連星中性子星 (BNS) の合体からの重力波を観測できる性能で稼働しており、O4 観測運転終了までに 10 Mpc を達成することを目標としている。

観測的宇宙論グループは、宇宙の起源と進化に関する研究を、極めて活発かつ生産的に推進しており、国際的に高く評価されている。このグループは、すばる望遠鏡、ALMA、JWST などの観測施設から得られる豊富なデータを駆使して、宇宙の構造形成や銀河形成、宇宙再電離、さらにはビッグバン元素合成といった宇宙の主要テーマに取り組んでいる。特筆すべき点として、理論グループとの緊密な協力のもとで、宇宙初期のヘリウム 4 存在比の測定に大きく貢献しており、天文学と素粒子物理学の学際的な連携を一層強化している。

理論グループは、ヒッグス物理学、コライダー現象論、大統一理論、ダークマター、アクション模型およびアクション宇宙論、インフレーション模型、バリオジエネシス、ビッグバン元素合成、さら

には原始ブラックホール（PBH）形成など、基礎的課題の幅広い分野にわたり非常に活発に研究を開いている。国際的にも世界をリードする研究チームとして高く評価されており、常に独創的かつ影響力の大きい研究成果を発表し、理論物理学の最前線を切り拓いている。

## 国内外の研究拠点としての役割

2018 年、ICRR は文部科学省より「国際共同利用・共同研究拠点」として正式に認定された。それ以来、神岡宇宙素粒子研究施設および重力波観測研究施設、さらには海外の実験施設を中心に、この枠組みを活用して大規模な国際共同研究を積極的に推進してきた。

神岡宇宙素粒子研究施設は外部機関による共同利用のための地下研究インフラを提供することで、重要な役割を果たしており、大規模実験だけでなく小規模な研究にも貢献している。スーパーカミオカンデと連携して、外部の研究グループによる複数の小規模プロジェクトが神岡地下施設で実施されており、極低放射能宇宙素粒子物理学の分野において顕著な成果を挙げている。

限られた予算にもかかわらず、ICRR は 3 部門にわたって世界水準の研究施設と研究プロジェクトを多様かつ意欲的に運営しており、ハイパー・カミオカンデのような国内の大型インフラの建設を主導する一方で、CTAO などの国際プロジェクトにも中核パートナーとして参画している。

これらの国内外の施設の運営の成功は、世界中の大学や研究機関との強力な連携によって実現されており、限られた人的・財政的リソースの中で卓越した科学的成果を維持していることは、非常に称賛に値する。

ICRR は、高エネルギー天体物理学、理論、観測的宇宙論など諸グループの活発な研究活動に支えられ、急速に発展するマルチメッセンジャー天文学の分野において極めて有利な立場にある。観測、実験、現象論、理論研究を一つの組織内で統合している点で、世界でも数少ない宇宙素粒子物理学の研究機関として際立っており、今後、国際的なマルチメッセンジャー天文学コミュニティの中心的存在として、ますます重要な役割を担うことが期待される。多様な観測手法を横断する既存および新たな連携を育むことで、この急速に進展する分野を牽引する主要拠点となる可能性を有する。

## 組織運営と将来戦略

ICRR のこれまでの成功は、宇宙線研究者会議（CRC）に代表される、広範な科学コミュニティとの生産的な関係と密接に結びついた、効果的な自主運営によるものである。世界水準の研究成果を継続的に生み出すためには、健全かつ効果的な組織運営が極めて重要である。

しかしながら、研究所の活動領域が拡大し、より大規模な装置の開発・建設が進む中で、これまで有効だった運営モデルが今後も最適であるとは限らない。今後数年間に予想されるリソースの制約を踏まえると、万能な解決策や明確な提言が存在しない可能性もある。

委員会は、以下の重要項目に沿って ICRR の全体的な運営について評価した。

「共同利用・共同研究プログラム」、「国際共同研究」、「マルチメッセンジャー天文学」、「将来計画検討委員会と研究コミュニティとの関係」、「大規模プロジェクトにおけるシステムズエンジニアリング」、「予算」、「人材」、「共同利用施設の維持管理」、「大学院生および若手研究者」、「ダイバーシティ（多様性）」、「産業界との連携」および「教育およびアウトリーチ」。

これらの項目は、評価基準の第4項目「研究所の方針および科学コミュニティにおける役割の評価」に対応している。ここでは、ICRR の現在の組織運営の状況と将来の方向性について、複数の提言、所見、助言を交えて概観する。本章では、委員会の率直な印象や見解を平易で親しみやすい語り口で生き生きと伝え、ICRR 内部および広範な研究コミュニティにおける議論を活性化することを目的としている。

### 前回の外部評価および残された課題への対応

後続の章では、前回の国際外部評価で示された提言に対する ICRR の対応を概説する。委員会は、ICRR が前回の評価における懸念事項に適切に対処していると判断し、所長の回答は満足のいくものであると評価する。ジェンダーバランスの改善など、長期的な取り組みが必要な課題についても、本報告書では多様な観点から議論されている。最終章では、ICRR の若手研究者との対話に基づく委員会の所見を示し、付録では委員会による 3 日間の現地訪問の概要をまとめている。

### 結び

最後に重要な点として、東京大学宇宙線研究所（ICRR）は、複数の注目度の高いプロジェクトにおいて顕著な科学的成果を挙げ、比較的小規模なチームで構成されていながら、非常に効率的な運営を実現してきた。委員会は、献身的な努力と高い士気を維持してきた ICRR の全構成員、そして長年にわたり研究所と協力してきた広範な研究コミュニティに対して、深く称賛の意を表する。

本報告書が、ICRR コミュニティ全体のみならず、研究所を賢明に支援してこられた政策立案者や政府関係者にとっても有益なものとなり、今後の科学的卓越性の維持に寄与することを願って、ここに謹んで提出する。

### 謝辞

委員会は、本報告書の作成にあたり、ICRR の所長、研究者、若手科学者の皆様から賜った多大かつ丁寧なご支援に深く感謝の意を表する。特に、明快で充実したインタビュー、包括的な資料・文書、的確に準備されたプレゼンテーション、そして追加の質問に対する丁寧な対応を高く評価する。ICRR は、評価の全過程において、極めて開かれた姿勢と迅速な対応を示し、あわせて研究所による多大な実務的支援にも心より感謝申し上げる。

### III. プロジェクト / グループ

#### 1. 宇宙ニュートリノ研究部門

##### 1-1) スーパーカミオカンデ

###### 総合評価

スーパーカミオカンデ (Super-K) は、太陽ニュートリノ、大気ニュートリノ、大統一理論と陽子崩壊、超新星ニュートリノを含む非常に幅広い研究プログラムを有し、世界的に高く評価をうけている国際共同研究である。1996 年に稼働を開始して以来、数々の成果を挙げ、2015 年には「ニュートリノが質量をもつことを示すニュートリノ振動の発見」によりノーベル物理学賞が授与された。

また、Super-K は、J-PARC 陽子加速器からのオフアクシスのニュートリノビームを観測する長基線ニュートリノ振動実験における 295 km 離れた後置検出器としても用いられており、280 m 地点の前置検出器群による特性把握を含め、T2K コラボレーションの枠組みでも運用されている。

現在、Super-K の共同研究体制は 11 か国 55 機関、計 240 名の研究者から構成されている。東京大学宇宙線研究所 (ICRR) がホスト機関であり、2025 年 5 月時点では 36 名のメンバーが所属している。

近年、Super-K は検出器にガドリニウム (Gd) を導入し、中性子検出効率を飛躍的に高め、反電子ニュートリノ相互作用に対する感度を大幅に向上させた。これは特に超新星背景ニュートリノ (DSNB) の探索において重要であり、Super-K コラボレーションの主要な研究目標となっている。

###### 強み

今回の評価対象期間中、Super-K は主に以下の二つの観点で科学的進展を遂げた：

- **ガドリニウム導入**

タンク漏水修復の成功を確認した後、Gd を導入した新しい運転フェーズが開始された。これにより Gd の中性子捕獲に伴う 8 MeV のガンマ線を観測することで逆ベータ崩壊が同定可能となり、DSNB 探索や超新星バーストのモニタリングの性能が大幅に強化された。

- **継続的改良**

29 年間にわたる継続運転により、多くの物理測定精度を段階的に向上させてきた。主な成果は以下のとおりである：

- 陽子崩壊寿命の測定（ある崩壊モードでは  $10^{34}$  年規模）
- 太陽ニュートリノフラックス誤差の低減 ( $2.2\% \rightarrow 1.4\%$ )、 $\theta_{12}$  および  $\Delta m_{21}^2$  の決定精度向上 (KamLAND の結果との不一致の緩和)
- 92.3% の信頼度で質量逆階層を棄却
- 超新星位置決定精度の向上 ( $3.7^\circ$ )
- $\tau$  ニュートリノ出現の  $4.8\sigma$  での観測
- CP 位相  $\delta \approx -\pi/2$  を支持
- 有意度  $3.2\sigma$  での昼夜非対称性
- 17 MeV 以上の DSNB に関する世界最高感度の上限値設定

###### 課題

Super-K は依然として低エネルギー領域で極めて価値の高い検出器であり、Gd 導入によってさらに性

能が向上した。しかしながら、研究コミュニティが自然に Hyper-K へ移行する中で、人員や資金は段階的に Super-K から Hyper-K へと再配分されていくことになる。このため、Super-K が今後のプログラムを完遂するために必要なリソース（人材・資金）を確保することは大きな課題である。

### 勧告

委員会は Hyper-K がもたらす大きな機会を認めつつも、Super-K から得られる重要な物理的成果が依然として存在することを強調する。また、Super-K のインフラは将来的にも有用な資源となりうる。以上を踏まえ、委員会は以下を勧告する：

- Super-K の空洞は世界的に見ても稀有なリソースであり、日本および国際共同体にとって価値ある拠点である。Super-K プログラム終了後も、宇宙素粒子物理学コミュニティにとって重要な将来資源として維持されるべきである。そして既に新たな物理プログラムの検討も始まっている。
- Super-K 以外にも神岡地下施設における研究コミュニティは活発に活動しており、Super-K の運転に関する判断は、神岡地下施設全体の持続的サポートの必要性と切り離して考えるべきである。低宇宙線環境や低バックグラウンド測定設備は多くのプロジェクトに不可欠である。
- Hyper-K は最優先の事業であることは明白だが、Super-K コラボレーションには現在進行中の重要な研究課題がある。その成果を最大限に引き出すため、Hyper-K 立ち上げ後も Super-K の延長運転が必要とされるだろう。最適な運転期間を決めるため、Super-K と Hyper-K の間で詳細な議論を行い、その後 CRC や FPC を交えた計画策定を進めるべきである。この議論は、太陽ニュートリノ、DSNB 測定、超新星爆発モニタリングといった物理的成果の最適化に資するものであり、迅速に進める必要がある。もし Super-K 継続運転がコミュニティの優先事項と認められるならば、責任を担う適切な組織を設立し、必要なリソースを確保することが求められる。

## 1-2) T2K

### 総合評価

T2K は 2025 年 7 月現在で 15 カ国 75 機関から 560 人が参加する国際共同実験である。T2K では、J-PARC からのニュートリノビームの強度、方向、原子核との反応率など実験に欠かすことのできない情報を理解しつつ、後置検出器である Super-K でニュートリノ振動を測定する。J-PARC のニュートリノビームは 295 km 先の Super-K から少しだけずらした方向に打ち出される。ICRR が Super-K の運転に責任を持つ一方、J-PARC が加速器の運転に責任を持つ。T2K は ICRR と J-PARC/KEK という二つの大きく異なった研究機関の合同プロジェクトの良い成功例と言える。

ニュートリノセクターにおける CP の破れの位相の理解は、宇宙から反物質がほぼ失われ、物質で満たされている理由の解明につながる可能性を秘めている。

T2K はニュートリノセクターにおける CP 対称性の破れの研究において世界をリードする実験でありながらも、他のニュートリノ振動実験との合同解析の実施や、ニュートリノ原子核散乱模型の理解などをすすめ、重要な最先端の研究を推進している。ICRR のチームはこれらの研究活動をリードしており、この事実とそこから得られた結果は高く評価されている。

## 強み

- 2025 年 3 月までに  $4.62 \times 10^{21}$  POT のデータを蓄積、98.7% の観測効率を達成していることは賞賛に値する。
- 高い観測効率の実現のため、ビーム中断期間に Super-K と T2K の参加研究者が協力して Super-K の修復作業を実施した。
- 着実に増えたビーム強度は 800kW 以上を達成した。これは、J-PARC 加速器及びニュートリノビームライシングループの多大な貢献による成果であり、Hyper-K におけるニュートリノ CP 位相の測定に向けた重要な一步である。
- 前置検出器の改良とニュートリノ反応のモデル改善による系統誤差低減といった本質的な貢献も高く評価される。
- ニュートリノビーム生成、ニュートリノ反応、検出器シミュレーションといった幅広い研究を通し、従来の荷電カレント擬弾性散乱事象だけを用いた解析を発展させ、単一 $\pi$ 粒子生成反応事象も用いることで、精度が大幅に向上了ることも高く評価できる成果である。
- 2021 年までのデータを用いて、反ミュー $\rightarrow$ ニュートリノから反電子 $\rightarrow$ ニュートリノへの振動を  $2.4\sigma$  の信頼度で確認したこと、また、CP 対称性の破れのパラメータ領域の一部を  $3\sigma$  の信頼度で棄却したことは高く称賛される。
- これらの成果に加え、CP 対称性の破れの兆候を 90% の信頼度で示している。すべてのデータを用いることで統計を増やし、精度を高めた解析結果が待たれる。
- Super-K の大気ニュートリノと T2K の加速器ニュートリノとの合同解析、ならびに NOvA 実験との合同解析が行われたことは、ニュートリノ研究分野の期待に応えるものである。
- 大気ニュートリノデータを合わせた解析では CP 対称性の保存を  $1.9 \sim 2\sigma$  の信頼度で棄却した。また、NOvA 実験との合同解析ではニュートリノ質量が逆階層であった場合には、CP 保存を  $3\sigma$  で棄却した。これらは大きな成果である。
- 今後期待される解析の改良によって、Hyper-K 実験開始前により高い信頼度での CP 保存の棄却が予想されている。

## 課題

Gd 導入後の Super-K の検出器シミュレーションの最適化に時間を要していることで、最新のデータを用いた解析が進んでいない。Gd 導入によって中性子検出効率が大幅に向上了り、ニュートリノ反応の解析に用いることができる情報が増えていることから、今後の Hyper-K や DUNE といったニュートリノ実験への入力という観点でも、時宜にかなった解析が待たれている。

## 勧告

T2K 参加メンバーは Hyper-K においても重要な役割を担っており、適切な資源管理が求められる。T2K の解析は Hyper-K への重要な入力ともなることから、解析を適切に進めることで好機を逸することのないよう、必要な人員配置が行われることを期待する。

### 1-3) ハイパーカミオカンデ

#### 総合評価

ハイパーカミオカンデ (Hyper-K) は現在、日本の岐阜県飛騨市神岡町近郊で建設中である。完成後の

検出器は総体積 26 万トン、有効体積は Super-K の約 8 倍となる。

Hyper-K の物理研究計画は非常に野心的である。Hyper-K と同等の物理感度を持ち、同じようなスケジュールで稼働予定の実験は他に無く、世界で唯一の存在である。Hyper-K から 295 km 離れた J-PARC 加速器施設で生成されたニュートリノビームを用いて、ニュートリノ振動の性質の理解をさらに深める。Hyper-K は CP 対称性の破れを示す位相  $\delta_{CP}$  を  $\pm 20$  度の精度で測定することを目指しており、もし  $\delta_{CP}$  が現在有力視されている値 ( $-\pi/2$ ) であれば、 $7\sigma$  の結果が得られると予想されている。

また、Hyper-K はニュートリノの質量順序を解明できる可能性があり、これはニュートリノの基本的性質の理解にとって極めて重要である。質量順序の理解は、将来のニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索のための技術選定にも大きく貢献する。Hyper-K は陽子崩壊の探索においても測定精度を大幅に向上させ、太陽ニュートリノや大気ニュートリノの世界最高水準の測定を継続して行う。さらに、Hyper-K は世界的な超新星監視ネットワークにおいて不可欠な存在となるであろう。

2025 年 5 月時点で、Hyper-K の共同研究体制には 22 か国 104 機関から 632 名の研究者が参加している。特筆すべきは、Super-K および T2K の以前の共同研究から多くの専門知識がこの新しい体制に引き継がれている点である。Hyper-K は東京大学および高エネルギー加速器研究機構 (KEK) によって主宰されており、ICRR のプログラムの中でも最優先事項の一つとされている。

### 強み

Super-K と比べて感度領域がほぼ一桁増加することで、Hyper-K は PMNS ニュートリノ混合行列の重要な要素に関する測定精度を飛躍的に高めることができる。中でも特に期待されているのは、レプトンセクターにおける CP 対称性の破れの大きさ、ニュートリノ質量順序の解明、 $\theta_{23}$  の精密測定、そして太陽ニュートリノにおけるスペクトルの上昇 (アップターン) の観測である。

現在の建設スケジュール通りに進めば、Hyper-K はこれらの測定において世界で最初の成果を挙げる可能性が高く、DUNE からの初データはその数年後になると見込まれている。今回の評価対象期間における最大の成果は、必要な資金の大部分を確保し、空洞建設を開始したことである。空洞の建設は 2025 年 7 月に完了予定であり、これにより主要なスケジュール上のリスクが解消される見込みである。次の段階では、水槽の建設が行われ、その後に実際の検出器コンポーネントの設置が始まる。

すべてのサブコンポーネントにおいて順調に進捗しており、設計作業の大部分はすでに完了し、現在は製造・検証段階に入っている。スケジュールや予算に関する多くのリスクも徐々に解消されつつある。

### 課題

現時点では、Hyper-K プロジェクトは DUNE プロジェクトに対して明確なスケジュール上の優位性を持っているように見える。しかし、空洞建設における安全性の懸念に対応するため（後から支保を強化することによって解決）、および予算上の理由からタンク構造の再設計が行われた結果、スケジュールは現在 1 年遅れている。

建設中の安全性の懸念に対応しながら、スケジュール通りに進めることができが成功の鍵となる。そのためには、資金調達や人材配置に関する事項において、管理体制による十分な監督と介入が必要である。また、検出器完成に向けてまだ多くの組み立て・設置作業が残されている中で、安全規定の策定に専門的な支援を受けることも不可欠である。特に、いくつかの組み立て・設置作業が、建設産業における豊富な経験を持たない人の責任となる場合には、なおさら重要である。

## 勧告

委員会は、設計・製造・建設の進展に対して共同研究体制を高く評価しているが、多くのサブコンポーネントがクリティカルパス（工程上の最重要部分）に非常に近いことを指摘する。そのため、ICRR および KEK には、予算・スケジュール・安全性といった重要要素に対して十分なプロジェクト管理の監督体制を確保し、リスクが特定された際には迅速に対応できる能力が求められる。

また、水質管理は広範なエネルギー領域の解析において重要であるため、Hyper-K は、水質浄化システムの制御に深く関与する人材を育成する必要があるかもしれません。特に、広いエネルギー領域をカバーする解析グループのメンバーから人材を確保することが望まれる。

## 1-4) XMASS/XENON

### 総合評価

液体キセノンシンチレーション検出器を用いる XMASS コラボレーションは、大型の低バックグラウンド液体キセノンの技術を確立したことに加え、暗黒物質探索や稀崩壊分野における独自の研究テーマを先駆的に開拓してきた。暗黒物質の直接探索は、宇宙物理学において最優先の研究テーマの一つである。これは、宇宙のエネルギーと物質の四分の一の正体を解明する鍵となるからである。XMASS は、様々なデータ解析技術を取り込み、単一の実験で広範な質量範囲をカバーする特徴的なデータ解析を行った。XMASS 型検出器は、大規模な二相型検出器に必要な非常に高い電圧の使用を避けることができるため、低バックグラウンド PMT の開発に成功したことでスケーラビリティを有している。しかし、主に予算上の課題により、そのスケールアップは実現されなかった。データ取得は 2019 年に終了したが、2023 年にコラボレーションが完了するまで興味深い解析が行われた。

XMASS は暗黒物質の直接探索分野で多くの優秀な人材を育成した点で高く評価されている。さらに、液体キセノンを大規模かつ低バックグラウンド環境で扱うための検出器と解析技術を開発した点でも、チームは高く評価されている。私たちは、XMASS が成功裡に完了し、技術が次世代のプロジェクトに継承されたと評価している。

チームの一部はその後、XENON1T（二相型液体キセノン TPC）実験に参加し、XENONnT 実験の成功に重要な貢献をした。彼らが世界トップクラスの感度を有する XENON 実験に参加することは自然な流れであり、XMASS での経験と神岡地下で開発された技術を通じた彼らの重要な貢献は称賛に値する。

暗黒物質の探求は宇宙素粒子物理学における最優先課題の一つであり、世界最先端のプロジェクトに参加したい国内の研究者を結集することは重要である。ICRR チームは日本の活動の中心を担ってきたが、メンバーの大部分が Hyper-K で重要な役割を担っているため、チームが日本の貢献の中核を維持するためには、リソース管理が不可欠となる。

### 強み

- XMASS は、人材育成、実験技術の開発、解析手法の開発、および研究対象となる物理現象の開拓を通じて、暗黒物質直接探索の分野で多大な貢献を果たしてきた。
- 神岡宇宙素粒子研究施設の Lab. C として残る研究環境は、XENON 実験の開発環境として、および超低放射能研究コミュニティを支援する研究環境として、極めて高い価値を有する。
- その人材や技術の一部は、より競争力の高い XENON 実験に移管され、現在、この分野をリードする役割を果たしている。

- 液体キセノンの純化は、電子ドリフト時間の測定と検出器の有効体積拡大の鍵となる。これは、液体キセノンによる暗黒物質実験全般にとって重要な貢献である。
- 放射性物質のモニタリングシステムは、暗黒物質検出器における太陽 pp ニュートリノの測定という重要な機能を追加している。
- また、SK-Gd の技術を用いた中性子検出器技術も導入した。このような多様な協力関係は、ICRR および神岡地下施設を中心に形成された極低バックグラウンドコミュニティの強みである。このチームは神岡の超低バックグラウンドコミュニティと世界トップレベルの暗黒物質プロジェクトとの架け橋としての役割を果たしている。
- このグループが、キセノンを用いた暗黒物質プロジェクトに関する世界的な取り組みを統合する形で提案されている XLZD 実験に引き続き参加することは、ごく当然のことである。委員会は、この分野における国内での活動を維持するため、このような世界トップレベルの実験およびキセノン暗黒物質検出器を中心に形成しつつあるグローバルコミュニティへの参加を奨励する。

## 課題

- ただし、Hyper-K の建設が最も忙しい時期に差し掛かっている状況下で、ICRR 所属の XENONnT メンバーの大部分が Hyper-K 建設において重要な役割を担っていることを踏まえると、建設スケジュールが妨げられないよう、リソース管理に関する効果的な取り組みが不可欠である。
- 国内の研究者が世界最先端のプロジェクトに参加するための拠点が必要であり、ICRR が共同利用・共同研究拠点としてこの機能を果たすことは理にかなっているが、前述のエフォート・リソースの管理を考慮すると、当然のこととは言い切れない。ICRR は、Hyper-K の進展と日本における XENONnT を含む暗黒物質探索プロジェクトの開発・進展を踏まえ、グローバルなキセノン 暗黒物質プログラムの日本側を担当する責任機関として、人員配置の強化が期待されている。

## 勧告

暗黒物質探索実験が世界中で統合される中、共同利用・共同研究拠点が果たす役割は極めて重要である。現在、日本のチームのリーダーは東京大学の Kavli IPMU に所属し、名古屋大学と神戸大学が参加している。東京大学全体の枠組みの中で、世界最先端の XENON プロジェクトや将来計画への参加を統括するハブ機能を果たすシステムを定義することは有益だと思われる。

ICRR が共同利用・共同研究拠点としてコミュニティに貢献するハブ機能を果たす責任を負う場合、ICRR はそのサービスを提供するための人材を確保する必要がある。

## 2. 高エネルギー宇宙線研究部門

### 2-1) チェレンコフ・テレスコープ・アレイ天文台 (CTAO)

#### 総合評価

日本が貢献しているスペイン・ラパルマ（北半球サイト）における 4 基の大口径望遠鏡 (LST) の建設と試運転は、今後 3 年以内に完了する見込みである。これらの望遠鏡が CTA 天文台への現物拠出として正式に受け入れられるまでの間、LST チームは天体ガンマ線観測において特権的な機会を有している。4 基の LST による構成は、低エネルギー閾値を持つ世界最高感度の解像型大気チレンコフ望遠

鏡のアレイを形成し、人工衛星搭載のガンマ線観測装置（Fermi-LAT）が捉える低エネルギー領域のガンマ線観測と理想的に接続することができる。この構成は、低エネルギー GeV 領域から低エネルギー TeV 領域における豊富な光子統計を伴うガンマ線天体现象の多様性を探求することを可能にすると同時に、最終的な CTA 天文台の運用への引き渡しに向けた試運転を遂行する上で大きな役割を果たす。

一方、チリ・パラナル（南半球サイト）における望遠鏡建設は、主にイタリアが資金を提供し、日本を含む他の国々も拠出している 2 基の LST から開始される予定である。南半球サイトにおいて 4 基の LST 構成に拡張するという CTA 天文台の決定がなされた場合、日本グループは、さらに 2 基の LST 建設に参画することを見込んでいる。

### 強み

CTAO は天文台の建設および長期運用に向けた最終的な法的主体を確立し、日本は欧州研究インフラ・コンソーシアム（ERIC）の戦略的パートナーとして参画している。最初の大口径望遠鏡（LST-1）はすでに科学観測を開始しており、データ解析の成果は LST チームによって著名な学術誌に公表されている。さらに、CTAO 北半球サイトにおける、追加 3 基の LST の建設は順調に進んでいる。日本の研究グループは、この強力な 4 基の LST による観測体制に参画しており、今後数年以内に低エネルギー GeV 領域から低エネルギー TeV 領域にかけてのガンマ線観測において前例のない成果を得ることが期待される。ラバルマにおける MAGIC 望遠鏡の長年にわたる運用実績、CTAO 北半球サイトの LST の設計・建設で培われた技術、そして日本の CTAO コンソーシアムのメンバーによる科学的経験は、天文台の本格運用開始に先立ち、国際的に競争力のある科学的研究を推進する大きな基盤となっている。

### 課題

稼働中の LST を CTAO へ引き渡すことにより、LST コンソーシアムは、天文台を通じてデータが共有・管理される、より複雑な形態で科学観測を遂行する体制へと適応する必要がある。LST コンソーシアムから CTA 天文台への望遠鏡の所有権および運用の移管は、最大限の科学的成果を得るために最適な LST アレイの性能を指針とし、可能な限り効率的に進められることが求められる。

### 勧告

委員会は、CTAO 北半球サイトにおける LST の試運転段階での運用、ならびにその後の CTA 天文台の運営費拠出を通じた定常的な科学観測に必要な資金提供の要求を強く支持する。さらに委員会は、天文台の決定により建設開始が可能となり次第、日本のプロジェクトの一環として CTAO 南半球サイトにおいて 2 基の LST（LST-7 と LST-8）を建設することを推奨する。

## 2-2) テレスコープアレイ

### 総合評価

テレスコープアレイ（TA）は、北半球最大の極高エネルギー宇宙線（UHECR）観測施設として、UHECR のエネルギースペクトル・到来方向分布・質量組成を測定することで、その起源と性質の解明に取り組んでいる。TA 実験は、継続的な運用と次段階の建設開始を通じて、優れた科学的・技術的成果を達成してきた。オージェ実験との協力も実り多く、共同解析や機械学習、大天頂角シャワーの研究といった新しい手法につながっている。これらの努力にもかかわらず、TA 実験には  $10^{19.5}$  eV を超えるエネルギー領域での高統計観測が課題として残されている。エネルギー  $2.44 \times 10^{20}$  eV の宇宙線「ア

「マテラス粒子」の発見は大きな成果であり、極めて高エネルギーの事象を検出する TA 実験の能力を強く示すものである。

ICRR の TA 実験チームは、新型コロナウイルス感染症の流行という困難な時期にあっても、地表検出器の運用を継続し、卓越した粘り強さと適応力を示した。アマテラス粒子の発見に見られるように、高エネルギー宇宙線を検出し解析するこの実験の能力は、天体物理学における本実験の重要性を裏付けている。次世代観測所を含む将来のプロジェクトに向けた現在進行中の共同研究や研究開発の取り組みは、TA 実験チームの先見的な姿勢を際立たせている。

### 強み

テレスコープアレイ (TA) 実験は、この分野の次の最前線である UHE マルチメッセンジャー研究において重要な役割を担っている。TA 実験は、多様で優れた科学的アプローチを示し、ALPACA やチベット AS  $\gamma$  といった他の主要実験とも効果的に連携してきた。チームは ILANCE や TA-GRAND といった共同研究に見られるように高い国際性を持ち、2018 年から 2025 年にかけては学生 8 名（内 1 名は女性博士課程）を含む多様なメンバーを擁している。プロジェクトは、現在および将来の取り組みに不可欠な研究資金の確保に成功している。チームはニッチな実験、技術、エネルギー領域の探査に適時に参加している。明確な日本のリーダーシップと存在感があり、大きな成果をもたらすとともに、強固な国際的協力関係を育んでいる。チームは学生を含む人的資源の供給源でもあり、多様性と国際的な参加によって良好な精神を維持している。

### 課題

次の段階のための資金、具体的には現在の TA  $\times 2.5$  から TA  $\times 4$  に拡張するために必要な 300 万ユーロは、まだ確保されていない。コミュニティの動向、例えば Global Cosmic Ray Observatory (GCOS) に関する不確実性があり、それが将来の計画や意思決定に影響を及ぼす可能性がある。

### 勧告

TA 実験の継続的な成功と発展を確実にするため、以下を提言する。

- **TA  $\times 4$  の資金確保**: TA  $\times 4$  プロジェクトを完全に実現するために、必要な 300 万ユーロの資金を確保することが極めて重要である。TA  $\times 4$  は、5 年間の運用でコミュニティに対して独自で高品質な成果を提供することが期待される。
- **オージェ実験との共同研究の継続**: オージェ実験との継続的な協力を維持・強化すること。これまでの実績から、この共同研究は有益であることがすでに示されており、データの共有、共同解析、技術的専門知識の融合を通じて UHECR の理解をさらに深めるために不可欠である。
- **ハイブリッド電波観測の検討**: TA  $\times 4$  に電波検出装置を追加するオプションの実現可能性を調査し、UHECR 統計の増加にとどまらず、科学的成果をさらに豊かにすることを目指す。これにより、次世代 UHE 検出器開発においてチームが積極的な役割を果たすために有利な立場を確保することにもつながる。
- **国際共同研究の構築と強化**: 科学的進展に相互に有益で、資源と知識を共有するための基盤を提供する国際共同研究を継続し拡大すること。これには国際的な GCOS イニシアティブや GRAND-TA プロジェクトにおける進行中および潜在的な共同研究も含まれる。GRAND-TA プロジェクトでは、TA サイトに自己トリガー型電波検出器を設置し、ガンマ線識別、ミューオンの少ないシャワー、シャワーにおけるミューオン成分と電磁成分の比較研究、さらには UHE ニュートリノの研究を開拓する。

テレスコープアレイ実験チームは、卓越した科学的・技術的成果を示し、今後の発展に向けた明確な道筋を有している。勧告は、必要なリソースを確保し、技術と共同研究を拡大することに重点を置いている。これにより、ICRR の TA チームが UHE 宇宙素粒子物理学の分野において成功を続け、リーダーシップを発揮できる。

### 2-3) チベット AS $\gamma$

#### 総合評価

チベット AS $\gamma$  実験は、TeV ~ PeV 領域のガンマ線天文学と宇宙線物理学を主目的とする高地に設置された空気シャワーアレイである。現在、最終形の検出器配置により、科学データの収集のために運用を継続している。極高エネルギー(UHE,  $E > 100 \text{ TeV}$ ) ガンマ線天文学の分野では先駆的な研究がなされ、電磁スペクトル測定において新たなエネルギー領域を開拓する実験として重要な役割を担った。現在、北半球では、さらに高感度の UHE ガンマ線観測所が稼働している一方で、太陽近傍の宇宙線に関連する研究、ALPACA 建設に向けた研究開発、さらには中国の共同研究者による観測継続の必要性などに応えるため、今後もチベット AS $\gamma$  実験は最低限のランニングコストのもとで運用を継続していく方針である。今後、日本グループは、南半球におけるフルスケールの ALPACA アレイの建設へと活動が徐々に移行していくことが期待される。

#### 強み

チベット AS $\gamma$  実験は、UHE ガンマ線天文学において先駆的な役割を果たし、電磁スペクトルにおける 100 TeV ~ 1 PeV の新たな観測エネルギー窓を切り拓いた。この領域における重要な発見があり、論文として発表されている。そして、宇宙線物理学(ペバトロン)とマルチメッセンジャー天文学(IceCube による拡散ニュートリノ・スペクトル)の進展の相乗効果によって、その起源の解明が進められている。実験は現在も本格稼働を続けているが、そこに投じられている資金は限定的である。また、チベット AS $\gamma$  と ALPACA の間におけるハードウェアの類似性や技術移転により、さらなる研究上の成果が期待される。

#### 課題

北半球においては、チベット AS $\gamma$  実験と HAWC 実験は競合関係にあったが、現在では、中国により短期間で建設され、運用が進められた非常に高感度な超高エネルギーガンマ線観測施設 LHAASO がこれらの感度を上回っている。そして、南半球で進められている ALPACA アレイの建設に必要な人員については、大きな負担がかかり、飽和している可能性がある。

#### 勧告

委員会は、南半球にフルスケールの ALPACA アレイを建設するために必要な人員が確保されるまで、チベット AS $\gamma$  実験の運用にかかる経費の支援を継続することを支持する。その結果として、チベット AS $\gamma$  実験における日本側の活動は一区切りとなるであろう。

## 2-4) ALPACA

### 総合評価

ALPACA は、ボリビア・ラパス近郊の高地において、宇宙線およびサブ PeV スケールのガンマ線観測実験の構築を目指している。実験装置は、中規模の空気シャワーアレイと地下水チレンコフ型ミュオン検出器から構成され、現在稼働中のチベット AS $\gamma$  と非常によく似た構造である。ALPACA の主要な科学目標は、10~1000 TeV におけるガンマ線天文学、宇宙線の組成と異方性の研究である。

北半球における LHAASO の成果により、銀河宇宙線の起源を特定するという科学的課題は大きく強化されたが、南半球については依然として未解決である。小規模なデモンストレーターである ALPAQUITA はすでに稼働しており、期待通りの性能を示している。

高地における空気シャワー技術を用いた南天広視野ガンマ線大規模実験の開発競争は非常に激しい。仮に Southern Wide-Field Gamma-Ray Observatory (SWGO) が予定どおり建設される場合、ALPACA を当初構想されたデザインで運用するという考え方を再考する必要が生じるだろう。ALPACA に有利な期間を維持できるのか、それとも大規模な共同研究がサブ PeV ガンマ線天空の理解を一変させる可能性を秘めているのかは、現時点では不明である。また、ALPACA の建設と運用に関心を持つ海外研究者の参加を進めることで、想定される大きな科学的インパクトをもたらす機会が限られた期間にとどまるリスクを減らすことができる。

### 強み

ALPACA は、南半球における超高エネルギー (VHE) ガンマ線天文学で先駆的な役割を果たす可能性を持っており、宇宙線や太陽物理学においても独自の研究展望を有している。チベット AS $\gamma$  とのハードウェアの類似性や知識移転による利点があり、それらは容易に活用することができる。

### 課題

現時点では、より高性能な可能性を持つ競合実験 SWGO のタイムスケールや実現性について不透明な状況にある。これが間もなく明らかになると仮定すると、国際的な競争力を維持するためには、迅速に Mega ALPACA への発展を進めるか、あるいは SWGO に合流する必要があるだろう。SWGO が稼働する前に ALPACA が活躍できる時間的な余地は、ALPACA 建設の遅延や SWGO の急速な進展によって脅かされるかもしれない。南半球における ALPACA 全アレイの建設に必要な人的リソースへの負担は大きくなるだろう。

### 勧告

委員会は、サブ PeV スケールのガンマ線天体物理学観測の焦点を北半球から南半球の実験へと移行する方針を認識し、これを支持する。我々は、ALPACA の迅速な立ち上げと、要求されている運営費の支援を強く推奨する。また、SWGO に関する最新の進展を注視し、将来のアレイ設計を柔軟に調整する、あるいは取り組みを統合する可能性を検討し、この重要なエネルギー領域における最大限の科学的成果を確保することを推奨する。さらに委員会は、ALPACA の建設と運用に関心を持つ海外研究者の招待と参加拡大を促し、その最も重要な科学的インパクトを発揮する可能性が限られた時間枠にとどまるリスクを避けるべきであると奨励する。

## 2-5) 高エネルギー天体

### 総合評価

現在、教授 1 名、助教 1 名、ポスドク 2 名、大学院生 4 名と比較的少人数ながら、ICRR の理論グループとして重要な役割を担っている。従来の理論に対する新たな理解が求められている観測成果を対象に、非熱的現象の物理学やマルチメッセンジャー天文学に広く貢献している。また、学生を対象とした特別セミナーや教育セミナーの開催も行っている。

### 強み

このグループでは、最新の観測機器によってもたらされた、従来の理論では理解できない、あるいは全く新しい観測結果の理論的解釈に積極的に取り組んでいる。研究の対象は、超新星爆発や相対論的ジェット、キロノバやマグネターバーストなどの突発現象など、さらには重力波天文学などに及び、このような非熱的現象やマルチメッセンジャー天文学に取り組んでいる。これらの成果は、限られたスタッフで、全国の共同研究者、ポスドク研究者、博士課程の学生らと協力しながら、効率的に進められている。

前回の外部評価での勧告を踏まえ、ICRR の研究ポートフォリオに直接関係しないプロジェクト (EHT、CALET、IceCube、Fermi/LAT など) と、ICRR の実験グループの主要な宇宙線研究テーマに関連するプロジェクト (CTAO、TA/ チベット AS $\gamma$ 、KAGRA など) の両方を推進している。

また、若手研究者が先端的な知識を習得する絶好の機会として、ICRR の複数のプロジェクトの学生を対象とした特別テーマセミナーや教育セミナーを定期的に開催していることも高く評価されている。また、個々のポスドクや大学院生の研究活動を強くサポートし、高エネルギー天体物理学の若手研究者にキャリアパスを提供している。

### 課題

2 人の活動的であったスタッフと数人のポスドクが新たな職に就くためにグループを去ったため、研究テーマによっては活動が弱まると思われるが、研究の活発さを維持するために、新たなスタッフの確保と大学院生やポスドク研究者の増員を図る必要がある。

### 勧告

ICRR だけでなく Kavli IPMU などの実験グループと定期的にミーティングポイントを設け、共同研究を行うようにすることを推奨する。また、少人数の欠点を補うような効果的な研究方法を推進することが望まれる。

## 3. 宇宙基礎物理学研究部門

### 3-1) KAGRA

### 総合評価

KAGRA 重力波望遠鏡は、冷却された鏡を利用する先端技術を用いた地下に建設された基線長がキロメートル級の重力波望遠鏡であり、連星ブラックホールや連星中性子星の合体に加え、孤立した中性

子星や超新星、さらにはその他の宇宙起源の現象から放たれる重力波を検出するよう設計されている。KAGRA は、米国の LIGO 重力波観測所およびヨーロッパの Virgo 重力波望遠鏡と緊密に協力し、重力波望遠鏡の国際的ネットワークの一員として活動している。KAGRA がその感度目標に到達し始めるにつれて、LIGO-Virgo-KAGRA 観測ネットワークにおいて極めて重要な役割を果たすことになり、電磁波でも明るく観測される重力波源の位置決定能力を大幅に高め、また重力波の偏波の解明に寄与することが期待されている。

前回の外部評価委員会の開催以降、この 5 年間で KAGRA チームは、検出器の性能向上を進める中で大きな進展を遂げた。これは、COVID-19 パンデミック（2020～2022 年）と能登半島地震（2024 年）という 2 つの大きな外的困難に直面しながらの成果である。特に、能登半島地震は検出器に甚大な被害を与え、KAGRA 重力波望遠鏡内で防振懸架されたほぼすべての鏡を修復するという大規模な対応が必要となった。

KAGRA 重力波望遠鏡の修復が完了し、2025 年にはコミッショニングが大きく加速し、2025 年 1 月以来、連星中性子星（BNS）の合体からの重力波を観測可能な距離で表す BNS 感度は 3 倍に向上した。KAGRA は 2025 年 6 月に O4c 観測運転に参加し、現在は 6～7.2 メガパーセク（Mpc）の BNS 感度で稼働しており、O4 観測運転終了までに 10 Mpc を達成することを目指している。

KAGRA は、2020 年に GEO 重力波望遠鏡とともに、約 0.6 Mpc の性能で O3LVK 観測運転に参加した（O3GK）。2024 年 1 月の能登半島地震により、KAGRA 重力波望遠鏡は大きな損傷を受けたが、修復は完了し、チームは O4 最終段階への参加に必要な 10 Mpc 達成に向けて着実な進展を遂げている。しかし、この目標を実現するためには、特に極低温システムの安定維持や鏡への水の氷着といった問題に対する技術的課題が依然として残されている。

2028 年に開始が予定されている O5 観測運転に向けて、KAGRA は 25～128 Mpc の BNS 感度の達成を目標としている。ただし、実際的な制約により、より低い BNS 感度も検討されている。KAGRA のより長期的な計画として、2030 年代初頭に予定されている O6 観測運転では、連星中性子星の合体やリングダウン段階が生じる 2～3 kHz の高周波周波数帯域に特化した性能の向上を目指している。

2019 年から 2025 年の間に、KAGRA の人員はフルタイム人員換算で 42 名から 43 名へとわずかに増加した。KAGRA の現在の運営予算は約 4 億 4 千万円（米ドル換算で約 300 万ドル）である。

INFN と KAGRA/ICRR との間で、極低温検出器の開発における KAGRA の独自の専門知識を活かし、欧州のAINSHUTEN 望遠鏡プロジェクトへの協力を推進するための協定（MoA）が締結された。

国際重力波観測所ネットワーク（IGWN）は現在形成段階にある。IGWN は最初の段階として、LIGO、Virgo、そして KAGRA の各重力波望遠鏡から構成され、既存の共同研究体制を統合し、単一の国際的な共同体へと発展していく予定である。

## 強み

- KAGRA 重力波（GW）望遠鏡は、重力波の検出に加え、それらのイベントの天球上での位置を特定する上でも（重力波と電磁波によるマルチセンジャー天文学を可能にするという点で）、LVK 国際ネットワークにおける重要な重力波望遠鏡であり続けている。LIGO が直面している現在の予算の不確実性（および LIGO 観測所の 1 つが閉鎖される可能性）は、国際重力波観測所ネットワークにおける KAGRA の重要性をさらに高めることになる。
- KAGRA チームは、限られた運営予算に加え、COVID-19 や能登半島地震といった自然災害に直面しながらも、KAGRA 重力波望遠鏡を稼働させるために多大な成果を上げた。その進展は高く評価されるべきものである。

## 課題

- 委員会は、KAGRA 重力波望遠鏡の複雑さを考慮すると、現在の KAGRA の資金および人員体制は極めて不十分であると強く認識している。大規模かつ複雑な科学インフラの運営コストについて概算で見積もると、施設建設費の約 10% とされる。KAGRA の建設費は 150 億円（米ドル換算で約 1 億ドル）であったが、現在の KAGRA の運営予算は建設費の 4% 未満にとどまっている。別の比較からも、KAGRA 運営予算の不十分さは明らかである。例えば、米国の LIGO 研究所における 2 つの LIGO 重力波望遠鏡の運営予算は約 5,000 万ドル、1 望遠鏡あたりでは約 2,500 万ドルである。これに対して、KAGRA の現行運営予算は、LIGO の 1 望遠鏡の運営予算の 8 分の 1 以下に過ぎない。同様に、ヨーロッパの Virgo 重力波望遠鏡の年間予算は、KAGRA の 4 倍以上となっている。
- これに関連して、O5 観測運転に向けた KAGRA のアップグレードに十分な資金を確保することも、KAGRA が感度目標を達成するために不可欠である。
- O6 で計画されている高周波感度を特に高めた重力波望遠鏡の導入は、科学的には十分に意義があるものの、高いフィネスのシグナルリサイクリング共振器を運用する必要があり、この高いフィネスのシグナルリサイクリング共振器の共振制御には困難が予想されるため、挑戦的であると思われる。
- INFN と KAGRA/ICRR の間で締結された協定（MoA）は、極低温技術に関して今まで KAGRA が積み上げてきた知識をAIN シュタイン重力波望遠鏡計画に活かすものである。しかし、KAGRA チームが本来の使命である「KAGRA を科学的に大きなインパクトを持つ感度へと到達させるためのコミッショニング」から焦点を逸らさないことが重要である。

## 勧告

- KAGRA の予算および人員の拡充  
十分な予算増がなければ、KAGRA が感度目標の達成に引き続き苦悶することはほぼ確実である。KAGRA が LVK ネットワークおよび重力波天文学にとって重要であることを踏まえると、もし KAGRA が性能目標を達成できなければ、重力波科学の成果、特にマルチメッセンジャー天文学の実現に対して、長期的に負の影響を及ぼすことになる。
- IGWN について  
IGWN の設立は国際重力波検出器ネットワークのより緊密な協力に対して KAGRA が貢献すると同時に、利益を得るための重要な機会を提供している。KAGRA はリーダーシップを持って、IGWN の目標やガバナンスの策定・改善に向けて、今後も積極的に関与し続けることが強く推奨される。

## 結び

KAGRA プロジェクトチームは、過去 6 年間に直面した非常に大きな障害にもかかわらず、KAGRA 重力波望遠鏡を稼働させる目覚ましい進展を遂げた。我々はその成果を高く評価する。KAGRA の最終的な成功は、追加の財源および人員によって可能となる今後の継続的な進展にかかっている。

### 3-2) 観測的宇宙論

#### 総合評価

ICRR 観測的宇宙論グループは、すばる望遠鏡、ALMA、JWST のデータを用いて、銀河形成、宇宙再電離、初期宇宙の化学に関する先導的研究を行っている。これまでに 160 編の論文を発表し、星形成、AGN、初期元素存在量に関する主要な成果を挙げており、多くの引用と高い評価を獲得している。優れた研究資金、国際的共同研究、受賞歴を有する研究者を擁し、当該グループは国際的に著名かつ極めて生産的である。

#### 強み

ICRR における観測的宇宙論グループは、宇宙の起源と進化に関する最先端研究を推進しており、構造形成と銀河形成、宇宙再電離、ビッグバン元素合成といったテーマに重点を置いている。これらの研究は、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ (HSC) サーベイやすばるインテンシブ観測プログラムである EMPRESS サーベイ (HSC サーベイによるターゲット選定を活用) を含む豊富な観測データ、および ALMA や JWST など他波長の相補的な観測に基づいている。

前回の ICRR の外部評価以降、当該グループは査読付き論文 160 本（共同研究を含む、総引用数 8,736 件）を発表しており、そのうちグループ主導の 43 本は 3,100 件の引用を獲得している。顕著な科学的成果として以下が挙げられる。

#### すばる HSC サーベイ

- 明るい銀河の個数密度：赤方偏移  $z \sim 4-7$ において、シェヒター関数による予測を超える明るい銀河が過剰にあることを示し、初期銀河形成における AGN フィードバックの非効率性を示唆した。
- 星形成効率： $z \sim 2-6$ において星形成効率がほぼ一定であることを観測的に示し、宇宙の星形成率 (SFR) 密度進化が主としてダークマターハローの存在度や降着率の変化によって駆動されていることを明らかにした。
- 広がったライマン  $\alpha$  放射：ライマン  $\alpha$  放射体 (LAE) の強度マッピングにより、約  $10^{11}$  太陽質量の暗黒物質ハローのビリアル半径を超えて拡がる拡散ライマン  $\alpha$  放射を検出し、銀河周囲および銀河間媒体での共鳴散乱によるものと解釈した。

#### EMPRESS プログラム

- すばる /HSC を用いて近傍宇宙の極低金属量銀河 (EMPGs) を同定し、分光追観測により確認した。
- 深い近赤外分光により宇宙初期のヘリウム存在比の新たな測定を行い、有効ニュートリノ種数 ( $N_{\text{eff}}$ ) やバリオン-光子比 ( $\eta$ ) といった宇宙論パラメータに制約を与え、レプトン非対称性やハップル・テンション問題に対する示唆を与えた。

#### JWST 関連成果

- $z=8.61-13.20$  にある 25 個の銀河を見つけ、紫外光度関数と星形成率を分光的に確認し、初期宇宙における高い星形成効率を明らかにした。
- $z=4-10$  にある 70 個の銀河に対して元素組成を調べ、特異な C/N 比および N/O 比を発見し、CNO サイクルによる化学進化や球状星団形成との関連を示唆した。

- $z>4$  での初の統計的サンプルとして暗いタイプ 1 AGN を同定し、宇宙再電離に寄与しうる顕著な AGN 母集団の存在を明らかにした。

JWST 関連論文のうち 1 編は約 3,000 編の JWST 観測論文の中で最多となる 470 件の引用を受けている。さらに、理論グループと協力して宇宙初期ヘリウム 4 存在比の測定に大きく貢献し、天文学と素粒子物理学の学際的連携を強化した。

グループは 3 名の教員、複数のポスドク研究者、東京大学大学院の多くの大学院生から構成され、そのうち 6 名が日本学術振興会 DC 特別研究員に採択されている。メンバーは多数の学術賞や奨学金、大型研究費を獲得しており、PI または共同 PI として 3,000 万円を超える予算規模の研究プロジェクト 7 件を遂行している。

### 勧告

観測的宇宙論グループは極めて活発で、国際的に強い存在感を示し、卓越した研究成果を上げている。委員会は、この優れた研究グループに対する継続的支援を強く推奨する。

### 3-3) 理論

#### 総合評価

理論グループは、ダークマター、インフレーション、原始ブラックホール (PBH) などを含む素粒子物理学および宇宙論の分野で研究をリードしている。これまでに査読付き論文を 139 本発表しており、その多くが国際的に大きな影響を与えていている。また、Kavli IPMU や KAGRA、学内の他グループとも積極的に共同研究を行っている。さらに大学院生の指導にも熱心に取り組んでおり、2018 年から 2024 年の間に 28 人の学生が学位を授与された。委員会は、研究の卓越性を維持するため、継続的な支援と教員ポジションの確保を強く推奨する。

#### 強み

理論グループは、現象論志向の素粒子物理学と宇宙論を中心に、最先端の理論研究を行っている。研究対象は幅広く、ヒッグス物理学、コライダー現象論、大統一理論、ダークマター、アクション模型およびアクション宇宙論、インフレーション模型、バリオジェネシス、ビッグバン元素合成、原始ブラックホール (PBH) 形成などを含んでいる。

2018 年以降、このグループは査読付き学術誌に 139 本の論文を発表しており、これは研究の高い質を示す顕著な成果である。これらの業績の多くは、国際的な学術コミュニティに大きな貢献を果たしている。特筆すべきは、Kavli IPMU との強固な共同研究体制を維持し、ICRR の観測的宇宙論グループとの原始ヘリウム 4 存在量に関する共同研究、さらには KAGRA グループと協力した重力波検出器を用いた超軽量ベクターダークマター探索に関する研究など、学際的かつインパクトのある成果を挙げている点である。

同グループは 2 名の教員、複数のポスドク研究員、そして多数の大学院生から構成されている。例年、大学院生を 2 ~ 3 名受け入れており、2018 年から 2024 年にかけて 11 名が博士号を、17 名が修士号を取得している。これらの数字は、次世代研究者の育成に対する強いコミットメントを示している。理論グループは国際的に世界をリードする研究チームとして認知されており、独創的かつ影響力の大きい研究を発表している。主な科学的成果として以下が挙げられる。

- Wino/Higgsino 崩壊率の精密推定
- 擬 SU(5) 多重項を持つ新しい大統一理論の提案
- 超低光度矮小銀河のデータに基づくダークマター自己相互作用断面積の制限
- ニュートリノ有効数  $N_{\text{eff}}$  への影響に基づくダークフォトン質量の制限
- 宇宙初期におけるヘリウムの存在量  $Y_p$  の改訂値が示唆する宇宙に関する研究
- I-ball／オシロンの崩壊率に関する解析的導出を含む様々なオブジェクトの研究
- 原始ブラックホール (PBH) 形成機構の詳細な解析
- パルサータイミングアレイ実験で検出された背景重力波に寄与しうる重力波源の探究

要約すると、理論グループの科学的成果は卓越しており、国際的にも強い影響力を持っている。

#### 勧告

委員会は、このグループへの継続的な支援を強く推奨する。しかしながら、現所属の 2 名の教員のうち 1 名が近く退職予定であることが懸念される。グループの高い研究活動水準と生産性を維持するために、委員会は少なくとも現在の教員数を確保することを推奨する。

## IV. ICRR の運営

東京大学宇宙線研究所（ICRR）は、宇宙ニュートリノ研究部門、高エネルギー宇宙線研究部門、宇宙基礎物理学研究部門の3つの研究部門で構成されている（詳細は付録の組織図を参照）。国内では、神岡宇宙素粒子研究施設、重力波観測研究施設、乗鞍観測所、明野観測所の4つの観測施設と、宇宙ニュートリノ観測情報融合センターを運営している。海外では、スペインのラパルマ島にカナリア高エネルギー宇宙物理観測研究施設を有し、その他に米国ユタ州、中国チベットの羊八井（ヤンバーチン）、ボリビアのチャカルタヤ山に実験施設を有している。

これらの施設の建設・運営は、国内外の大学や研究機関との連携によって成功裏に進められてきた。限られた予算と人員の中で、国内外にこれほど大規模な観測施設を構築・運営し、世界水準の科学成果を継続的に生み出すことは、決して容易なことではない。

ICRR が今後もトップレベルの研究成果を生み出し続けるためには、効果的な組織運営の重要性をいくら強調してもしすぎることはない。本章は、評価基準の第4項目「研究所の方針および科学コミュニティにおける役割を評価すること」に対応しており、ICRR の運営の現状と今後の方向性について概観する。

本章は、委員会の率直な印象や見解を、生き生きとした平易で親しみやすい語り口でまとめ、ICRR 内外での議論を促すことを目的としている。以下の各項目は個別に論じられているが、相互に密接に関連していることを強調しておく。

1. 共同利用・共同研究プログラム
2. 国際共同研究
3. マルチメッセンジャー天文学
4. 将来計画検討委員会と研究コミュニティとの関係
5. 大規模プロジェクトにおけるシステムズエンジニアリング
6. 予算
7. 人材
8. 共同利用施設の維持管理
9. 大学院生および若手研究者
10. ダイバーシティ（多様性）
11. 産業界との連携
12. 教育およびアウトリーチ

### 1. 共同利用・共同研究プログラム

ICRR は共同利用・共同研究機関として、宇宙線に関する先端的研究を推進している。委員会は、ICRR が毎年 130 件以上の国内プロジェクトを実施していることを高く評価する。これらは、ICRR の運営委員会および共同利用研究課題採択委員会によって選定されており、そのうち約 90 件のプロジェクトの研究代表者が ICRR 以外の機関に所属していることから、ICRR と外部学術機関との協力体制が効果的に機能していることが示されている。

さらに、ICRR は 2018 年に国際共同利用・共同研究拠点として認定され、2019 年以降は毎年約 30 件の国際共同プロジェクトを実施している。委員会は、神岡宇宙素粒子研究施設および重力波観測研究施設、ならびに海外 4 施設において、国際共同研究プログラムを活用しながら大規模な国際共同研

究を積極的に推進している点も高く評価する。

主要プロジェクトに加え、ICRR は国内施設において多様な研究活動を展開している。これには、大気現象に関連する二次宇宙線の研究、将来の大型プロジェクトに寄与する新型検出器の開発、継続的な宇宙線観測などが含まれる。

また、ICRR の施設を活用した環境科学分野の研究も複数実施されており、高山植物の研究や海洋中の放射性核種の存在に関する調査などが行われている。委員会は、ICRR が共同利用・共同研究プログラムを通じて、宇宙線および関連科学分野の多様な研究を支援している点を支持する。

ICRR の主要な研究手法は、所属研究者による大規模国際共同研究を中心としているが、同時に、スーパーカミオカンデと連携した神岡地下施設において、外部機関主導による小規模研究プロジェクトも実施されている。これらの活動は、極低放射能宇宙素粒子物理学分野において重要な貢献を果たしている。

この共同利用の取り組みは高く評価されており、安定的かつ長期的な支援体制の確立が強く推奨される。ただし、これらの活動はスーパーカミオカンデの運用と密接に関連しているため、スーパーカミオカンデの将来について議論する際には、長年にわたり広範な科学コミュニティを支えてきた研究環境とインフラをいかに維持するかという課題も併せて検討する必要がある。

XENONnT は、将来計画検討委員会 (FPC、第 4 節参照) によって承認され、ICRR の支援のもとで非常に限られた人員で実施されている。直接的な資金支援は行われていないものの、ICRR は XENON プロジェクトに対して 1 トンのキセノンガスを貸与し、XMASS で開発されたインフラを活用して XENON および XLZD の研究開発を支援し、さらに本プロジェクトに従事するポスドク研究者を雇用するなど、大きく貢献している。

これらの支援は、ICRR の支援枠組みを戦略的かつ効果的に活用したものとして高く評価されている。ハイパーカミオカンデのような大規模プロジェクトと比較した場合、こうした重要ではあるが二次的なプロジェクトを今後も支援し続けることは、ICRR の将来の方向性に関わる重要な課題である。委員会は、この点について、ICRR 内外の関係委員会による慎重な検討を推奨する。

## 2. 国際共同研究

ICRR における大規模な国際プロジェクトの運営には、多様性と包摂性を備えた人材の育成が不可欠であり、それが成功の鍵となる。ICRR は国内外の研究機関との連携を概ね効果的に行っているが、国際的な関与の性質や程度は、チームやプロジェクトによって異なる。

例えば、KAGRA プロジェクトは、重力波データ解析において LIGO および Virgo チームと強固な連携を築いており、検出器開発へのさらなる統合が進めば、より大きな成果が期待される。一方、TA および ALPACA チームは、国際共同研究を基盤としており、東京大学とフランス国立科学研究センター (CNRS) の共同拠点である「ILANCE」において積極的に活動し、修士課程のインターン受け入れも行っている。若手研究者からのフィードバック (第 9 節参照) では、ICRR の研究環境における国際メンバーの受け入れをさらに進める必要があるとの指摘があった。

委員会は、ICRR が既存の枠組みや国際コミュニティとのつながりをより有効に活用することを推奨する。例えば、ILANCE はマルチメッセンジャーや宇宙線検出器など、科学的関心やプロジェクトが重なる分野で連携可能である。また、ハイパーカミオカンデや T2K のような共同研究も同様である。さらに、アインシュタイン望遠鏡と ICRR の覚書 (MoA) や、国際重力波ネットワーク (IGWN) の設立は、KAGRA が検出器開発において国際的な連携を強化する貴重な機会となる。

加えて、ICRR が柏キャンパスにある Kavli IPMU に近接していることを活かすことで、これらの取

り組みをさらに強化できる。両研究所の連携を深めることで、国際的な研究者、ポスドク、学生の受け入れが促進され、ICRR の国際的な認知度を高めることができる。また、国際的に最善の方法の導入が進み、共同研究の円滑化や国際メンバーの受け入れにも寄与する。さらに、ICRR の学生やポスドクが海外で研究を行う機会が広がることも期待できる。

委員会は、ICRR における共同研究が概ね適切に行われていることを認めつつも、国際研究者の受け入れや若手研究者からのフィードバック（第 9 節参照）への対応において、改善の余地があると考えている。国際的な訪問者数や共同資金に関するデータを収集・提示することで、さらなる改善に向けた有益な知見が得られるであろう。

### 3. マルチメッセンジャー天文学

ICRR は、柏キャンパスの研究グループや最先端の国際実験における主導的な役割を通じて、マルチメッセンジャー宇宙物理学の活発な進展から恩恵を受ける絶好の位置にある。ICRR は、世界でも数少ない宇宙素粒子物理学の主要研究機関の一つであり、実験、現象論、理論の各グループが、以下の 4 つの主要メッセンジャーすべてに直接関与している：宇宙線（TA）、ガンマ線（CTAO、チベット AS $\gamma$ 、ALPACA）、ニュートリノ（T2K、スーパーカミオカンデ／ハイパーカミオカンデ、XENONnT）、重力波（KAGRA）。

これらはすべて、ICRR が主導または深く関与している実験である。さらに、高エネルギー天体グループは、現代のマルチメッセンジャー天文学に直接関与しており、CALET（宇宙線電子）、EHT（ブラックホール物理）、MAGIC（超高エネルギー突発現象）などと連携し、現在の研究テーマにおいてマルチメッセンジャー的な解釈を推進している。他の研究グループも、例えば PBH（原始ブラックホール）からの SMBH（超大質量ブラックホール）形成や PTA（パルサーテイミングアレイ）科学など、マルチメッセンジャーに関連する研究を展開している。

観測的宇宙論グループは、宇宙の起源と進化に関する先端的研究を行っており、構造形成、銀河形成、宇宙再電離、ビッグバン元素合成などの重要なテーマに取り組んでいる。これらの研究は、すばる望遠鏡、ALMA、JWST などから得られる豊富な観測データを活用している。特に注目すべきは、近赤外分光を用いた初期ヘリウム存在量の新たな測定であり、宇宙論パラメータに対する有力な制約を提供し、レプトン非対称性やハッブル・テンション問題への示唆も含まれている。この研究には ICRR の理論グループも関与しており、観測的宇宙論グループが ICRR の研究活動全体において、ますます統合され重要な役割を果たしていることが示されている。

また、柏キャンパス内で Kavli IPMU が隣接していることから、さらなる連携の可能性もある。これらの取り組みはそれぞれ独立して成果を挙げているが、今後はこれをさらに発展させる余地がある。ICRR 内外で展開・維持されている多様な研究方向の相乗効果を最大限に活用するために、例えば Kavli IPMU との共同公開フォーラムや、実験に深く関与する研究者と学際的グループの研究者を統合するバーチャル研究所の設立などは、ICRR にとって今後数年間の挑戦であり、同時に大きなチャンスでもある。

委員会は、ICRR が世界的なマルチメッセンジャー天文学コミュニティにおいて中心的な研究機関としての役割を担いつつあることを高く評価する。既存の連携と新たな連携の両方を育てることで、ICRR はこの急速に発展する分野を牽引する重要な拠点へと成長する可能性を十分に備えている。

#### 4. 将来計画検討委員会と研究コミュニティとの関係

ICRR の多くの研究者は、1953 年に設立された歴史ある組織「宇宙線研究者会議（CRC）」に所属している。CRC は現在、宇宙線研究者の大多数を代表する機関である。ICRR におけるすべての研究プロジェクトは、CRC と将来計画検討委員会（FPC）との綿密な調整を通じて、FPC による承認を受ける必要がある。委員会は、このような構造にもかかわらず、ICRR の意思決定プロセスは明確に定義されており、FPC が正式な意思決定機関として効果的に機能していると評価する。

ICRR では、大規模プロジェクトの評価は主に ICRR 外の機関から選出されたメンバーにより構成される FPC によって行われる。FPC は ICRR の運営を監督する常設機関である ICRR 運営委員会の下に必要に応じて一時的に設置される。運営委員会には、共同利用研究運営委員会と共同利用研究課題採択委員会という 2 つの小委員会が含まれており、これら 3 つの委員会すべてにおいて、委員の過半数は東京大学以外から選出されるという規則がある。

FPC はプロジェクトに明確な優先順位を付けるわけではないが、次期主要プロジェクトの特定、即時に開始すべき取り組みの提案、国際共同研究の拡大に関する助言など、重要度に応じた提言を行っている。

FPC による評価報告書に基づき、スーパーカミオカンデ、KAGRA、ハイパーカミオカンデなどの（戦略的）大規模プロジェクトは、フロンティア予算（第 6 節参照）を獲得するために必要とされる、明確に定められた政府手続きを順調に遂行してきた。このプロセスを通じて承認されたプロジェクトは、提出された計画に基づき、進捗評価を受けながら原則最長 10 年間の継続が認められており、文部科学省への毎年の予算申請の前提条件となっている。

この体系的なプロセスは、安定した研究資金の確保に効果的であることが示されており、前述のプロジェクトはすべて成功裏に資金を獲得している。一方、テレスコープアレイ（TA）や ALPACA のような比較的小規模なプロジェクトは、科研費などの競争的資金制度を通じて支援を受けることが推奨される。委員会は、プロジェクトの選定および優先順位付けのプロセスが透明性を持ち、公開された議論や正式な報告書に基づいた十分な情報に基づいている点を高く評価する。

#### 5. 大規模プロジェクトにおけるシステムズエンジニアリング

ICRR は、運用段階（スーパーカミオカンデや KAGRA など）および建設段階（ハイパーカミオカンデ、CTAO など）にある多くの科学施設を管理している。これらの大規模かつ複雑なプロジェクトは、物理学者によって構想され、通常は設計も行われる。しかしその莫大なコストと複雑性を考えれば、設計段階から建設、そして運用に至るライフサイクルのあらゆる段階でシステムズエンジニアリングの手法を適用することにより、大きな利点が得られる。

最も成功している大規模科学基盤施設は、システムズエンジニアリングの専門組織を管理組織の中に深く組み込んでいる。リソースを反映したスケジューリング、システムレベルのエンジニアリング計画や組織、インターフェース管理、変更管理、リスク分析とリスク低減計画といったシステムズエンジニアリングやプロジェクト管理の手法を導入することにより、科学施設の全体的なパフォーマンス向上やコスト削減につながりうる。

現在進行中のプロジェクトの規模と複雑さが急速に増大していることを踏まえ、委員会は、ICRR が管理する施設やプロジェクトを支援するためにシステムズエンジニアリング・グループを設置することが有益であると考える。システムズエンジニアリング・グループの設置（規模の大小を問わず）には、

新規の資金または既存資金の再配分が必要となることを理解しつつ、その実現可能性を検討するにあたっては、ICRR は資金提供機関と協力して取り組むべきである。

## 6. 予算

ICRR の予算は、「運営費交付金」と「フロンティア予算」の 2 つの枠で構成されている。運営費交付金は、ICRR の基本的な運営費を賄うものであり、大規模学術フロンティア促進事業など概算要求事項に関連する費用を除くものである。文部科学省は 2012 年に大規模学術フロンティア事業の枠組みを創設し、国際的な研究拠点の形成を目指す主要研究インフラに対して、安定的かつ継続的な支援を提供する仕組みを整えた。この資金制度は、文部科学省の科学技術・学術審議会（CST）の部会が策定した長期的な「ロードマップ」に基づき、国際競争および国際協力体制に向け、迅速かつ効果的に対応することを目的としている。

ICRR の年間運営予算は、運営費交付金、フロンティア予算、そして競争的な科学研究費助成事業（科研費）によって構成されている。フロンティア予算は、ハイパーカミオカンデ、スーパーカミオカンデ、KAGRA などの主要施設の建設および運営を支援するものである。なお、ICRR の多くの教員給与は東京大学から別途支給されており、ICRR の機関予算には含まれていない点に留意すべきである。

限られた予算にもかかわらず、ICRR は 3 部門にわたって世界水準の研究施設と科学プログラムを多様かつ意欲的に運営しており、ハイパーカミオカンデのような新たな国内インフラの建設にも取り組み、CTAO などの国際的な主要プロジェクトにも中核パートナーとして参画している。

委員会は ICRR の予算について詳細なレビューは行っていないが、主要施設の運営資金の水準はプロジェクトごとに大きく異なることが明らかである。スーパーカミオカンデは 30 年以上にわたり検出器のアップグレードを行いながらデータ取得を継続しており、T2K も 15 年以上にわたり安定した予算のもとで運営されている。一方、KAGRA は例外的なケースであり、本報告書の KAGRA の項でも述べたように、同等の重力波観測施設と比較して運営予算が非常に少なく、今後の開発や国際競争力の維持に課題を抱えている。したがって、ICRR の運営陣は、KAGRA の運営予算の増額に最大限の努力を払うべきである。

また、科研費による資金は近年横ばいで推移しており、ICRR の総予算に占める割合は小さいことも注目すべき点である。ハイパーカミオカンデは建設完了後、安定的な運用段階に移行することが見込まれている。この規模のプロジェクトは、必然的に多額かつ継続的な運営資金を必要とするこを強調すべきである。委員会は、ICRR が大学当局および関係する資金提供機関と緊密に連携し、必要な財源の確保に向けてあらゆる努力を行うことを推奨する。加えて、本プロジェクトが国際共同研究であることを踏まえ、参加する研究者および機関が、それぞれが開発した構成要素の維持・運用に責任を持つ形で、適切な費用分担の枠組みを構築することが不可欠である。

## 7. 人材

ICRR は、比較的小規模なチームで運営されているにもかかわらず、複数の注目すべきプロジェクトを非常に効率的かつ成功裏に運営してきた。特に評価されるべきは、ハイパーカミオカンデの進展である。ハイパーカミオカンデは、科学コミュニティにとって極めて重要な大規模プロジェクトであり、大きな可能性と同時に挑戦も伴う。その成功は極めて重要であり、失敗は許されない。委員会は、こ

のプロジェクトの規模と必要とされる膨大なリソースを踏まえ、ICRR が必要な人材を十分に確保することに制約があることを認識している。したがって、ICRR、広範な研究コミュニティ、政府との効果的な連携が不可欠である。

神岡宇宙素粒子研究施設はこの取り組みの中心にありながら、他機関による共同利用のための地下施設を提供する役割も担っており、小規模プロジェクトにとっても重要な拠点である。委員会は、これらのリソースに対する需要の増加が深刻な懸念となっていることを認識している。人員は限られており、既存のスタッフは複数の優先度の高い業務に分散して対応して逼迫している状況である。

顕著な例として、スーパーカミオカンデは、超新星背景ニュートリノの研究など、宇宙素粒子物理学において重要な貢献を続けているが、その人員はほぼ完全にハイパーカミオカンデと重複している。両プロジェクトが互いの科学的成果を損なうことなく共存、運営できるよう、明確な計画の策定が急務である。

XENONnT 実験は現在 ICRR のプロジェクトとして認識されており、委員会は日本国内における暗黒物質探索研究の枠組みを維持・強化する必要性を認識している。しかしながら、この分野における人材不足は大きな課題である。ハイパーカミオカンデの進展に伴い、XENONnT やその他の暗黒物質探索プロジェクトに対する人材配置の強化が求められる。

人材不足の課題は神岡宇宙素粒子研究施設に限らず、KAGRA など他の実験にも影響を及ぼしている。KAGRA は LIGO と比較して、予算・人員ともに約 1 衍少ない規模で運営されており、研究者の並外れた献身に大きく依存している。

チベット AS $\gamma$  から ALPACA への移行も、規模は小さいものの、カミオカンデ／スーパーカミオカンデからハイパーカミオカンデへの移行と似た状況である。プロジェクトの規模にかかわらず、次世代実験への移行は、限られた人材の中で動的に変化する科学的課題に対応するために、ICRR のリーダーシップが人材配置や国内外の研究コミュニティの視点、その他関連事項に十分注意を払う必要があると委員会は指摘する。

また、理論グループ内では活発な議論や取り組みが行われているが、シニア教員の退職が迫っていることから、長期的な安定性に対する懸念も指摘されている。これらのグループの勢いを維持するためには、優秀な教員の採用と定着がますます重要な課題となっている。さらに、若手研究者からは、シニア教員と学生・ポスドクの間をつなぐ助教ポジションの設置を求める声が強く上がっており、これにより ICRR 内での指導体制や共同研究が強化され、研究環境の向上が期待される。

ICRR は国際共同利用・共同研究拠点として運営されており、共同利用に関連するプロジェクトや責任を優先することが重要である。これらの議論においては、研究コミュニティとの透明性のある効果的なコミュニケーションが不可欠であり、ICRR が国内外のコミュニティに支えられた生産的な研究拠点としての役割を今後も果たしていくために必要である。委員会は、ICRR のリーダーシップがこれらの議論を主導し、タイムリーかつ十分な情報に基づいた意思決定を行うことを強く推奨する。

委員会は、ICRR が限られた人材にもかかわらずプロジェクトを大きく前進させてきたことを高く評価しているが、現在、タイムリーかつ協調的な対応が求められる重要な課題に直面していることも認識している。ハイパーカミオカンデや、その他継続中のプロジェクトには、綿密な計画、最適なリソース配分、国際的な支援の継続が不可欠である。教員の採用・定着の強化と予算の増額は、宇宙線・宇宙素粒子物理学における ICRR のリーダーシップを維持するために重要である。ICRR が今後も成功を続けるためには、対話を重ね、十分な情報に基づいた意思決定を行うことが不可欠である。

## 8. 共同利用施設の維持管理

ICRR が運営する神岡宇宙素粒子研究施設などは、研究所が推進する大規模プロジェクトのためだけでなく、国際的な外部研究者による研究開発の場としても活用されている（詳細は第 1 節参照）。これらの施設の維持、修繕、管理は、研究所の中核的な責任の一部である。

しかしながら、委員会は老朽化した設備の更新が大きな課題となっていることを認識している。施設が科研費などの競争的資金によって開発・運営されている場合、日常的な維持管理や老朽化したインフラの更新（繰延維持管理）に対する継続的な支援は、これらの資金制度の枠組みでは提供されない。

委員会は、文部科学省に対し、競争的資金によって設立された科学的に優れた施設に対する長期的な支援の仕組みを構築するよう強く要請する。これは、税金の最適かつ責任ある活用であると考えられる。

## 9. 大学院生および若手研究者

委員会は、ICRR に所属する大学院生を含む若手研究者との交流の機会を得て、研究環境に関する彼らの視点を直接聞くことができた。最初に、18 名の若手研究者との非公式な昼食会が行われ、委員会メンバーは分野ごとの小グループに分かれて参加した。その後、全委員による 9 名の若手研究者とのグループインタビューが実施された。

全体として、若手研究者の多くは ICRR での仕事や役割に満足しており、最先端の研究所で研究できることに対して意欲を示していた。しかしながら、次世代の研究者養成や人材育成をより効果的に支援するために改善が望まれる点もいくつか指摘された。以下に、彼らの意見に基づく主な検討事項を示す：

- ワークライフバランス

一部の若手研究者は、ワークライフバランスに関する懸念を示した。これに対応する第一歩として、オープンな対話の場や、コーヒーブレイクなどの気軽な集まりを通じた交流と個別のフィードバックの機会を設けることが有効であると考えられる（下記の「交流とチーム形成」の項も参照）。

- 国際研究者の受け入れと包摂性

言語の壁を含む課題に対応し、より包摂的な環境を整備することで、国際研究者の受け入れを支援するさらなる取り組みが求められる。具体的には、語学支援プログラムの提供や、国際的な訪問者・共同研究者を共有スペースに配置して日常的な交流の促進を図ることなどが考えられる。

- 交流とチーム形成

定期的な交流イベント（コーヒーブレイクや月例会など）を開催することで、チームの一体感を高め、研究グループ間のコミュニケーションを促進することが期待される。これにより、コミュニケーション意識の向上や共同研究の活性化が図られる。

- キャリア開発

キャリア開発支援は重要な課題である。例えば、柏キャンパスでのキャリア相談サービスの提供、就職活動に関する指導、テニュアポジションの拡充による若手研究者の不安軽減などが挙げられる。

- 給与と福利厚生

ポスドク研究者に対して競争力のある給与と福利厚生を提供することで、ICRR の魅力を高め、優秀な人材の定着を促進し、経済的な不安なく研究に集中できる環境を整備できる。

- ジェンダーの多様性

女性研究者の少なさは重要な課題として認識されている。若い女性の分野参入を促進し、アウトリ-

チ活動や包摂的な制度運用を通じて、継続的な支援を提供することが望まれる。

- コミュニケーションと共同研究

研究グループ内外、理論・実験（データ解析を含む）間のコミュニケーション強化は、知的に活気ある研究環境の形成に寄与する。定期的なセミナーの開催や、若手研究者が最新の科学的進展を把握できる機会の提供も提案された。

その他の意見として、一部の大学院生からは、例えば講義出席のために ICRR と本郷キャンパス間を移動する時間が負担になっているとの指摘があった。また、スーパーカミオカンデ、ハイパーカミオカンデ、T2K、KAGRA プロジェクトに関与する若手研究者からは、柏と神岡間の頻繁な移動が研究に支障をきたしているとの声があり、ICRR による移動の管理・調整が望まれるとの提案があった。

委員会は、これらの意見が若手研究者全体の見解を網羅するものではないことを認識しているが、こうした短時間の対話を通じて明らかになった改善点に取り組むことは、ICRR による人材投資に関する方針の議論を活性化させ、次世代研究者の育成をより効果的に支援することにつながると考えられる。

## 10. ダイバーシティ（多様性）

ICRR は、研究環境における多様性の促進に一層注力している。本節では、採用活動、国際研究者および女性研究者の比率、そしてより包摂的で多様性のある研究コミュニティを支援するための継続的な取り組みについて概観する。

### 研究者および国際スタッフの採用

ICRR における採用プロセスは、主に ICRR の運営費に基づくものと、科研費などのプロジェクトベースの予算によるものの二つがある。

- ICRR の運営費による研究員の採用

通常、10 月に公募が開始され、12 月に応募締切となる。採用された候補者は、原則として翌年 4 月 1 日から 10 月 1 日の間に着任することが期待される。着任日はこの期間内で柔軟に設定できるため、幅広い応募者に対応可能である。

- プロジェクト予算による研究員等の採用

科研費などのプロジェクトベースの予算による採用は、助成金の交付時期、予算の状況、プロジェクトのニーズに応じて柔軟に行われる。公募は年間を通じて随時行われる。運営費のケースと同様、着任日もプロジェクトのスケジュールの範囲内で候補者の都合等に応じて調整可能である。

この採用体制は、国内外の候補者にとって都合がよく、とくに着任日の柔軟性は、渡航や移転に時間要する国際研究者にとって有益である。

さらに、すべての求人情報は日本語と英語の両方で公開されており、国際的な応募者が情報に容易にアクセスできるよう配慮されている。この二言語対応は、より包摂的で多様性のある研究環境の構築を支援することを目的としている。

### 女性研究者および国際研究者の比率

前年 4 月 1 日時点の統計によると、ICRR の研究スタッフにおける多様性は一定の進展を見せている。

最新の状況は以下の通りである。

- 専任教員（助教以上）
  - 教員総数：60 名
  - 女性教員：2 名
  - 外国人教員：6 名
- 研究員（特任研究員など）
  - 研究員総数：17 名
  - 女性研究員：2 名
  - 外国人研究員：5 名

これらの数字は多様性向上への進展を示す一方で、特にシニア教員層におけるジェンダーおよび国際的多様性の一層の強化が必要であることを示唆している。

女性研究者の採用は、引き続き注目すべき課題である。日本では、女性の研究分野への参加を促進するには、中学・高校段階からの長期的な取り組みと文化的変革が必要と広く認識されている。理工系分野における女性の学部生・大学院生の増加は、この課題に取り組むための第一歩とされており、時間をかけた継続的努力が求められる。

同時に、より広く多様な候補者層に向けた採用活動の拡充も、真に包摂的な研究環境の育成において重要である。

## 勧告

ICRR は、研究スタッフの多様性向上に向けて着実な進展を遂げているが、よりバランスの取れた多様な研究者層の採用と支援を実現するためには、継続的な取り組みが不可欠である。特にジェンダーおよび国際的多様性の向上に注力することで、長期的に包摂的で活気ある研究環境の形成につなげることができる。研究所のジェンダーバランスと全体的な多様性をより一層確保するため、以下を提言する。

- 女性教員の採用を継続的に推進する

可能な限り、包摂的な採用慣行（性別を特定しない役職名など）を採用する（研究によれば、こうした取り組みはより良いジェンダーバランスを支えることが示唆されている）。採用委員会の多様性を確保し、公平性を促進する明確なガイドラインに従う。人事公募にあたっては、ジェンダー平等の専門家の意見を取り入れることも検討する。

- ジェンダー多様性の専門家との連携

ジェンダーバランスを向上させるための効果的かつ実証的な方策を特定し、Kavli IPMU などの機関と連携して専門知識やリソースを活用する。

- 社会的に少数派の応募者を積極的に支援する

該当する候補者に直接働きかけ、応募を促す。

- リーダーシップ層におけるジェンダー多様性の促進

委員会や運営組織などにおいて、少数派のジェンダーの比率を増やし、ロールモデルとしての可視性を高め、組織の包摂性を強化する。

- アウトリーチ活動への参加

本郷キャンパスでのオープンキャンパスなどのイベントを通じて、広範なコミュニティとの接点を持ち、次世代の研究者を鼓舞する。

- 志を同じくする機関との連携強化

Kavli IPMU などの機関と協力し、研究環境における国際的およびジェンダーの多様性を推進する。

これらの提案に基づき、委員会は ICRR が組織内の参加障壁を特定するために「環境」調査の実施を検討することを推奨する。ここでの「環境」とは、職場の雰囲気や職員が職場をどのように感じているかを指す。環境調査は、職場環境、組織文化、職員の意識などを把握・評価するためのアンケート調査である。

## 11. 産業界との連携

ICRR は、長年にわたり先進的な実験施設を開発してきた。これらの成果は、高い技術精度と信頼性で開発・製造を担った産業界のパートナーの貢献なしには実現できなかつたものである。ICRR の科学的成果の背景には、熟練した技術者、献身的な管理者、そして協力的な企業が存在し、緊密な連携によって成功が支えられてきた。

以下に、ICRR（および関連大学）と民間企業との連携事例を紹介する。実際には、大企業から中小企業まで、多くの企業が ICRR 主導の実験に不可欠な役割を果たしてきた。委員会としては、これらの企業に対して「ICRR との連携が収益を生む産業応用につながったか？」「応用は将来に期待しつつも、純粹な技術的関心が動機だったか？」といった質問を通じて、直接話を聞く機会があれば歓迎したであろう。

委員会は、ICRR と産業界との連携において、他の物理実験や産業分野への応用可能性や長期的かつ安定したパートナーシップが存在すること、そして両者が真摯かつ献身的に共通の目標に取り組んでいる姿勢を確認した。

ICRR は产学連携における成果を外部に十分に発信していないように見受けられる。委員会は ICRR および産業パートナーによるこれらの成功した連携を高く評価し、過去の成果を示すとともに、将来的新たな産業パートナーを惹きつけるために、こうした連携を紹介するパンフレットの作成を検討することを推奨する。

### スーパーカミオカンデ：

**超高純度硫酸ガドリニウムの開発：**SK-Gd プロジェクトに必要とされたガドリニウム化合物は、放射性不純物を極めて低レベルに抑えることが必須であった。この純度を実現するためには、希土類材料を専門とする産業パートナー（旧 日本イットリウム株式会社、現 三井金属アマテリアル事業部）との緊密な協力が不可欠であった。その後、スーパーカミオカンデグループ、ICRR、およびマイツ大学グループの支援により、同社から XENONnT 実験用に約 4 トンの超高純度硫酸ガドリニウムを調達することにも成功した。

**SK-Gd 用水精製システムの開発：**SK-Gd プロジェクトでは、硫酸ガドリニウムを溶液中に保持しつつ不要なイオンを除去する新しい水精製システムが開発された。その中核技術は、長年の産業パートナーであるオルガノ株式会社と共同で設計された特別仕様のイオン交換樹脂である。本樹脂はスーパーカミオカンデのための先行研究を基盤とし、材料の厳格なスクリーニングおよびラドン放出評価を経て、放射線純度に関する厳格な基準を満たすものとなった。

### ハイパーカミオカンデ：

**高感度 50 cm 径光電子増倍管 (PMT)：**浜松ホトニクス株式会社が ICRR および国内の大学と共同で開発した R12860 型光電子増倍管 (PMT) は、ハイパーカミオカンデ向けに設計されており、性能

が大幅に向上している。量子効率は 33%、収集効率は 87%、単一光子検出効率は 25% で、これはスーカミオカンデの PMT の 2 倍に相当する。感度が向上しているにもかかわらず、暗電流ノイズ頻度は 4 kHz と低く、従来モデルと同等かそれ以下のノイズ頻度になる。さらに、この PMT は電荷および時間分解能が 2 倍に向上しており、また水中使用に対する機械的強度も強化されている。

この技術を基にした PMT は、医療画像診断（PET スキャナーなど）、原子力施設周辺の放射線モニタリング、各種分析機器などに広く採用されている。特筆すべきは、COVID-19 パンデミック時には PCR 検査装置にも組み込まれたことである。現在では、改良型が JUNO ニュートリノ実験にも使用されている。

**水中通信ケーブル、コネクタ、および PMT ケーブル貫通部：**水中の電子機器と地上設備との間で通信と高精度な同期を可能にし、さらに電力を供給するために、ICRR は専用の水中複合ケーブルを開発した。このケーブルは、12 本の光ファイバーと電力伝送用の銅線を内蔵しており、産業パートナーとの協力により設計された。

また、ICRR は光信号と電力の両方を接続できるコンパクトな水中コネクタも開発した。さらに、PMT（光電子増倍管）を水中電子機器に接続するための専用の貫通部（フィードスルー）も開発された。

**岩盤空洞掘削：**ハイパーカミオカンデの前例のない大規模な空洞掘削において、ICRR の研究者は空洞設計会社（東電設計株式会社）と密接に連携し、岩盤挙動の予測と支保設計を最適化するための先進技術を開発した。高エネルギー物理学で一般的に使用される高速データ処理技術を応用することで、シミュレーションの効率と精度が向上した。

重要な技術革新のひとつは、「インターフェース要素」という新しいモデリング概念の導入で、岩盤中の弱層をより正確に表現できるようになり、予測の信頼性が大幅に向上した。

支保設計および掘削の情報化施工に不可欠な岩盤特性評価のために、掘削会社（鹿島建設株式会社）との協力のもと、掘削作業中に取得されるデータ（MWD:掘削中測定）を活用する手法が開発された。これにより、空洞壁の背後の地質条件の評価や、PS アンカー定着部における岩盤の健全性の判断が可能となった。

さらに、大規模な空洞掘削において初めて光ファイバー式変位センサーが導入され、岩盤の変位挙動を精密にモニタリングすることで、安全性の向上と設計へのフィードバックが実現された。

**水槽：**ハイパーカミオカンデの水槽ライニングは、ステンレス鋼と鉄筋コンクリートで構成されており、周囲の岩盤によって支えられている。詳細な地質モデルと掘削モニタリングデータを用いての長期的な空洞壁の変位（クリープ）予測に基づき、ICRR と設計会社（株式会社 日建設計）は共同で、水槽ライニングに関する詳細な構造解析を行い、必要な補強を決定した。

ステンレス鋼と炭素鋼の溶接部での腐食を防ぐことは、水の透明度を維持する上で極めて重要であるため、ICRR と建設会社（株式会社熊谷組）は溶接材料と手法の最適化を共同で行った。これは、スーカミオカンデよりもタンクのサイズが大きく、水質維持がより大変になることから、特に重要な取り組みである。

#### XMASS/XENON :

低バックグラウンド光電子増倍管 (PMT) : XMASS の設立以来、ICRR は浜松ホトニクスと協力し、低バックグラウンド液体キセノン検出器に適した PMT の開発を進めてきた。浜松ホトニクスが低バックグラウンド Ge 検出器や ICPMS/GDMS などの自社施設を保有していなかったため、ICRR は低放射性材料の選定と提供を担当した。その結果開発された R13111 PMT は、現在も世界でもっとも優れた低バックグラウンドの製品として位置付けられている。この技術は XENON、LZ、PANDA-X で使用される PMT にも採用されており、この共同開発の広範な影響力を示している。

キセノンガス蒸留 : 商業用キセノンには放射性同位体であるクリプトンが高濃度で含まれている。2004 年に神岡施設と大陽日酸株式会社が開発した蒸留技術により、稀事象探索実験に適合する低クリプトンのキセノンが実現した。プロトタイプは KamLAND に供与され、同社は後に XENON1T/nT 用に高度な蒸留塔を提供した。

高感度 UV 分光計 : SK-Gd 技術を XENON に適用するため、ICRR は株式会社 島津製作所と協力し、水の透過率測定用の UV 分光光度計を用いた研究を進めた。ICRR は 300 mm セルで ± 0.03% の測定上の誤差を達成し、数百メートルに及ぶ吸収長の測定を可能にした。これはスーパーカミオカンデやハイパーカミオカンデにも重要な成果である。研究開発の過程で得られた測定性能に関する機械的な影響などの知見が、今後の装置の設計へとフィードバックされている。

#### CTAO :

ライトガイド : 東海光学株式会社は、高紫外域 (320 nm) での高い反射率を実現するために、広い入射角範囲に最適化された三層反射コーティング (Al, SiO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) を施したライトガイドを開発した。製造には低温蒸着が用いられている。また、SiPM 向けに、青色光を反射しつつ赤色光を吸収するライトガイドの開発も進めている。共栄エンジニアリング株式会社は、高精度射出成形によって ABS 樹脂製ライトガイドを製造している。金型の超精密加工により、表面の鏡面性が確保され、均一性と表面粗さは 5 nm 以下に抑えられている。

鏡 : 株式会社 三光精衡所は、長期屋外使用を想定した鏡に対し、5 層スパッタリングコーティング (Cr, Al, SiO<sub>2</sub>, HfO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>) を施した。このコーティングにより、400 nm において約 92% の反射率が得られ、年間劣化率は 1% 未満に抑えられている。鏡の分解能は 0.5 mrad (80% 光収束) である。

光検出器 (PMT および SiPM) : 浜松ホトニクスは、LST-1 用の R11920-100 光電子増倍管 (PMT) を開発し、LST-2 ~ 4 用には改良型 R12992-100 を製作した。これらはスーパー・バイアルカリ光電面を備え、高い量子効率 (40.8% から 42.0%) を持つ。また、ダイノード段数を削減することで寿命が延長されている。CTAO 向けのシリコン光検出器 (SiPM) については、浜松ホトニクスと ICRR が共同で、紫外感度および高速タイミング性能を最適化したデバイスを開発した。その結果、パルス幅 3 ns を達成し、チェレンコフ光検出や PET イメージングに有効であることが示された。

#### KAGRA :

大口径単結晶サファイア基板 : KAGRA は、GT Crystal Systems (米国)、新光社 (日本)、そして後には AZTEC (韓国) と協力し、低複屈折かつ低光吸收率 (<50 ppm/cm) の大口径サファイア基板 (220

× 150 mm) の開発を行った。KAGRA による測定から得られたフィードバックはこれら製品の改良に役立ち、その後、半導体産業の発展にも貢献している。

**低振動型パルスチューブ冷凍機**：KAGRA の研究者のアイデアを基に TORISHA 社が製造した新型の二段型パルスチューブ冷凍機は、その低振動設計部分が特許化されている。これは AIST での極低温比熱測定の精度向上に応用されている。

**スケイズド光および低損失鏡**：KAGRA のために NAOJ および ICRR で開発された周波数依存スケイズド光用の低損失鏡は、量子通信への応用の可能性も示している。これらの鏡と安定したファブリ-ペロー共振器制御を組み合わせることで、レーザー核融合に関連する超高出力レーザーキャビティの実現も期待できる。

**地下掘削技術**：KAGRA トンネル建設において、鹿島建設は、月間 359 m の国内記録を樹立し掘削技術を進展させるとともに、日本のトンネル技術の発展に貢献した。

## 12. 教育およびアウトリーチ

委員会は、学部生が東京大学の大学院へ進学し、最終的に柏キャンパスの ICRR で学術的なキャリアを築くまでの道筋について説明を受けた。ICRR は、学部生の関心を引き、大学院進学を促すために、さまざまなアウトリーチ活動および教育活動を展開している。

特に魅力的な取り組みの一つが、柏キャンパスで開催されるスプリングスクールである。これは、全国の大学から集まった学部 3 年生に ICRR の研究活動を紹介するもので、学生たちは実践的な研究プロジェクト、講義、チュートリアルに参加し、分野への関心を深める機会を得ている。

委員会は、COVID-19 パンデミックによる影響を踏まえつつ、ICRR の修士課程および博士課程に在籍する大学院生の人数に注目した。また、卒業後のキャリア形成支援の重要性も認識している。

ICRR と Kavli IPMU が共同で開催する特別イベントでは、物理学分野への進学を目指す女子学生を支援する取り組みが行われており、日本における女性研究者の少なさを考慮すると、非常に意義のある活動である。これらのイベントは、アウトリーチや交流の貴重な場となっている。

委員会は、大学院生の募集に関する ICRR の取り組みを高く評価する一方、学生募集の全体的な環境が以前よりも厳しくなっていることも認識している。修士・博士課程の入学者数をパンデミック以前の水準に維持することは重要な目標であり、ICRR は大学院生の受け入れと学位取得率の両面でその体制を維持できると考えられる。

ICRR は、Kavli IPMU と連携して一般向けの講演会も開催しており、これらは広く一般市民に評価されている。COVID-19 以降、これらのイベントは現地参加とオンライン配信の両方に対応する形で実施されている。

最も重要なアウトリーチ活動の一つが柏オープンキャンパスであり、通常は数千人の来場者を集めている。パンデミックによる中断を経て、2023 年と 2024 年に再開され、来場者から熱烈な反響を得た。

アウトリーチ活動は、ICRR の観測施設、とくに神岡宇宙素粒子研究施設と KAGRA でも積極的に展開されている。これには、広報室によるプレスリリース、施設見学ツアー、展示、マルチメディアコンテンツの制作、関連グッズの販売などが含まれる。

委員会は、ICRR のアウトリーチ活動が周到に企画され、魅力的であり、世界的に連携している卓越した研究機関としての活動に対する市民の関心に応えていると評価する。

## 付録

### A1. 前回の外部評価結果に対する ICRR の対応

1) 「委員会は、今後ユーザーの意見を反映する仕組みを活用するなど、適切な研究所運営を期待する。」  
 所長の回答：組織構造の最上位に位置する「協議会」のメンバーは、約半数が東京大学外から選出されるよう調整されている。さらに、ICRR の運営に関わる主要な委員会（運営委員会、共同利用研究運営委員会、共同利用研究課題採択委員会）では、委員の過半数が東京大学外から選ばれるという規則がある。このようにして、研究コミュニティの意向を反映した運営体制が維持されている。

2) 「これら 3 つの大型プロジェクトは建設・運営費が多額であるため、ICRR は政府に対して大規模な予算要求を行う必要がある。」

所長の回答：「概算要求」という制度があり、スーパーカミオカンデ、KAGRA、CTAO、ハイパー・カミオカンデなどの大型プロジェクトは、研究コミュニティや日本学術会議の支援を受けながら、文部科学省と直接交渉することで研究資金を確保してきた。これらの交渉においては、東京大学からの支援も受けている。

3) 「ICRR および他大学の研究者が参加するセミナーを継続的に開催する必要があるようと思われる。」

また、年に 1 ~ 2 回、ICRR が総合的な議論の機会を設けるべきであり、大学院生や若手研究者も参加できるようになることが望ましい。」

所長の回答：ICRR では、ほぼ毎月研究セミナーを開催している。また、毎年 2 月には修士・博士課程の学生による研究発表会を開催している。前回の外部評価で若手研究者から要望があった ICRR 若手研究者交流会も毎年開催している。さらに、共同利用・共同研究プログラムの一環として、宇宙線物理の若手研究者コミュニティ「YMAP (Youth Meeting for AstroParticle)」の研究会や、「CRC (宇宙線研究者会議)」による将来計画タウンミーティングに対して、資金および会場の支援を行っている。

4) 「海外の若手研究者の参加を促進するためには、10 月採用のポスドク募集を検討すべきである。」

所長の回答：10 月採用を明示した公募は行っていないが、現在の公募でも採用者の希望に応じて着任日を調整することが可能であり、任期もその日から 2 ~ 3 年間としている。実際、今年度採用された研究員の半数以上が 10 月 1 日着任予定である。

5) 「他大学からの学生受け入れに関して、正式な手続きが明確に案内されていないとの印象を持つ若手研究者もいた。委員会は、適切な大学院生受け入れの案内があることが望ましいと考える。」

所長の回答：大学院生の受け入れには、以下の 2 つのケースがある。

(1) 東京大学の大学院入試に合格し、入学する場合

(2) 他大学に所属したまま、教育・研究を ICRR に委託する場合

(1) については、3 月にスプリングスクール、6 月に研究所説明会を開催している（入試は 9 月）。

(2) については、広く公表していない。これは、ICRR が優れた施設・人材・資金を活用して、過剰に学生や若手研究者を集めているという、研究コミュニティ内で以前指摘された懸念が背景にあると考えている。

6) 「ICRR における女性研究者の数は依然として少ない。委員会は、ICRR がこの点において研究所としての姿勢を明確にし、ジェンダー問題に取り組むべきであると考える。」

所長の回答：現在、ICRR には女性助教が 3 名在籍している。採用選考においては、以下の方針を選考委員会に要請している：

- 面接対象者に少なくとも 1 名の女性候補を含めるよう努力すること。含められない場合は理由を説明し、教授会の承認を得ること。
- 最終候補者の能力が同等である場合は、女性候補者を優先すること。

2024 年度には新たに女性助教 2 名を採用した。さらに、ICRR として初めて、女性限定の特任助教公募を実施した（残念ながら応募者なし）。今年度は、女性限定の公募を少なくとも 2 件実施する予定である。

7) 「ハイパーカミオカンデや KAGRA などの国際共同研究を円滑に進めるためには、英語でのコミュニケーションが可能で、創造的な技術開発・運用ができる人材の確保が不可欠である。これを実現するには、高水準の給与を設定できる技術職ポストの設置が重要である。」

所長の回答：ICRR では、優れた語学力と高度な技術力、研究開発に必要な豊富な経験を持つ人材を、以下の職種として採用している：

特任専門員：2 名

特任専門職員：7 名

学術専門職員：14 名

8) 「委員会は、ICRR のリーダーシップが文部科学省および日本の CTAO コンソーシアムと協力し、大学所属の研究者や大学院生が CTAO のような長期国際共同研究に参加しやすくなる枠組みや運営体制を構築することを推奨する。欧州では、大学キャンパス内外にこうした体制（MPI、CNRS、INFN など）が存在している。米国の大学では、研究教授職や教育負担を一時的に軽減する仕組みが設けられている。（CTAO に関する項目）」

所長の回答：ICRR は国際共同利用・共同研究拠点として、CTAO のような大規模国際プロジェクトへの参加・研究活動を、多くの大学の研究者や大学院生に対して支援してきた。現在、文部科学省は、全国における研究力強化のため、2026 年度から開始される第 7 期科学技術・イノベーション基本計画の一環として、共同利用・共同研究拠点の機能強化に向けた新たな政策を策定中である。ICRR は今年初めからこの政策形成プロセスに積極的に関与しており、政策提言の提出などを通じて貢献している。

**Editorial Secretariat 編集事務局**

Hidetoshi Kubo 窪 秀利 (ER2025 Committee Secretary 委員会幹事)  
Sachiko Arimoto 有本 幸子 (Research Support Office 研究サポート室 URA)  
Masafumi Kurachi 倉知 昌史 (Research Support Office 研究サポート室 URA)  
Makio Nakamura 中村 牧生 (Public Relations Office 広報室)  
Ritsuko Sato 佐藤 立子 (Research Support Office 研究サポート室 URA)